



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

MARIA DA CONCEIÇÃO PRUDÊNCIO DUTRA

**ESTUDO DA BIOACESSIBILIDADE DE COMPOSTOS
FENÓLICOS, DA INCORPORAÇÃO DO SUCO DE UVA
PROVENIENTE DA PRENSAGEM DO BAGAÇO E EFEITO
DO TRATAMENTO COM PECTINASES**

UFBA

SALVADOR

2024



MARIA DA CONCEIÇÃO PRUDÊNCIO DUTRA



ESTUDO DA BIOACESSIBILIDADE DE COMPOSTOS FENÓLICOS, DA INCORPORAÇÃO DO SUCO DE UVA PROVENIENTE DA PRENSAGEM DO BAGAÇO E EFEITO DO TRATAMENTO COM PECTINASES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (PGAli) da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciência de Alimentos.

Prof^a. Dr^a. Aline Camarão Telles Biasoto
Orientadora

Prof. Dr. Marcos dos Santos Lima
Prof. Dr. Ederlan de Souza Ferreira
Coorientadores

SALVADOR

2024

Dados internacionais de catalogação-na-publicação
(SIBI/UFBA/Biblioteca Universitária Reitor Macedo Costa)

Dutra, Maria da Conceição Prudêncio.

Estudo da bioacessibilidade de compostos fenólicos, da incorporação do suco de uva proveniente da prensagem do bagaço e efeito do tratamento com pectinases / Maria da Conceição Prudêncio Dutra. - 2024.

223 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Aline Camarão Telles Biasoto.

Coorientador: Prof. Dr. Marcos dos Santos Lima.

Coorientador: Prof. Dr. Ederlan de Souza Ferreira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Farmácia, Salvador, 2024.

1. Tecnologia de alimentos. 2. Alimentos funcionais. 3. Bebidas não alcoólicas. 4. Suco de uva - Análise. 5. Suco de uva - Composição. 6. Fenóis. 7. Enzimas - Aplicações industriais. I. Biasoto, Aline Camarão Telles. II. Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Farmácia. III. Título.

CDD - 641.26

CDU - 641.87

TERMO DE APROVAÇÃO

MARIA DA CONCEIÇÃO PRUDÊNCIO DUTRA

**ESTUDO DA BIOACESSIBILIDADE DE COMPOSTOS FENÓLICOS, DA INCORPORAÇÃO DO
SUCO DE UVA PROVENIENTE DA PENSAGEM DO BAGAÇO E EFEITO DO TRATAMENTO COM
PECTINASES**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (nível Doutorado) da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciência de Alimentos.

Aprovada em 20 de dezembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



EDERLAN DE SOUZA FERREIRA

Data: 06/02/2025 15:47:46-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. EDERLAN DE SOUZA FERREIRA (COORDENADOR)

Universidade Federal da Bahia (UFBA, BA)

Documento assinado digitalmente



ARÃO CARDOSO VIANA

Data: 06/02/2025 17:31:30-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. ARÃO CARDOSO VIANA (EXAMINADOR)

Instituto Federal do Sertão Pernambucano (IFSertão-PE, PE)

Documento assinado digitalmente



CAROLINA OLIVEIRA DE SOUZA

Data: 06/02/2025 16:01:43-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. CAROLINA OLIVEIRA DE SOUZA (EXAMINADOR)

Universidade Federal da Bahia (UFBA, BA)

Documento assinado digitalmente



JULIANE ELISA WELKE

Data: 06/02/2025 21:03:24-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. JULIANA ELISA WELKE (EXAMINADORA)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, RS)

Documento assinado digitalmente



MARCELO ANDRÉS UMSZA GUEZ

Data: 06/02/2025 16:20:53-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. MARCELO ANDRÉS UMSZA GUEZ (EXAMINADOR)

Universidade Federal da Bahia (UFBA, BA)

Dedicatória

A Deus, pois tudo de bom que vem de mim é graça d'Ele; e aos meus pais, Osmar e Lúcia, por estarem sempre ao meu lado e apoiarem minhas escolhas, mesmo sem entender.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus e a Nossa Senhora, por sempre me levantarem, me fazerem persistir e tornarem meus sonhos reais.

Aos meus pais, Lúcia e Osmar, e aos meus irmãos, Jorge, Ismael e Gaby, por sempre acreditarem em mim e compreenderem a minha ausência ao longo dessa jornada intensa.

Aos meus professores, por todos os ensinamentos, em especial aos do PGAlí e aos do IF Sertão Pernambucano.

À minha orientadora, Aline Biasoto, por aceitar o desafio de me orientar e pelos ensinamentos.

Ao Professor Marcos dos Santos Lima, só Deus sabe o quanto sou grata ao senhor. É do senhor que levo um dos maiores ensinamentos da minha vida: fazer o meu melhor na condição que eu tenho.

Ao Professor Ederlan de Souza, pelo apoio na condução do meu trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida (nº do processo: 88887.494091/2020-00).

Às minhas companheiras do Laboratório de Bebidas e Cromatografia Líquida do IF Sertão: Bia, Tainara, Andressa, Thamires, Júlia e Vitória. Nunca vou esquecer o carinho de vocês com o meu trabalho e a prova de amor e cuidado na condução da análise sensorial do meu experimento.

Aos meus companheiros (as) do Laboratório de Enologia da Embrapa Semiárido: Inglides, Pedrinho, Leon e seu Antero, pela ajuda prestada ao meu trabalho e pela leveza com que fizeram isso.

À professora Ana Júlia, por toda a dedicação ao meu trabalho e a mim. Saiba que você é uma grande amiga.

Ao professor Arão Cardoso Viana, pelos conselhos e por ser uma pessoa tão solícita. Admiro muito o senhor.

À minha confidente e presente do PGAlí, Manuela Barreto, gratidão por me ouvir e me aconselhar sempre.

Ao Douglas (ASA Indústria e Comércio LTDA), por me receber tão bem todas as vezes que precisei de doação de matéria-prima. Sou grata pelos seus ensinamentos desde que trabalhávamos juntos e pela sua leveza. Lembro da sua brincadeira ao dizer, sorrindo: 'Desse jeito fica fácil conduzir o experimento, você vem aqui e pega tudo o que precisa'.

A Cecília (Queiroz Galvão) e Natalie (Grand Valle), pela doação de matéria prima.

Às empresas produtoras de sucos de uva: ASA Indústria e Comércio LTDA, Queiroz Galvão e Grand Valle, pela doação da matéria-prima utilizada na realização deste trabalho.

À empresa AEB Group, na pessoa de Ben-Hur Rigoni, pela doação das enzimas.

À Universidade Federal da Bahia (UFBA), pela formação acadêmica.

Ao IF Sertão Pernambucano e à Embrapa Semiárido, por disponibilizarem a estrutura para a realização da pesquisa.

E a todos que torceram por mim e contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

“Ora et Labora”

São Bento.

RESUMO

Sucos de uva são amplamente apreciados por suas características sensoriais e benefícios à saúde. No Brasil, o Vale do Submédio São Francisco se destaca na produção de sucos a partir de cultivares *Vitis labrusca* (Isabel) e híbridas, como BRS Cora, BRS Violeta, BRS Magna e BRS Carmem. No entanto, a otimização do rendimento do suco e o conhecimento da bioacessibilidade dos seus compostos fenólicos ainda são áreas em desenvolvimento. Este estudo teve como objetivo investigar a bioacessibilidade dos compostos fenólicos no suco de uva, a incorporação do suco proveniente da prensagem do bagaço residual e o efeito do uso de pectinases no processamento. Foram avaliados dois tipos de prensagem (hidráulica e pneumática) para extração do suco residual do bagaço, analisando o impacto dessa reincorporação na qualidade química e sensorial do produto. Além disso, foi analisado o efeito de preparações enzimáticas comerciais de pectinases no rendimento do suco, na extração de compostos fenólicos e na estabilidade do produto durante 360 dias de armazenamento. A bioacessibilidade dos compostos fenólicos foi analisada por meio do protocolo INFOGEST, e a caracterização físico-química dos sucos incluiu análises espectrofotométricas, cromatográficas e testes de capacidade antioxidante *in vitro*. Dentre os principais achados no experimento foram identificados 24 polifenóis, dos quais 11 se mostraram bioacessíveis, com destaque para flavanóis, como procianidina B2 e (+)-catequina. Fatores como cultivar e estágio de maturação influenciaram a bioacessibilidade dos compostos nos sucos. A reincorporação do suco obtido da prensagem do bagaço aumentou o rendimento do processo e a concentração de compostos fenólicos, sem comprometer a qualidade sensorial do produto. O uso de pectinases comerciais melhorou o rendimento do processo e a extração de compostos fenólicos, especialmente antocianinas. Após 360 dias de armazenamento, a composição química dos sucos tratados com enzimas se assemelhou à do controle (sem enzima). Esses resultados contribuem para a compreensão dos compostos bioativos do suco de uva e propõem estratégias para otimizar o rendimento e a qualidade do produto final.

Palavras-chave: Vale do São Francisco. Sucos de uva tropicais. Bebidas funcionais. Enzimas pectinolíticas. Digestão simulada.

ABSTRACT

Grape juices are widely appreciated for their sensory characteristics and health benefits. In Brazil, the Submédio São Francisco Valley stands out for producing juices from *Vitis labrusca* (Isabel) and hybrid cultivars such as BRS Cora, BRS Violeta, BRS Magna, and BRS Carmem. However, the optimization of juice yield and the understanding of the bioaccessibility of its phenolic compounds are still areas under development. This study aimed to investigate the bioaccessibility of phenolic compounds in grape juice, the incorporation of juice from the residual press cake, and the effect of pectinase treatment during processing. Two types of pressing (hydraulic and pneumatic) were evaluated for extracting juice from the residual press cake, analyzing the impact of this reincorporation on the chemical and sensory quality of the final product. Additionally, the effect of commercial pectinase enzyme preparations on juice yield, phenolic compound extraction, and product stability over 360 days of storage was assessed. The bioaccessibility of phenolic compounds was analyzed using the INFOGEST protocol, and the physicochemical characterization of the juices included spectrophotometric analysis, chromatographic analysis, and in vitro antioxidant capacity testing. Among the main findings, 24 polyphenols were identified, of which 11 were bioaccessible, with a focus on flavanols such as procyanidin B2 and (+)-catechin. Factors such as cultivar and harvest maturity stage influenced the bioaccessibility of compounds in the juices. The reincorporation of juice from the press cake increased the process yield and the concentration of phenolic compounds without compromising the sensory quality of the product. The use of commercial pectinases improved the process yield and the extraction of phenolic compounds, especially anthocyanins. After 360 days of storage, the chemical composition of the enzyme-treated juices resembled that of the control (without enzyme). These results contribute to the understanding of bioactive compounds in grape juice and propose strategies for optimizing yield and product quality.

Keywords: *Submiddle Sao Francisco Valley region. Tropical grape juice. Functional beverages. Pectinolytic enzyme. Simulated digestion.*

LISTA DE FIGURAS

TESE – Estudo da bioacessibilidade de compostos fenólicos, da incorporação do suco de uva proveniente da prensagem do bagaço e efeito do tratamento com pectinases

Figura 1	Representação geográfica da região do Vale do Submédio São Francisco.....	21
Figura 2	Cultivares destinadas a elaboração de suco de uva de alta qualidade com boa adaptação a região do Vale do Submédio São Francisco.....	23
Figura 3	Fluxograma do processo de elaboração de suco de uva pelo método <i>Hot Press</i>	29
Figura 4	Prensagem da uva. A: Prensa hidráulica; B: Prensa pneumática; C: Suco obtido do processo de prensagem; D: bagaço da uva.....	31
Figura 5	Estrutura simplificada da parede celular de vegetais e disposição dos seus principais componentes.....	32
Figura 6	Ilustração esquemática das aplicações de celulase, hemicelulase e pectinase nas indústrias de alimentos e bebidas.....	33
Figura 7	Classificação dos principais grupos de compostos fenólicos da uva e derivados com exemplos de polifenóis presentes nessas matrizes.....	39
Figura 8	Representação das fases da simulação de modelos de digestão <i>in vitro</i>	44
Figura 9	Efeitos benéficos do consumo de derivados da uva.....	48
Figura 10	Estrutura da cor das antocianidinas mais comuns presentes na natureza.....	49
Figura 11	Efeito do pH nas antocianinas.....	50
Figura 12	Registros da avaliação sensorial de sucos de uva.....	53
Figura 13	Resumo da condução dos experimentos.....	55

Artigo 1: Bioacessibilidade de compostos fenólicos de sucos de uva brasileiros utilizando um modelo de digestão com passagem pela barreira intestinal

Figura 1	Valores percentuais médios de bioacessibilidade dos compostos fenólicos, agrupados por família, de sucos de uva de novas cultivares brasileiras.....	88
Figura 2	Análise de componentes principais de suco de uva de novas cultivares brasileiras.....	101
Figura 3	Dendrograma mostrando o agrupamento dos sucos de uva com base em compostos fenólicos bioacessíveis, perfil químico e capacidade antioxidante.....	102

Artigo 2: A incorporação de suco proveniente da prensagem de bagaço de uva influencia positivamente o rendimento e a composição química dos sucos, sem afetar seu perfil sensorial

Figura S1	Intervalo de confiança de 95% do jackknife dos coeficientes da regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) para a previsão da aceitação geral dos sucos de uva pelos consumidores (n=100) com base nos parâmetros de qualidade (Tabela 1).	127
Figura S2	Cromatograma por HPLC-DAD do suco 100% prensa pneumática	135
Figura S3	PCA gerada com os dados de compostos fenólicos e capacidade antioxidante avaliados nos sucos de uva.	136
Figura 1	Análise de Componentes Principais (PCA) construída com os metabolitos primários e secundários quantificados nos sucos integrais de uva obtidos sem e com prensagem do bagaço de uva.....	138
Figura 2	Mapa Interno de Preferência Estendido (EPM) para a aceitabilidade geral e dados do perfil sensorial descritivo mostrando a configuração dos sucos de uva (A) e EPM para a aceitabilidade geral e dados do perfil sensorial descritivo	

	mostrando a configuração dos consumidores (n = 100) e os descritores sensoriais (n = 12) (B).....	142
Figura S4	Intervalo de confiança de 95% do jackknife dos coeficientes da regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) para a previsão da aceitabilidade geral dos sucos de uva pelos consumidores (n=100) com base nos descritores sensoriais.....	143

Artigo 3: Impacto de preparações comerciais de pectinases na composição química e estabilidade dos compostos fenólicos em sucos de uva

Figura S1	Cromatograma da amostra de suco de uva obtida em RP-HPLC/DAD.....	163
Figura 1	Avaliação da estabilidade dos sucos de uva produzidos com diferentes preparações enzimáticas ao longo de 360 dias por meio da análise da evolução dos parâmetros de cor, malvidina-3-glicosídeo, petunidina-3-glicosídeo e capacidade antioxidante.....	184
Figura 2	Análise de componentes principais dos sucos de uva obtidos com diferentes preparações de pectinase.....	190
Figura S2	<i>Loading</i> de correlação do componente principal 1	191
Figura S3	<i>Loading</i> de correlação do componente principal 2.....	192

LISTA DE TABELAS

TESE – Estudo da bioacessibilidade de compostos fenólicos, da incorporação do suco de uva proveniente da prensagem do bagaço e efeito do tratamento com pectinases

Tabela 1	Padrões físico químicos de suco de uva estabelecidos na legislação brasileira (IN nº14, de 08 de fevereiro de 2018)	27
Tabela 2	Levantamento das fases e condições de sistemas de digestão <i>in vitro</i> para avaliação de polifenóis em matrizes sólidas e líquidas.....	45

Artigo 1: Bioacessibilidade de compostos fenólicos de sucos de uva brasileiros utilizando um modelo de digestão com passagem pela barreira intestinal

Tab. S1	Perfil químico de sucos de uva de cinco cultivares brasileiras.....	80
Tab.1	Bioacessibilidade de compostos fenólicos de suco de uva de cinco novas cultivares brasileiras.....	87
Tab. S2	Composição fenólica do suco de uva Isabel, comportamento em diferentes frações da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i> e bioacessibilidade.....	89
Tab. S3	Composição fenólica do suco de uva BRS Cora, comportamento em diferentes frações da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i> e bioacessibilidade.....	91
Tab. S4	Composição fenólica do suco de uva BRS Violeta, comportamento em diferentes frações da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i> e bioacessibilidade.....	93
Tab. 2	Composição fenólica do suco de uva BRS Magna, comportamento em diferentes frações da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i> e bioacessibilidade.....	95
Tab. 3	Composição fenólica do suco de uva BRS Carmem, comportamento em diferentes frações da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i> e bioacessibilidade.....	97

Artigo 2: A incorporação de suco proveniente da prensagem de bagaço de uva influencia positivamente o rendimento e a composição química dos sucos, sem afetar seu perfil sensorial

Tab. 1	Parâmetros de qualidade, açúcares e ácidos orgânicos de sucos integrais de uva obtidos sem e com prensagem do bagaço de uva....	126
Tab. 2	Compostos bioativos e capacidade antioxidante de sucos integrais de uva obtidos sem e com prensagem do bagaço de uva.....	132
Tab. 3	Perfil sensorial de sucos obtidos com e sem prensagem do bagaço de uva, utilizando 100 jurados e dados RATA.	141
Tab. 4	Aceitabilidade sensorial e intenção de compra dos sucos obtidos com e sem prensagem do bagaço de uva, utilizando 100 consumidores.....	144

Artigo 3: Impacto de preparações comerciais de pectinases na composição química e estabilidade dos compostos fenólicos em sucos de uva

Tab. S1	Preparações enzimáticas líquidas, fornecedores, fontes, atividade declarada e condições recomendadas.....	157
Tab. S4	Parâmetros de validação para determinação de fenólicos (método validado por Dos Santos Lima <i>et al.</i> [20].).....	161
Tab. 1	Atividades enzimáticas analisadas nas preparações enzimáticas comerciais.....	169
Tab. 2	Análises físico-químicas, açúcares e ácidos orgânicos quantificados por HPLC-DAD-RID nos sucos de uva obtidos com preparações enzimáticas.....	172
Tab. 3	Composição fenólica e capacidade antioxidante dos sucos de uva produzidos com preparações enzimáticas comerciais.....	177
Tab. 4	Parâmetros cinéticos dos sucos de uva produzidos com diferentes preparações enzimáticas comerciais ao longo de 360 dias de armazenamento, incluindo parâmetros de cor, malvidina-3-glicosídeo e petunidina-3-glicosídeo.....	182
Tab. S3	Cor, capacidade antioxidante e perfil fenólico de sucos de uva após 360 dias de armazenamento.....	185

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABTS ^{•+}	2,2-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)
AOX	Capacidade antioxidante
CE	Celulase
DPPH [•]	2,2-difenil-1- picrilhidrazila
FRAP	Poder antioxidante redutor de ferro
UVIBRA	União Brasileira de Vitivinicultura
GAE	Equivalente ao ácido gálico
OIV	Organização Internacional da vinha e do vinho
PE	Pectinase
PG	Poligalacturonase
PL	Pectina liase
PME	Pectinametilesterase
TE	Equivalente ao Trolox
TPTZ	2,4,6-Tri(2-pyridyl)-s-triazine)
Trolox	6- hidroxil-2,5,7,8-tetrametilcromato-2-ácido carboxílico
VSF	Vale do Submédio São Francisco

SUMÁRIO

TESE – Estudo da bioacessibilidade de compostos fenólicos, da incorporação do suco de uva proveniente da prensagem do bagaço e efeito do tratamento com pectinases

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	19
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
3.1 Região do Vale do Submédio São Francisco e vitivinicultura tropical...	20
3.2 Cultivares para Sucos de uva no VSF.....	22
3.3 Suco de uva e processos de elaboração.....	25
3.4 Etapa da prensagem e tipos de prensa.....	30
3.5 Preparados enzimáticos comerciais.....	32
3.6 Composição química de sucos de uva.....	36
3.7 Bioacessibilidade de compostos fenólicos e modelos de digestão <i>in vitro</i>	41
3.8 Bioatividade dos polifenóis.....	46
3.9 Estabilidade dos sucos de uva.....	49
3.10 Análise sensorial.....	51
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
4.1 Experimentos.....	54
4.2 Uvas e processo de elaboração dos sucos.....	54
4.3 Análises da qualidade: parâmetros básicos e cor.....	56
4.4 Determinação de açúcares e ácidos orgânicos por HPLC-DAD-RID....	57
4.5 Determinação de compostos fenólicos individuais por HPLC-DAD.....	57
4.6 Análise da capacidade antioxidante <i>in vitro</i>	58
4.7 Avaliação da bioacessibilidade utilizando um modelo de digestão <i>in vitro</i>	59
4.8 Determinação da atividade enzimática.....	60
4.9 Análise sensorial.....	62
4.10 Delineamento experimental e análise estatística.....	64
5 RESULTADOS.....	65

5.1	Artigo 1: Bioacessibilidade de compostos fenólicos de sucos de uva brasileiros utilizando um modelo de digestão com passagem pela barreira intestinal.....	66
5.2	Artigo 2: A incorporação de suco proveniente da prensagem de bagaço de uva influencia positivamente o rendimento e a composição química dos sucos, sem afetar seu perfil sensorial.....	108
5.3	Artigo 3: Impacto de preparações comerciais de pectinases na composição química e estabilidade dos compostos fenólicos em sucos de uva.....	150
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	192
	REFERÊNCIAS.....	198
	APÊNDICE 1.....	212
	APÊNDICE 1.....	216
	PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA.....	219

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a demanda por suco de uva tem aumentado significativamente, posicionando-se em terceiro lugar entre os sabores de sucos mais exportados do mundo, atrás apenas do suco de laranja e do suco de maçã, sendo um produto de expressivo valor comercial (World Integrated Trade Solution, 2022). De acordo com o Panorama da Vitivinicultura (2021) e com publicação na revista Globo Rural (2023), o Estado do Rio Grande do Sul é a maior região produtora, enquanto o Vale do Submédio São Francisco (VSF) se destaca pelas condições climáticas que permitem a produção durante todo o ano (Mello; Machado, 2022). De maneira geral, essa demanda vem crescendo devido à alta aceitabilidade sensorial da bebida e à associação de sua ingestão com diversos benefícios à saúde do consumidor (Toscano *et al.*, 2017; Cosme; Pinto; Vilela 2018; El-Kersh *et al.*, 2023).

A funcionalidade biológica de sucos de uva é devida a sua composição, em especial aos polifenóis (Toaldo *et al.*, 2016; Toscano *et al.*, 2019; Lima *et al.*, 2022), grupo de compostos para o qual são relatados vários efeitos farmacológicos, tais como fortalecimento do sistema imunológico contra infecções por SARS-CoV-2 (Augusti *et al.*, 2021; Yun Yang *et al.*, 2022), prevenção do risco de doenças cardíacas (Xia *et al.*, 2010), diabetes *mellitus* tipo 2, Alzheimer, Parkinson e outras doenças neurodegenerativas (Dwibedi *et al.*, 2022). Entretanto, para que os polifenóis exerçam sua bioatividade, eles devem ser bioacessíveis; e há uma escassez em estudos que estabeleçam a bioacessibilidade nessas matrizes e correlacionem a fatores como a composição química das cultivares de uvas utilizadas na elaboração do suco.

Com relação as cultivares de uva, em especial na região do VSF, são utilizadas principalmente cultivares híbridas (*V. vinifera* x *V. labrusca*) adaptadas ao clima tropical, como a BRS Violeta, BRS Magna, BRS Cora e BRS Carmem, além da Isabel precoce (*Vitis labrusca*), produzindo sucos de uva de alta qualidade (Lima *et al.*, 2014; Dutra *et al.*, 2021; Padilha *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2015). A qualidade de sucos de uva, de forma sucinta refere-se a sua composição físico-química, estabilidade, potencial nutracêutico e aceitabilidade sensorial (Prado *et al.*, 2019; Dutra *et al.*, 2021, Lima *et al.*, 2015, Dutra *et al.*, 2023; Cosme; Pinto; Vilela 2018); sendo influenciada pelo método de processamento, a exemplo do uso de enzimas pectinolíticas e celulolíticas (Prado *et al.*, 2019; Lima *et al.*, 2015).

De acordo com Patrício *et al.* (2024), o uso de enzimas pectinases tem influenciado na extração do teor de compostos fenólicos. Importante destacar que

uma maior extração de antocianinas da casca da uva contribui positivamente para o aumento da coloração de seu suco (Lima *et al.*, 2015; Azimi *et al.*, 2021). Existem diversas formulações comerciais de enzimas disponíveis para aplicação na maceração da uva durante o processamento do suco, consistindo principalmente de atividades de pectina metil esterase, endo-poligalacturonase e pectina liase, bem como atividades de hemicelulase e celulase (Osete-Alcaraz *et al.*, 2022). Essas enzimas atuam na quebra dos polissacarídeos da uva durante a maceração; e dependendo das suas atividades específicas podem influenciar na estabilidade da cor durante a vida de prateleira da bebida (Prado *et al.*, 2019). De acordo com Weiss *et al.* (2023), polissacarídeos como os hidrocolóides em sucos podem ter efeito protetor na cor. Em estudos de estabilidade de antocianinas em sucos, é comum a utilização de modelos cinéticos de degradação, incluindo o tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), que é o tempo necessário para que as antocianinas se degradem a 50% do seu teor inicial, obtido a partir da constante de velocidade (k) (Martins *et al.*, 2021).

Um outro importante fator do processamento do suco de uva relacionado a qualidade da bebida, é a aplicação da etapa de prensagem do bagaço de uva (sub-produto). Para esta etapa diferentes mecanismos operacionais podem ser utilizados, como o uso de prensa hidráulica e prensa pneumática (Zemanek *et al.*, 2019). De forma resumida, a adição da etapa de prensagem do bagaço pode otimizar o processo industrial do suco de uva, principalmente no que diz respeito ao aumento do rendimento do produto, além de influenciar na sua composição físico-química, sensorial, bioativa e em sua aceitabilidade pelos consumidores (Cosme; Pinto; Vilela 2018). E não foram encontrados relatos que avaliaram a influência da reincorporação de suco prensado obtido de diferentes sistemas de prensagem na qualidade do suco de uva integral em escala industrial.

Considerando a complexidade da composição dos sucos de uva e os diversos fatores que influenciam sua qualidade, estabilidade, aceitabilidade e os efeitos benéficos associados ao seu consumo, bem como a importância de fornecer aos produtores um conhecimento mais detalhado sobre seu produto e os processos que afetam sua qualidade, esta tese teve como objetivo investigar alternativas para aprimorar a qualidade e o rendimento de sucos de uva produzidos na região do Vale do Submédio São Francisco. Além disso, foi realizada uma análise da bioacessibilidade dos compostos fenólicos presentes na bebida por meio de um modelo de digestão *in vitro*.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar tecnologias de processos para melhorar a qualidade e aumentar o rendimento de sucos de uva integrais produzidos na região do Vale do Submédio São Francisco e realizar um estudo da bioacessibilidade de seus compostos fenólicos utilizando um simulador de barreira intestinal.

2.2 Específicos

- ✓ Analisar sucos de uva elaborados com diferentes enzimas pectinolíticas comerciais e escolher a enzima mais adequada para a manutenção da cor, capacidade antioxidante, conteúdo de compostos fenólicos e rendimento do produto;
- ✓ Avaliar a estabilidade da composição química dos sucos de uva elaborados com adição das diferentes enzimas pectinolíticas durante o período de um ano;
- ✓ Analisar a atividade enzimática principal dos diferentes preparados enzimáticos comerciais, relacionando com o rendimento, qualidade e estabilidade do suco de uva;
- ✓ Realizar prensagem do bagaço da uva, subproduto do processamento industrial do suco de uva, utilizando prensa hidráulica e pneumática, para verificar o rendimento, a qualidade sensorial e físico-química dos sucos obtidos;
- ✓ Avaliar o impacto da reincorporação do suco prensa na capacidade antioxidante, qualidade físico-química e sensorial, e aceitabilidade dos sucos de uva integrais resultantes;
- ✓ Caracterizar a bioacessibilidade dos compostos fenólicos dos sucos de uvas monovariais das cultivares Isabel Precocce, BRS Magna, BRS Carmem, BRS Violeta e BRS Cora;
- ✓ Analisar a relação entre a composição química dos sucos e a bioacessibilidade de seus compostos fenólicos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Região do Vale do Submédio São Francisco e vitivinicultura tropical

A região do Vale do Submédio São Francisco (VSF) está situada no Nordeste do Brasil, entre os paralelos 8-9º do Hemisfério Sul (Figura 1); é uma região de clima tropical semiárido, com características edafoclimáticas que possibilitam o escalonamento da produção de uvas, sendo que uma planta de videira pode produzir nesta região ao longo do ano duas safras e meia, devido às altas temperaturas, altos índices de insolação e água disponível em abundância para a irrigação, proveniente do rio São Francisco. Assim, devido a estas condições, as empresas vinícolas fazem um planejamento da época em que pretendem colher e realizam a poda de produção das videiras em diferentes períodos, adotando o sistema de escalonamento para a poda dos lotes, o que proporciona períodos diferentes de colheita (Pereira *et al.*, 2011; Tonietto; Pereira, 2011; Tonietto; Pereira 2012; Mello; Machado 2022).

Nesta região a temperatura média anual é de 26°C, o clima é tipicamente semiárido, classificado como BSwh' pela classificação de Köppen, com índice pluviométrico médio anual de 550 mm, concentrado entre os meses de janeiro a abril, tendo uma média de 3.000 horas de insolação por ano, a 350 m de altitude, e a maioria dos solos são classificados como podzólicos; e é por conta destas particularidades que as videiras produzem em praticamente todos os meses do ano (Tonietto; Teixeira, 2004; Pereira *et al.*, 2016).

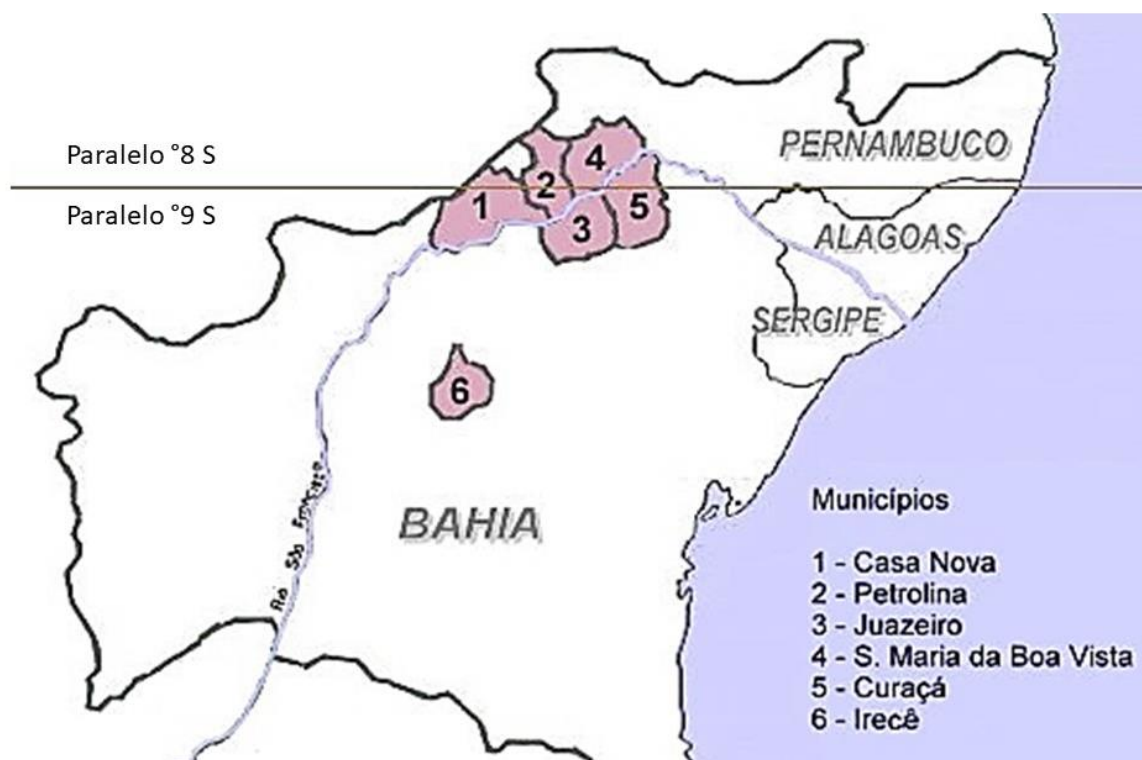
De acordo com Silva e Coelho (2010) a especificidade da viticultura desta região é em virtude da adaptação e do comportamento fisiológico diferenciado das diversas cultivares às condições edafoclimáticas locais, visto que os processos fisiológicos das plantas são acelerados, vez que, em cerca de um ano após o plantio pode-se colher a primeira safra; considerando-se que o ciclo produtivo da videira pode oscilar de 90 a 130 dias, dependendo da cultivar.

Uma outra característica de destaque nesta região é que o VSF detém importantes Indicações Geográficas para uva de mesa e vinhos (IPI, 2021) da região Nordeste, na modalidade de Indicação de Procedência (IP), sendo de acordo com Silva e Coelho (2010) uma estratégia comercial para atendimento às novas exigências de mercado e a agregação de valor ao produto, representando uma importante conquista para os produtores do polo Petrolina/Juazeiro.

As uvas predominantes nessa região são de origem europeia (*Vitis Vinífera* L.) destinada ao consumo *in natura*, sendo o VSF o segundo maior produtor de uvas Brasil, estando atrás somente do Rio Grande do Sul (Mello; Machado, 2022). De acordo com o Panorama da Vitivinicultura brasileira 2021 a região Nordeste representou 14,04% da área vitícola nacional e concentrou sua viticultura no Vale do São Francisco (Pernambuco e Bahia). Pernambuco é o maior estado produtor com 8.256 ha, que representa 11,00% da área nacional. Na Bahia, com 2.119 ha, ocorreu aumento de 7,62% na área com videiras (Mello; Machado, 2022).

A produção de uvas destinadas ao processamento também vem crescendo, consoante Mello e Machado (2022) a produção nacional de uvas destinadas a produção de vinhos, sucos e derivados foi estimada em 816.077 milhões de quilos, representando 48,07% da produção total. Neste segmento em 2021, foram comercializados 553,46 milhões de litros de vinhos e sucos, 5,98% superior ao volume comercializado no ano anterior (Mello; Machado, 2022).

Figura 1 – Representação geográfica da região do Vale do Submédio São Francisco.



Fonte: Google Imagens (2024).

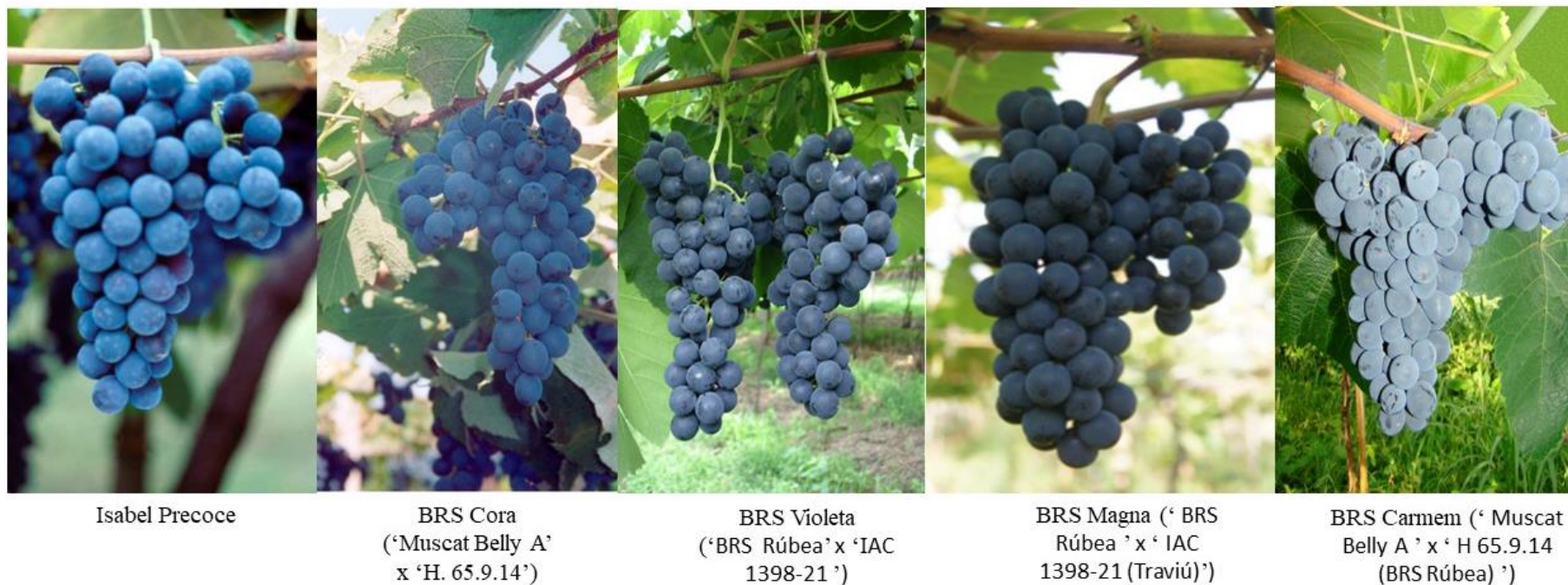
3.2 Cultivares para sucos de uva no VSF

Sucos de uvas podem ser elaborados com uvas de qualquer variedade, desde que tenham alcançado uma maturação adequada (mínimo de 14°Brix), e apresente um bom estado sanitário (Brasil, 2018). De uma geral, as cultivares destinadas a produção de suco devem apresentar algumas características básicas, tais como adequada relação açúcar/acidez, aroma e sabor agradável e bem definido, além de bom nível de maturação e sanidade. A escolha da cultivar deve considerar também o gosto do consumidor, onde a diversidade de hábitos faz com que em cada região sejam utilizadas uvas com características muito distintas, do grupo das americanas, híbridas e europeias (Rizzon; Meneguzzo, 2007).

Diversas novas cultivares de uvas de processamento destinadas a produção de sucos (americanas e híbridas) estão sendo difundidas em polos de produção; e no VSF são encontradas, dentre outras cultivares, as variedades Isabel Precoce, BRS Cora, BRS Violeta, BRS Magna e BRS Carmem (Figura 2), utilizadas na produção de sucos de alta qualidade (Dutra *et al.*, 2023; Dutra *et al.*, 2021).

A 'Isabel Precoce' é uma mutação somática espontânea, que apresenta as características gerais da cultivar Isabel, porém sua maturação é antecipada em cerca de 33 dias em relação a esta. A redução no ciclo vegetativo ocorre entre a floração e a colheita, havendo uma aceleração no desenvolvimento da 'Isabel Precoce' principalmente no subperíodo floração-início de maturação. O cacho da cultivar Isabel Precoce é cilindro-cônico, alado, cheio, em média com 110 g. A baga é preta, tendo em média 17,2 cm de diâmetro x 18,7 cm de comprimento. A cultivar Isabel Precoce tem maturação uniforme, diferentemente da 'Isabel' que, em regra, apresenta desuniformidade de maturação, com bagas verdes e maduras no mesmo cacho. É uma cultivar vigorosa e fértil, com grande capacidade produtiva, com produtividade na faixa de 25 a 30 t/ha/safra, o mosto da cultivar Isabel Precoce, em média, apresenta 18° a 20 °Brix, acidez total de 57 meq/L e pH de 3,22. A coloração do mosto desta cultivar é mais intensa do que a coloração do mosto de sua forma original, a 'Isabel'. É uma cultivar que se apresenta como uma alternativa a elaboração de vinhos de mesa e suco de uva (Camargo, 2004).

Figura 2 – Cultivares destinadas a elaboração de suco de uva de alta qualidade com boa adaptação a região do Vale do Submédio São Francisco.



Fonte: Comunicados Técnicos da Embrapa (Camargo, 2004; Camargo; Maia, 2004; Camargo; Maia; Nachtigal, 2005; Ritschel et al., 2012; Camargo; Maia; Ritschel, 2008).

A cultivar 'BRS Cora' é oriunda do cruzamento entre 'Muscat Belly A' x 'H. 65.9.14', realizado em 1992, na Embrapa Uva e Vinho, em Bento Gonçalves, RS. Apresenta cacho médio, em torno de 150 g, cilindro-cônico, alado, solto, pedúnculo médio. Sua baga é de tamanho médio, elíptica larga, de cor preta-azulada, película espessa, resistente, polpa incolor, ligeiramente firme, sabor aframboezado, sementes normais. É uma cultivar altamente fértil, normalmente com mais de dois cachos/broto, em média, o que determina um alto potencial produtivo; de ciclo médio, um pouco antecipado em relação à Isabel, com a média de 157 dias, em Bento Gonçalves e entre 130 e 140 dias, dependendo da época do ano, nas regiões tropicais onde foi testada. A produtividade deve ser regulada na poda, sugerindo-se, como meta, o volume de 30 ton/ha para que não haja comprometimento da qualidade. Em plena maturação, apresenta agradável sabor, típico das labruscas, e mosto intensamente colorido, com teor de açúcar entre 18° e 20 °Brix, acidez total ao redor de 100 meq/L, e pH na faixa de 3,45. Esta cultivar origina suco de uva intensamente colorido, indicado para a melhoria da coloração de sucos deficientes em cor (Camargo; Maia, 2004).

A 'BRS Violeta' foi obtida a partir de cruzamento entre a 'BRS Rúbea' x 'IAC 1398-21', realizado na Embrapa Uva e Vinho, em Bento Gonçalves, RS, em 1999. Nas suas características agrônômicas apresenta cacho médio, pesando em torno de 150 g, cilindro-cônico, alado, solto a medianamente cheio, pedúnculo de comprimento médio. Sua baga é de tamanho médio, com 15,80 mm de diâmetro, esférica, cor preto-azulada, película espessa, resistente, polpa colorida, fundente, sabor aframboezado e sementes normais (2,94 g/100 sementes). A BRS Violeta é uma cultivar híbrida complexa que apresenta as características gerais das uvas labruscas, seja pela morfologia geral da planta, seja por suas características organolépticas; apresentando vigor moderado, onde em condições normais de cultivo atinge 25 a 30 t/ha de uvas com 19° a 21°Brix, dependendo das condições climáticas de cada safra. A acidez do mosto é relativamente baixa, entre 50 e 60 meq/L e o pH situa-se entre 3,70 e 3,80. É uma cultivar indicada para corte agregando aos produtos maior coloração (Camargo; Maia; Nachtigal, 2005).

A cultivar 'BRS Magna' é resultante do cruzamento da 'BRS Rúbea' x 'IAC 1398-21 (Traviú)', realizado em 1999, na Embrapa Uva e Vinho, em Bento Gonçalves, RS. Esta cultivar apresenta cacho médio, pesando em torno de 200 g, de formato cilíndrico, alado, medianamente compacto, pedúnculo curto. Sua baga é de tamanho

pequeno, com 18 mm (diâmetro) x 20 mm (comprimento), esférica, de cor preto-azulada, película de espessura média, polpa apresentando pigmentação antociânica de intensidade fraca, macia, sabor aframboezado, sementes normais (2,8 g/100 sementes). É uma cultivar de ciclo intermediário, cujo potencial produtivo alcança 25 a 30 t/ha. A uva em plena maturação apresenta sabor aframboezado agradável, típico de *V. labrusca*. O teor de açúcar situa-se em torno de 17-19 °Brix, a acidez total, em média, 90 meq/L, e o pH na faixa de 3,60. A 'BRS Magna' origina suco de cor violácea intensa, que pode ser consumido puro ou ser utilizado em corte com suco de outras cultivares, agregando-lhes cor, doçura, aroma e sabor (Ritschel *et al.*, 2012).

A 'BRS Carmem' é uma cultivar de ciclo tardio, resultante do cruzamento da 'Muscat Belly A' x 'H 65.9.14 (BRS Rúbea)', onde a primeira produção ocorreu em fevereiro de 1999. Apresenta cacho médio, pesando em torno de 200 g, cilíndrico, alado, compacto, pedúnculo curto. Sua baga é de tamanho médio (17 mm x 19 mm), elíptica larga, de cor preto-azulada, película grossa, resistente, polpa incolor, ligeiramente firme, sabor aframboezado, sementes normais (6,20 g/100 sementes). É uma cultivar vigorosa, que em plena maturação apresenta sabor agradável, típico de *V. labrusca*, com teor de açúcar situando-se em torno de 19 °Brix, a acidez total, em média, 70 mEq/L e o pH na faixa de 3,60. A 'BRS Carmem' origina suco de cor violácea intensa, que pode ser consumido puro ou ser utilizado em corte com suco de outras cultivares, atribuindo-lhes cor, aroma e sabor (Camargo; Maia; Ritschel, 2008).

Em resumo todas essas cultivares surgiram como alternativas a melhoria da qualidade de derivados da uva em relação a cultivares tradicionais; e com boa adaptação a diversas regiões produtoras (Camargo, 2004; Camargo; Maia, 2004; Camargo; Maia; Nachtigal, 2005; Ritschel *et al.*, 2012; Camargo, Maia; Ritschel, 2008).

3.3 Suco de uva e processos de elaboração

O suco de uva é um produto natural, sendo que suas características estão relacionadas diretamente com a qualidade da uva e com o processo de elaboração (Brasil, 2018). Esta bebida é definida pela instrução normativa nº14 de fevereiro de 2018 e na Lei 7.678, de 1988 como uma bebida não fermentada e não diluída, obtida da parte comestível da uva sã, fresca e madura, através de processo tecnológico adequado, sendo tolerada a presença de álcool etílico até no máximo de 0,5%. Quanto

à cor, o suco de uva poderá ser classificado como “tinto, rosado ou translúcido (branco); quanto ao aroma e sabor deverão ser próprios da matéria prima de origem.

De acordo com Venturini Filho e Marzarotto (2010) a história do processo de elaboração de suco começou nos Estados Unidos, na cidade de Vineland, New Jersey, em 1869, onde o Dr. Thomas Welch, junto a sua esposa e filho colheu um pouco menos de 20 kg de uva Concord, no parreiral em frente à sua casa. Cozinhou as uvas por alguns minutos, extraiu o suco utilizando-se de bolsas de pano e o depositou em doze garrafas. E para conservar ferveu os recipientes em água, aplicando as ideias de Louis Pasteur. O feito abriu caminhos para a indústria de suco de frutas na América. Esse primeiro suco foi utilizado em cerimônias religiosas e o nome “Welch” passou a ser sinônimo do processo de elaboração de suco de uva. No Brasil os primeiros registros da produção de suco de uva remontam ao início do século XX, no Estado do Rio Grande do Sul.

O Panorama da Vitivinicultura (2021) por meio de estatísticas de produção e comercialização de suco de uvas obtidas em instituições, tais como a Secretaria da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e a União Brasileira de Vitivinicultura (UVIBRA) reportam que houve um aumento importante na produção de suco de uva integral, passando de 41,19 milhões de litros para 68,84 milhões de litros, significando um aumento de 67,13%. O suco concentrado, transformado em suco simples, historicamente é o de maior volume, sendo produzidos, 160,66 milhões de litros, apresentando aumento de 35,18%, em relação ao ano anterior (os dados têm como referência o Estado do Rio Grande do Sul). Para o Vale do São Francisco, outra importante região produtora (Mello; Machado 2022) os dados referentes a produção são mais escassos, estimasse que são envasados entre 30 e 35 milhões de litros por ano de suco, com uma área plantada de 650 hectares com produção média de 30 toneladas por hectare, 100% absorvido pelo mercado interno (Agência Brasil, 2023; Revista do Globo Rural, 2023; Embrapa, 2023).

Em princípio, o suco pode ser elaborado com uva de qualquer variedade, desde que alcance uma maturação adequada e apresente bom estado sanitário (Rizzon; Meneguzzo, 2007). Segundo o processo de obtenção e constituição o suco pode ser classificado em: 1- integral: sendo essa designação privativa do suco sem adição de açúcares, corantes ou aromas, e na sua concentração natural. 2-suco concentrado: essa designação é quando o suco integral é submetido a processo físico para a retirada de água suficiente para elevar em, no mínimo 50% (cinquenta por

cento) o teor de sólidos solúveis presentes no respectivo suco integral. 3-suco desidratado: refere-se ao suco de uva sob a forma sólida, obtido pela desidratação do suco de uva integral, devendo ser denominado de suco de uva desidratado. 4-suco reconstituído: essa designação se refere ao produto obtido pela diluição do suco concentrado e/ou desidratado até a concentração original do suco integral ou ao teor de sólidos solúveis mínimo estabelecido no padrão de identidade e qualidade do suco de uva integral, sendo obrigatório constar na sua rotulagem a origem do suco utilizado para a sua elaboração, se concentrado ou desidratado, sendo opcional o uso da expressão reconstituído. 5-suco adoçado: é a designação do suco adicionado de açúcares em quantidade máxima equivalente a 10% dos açúcares naturais da uva e trará no rótulo a designação suco adoçado. E 6-suco gaseificado: é o suco de uva adicionado de dióxido de carbono, de um inteiro e um décimo até 3 (três) atmosferas, a 20 °C (Brasil, 2018). Para comercialização e padronização o suco de uva brasileiro deve seguir os Padrões de Identidade e Qualidade (PIQ) estabelecido na legislação (Brasil, 2000; Brasil 2018).

Na Tabela 1 está apresentado os limites analíticos referentes ao PIQ de suco de uva brasileiro.

Tabela 1 – Padrões físico químicos de suco de uva estabelecidos na legislação brasileira (IN nº14, de 08 de fevereiro de 2018).

Parâmetros	Mínimo	Máximo
Sólidos solúveis em °Brix, a 20°C	14,00	-
Sólidos insolúveis, % v/v	-	5,0
Sorbitol, g/L	-	0,2
Acidez total, mEq/L (pH 8,2)	55	
Acidez volátil, mEq/L	-	10
Álcool etílico, % v/v a 20°C	-	<0,5
Florizina	Ausente	
Corante artificial	Ausente	
Edulcorante	Ausente	

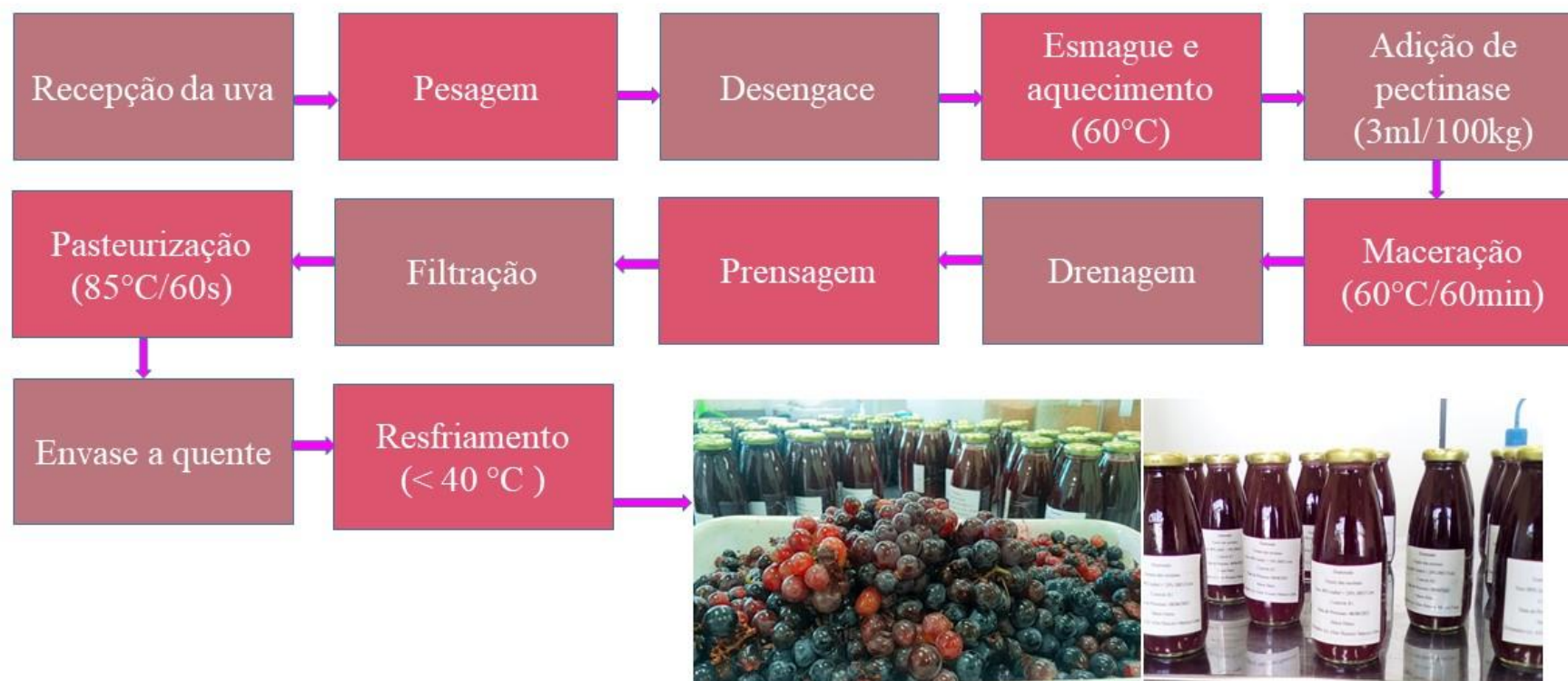
Fonte: Brasil, 2018.

Com relação aos métodos de elaboração existem vários métodos comerciais para a produção de suco de uva, como *Cold press* (extração a frio) e *Hot press* (extração por aquecimento), sendo os métodos com uso do aquecimento os mais utilizados, pois os métodos a frio têm um rendimento mais baixo (Granato *et al.*, 2016).

Os métodos clássicos de produção de sucos de uva são divididos basicamente em *Hot Press* e *Cold Press* que correspondem, respectivamente, a prensagem da uva aquecida e prensagem da uva em temperatura ambiente/resfriada. No método *Hot Press* as uvas são desengaçadas e aquecidas até temperaturas entre 60° e 65°C, adiciona-se pectinases e permanecem em maceração por 30 a 60 minutos. Após a maceração, a uva é prensada obtendo-se um suco turvo que poderá ser submetido a tratamentos de clarificação para remoção dos sólidos suspensos e tratamentos de estabilização tartárica; por último, é realizada a pasteurização e envase a quente. O método *Cold Press* utiliza as mesmas etapas do *Hot Press*, sendo diferente apenas pela maceração ocorrer sem aquecimento (Lima *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2019).

Outro método convencional é o processo *Hot Break*, onde as uvas são esmagadas e aquecidas a temperaturas maiores que 75°C, por um curto período de tempo (5-10 minutos), com o objetivo de inativar as enzimas polifenoloxidase, sendo logo em seguida resfriadas a 60°C para a adição da enzima pectinase e maceração, após a maceração seguem-se os mesmos procedimentos utilizados no processo *Hot Press* (Iyer; Sacks; Padilla-Zakour, 2010; Silva *et al.*, 2019). Na região sul do Brasil também é comum se elaborar sucos de uva artesanais, em pequena escala, por extração com uso de vapor (panela extratora). Por se tratar de um método barato e que dispensa o uso de equipamentos industriais, pequenas empresas comercializam este tipo de produto no mercado brasileiro (Silva *et al.*, 2019; Dutra *et al.*, 2014). Um esquema do processo de elaboração de suco de uva pelo método *Hot Press* utilizado na presente pesquisa é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma do processo de elaboração de suco de uva pelo método *Hot Press*.



Fonte: Informações adaptadas para a forma de fluxograma do trabalho de Silva et al. (2019).

3.4 Etapa da prensagem e tipos de prensa

A etapa de prensagem consiste na extração de suco ainda remanescente nas uvas após a etapa de esgotamento no tanque de maceração, sendo realizado por equipamentos denominados prensas (Rizzon; Meneguzzo, 2007). Assim, de uma maneira geral essa etapa consiste da separação do suco das partes sólidas e o produto resultante deste processo é chamado de bagaço (Venturini Filho; Marzarotto, 2010).

De acordo com Sirohi *et al.* (2010) o bagaço da uva é um subproduto sólido biodegradável do processo de vinificação, obtido após prensagem, incluindo cascas (pele), sementes e haste. O bagaço apresenta elevadas quantidades de compostos fenólicos (Kato-Schwartz *et al.*, 2020; Salehi *et al.*, 2019). Desde modo, a adição da prensagem na produção de suco de uva otimiza o processo por meio do aumento do rendimento e extração de mais compostos bioativos, no entanto de acordo com Venturini Filho e Marzarotto (2010) deve-se ter cuidado na escolha da prensa, visto que a depender do processo essa etapa pode prejudicar a qualidade dos sucos, seja pela extração de compostos que prejudiquem sua qualidade visual, seja pela extração de compostos que afetem o seu sabor.

As prensas podem ser definidas partindo do princípio da automação como um dispositivo que comprime ou achata objetos entre a sua base e a pulsão, podendo ser pneumática, hidráulica ou mecânica (Portapilla *et al.*, 2019). A prensa pneumática é um dispositivo alimentado por um compressor de ar comprimido. Ela é desenvolvida para materiais com baixa resistência a compressão e alta velocidade de compactação, baseando-se em um sistema pneumático, conseguindo excelência de controle e fácil uso do equipamento (Portapilla *et al.*, 2019). Já a prensa hidráulica é uma máquina que usa um cilindro hidráulico para gerar uma força compressiva para realizar várias operações de prensagem (Thomas *et al.*, 2014). Em resumo, na elaboração de suco de uva a prensagem otimiza o rendimento do processo e aumenta a extração de compostos remanescentes na parte sólida (Rizzon; Meneguzzo, 2007). Uma figura da etapa da prensagem, por meio de prensa hidráulica e prensa pneumática no processo de elaboração de suco utilizado na presente pesquisa é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Prensagem da uva. A: Prensa hidráulica; B: Prensa pneumática; C: Suco obtido do processo de prensagem; D: bagaço da uva.

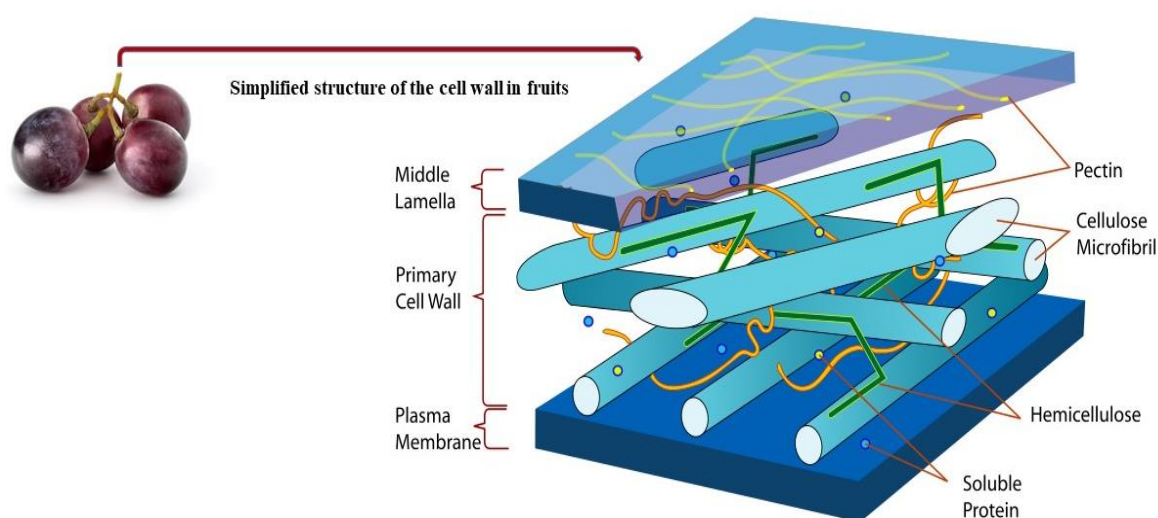


Fonte: *Próprio autor (2024).*

3.5 Preparados enzimáticos comerciais

Preparados enzimáticos comerciais são comumente utilizados na elaboração de sucos de uva com intuito de melhorar a qualidade e o rendimento do processo (Lima *et al.*, 2015; Dal Magro *et al.*, 2016). Esses preparados são constituídos de um complexo de enzimas pectinolíticas, também conhecidas como pectinases, e enzimas celulolíticas que atuam de modos diferentes, catalisando a hidrólise dos polissacarídeos das frutas (Sankaran *et al.*, 2015). Estando esses polissacarídeos localizados, principalmente, na lamela média entre as células das plantas superiores (Figura 5), contribuindo para dar firmeza, estrutura aos tecidos e resistência à compressão. Quimicamente, as substâncias pécticas são formadas por uma cadeia central de resíduos de ácido galacturônico unidos por ligações do tipo α -1,4 (James, 1986; Alkorta *et al.*, 1998; Kashyap *et al.*, 2001).

Figura 5 – Estrutura simplificada da parede celular de vegetais e disposição dos seus principais componentes.



Fonte: Google imagens (2024).

A principal via de produção desses preparados enzimáticos é a partir da via biotecnológica por meio do *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus aculeatus*, *Trichoderma reesei*, *Aspergillus ficum* e *Bacillus licheniformis*; e tem como atividade principal ação como pectina liase, poligalacturonase, pectimetilesterase, celulase, hemicelulase, α -amilase e tanase (Prado *et al.*, 2019; Machado *et al.*, 2021). Dentre esses preparados as pectinases são responsáveis por 25% do mercado global

de enzimas para alimentos e bebidas, estando em uma posição de liderança neste segmento. O relatório de pesquisa de mercado global de pectinase de 2017 revelou que o mercado de pectinase está se expandindo rapidamente, mantendo uma taxa média de crescimento anual de 2,86% (Liu *et al.*, 2023).

Esses preparados enzimáticos podem ser utilizados em diferentes aplicações industriais; a Figura 6 resume algumas aplicações na indústria de alimentos e bebidas (Souza; Kawaguti, 2021).

Dependendo de seu mecanismo de ação, as enzimas podem ser divididas em despolimerizantes, que agem catalisando o rompimento das ligações α -1,4 da cadeia principal do polissacarídeo pécico, e desmetoxilantes, que agem desesterificando a pectina a partir do ácido pécico por remoção dos grupos metílicos (Kashyap *et al.*, 2001; Jayani *et al.*, 2005). Essas enzimas podem ser classificadas de acordo com alguns critérios, tais como seu substrato preferencial: pectina, ácido pécico ou protopectina; modo de ação pelo qual a ligação é rompida: *trans*-eliminação ou hidrólise; e clivagem: posição de ataque no substrato podendo ser aleatória (enzima endo-) ou terminal (enzima exo-) (Alkorta *et al.*, 1998; Kashyap *et al.*, 2001; Jayani *et al.*, 2005).

Figura 6 – Aplicações de celulase, hemicelulase e pectinase nas indústrias de alimentos e bebidas.



Fonte: Souza e Kawaguti (2021).

Existem várias formulações comerciais de enzimas disponíveis para aplicação na maceração de frutas, consistindo principalmente de poligalacturonase (PG), pectinametilesterase (PME), pectina liase (PL), celulase (CE) e hemicelulase (Arnous; Meyer, 2010; Osete-Alcaraz *et al.*, 2022). Sendo a atividade principal do preparado enzimático um fator determinante para o alto rendimento e a qualidade do suco (Alkorta *et al.*, 1998; Prado *et al.*, 2019).

A poligalacturonase (PG) é a pectinase mais amplamente estudada, sendo um dos biocatalisadores de pectinase mais produzidos comercialmente, tendo inúmeras aplicações industriais, incluindo preparação de oligossacarídeos funcionais (oligogalacturonídeos [OGs]), extração e clarificação de sucos, redução de viscosidade, liberação de nutrientes e aumento da absorção na indústria de ração. Consequentemente, cada indústria requer PGs bioquimicamente distintas para responder ao seu ambiente de aplicação específico, sendo as PGs ácidas as amplamente utilizadas na indústria de alimentos e bebidas (Liu *et al.*, 2023). Neste segmento industrial as PGs são essenciais para melhorar o rendimento, clarificação e estabilidade dos sucos (Ázar *et al.*, 2020). Devido às condições de processamento de 30°C-50 °C na indústria de sucos, PGs mesofílicos ácidos com alta atividade são favorecidos (Singh *et al.*, 2019). A adição de PG pode reduzir significativamente a viscosidade em 20%–55%, aumentar a transmitância de luz em 30%–70% e reduzir a liberação de açúcar, demonstrando que a atividade PG aumenta a qualidade dos sucos (Liu *et al.*, 2023).

A pectinametilesterase (PME) também conhecida por polimetilgalacturonase (PMG) catalisa a remoção dos grupos metil, atuando nos finais redutores e no interior das cadeias pécticas com alto grau de esterificação (reduzindo seu peso), por consequência, sua atividade é mais alta quando de 65-75 % da pectina está metilada (Cosgrove, 1997; Evangelista; Chitarra; Chitarra, 2000). A maioria das PME's possui pesos moleculares entre 35 e 50 kDa. Estima-se que os valores ótimos de pH e temperatura para a atividade dessas enzimas estejam entre 4-8 e 40-50°C, respectivamente (Assis *et al.*, 2004). A PME atua removendo grupos metoxil da pectina por meio de um ataque nucleofílico ao éster metílico (localizado no carbono 6 do grupo carboxílico), resultando na formação de um intermediário substrato-enzima e na liberação de metanol. Em altas concentrações, esse composto pode ser tóxico. No entanto, na rota enzimática, a reação segue com a desacetilação, na qual ocorre

hidratação do intermediário, regenerando a enzima e liberando um ácido carboxílico (Wong, 1995; Pimenta; Chagas; Costa, 2000; Voragen; Belman; Schols, 2001).

A pectina liase (PL) faz parte do grupo das liases também chamadas transeliminases, rompem ligações glicosídicas resultando em galacturonídeos com uma ligação insaturada entre os carbonos 4 e 5 do final não redutor do ácido galacturônico formado. A PL catalisa a β -eliminação entre dois resíduos de ácido galacturônico mais ou menos esterificados. Quebram as ligações por transeliminação do hidrogênio dos carbonos das posições 4 e 5 da porção aglicona do substrato (pectina) de modo endo- ou exo-. O pH ótimo é em torno de 5,5 e temperatura ótima entre 40 e 50 °C (Uenojo; Pastore, 2007).

As celulasas são amplamente utilizadas em aplicações industriais para quebrar a celulose, o principal componente das células vegetais. Em geral, as celulasas são compostas por enzimas endoglucanases, exoglucanases e beta-glucosidases, que atuam em sinergia. As endoglucanases atuam na região interna da fibra de celulose liberando oligossacarídeos, as exoglucanases atuam nas extremidades da fibra de celulose liberando unidades de glicose ou celobiose (formadas por duas unidades de glicose) e, finalmente, as beta-glucosidases atuam na celobiose liberando unidades de glicose (Machado *et al.*, 2021).

A hemicelulase faz parte de um grupo de enzimas eficientes na hidrólise de polissacarídeos classificados como hemicelulose, sendo esta hidrólise importante não apenas para a degradação da estrutura da parede celular, mas também para melhorar a hidrólise da celulose fortemente ligada (Souza; Kawaguti, 2021). São enzimas da classe das hidrolases e pertence a este grupo as xilanases, que podem ser classificadas de acordo com o peso molecular, ponto isoelétrico e estrutura cristalina. Como a xilana, principal constituinte da hemicelulose, é um polímero complexo e heterogêneo, possuindo grupos funcionais e estrutura variada, sua despolimerização completa só é possível através de um conjunto de enzimas hidrolíticas com diferentes especificidades. Assim, há diversos tipos de xilanases que atuam na hidrólise de diferentes partes do polímero (Motta *et al.*, 2013).

De uma maneira geral, o uso de preparados enzimáticos comerciais é extremamente importante na elaboração de sucos. Visto que, a partir da hidrólise enzimática das paredes celulares, ocorre aumento na extração de compostos fenólicos, aumento do rendimento do suco, conteúdo de açúcares, matéria seca, e acidez titulável, com consequente redução de resíduos, e diminuição da viscosidade,

facilitando a filtração do produto final (Paiva; Lima; Paixão, 2009; Brownleadres *et al.*, 1999). A dosagem de enzimas pectinolíticas empregada é variável conforme o teor de pectinas da uva, acidez e temperatura do mosto. Na produção do suco, geralmente são utilizadas pectinases comerciais em concentrações de 2 a 4 g/100 L de mosto. A aplicação é realizada através da diluição das enzimas em água e homogeneização durante o aquecimento do mosto (Rizzon; Meneguzzo, 2007). Os sucos obtidos com a utilização de enzimas pectinolíticas não apresentam alterações de aroma e sabor, mas geralmente apresentam maior intensidade de cor e são considerados de qualidade superior (Rizzon; Manfro; Meneguzzo, 1998).

3.6 Composição química de sucos de uva

A composição química do suco de uva depende de vários fatores, especialmente da variedade de origem, da maturação, do comportamento do clima e dos tratamentos a que o produto é submetido, de uma maneira geral na sua constituição destacam-se carboidratos (glicose, frutose, sacarose, pentoses, polissacarídeos e pectina), ácidos orgânicos, compostos nitrogenados, sais minerais, vitaminas, aromas, polifenóis, dentre outros (Venturini-Filho; Marzarotto, 2010).

O componente majoritário do suco de uva é a água, representado 81 a 85% da sua composição, sendo extraída das raízes da videira e acumulada nas células das frutas (Venturini Filho; Marzarotto, 2010). Os açúcares representam os constituintes energéticos do suco de uva, geralmente variam de 15 a 30% em função de vários fatores como o clima, solo, estágio de maturação e variedade, sendo a glicose, o açúcar de maior predominância no início da maturação (Aquarone *et al.*, 2001). A legislação brasileira (Brasil, 2018) estabelece um mínimo de 14 °Brix; e os dois principais açúcares presentes no suco de uva são a glicose e a frutose em proporções aproximadamente iguais. Esses açúcares são glicídios simples, facilmente assimiláveis pelo organismo humano (Rizzon; Meneguzzo, 2007).

Os ácidos orgânicos são produzidos nas folhas da videira e nas bagas da uva, e começam a se acumular na baga nos estádios iniciais de desenvolvimento do fruto. Os ácidos presentes em maior quantidade são o tartárico e málico; o mosto da uva também apresenta quantidades de ácido cítrico, láctico e succínico. Altas concentrações dos ácidos succínico e láctico no mosto podem ser um indicativo da ocorrência de fermentações alcoólica e malolática (Ribéreau-Gayon *et al.*, 2003). De

forma sucinta, os açúcares e ácidos orgânicos são indicativos da qualidade (Coelho *et al.*, 2018).

Com relação aos minerais o suco de uva se destaca pela presença do potássio, seguido pelo cálcio, magnésio e fósforo, e em pequenas quantidades estão presentes ferro, cobre, zinco, manganês, lítio e sódio. Os elementos minerais encontrados nos sucos de uva são absorvidos pela raiz da videira, por meio da solução do solo, na forma de sais que se acumulam nos frutos (Rizzon; Meneguzzo, 2007; Rizzon; Miele, 2012).

Nos sucos de uva normalmente também são encontradas vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina e niacina), ácido ascórbico e o inositol. As vitaminas são substâncias importantes para processos vitais no organismo, tais como o metabolismo de açúcares, manutenção de resistência física e controle de radicais livres (Rizzon; Meneguzzo, 2007).

Fazem parte também da constituição do suco de uva substâncias nitrogenadas, presentes sob a forma de polipeptídios, proteínas, nitrogênio amoniacal e os 20 aminoácidos considerados indispensáveis para o funcionamento do organismo humano. Nos sucos de uva Isabel, predominam a arginina e alfa-alanina, e nos sucos provenientes de uvas *Vitis Vinífera* predominam a arginina e a prolina (Venturini Filho; Marzarotto, 2010).

O aroma do suco de uva é uma mescla de distintos metabólitos secundários voláteis em pequeníssimas quantidades. As principais cultivares destinadas a elaboração de sucos de uva são do grupo das americanas (*Vitis labruscas*) e híbridos, o suco destas cultivares possuem aromas característicos, descritos na literatura como “foxado” (aframboezado). Os três principais compostos responsáveis por este aroma típico são: antranilato de metila, furaneol e 2'-aminoacetofenona (Dutra *et al.*, 2018b).

E por fim, os sucos de uva são considerados bebidas ricas em compostos fenólicos, que são metabólitos secundários de plantas que constituem um conjunto significativo de antioxidantes naturais com numerosas atividades biológicas, proporcionando benefícios a saúde, devido a sua habilidade em inibir radicais livres. Habilidade relacionada a forma estrutural de suas moléculas. No geral, polifenóis constituem um grande grupo de compostos com um ou mais grupo hidroxila ligado a seus anéis aromáticos (Wojtunik-kulesza *et al.*, 2020).

A estrutura dos polifenóis é especialmente adequada para exercer uma ação antioxidante como radicais livres. Sua concentração na uva, assim como nos seus

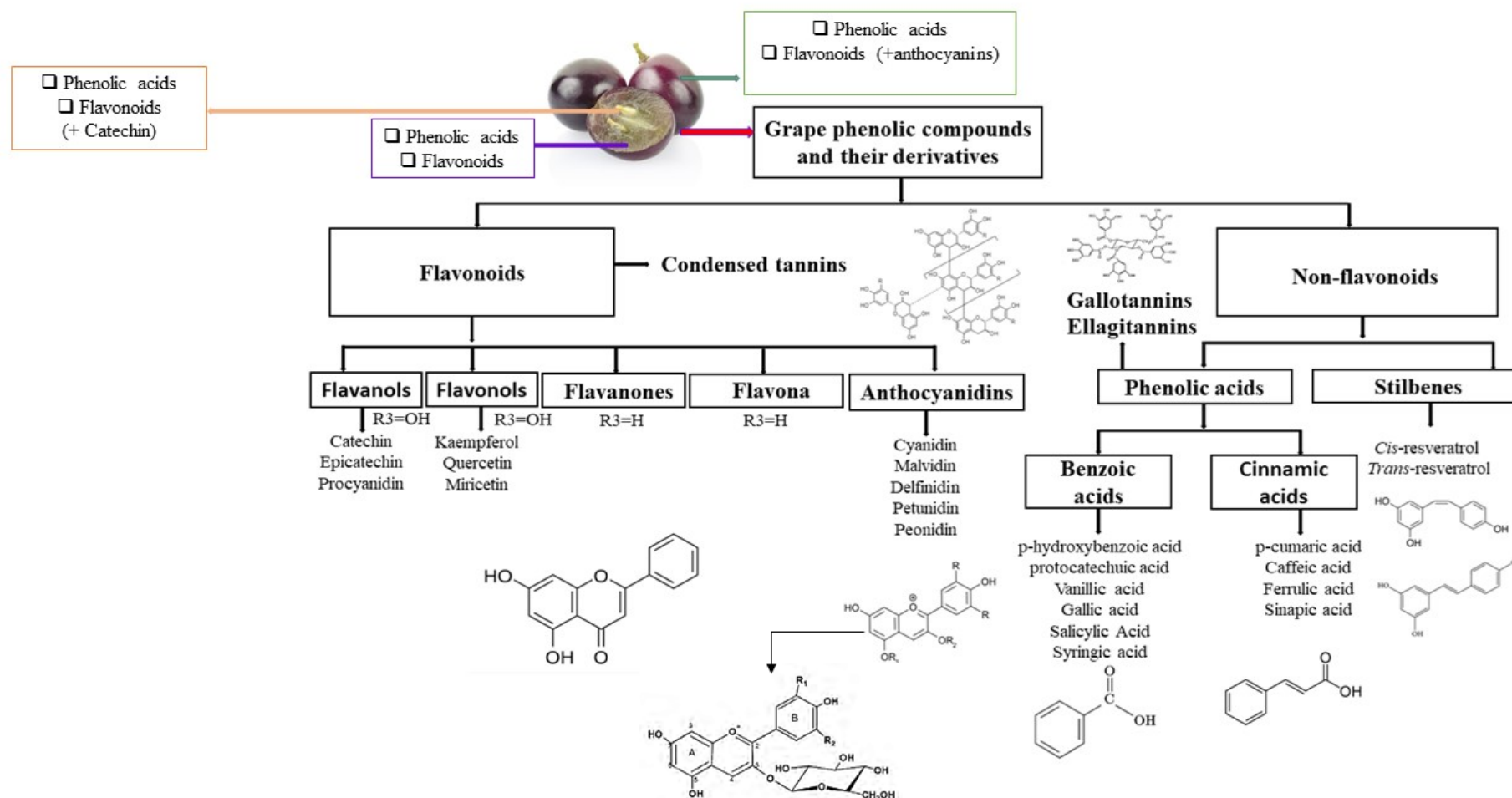
derivados depende da variedade, solo, condições climáticas, colheita, dentre outras variáveis (Camara *et al.*, 2019). Esses compostos constituem um rol importante da enologia, e suas propriedades antioxidantes dão origem ao paradoxo francês (Riberéau-Gayon; Glories; Maujean; Dubourdieu, 2003).

De acordo com sua estrutura química, os polifenóis são classificados em flavonóides e não flavonóides. Os flavonóides são encontrados principalmente na película e sementes das uvas, e se dividem em vários subgrupos como flavanóis, flavonóis, antocianinas, flavonas e flavononas. E a classe dos não flavonóides pertencem os grupos dos ácidos fenólicos e estilbenos, conforme representado na Figura 7 (Riberéau-Gayon; Glories; Maujean; Dubourdieu, 2003). Trabalhos mostram que os principais polifenóis da uva associados com benefícios a saúde de seus consumidores são flavonóis, flavanóis, antocianinas, ácidos fenólicos e estilbenes (Krikorian *et al.*, 2012; Xia *et al.*, 2014).

Os flavanóides são pigmentos amarelos que apresentam uma estrutura caracterizada por dois ciclos benzenicos unidos por um heterociclo oxigenado, derivado do núcleo 2-fenil cromanona (Riberéau-Gayon; Glories; Maujean; Dubourdieu, 2003). Em geral sua atividade antioxidante está altamente correlacionada com número de grupos hidroxila (OH) e a sua posição estrutural (Carullo *et al.*, 2018). Dessa classe destacam-se os flavanóis catequina, epicatequina e procianidina, presentes em grande quantidade em uvas e seus derivados, sendo as catequinas encontradas, principalmente nas cascas e sementes da uva e as procianidinas presentes em maiores quantidades nas sementes (Beres *et al.*, 2017). Trabalhos mostram que em suco de uva as procianidinas B1 e B2 são flavanóis majoritários, presentes em grandes quantidades (Dutra *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2015; Padilha *et al.*, 2017). E é evidenciado que as procianidinas tem efeitos benéficos na proteção contra doenças cardiovasculares (Rangel-Huerta *et al.*, 2015).

Um outro grupo de polifenóis importante presentes na uva e em seus derivados são os taninos, moléculas complexas e capazes de combinações estáveis com proteínas, distinguindo-se na natureza entre taninos hidrolisáveis (galataninos e elagitaninos), liberando respectivamente ácido gálico e elágico após hidrólise. E taninos condensados, derivados de flavonóides (catequinas, epicatequinas e procianidinas). Ambos têm grande influência na qualidade sensorial (Riberéau-Gayon; Glories; Maujean; Dubourdieu, 2003).

Figura 7 – Classificação dos principais grupos de compostos fenólicos da uva e derivados com exemplos de polifenóis presentes nessas matrizes.



Fonte: Adaptado a partir de Ribereau-Gayon; Glories; Maujean; Dubourdieu (2003) e organizadas na forma de organograma.

Já as antocianinas são pigmentos vermelhos da uva, localizados essencialmente na película e excepcionalmente na polpa. E também presente na semente. Sua estrutura compreende dois ciclos benzênicos unidos por um heterocíclico oxigenado insaturado e catiônico, o cátion flavílio, que é derivado do núcleo 2-fenil-benzopiril. Essas moléculas representam um grande grupo de flavonóides. Sua forma aglicona são as antocianidinas que quando conjugadas com açúcares formam as antocianinas, forma mais estável. Em uvas *Vitis Viníferas* predomina as antocianinas 3-monoglicosídeos e nas uvas *Vitis Labrukas* as antocianinas 3,5-diglicosídeos. Sendo as antocianidinas majoritárias a malvidina e a cianidina (Riberéau-gayon; Glories; Maujean; Dubourdieu, 2003). Esses pigmentos são muito susceptíveis a degradação por temperatura, luz, solventes, estrutura química e variações de pH (Braga *et al.*, 2018). A literatura mostra que as antocianinas são substâncias antioxidantes, anti-inflamatória, anti-diabetes, antiobesidade e neuroprotetora (Han *et al.*, 2019). Previvem doenças cardiovasculares, danos ao DNA, possuem atividade estrogênica e inibição enzimática e a peroxidação lipídica (Braga *et al.*, 2018).

Na classe dos não flavonóides destaca-se os ácidos fenólicos e os estilbenos. A uva contém ácidos benzênicos e ácidos cinâmicos, que são substâncias incolores, mas que podem tomar coloração amarela depois de oxidados. São importantes constituintes organolépticos e precursores de fenólicos voláteis (Riberéau-Gayon; Glories; Maujean; Dubourdieu, 2003).

Esses compostos apresentam alta atividade antioxidante, a exemplo do ácido gálico que tem alta habilidade no sequestro de radicais livres (Wojtunik-kulesza *et al.*, 2020). O ácido *trans*-caftárico apresenta-se em grandes concentrações em sucos e vinhos, sendo derivado de ácidos cinâmicos e do ácido tartárico (Dutra *et al.* 2018a; Riberéau-Gayon; Glories; Maujean; Dubourdieu, 2003). Do grupo dos estilbenos fazem parte os isômeros *cis* e *trans* resveratrol, sendo ambos sintetizados de forma natural, como resposta da planta a estresse ou ataque fúngico. Apresentam estrutura mais complexa que os ácidos fenólicos, possuindo dois ciclos benzênicos unidos geralmente por um álcool. Na presença da luz visível o isômero *trans*-resveratrol é convertido em *cis*-resveratrol, pois essa é a forma mais estável dessa molécula (Riberéau-Gayon; Glories; Maujean; Dubourdieu, 2003). É um dos fenólicos mais estudados e possui eficácia em doenças cardiovasculares, alguns tipos de câncer, diabetes e obesidade (Tuffi, 2020).

De uma maneira geral os compostos fenólicos estão amplamente presentes em uvas e em seus derivados e sua ação bioativa no organismo está condicionada a sua bioacessibilidade (Dutra *et al.*, 2023).

3.7 Bioacessibilidade de compostos fenólicos e modelos de digestão *in vitro*

Bioacessibilidade corresponde a fração de compostos que é liberada da matriz alimentar durante a digestão e fica disponível para a absorção intestinal. Uma vez ingeridos os efeitos benéficos dos compostos fenólicos dependem de até que ponto eles são liberados da matriz, absorvidos no trato gastrointestinal e disponível para metabolismo (Ribas-Agustí *et al.*, 2018). Assim, apenas os compostos que são liberados da matriz alimentar, que são capazes de tolerar as condições encontradas em todo o trato gastrointestinal e que passam pela membrana intestinal, estarão potencialmente biodisponíveis para exercer seus efeitos benéficos sobre o corpo humano (Tagliazucchi *et al.*, 2010).

Logo, os efeitos benéficos dos compostos fenólicos de uva e seus derivados dependem não somente da sua quantidade, mas também da sua bioacessibilidade, que é afetada por fatores como a matriz alimentar e pelos componentes presentes no alimento (Cilla *et al.*, 2018; Lingua *et al.*, 2018). Estudos mostram que o conteúdo de polifenóis de uvas e seus derivados diminui durante o processo digestivo com mudanças significativas desses fitoquímicos na etapa final da diálise e muitas vezes baixa absorção de alguns polifenóis (Lingua *et al.*, 2019; Mohamedshah *et al.*, 2020; Tagliazucchi *et al.*, 2010).

De uma maneira geral a bioacessibilidade está relacionada com a deposição genuína dos compostos sobre a matriz alimentar. Em alimentos sólidos os polifenóis estão ligados a carboidratos, proteínas e componentes estruturais de paredes celulares, bem como com outros compostos fenólicos por ligações covalentes, ligações de hidrogênio e interações hidrofóbicas e hidrofílicas. Após o processamento, seja térmico, mecânico ou fermentação elas se difundem para fora das fronteiras vacuolares. Assim, os compostos fenólicos presentes em matrizes líquidas estão prontamente bioacessíveis (Lingua *et al.*, 2018).

Cada fase do processo digestivo tem um comportamento sobre a estabilidade dos compostos fenólicos, sendo que a mastigação e a digestão no estômago são essenciais para a liberação de polifenóis em alimentos sólidos (Tagliazucchi *et al.*, 2010); por exemplo, a literatura mostra que após a mastigação ocorre uma redução

na classe dos flavonóis, flavanóis e antocianinas da uva e durante a digestão gástrica ocorre um aumento quando comparado a fase anterior, resposta correlacionada ao pH do meio, pois os polifenóis são instáveis em pH neutro ou meio alcalino (condição da fase oral e do intestino delgado) e mais resistentes as condições ácidas do estômago (Tagliazucchi *et al.*, 2010). Assim durante as fases do processo digestivo cada composto fenólico vai apresentar um comportamento diferente.

Isso pode ser visualizado analisando o comportamento das antocianinas, que de acordo com Han *et al.* (2019) apresentam bioacessibilidade reportada como baixa. Visto que, ocorrendo a hidrólise dessas moléculas na cavidade oral devido a condições enzimáticas e de pH, haverá a formação de suas formas agliconas correspondentes. No estômago as antocianinas são relativamente estáveis, devido principalmente ao pH ácido do meio, sendo apenas uma pequena porção hidrolisada. No intestino a microbiota e condição alcalina poderiam catabolizar esses compostos em pequenas moléculas de ácidos fenólicos e aldeídos. Tanto as antocianinas quanto seus produtos degradados podem ser transportados através do epitélio intestinal por meio de difusão passiva ou transportadores ativos. Os transportadores ativos incluem transporte de hexose, transportadores de ligação de ATP e de ácido monocarboxílico. Os achados também incluem que as antocianinas podem exercer seus benefícios para a saúde não apenas através de seus compostos intactos, mas também através de seus metabólitos degradados (Han *et al.*, 2019).

Em resumo cada polifenol de uvas e seus derivados apresentam distintos comportamentos durante as fases da digestão e sua bioacessibilidade é influenciada pela estrutura físico-química da molécula e matriz alimentícia que estão inseridos. Modelos de digestão gastrointestinal *in vitro* são comumente utilizados para mensurar a bioacessibilidade de compostos fenólicos, pois há dificuldade de avaliação *in vivo* devido as mudanças dos compostos bioativos na passagem do trato gastrointestinal, além dos estudos clínicos ou *in vivo* serem complexos, tecnicamente difícil, caros e também pode surgir considerações éticas (Celep *et al.*, 2015).

Modelos de metodologias *in vitro* apresentam-se como uma abordagem alternativa aos estudos *in vivo* e são considerados ferramentas simples, baratas e reprodutíveis para analisar a estabilidade digestiva de diferentes componentes alimentares (Failla; Chitchumroonchokchai, 2005; Rodríguez-Roque *et al.*, 2013). Esses modelos podem investigar a bioacessibilidade, estabilidade e potencial biodisponibilidade de polifenóis de alimentos (Hur *et al.*, 2011).

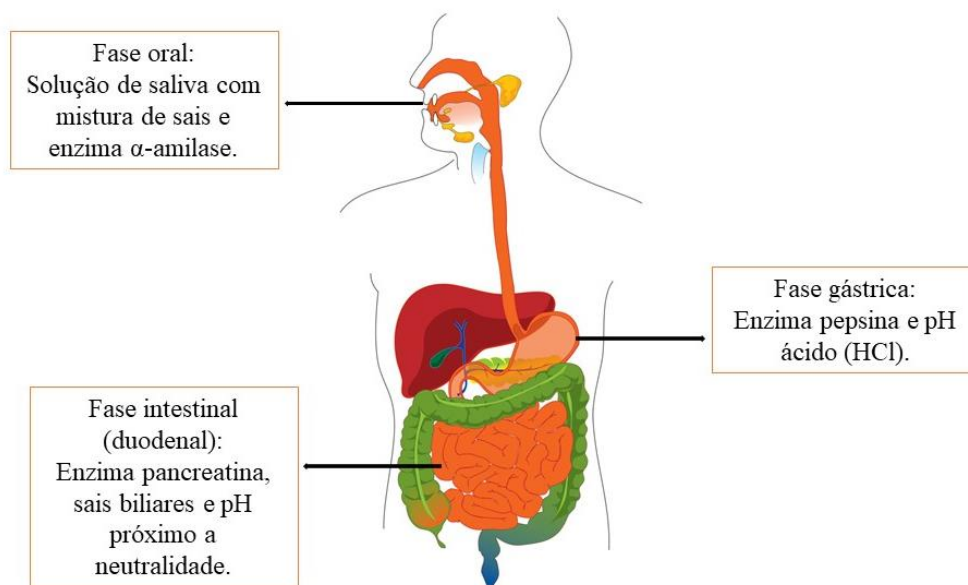
Sistemas de digestão *in vitro* imitam os fatores fisiológicos e bioquímicos aos quais os alimentos são expostos no trato gastrointestinal, simulando condições semelhantes às encontradas no processo digestivo (Hur *et al.*, 2011; Lingua *et al.*, 2019). Para isso usam frequentemente enzimas, sais biliares e as vezes mucina ou outras moléculas biológicas (Haas *et al.*, 2020; Hur *et al.*, 2011; Schulz *et al.*, 2017). As metodologias podem ser otimizadas pelo uso de membranas ou sacos de diálises que funcionam simulando a barreira intestinal, e assim, os compostos que atravessam a barreira simulada são considerados bioacessíveis (Dantas *et al.*, 2019; Lingua *et al.*, 2018; Dutra *et al.*, 2023). Além disso esses modelos também são melhorados por meio da incorporação de culturas celulares humanas, que podem mensurar a absorção de compostos antioxidantes. Um exemplo dessas culturas são a linhagem celular epitelial Caco-2 colorretal que mantém muito das características morfológicas e enzimáticas dos colonócitos humanos normais (Lingua *et al.*, 2019). Os resultados desses modelos de digestão resultam em informações confiáveis sobre os potenciais benefícios de compostos bioativos e correlacionam-se bem com resultados de abordagens *in vivo* (Rodríguez-Roque *et al.*, 2013). Embora as metodologias não incluam interações complexas entre o alimento e o corpo (Lingua *et al.*, 2018; Minekus *et al.*, 2014).

A avaliação da bioacessibilidade simulando as fases da digestão compreende três etapas: processo digestivo na boca, estômago (gástrico) e intestino delgado (duodenal), conforme representado na Figura 8 (Dantas *et al.*, 2019; Lingua *et al.*, 2019; Minekus *et al.*, 2014; Dutra *et al.*, 2023). O processo digestivo na boca (fase oral) é simulado através de uma solução de saliva, com sais como o Na_2HPO_4 , KH_2PO_4 , NaCl , juntamente com a enzima α -amilase. A matriz a ser avaliada é colocada na condição da fase oral e logo após é simulado a fase gástrica com adição da enzima pepsina e ajuste da solução para um pH ácido com HCl . A matriz alimentícia fica incubada na mistura em condições similares a digestão gástrica. E a fase intestinal pode ser feita acoplada a uma membrana de diálise ou não, e usa-se como reagentes pancreatina, sais biliares e comumente NaHCO_3 , finalizando as fases da digestão (Dantas *et al.*, 2019; Haas *et al.*, 2020; Dutra *et al.*, 2023). A Tabela 2 mostra condições variáveis de cada fase de modelos de digestão *in vitro*, bem como as enzimas utilizadas, reunindo informações de trabalhos que avaliaram mudanças no perfil fenólico, durante as etapas da digestão, de matrizes alimentícias sólidas (frutas, polpas e flores comestíveis) e líquidas (sucos e vinhos).

Em suma modelos de digestão *in vitro* são sistemas muito utilizadas para respostas rápidas e confiáveis sobre as possíveis mudanças ocasionadas nos compostos fenólicos durante o processo digestivo e com essas técnicas pode-se mensurar a bioacessibilidade da fração que potencialmente estará disponível para a absorção e embora esses sistemas apresentem limitações como não considerar as complexas interações entre o alimento e corpo ainda são considerados eficazes a sua finalidade.

Figura 8 – Representação das fases da simulação de modelos de digestão *in vitro*.

Etapas do Sistema de digestão *in vitro*



Fonte: Google imagens (2024).

Tabela 2 – Levantamento das fases e condições de sistemas de digestão *in vitro* para avaliação de polifenóis em matrizes sólidas e líquidas.

Fases da digestão	Condições variáveis entre metodologias					Referências ¹
	Enzima	pH	Temperatura (°C)	Rotação (rpm)	Tempo (min.)	
Oral	α -amilase	2 a 7	37	90 a 24.000	30s – 10	[1-6]
Gástrica	Pepsina	1,2 a 3	37	0 a 90 rpm	30 – 240	[1-12]
Intestinal	Pancreatina e sais biliares	6 a 7,5	37	0 a 90 rpm	60 – 360	[1-12]

Referências: 1 (Lingua et al., 2018); 2 (de Moraes et al., 2020); 3 (Haas et al., 2020); 4 (Dantas et al., 2019); 5 (Lingua et al., 2019); 6 (Zoubiri et al., 2019); 7 (Boyer et al., 2005); 8 (Bertha et al., 2019); 9 (Gil-Izquierdo et al., 2002); 10 (Tagliacruzchi et al., 2010); 11 (Gumienna et al., 2011); 12 (Sun et al., 2020).

3.8 Bioatividade dos polifenóis

A bioatividade dos polifenóis está associada à sua alta atividade antioxidante, especialmente devida à sua capacidade para doar hidrogênio ou elétrons e evitar a oxidação de vários compostos (Corredor *et al.*, 2016). De acordo com Hussain *et al.* (2016) os compostos fenólicos podem atenuar efeitos prejudiciais ocasionados pelo estresse oxidativo, que se refere a produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (EROs) e espécies reativas de nitrogênio (ERNs) nas células e tecidos, levando a um desequilíbrio no mecanismo de proteção e consequente danos celulares. O desbalanço entre a produção dessas espécies reativas e o sistema antioxidante endógeno e exógeno pode levar a enfermidades, como as síndromes metabólicas, diabetes, aterogênese, doenças cardiovasculares, dentre outras patologias (Tian *et al.*, 2020).

Espécies reativas de oxigênio são normalmente produzidas dentro do corpo em quantidade limitada e são compostos importantes envolvidos na regulação de processos envolvendo a manutenção da célula, homeostase e funções como transdução de sinal, expressão genica e ativação de receptores. A produção prolongada tanto de ERO como ERN pode causar danos a estrutura celulares e as suas funções, levando a consequentes mutações somáticas e transformações pré-neoplásicas e neoplásicas (Kumar; Pandey, 2015). Polifenóis agem interagindo com as ERO e ERN impedindo reações em cadeia, antes que a viabilidade celular seja seriamente afetada (Hussain *et al.*, 2016).

Essas interações e os efeitos benéficos dependem da absorção de cada polifenol, estando ligada a suas propriedades físico-químicas, como tamanho, configuração, solubilidade, estrutura da molécula, se agliconas ou glicosídeo e grupos funcionais. Agliconas podem ser facilmente absorvidas pelo intestino delgado, enquanto flavonoides glicosídeos têm que ser convertido na forma aglicona (Kumar; Pandey, 2015). Conforme Hollman; Geelen; Kromhout, (2010) após a absorção, os flavonoides são conjugados no fígado por glucuronidação, sulfatação ou metilação ou metabolizado para compostos fenólicos menores. No intestino os polifenóis são pouco absorvidos, sendo primeiramente hidrolisados por enzimas intestinais ou por colônia da microbiota, somente depois são absorvidos e vão para o sangue, porém não na sua forma inicial. Devido à sua absorção incompleta, os polifenóis podem atingir o cólon, onde são metabolizados pela microbiota intestinal, dando origem a

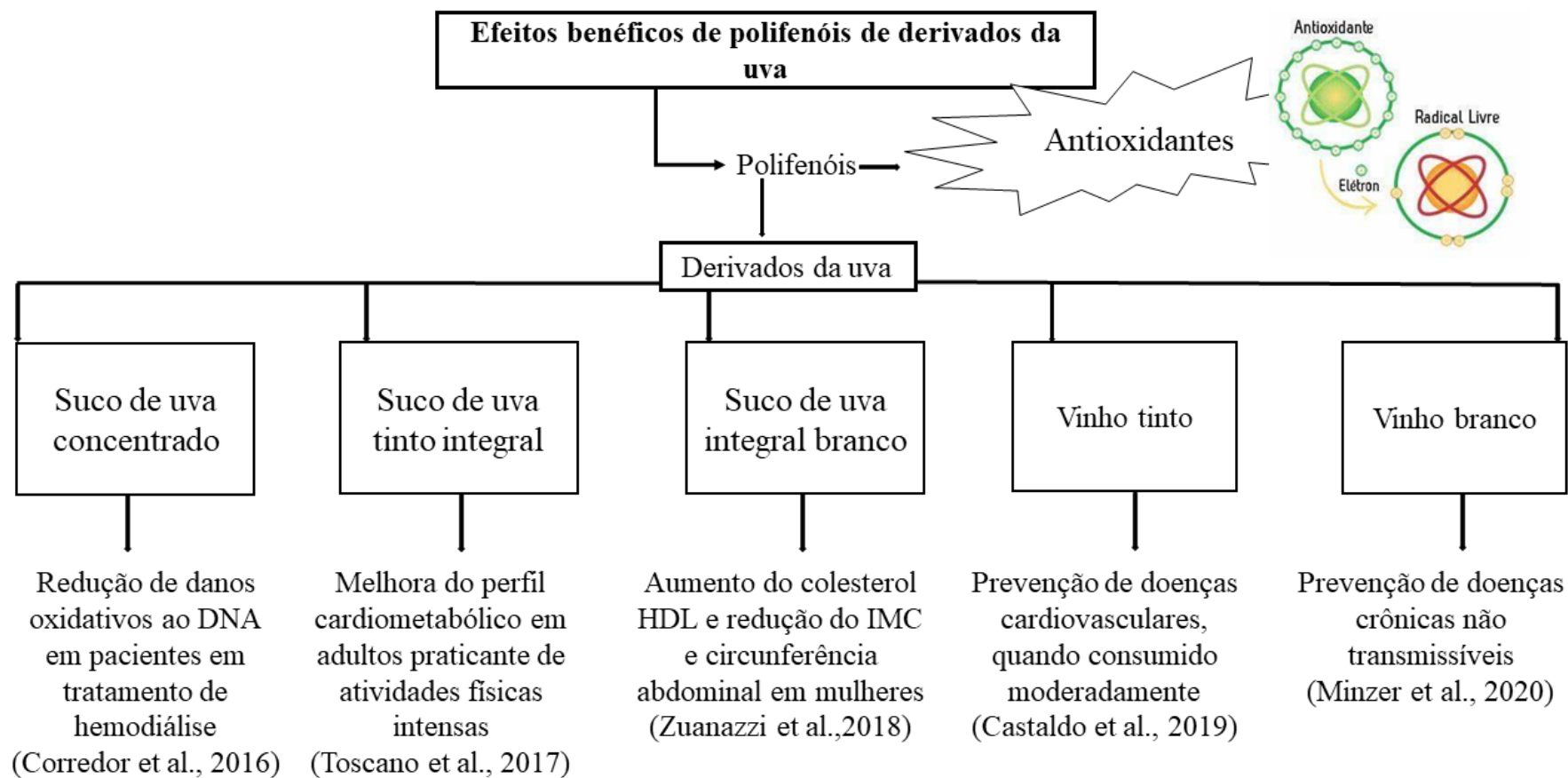
vários metabólitos bacterianos. Quantidades micromolar de flavonoides e monofenóis são recuperados nas fezes (Hussain *et al.*, 2016).

Assim a bioacessibilidade e bioatividade dos polifenóis dependerá de sua estrutura e de seus grupos funcionais. O número de grupos hidroxilas influenciam em vários mecanismos de atividade antioxidante, como o sequestro de radicais livres e a capacidade de quelação de íons metálicos (Hussain *et al.*, 2016). A ação dos polifenóis pode também se dá através da redução da atividade catalítica das enzimas envolvidas na formação de ERO (Kumar; Pandey, 2015).

Uma vez absorvidos e disponíveis, os polifenóis vão exercer diversas ações benéficas. A Figura 9 mostra alguns efeitos de polifenóis de derivados da uva em possíveis benefícios na saúde, sejam durante o tratamento ou na prevenção de diferentes patologias. Em estudo de Corredor *et al.* (2016) foi observado o efeito de suco de uva concentrado na redução de danos ao DNA em pacientes com doenças renais crônicas em hemodiálise, visto que são pessoas muito susceptíveis ao estresse oxidativo contínuo. No trabalho Tavares *et al.* (2017) foi notado que antioxidantes de suco de uva tinto integral, principalmente a catequina, isoquercetina e procianidina B1, melhoram o perfil cardiometabólico de adultos saudáveis praticante de exercícios físicos intensos, evidenciando que o consumo de suco de uva pode estar associado com diminuição da pressão arterial sistólica e redução do colesterol LDL.

Pesquisas com suco de uva branca em humanos e seus potenciais benefícios a saúde são mais escassos do que com suco de uva tinto. No estudo de Zuanazzi *et al.* (2019) foi mostrado que o consumo de suco de uva branca pode levar ao aumento do colesterol HDL e redução do índice de massa corporal (IMC) e circunferência abdominal em mulheres com idade entre 50 e 67 anos, fatores associados com redução do risco de doenças cardiovasculares. Já o consumo moderado de vinho tinto é muito relacionado, desde o paradoxo francês de Renaud e Langeron (1992), com a também prevenção de doenças cardiovasculares. Em estudo de meta análise realizado por Castaldo *et al.* (2019) foi evidenciado que polifenóis do vinho como resveratrol, catequina, epicatequina, quercetina e antocianinas tem efeitos cardioprotetor. A literatura também mostra evidências de que consumo moderado tanto de vinhos tintos como os vinhos brancos atuam na prevenção de outras doenças crônicas não transmissíveis como hipertensão, câncer, dislipidemia e demência (Minzer *et al.*, 2020). De maneira geral derivados da uva como sucos e vinhos atuam de maneira benéfica na prevenção ou até aliada ao tratamento de patologias.

Figura 9 – Efeitos benéficos do consumo de derivados da uva.



Fonte: Próprio autor (2024).

3.9 Estabilidade dos sucos de uva

A estabilidade corresponde ao alimento manter-se seguro e com o mínimo de ocorrências de alterações indesejáveis em sua composição e aparência, durante sua vida de prateleira (Azeredo, 2012). Em sucos de uva a estabilidade está muito relacionada a composição fenólica, em especial as antocianinas; que são pigmentos responsáveis pela maioria das cores azul, roxa e todas as tonalidades de vermelho (Enaru *et al.*, 2021). A Figura 10 apresenta a variação de cores das antocianinas.

De maneira geral as antocianinas são mais estáveis do que sua forma aglicona (antocianidinas); a cianidina-3-glicosídeo, por exemplo, apresenta tempo de meia-vida em solução de ácido cítrico 0,01 M (pH 2,8) de 65 dias, enquanto sua aglicona livre alcança apenas 12 horas nas mesmas condições.

Figura 10 – Estrutura da cor das antocianidinas mais comuns presentes na natureza.



Fonte: Extraído a partir de Enaru *et al.* (2021).

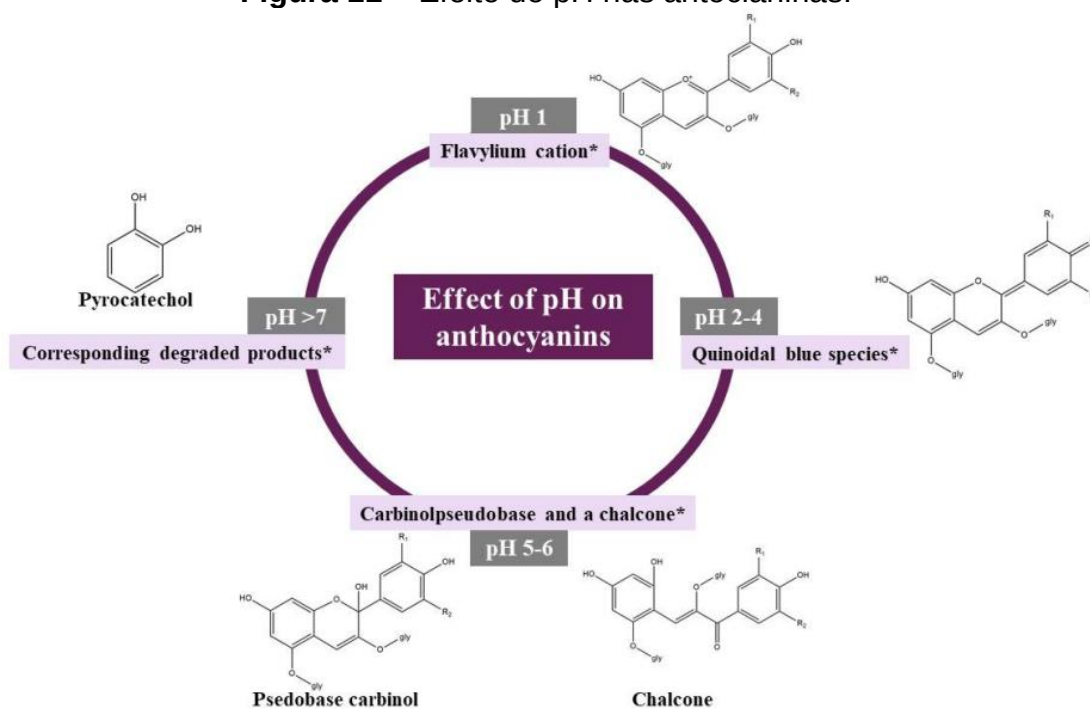
Conforme Azeredo (2012) o tempo de meia vida ($t_{1/2}$) é o tempo requerido para que a concentração de um reagente diminua à metade do valor inicial, sendo utilizado em alimentos modelos cinéticos para determinação desse tempo, a exemplo dos modelos de cinética de ordem zero e de primeira ordem, muito empregado em avaliações da oxidação de pigmentos.

Vários são os fatores que influenciam a estabilidade das antocianinas nos sucos, de acordo com Malacrida e Motta (2006) os principais são a estrutura química, o pH, a temperatura, a luz, a presença de oxigênio, a degradação enzimática e as interações entre os componentes dos alimentos. Quanto a estrutura química o grau de hidroxilação exerce importante efeito na estabilidade, sendo que as antocianinas

que contém mais grupos hidroxilas em sua estrutura são menos estáveis. Inversamente, o alto grau de metoxilação aumenta a estabilidade das antocianinas. O aumento no número de hidroxilas fenólicas muda a coloração das antocianinas de rosa para azul, sendo que a presença de grupos metoxila no lugar de hidroxilas reverte essa tendência (Malacrida; Motta, 2006).

Quanto ao pH, este tem forte influência na estabilidade dessas moléculas devido à natureza iônica da sua estrutura molecular; assim as antocianinas são encontradas em quatro formas químicas diferentes, que dependem do pH. De modo geral em um ambiente ácido, em pH = 1, as antocianinas são encontradas na forma do cátion flavílio, e esta forma também é responsável pela produção das cores vermelha e roxa. Quando o pH aumenta entre 2-4, a espécie azul quinoidal é encontrada abundantemente, enquanto em um pH entre 5-6, aparecem a pseudobase carbinol e uma chalcona, compostos que são incolores em um ambiente ácido. Finalmente, em um pH maior que 7, as antocianinas serão degradadas de acordo com os grupos substituintes. No entanto, as quatro formas de antocianinas podem coexistir em uma faixa de pH de 4-6, o equilíbrio dessas formas sendo mantido pelo cátion flavílio (Figura 11) (Enaru *et al.*, 2021). E com relação a temperatura as antocianinas são rapidamente degradadas pelo aquecimento, durante o processamento e estocagem (Malacrida; Motta, 2006).

Figura 11 – Efeito do pH nas antocianinas.



Fonte: Extraído a partir de Enaru *et al.* (2021).

No VSF o tempo de validade de sucos de uva costuma variar de um ano e meio a dois anos entre as empresas produtoras e a estabilidade desses produtos está relacionada a sua composição, processamento, armazenamento e distribuição nos pontos de venda.

3.10 Análise sensorial

A análise sensorial é definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT,1993) como a disciplina científica usada para evocar, medir, analisar e interpretar reações das características dos alimentos e materiais como são percebidas pelos sentidos da visão, olfato, gosto, tato e audição. Na caracterização de sucos de uva diversos autores se utilizam dessa ciência (Cosme; Pinto; Vilela 2018; Cruz *et al.*, 2018; De Loryn *et al.*, 2014).

De acordo com Teixeira (2009) a qualidade sensorial de um alimento é o que mantém e favorece a fidelidade do consumidor. Além da sensação de sabor ser culturalmente estabelecida; visto que cada povo tem uma alimentação e preferência alimentar característica. Portanto, não é só de valor nutricional que se analisa um alimento. E para muitos consumidores, as características sensoriais constituem um aspecto de grande importância, para determinar se o alimento vai ou não ser bem aceito (Forde; Delahunty, 2004).

De maneira geral os alimentos são capazes de evocar sensações diversas de sabor, odor, aroma, textura, dor, frio, calor, as quais, podem ser mensuradas por métodos sensoriais, que podem ser discriminativos, descritivos e afetivos (Texeira, 1987).

Os métodos discriminativos são realizados através de testes que irão indicar a existência ou não de diferença entre amostras. São testes objetivos e podem ser empregados em controle de qualidade, desenvolvimento de novos produtos e para testar a precisão e a confiabilidade dos provadores (Teixeira, 2009). São exemplos de testes discriminativos: teste triangular, duo -trio, ordenação, comparação pareada e comparação múltipla (IAL, 2008).

Os testes sensoriais descritivos se destacam na especificação das características de atributos complexos, como aroma, fragrância, sabor e misturas de odores voláteis (Lawless, 1999). Uma das suas principais contribuições é permitir uma relação entre descrição sensorial e de dados instrumentais ou medidas de preferência de consumidores (Murray *et al.*, 2001).

A Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) é a técnica de descrição sensorial mais utilizada na área de alimentos, pois permite o levantamento, a descrição e a quantificação dos atributos sensoriais detectáveis no produto, utilizando julgadores com alto grau de treinamento e análise estatística dos dados (Stone; Sidel, 2004). Esta metodologia possui inúmeras aplicações, como por exemplo, o acompanhamento de produtos concorrentes, testes de armazenamento para verificar possíveis alterações no decorrer do tempo, desenvolvimento de novos produtos, controle da qualidade de alimentos, determinações químicas versus respostas sensoriais, dentre outras (Murray; Delahunty; Baxter, 2001).

Outras maneiras de estudar as expectativas sensoriais é aplicar os testes check-all-that-apply (CATA) e sua variante Rate-All-That-Apply (RATA); estes métodos são facilmente aplicáveis. Neles a amostra é apresentada aos avaliadores, juntamente com uma lista predefinida de termos descritores, a partir do qual eles são solicitados a identificar aqueles que acreditam descrever a amostra (Ares *et al.*, 2010; Ares *et al.*, 2014). Assim o CATA e o RATA são usados para caracterizar o produto através de descritores; no CATA os avaliadores são orientados a marcar todos os atributos que acreditam descrever a amostra (Ares *et al.*, 2010). E o RATA é usado para quantificar esses descritores usando uma escala numérica de intensidade (1-pouco/fraco, até 5-muito/forte), através de um painel não treinado. No método RATA, não há um consenso sobre o número ideal de pontos para uma escala de intensidade. No entanto, foi sugerido que a menor escala possível deve ser usada para manter a rapidez e a simplicidade para os avaliadores (Ares *et al.*, 2014).

Os métodos sensoriais afetivos, têm o objetivo de avaliar a preferência e, conseqüentemente, a aceitação dos consumidores de um ou mais produtos (Texeira, 1987). No teste de preferência o avaliador é orientado a identificar a amostra preferida em detrimento de outra. A preferência é uma apreciação pessoal, geralmente influenciada pela cultura (princípios religiosos, grupos raciais, vivência familiar, posição social, entre outros), além da qualidade do alimento. São necessárias equipes grandes para se obter uma diferença estatisticamente significativa nos resultados, que represente a população à qual o produto se destina (Anzaldúa-Morales, 1994; Pedrero; Pangborn, 1989; Moraes, 1988; Teixeira *et al.*, 1987). Para se determinar a preferência pode-se empregar os métodos pareados, por ordenação ou por escala hedônica (Moraes, 1988). Nos testes de aceitação é mensurado o desejo de uma pessoa em adquirir um produto. A aceitação de um produto varia com os padrões de

vida e a base cultural e demonstra a relação do consumidor diante de outros aspectos, além do sensorial, a exemplo do preço (Teixeira *et al.*, 1987; Moraes, 1988). Além dos testes de aceitação outro importante teste afetivo é de intenção de compra (IAL, 2008).

Na análise sensorial os procedimentos de preparo e apresentação de amostras são etapas críticas e devem ser padronizados segundo o tipo, a espécie ou a variedade de produto. Basicamente, recomendam-se os seguintes procedimentos: amostra representativa e codificada, seguindo o modo de preparo adequado, segundo recomendações do fabricante, serviço em recipientes próprios, controle de temperatura e das condições ambientais (IAL, 2008). A Figura 12 apresenta registros da análise sensorial realizada na presente pesquisa.

Figura 12 – Registros da avaliação sensorial de sucos de uva.



Fonte: Próprio autor (2024).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Experimentos

Três experimentos foram conduzidos de forma independente. O primeiro experimento consistiu no estudo da bioacessibilidade de sucos de uva monovarietais. O segundo experimento foi realizado em escala industrial e consistiu no estudo de dois sistemas de prensagem (hidráulico e pneumático), além da análise da incorporação do suco obtido da prensagem ao suco integral. O terceiro experimento investigou a influência de preparações enzimáticas comerciais na qualidade e estabilidade dos sucos de uva, no período de 360 dias. Um resumo da condução dos experimentos é apresentado na Figura 13.

4.2 Uvas e processo de elaboração dos sucos

As uvas utilizadas no experimento foram doadas por empresas produtoras de suco de uva da região do Vale do Submédio São Francisco, no nordeste do Brasil. Durante o experimento, foram elaborados sucos monovarietais das cultivares Isabel Precoce, BRS Cora, BRS Violeta, BRS Magna e BRS Carmem, além de blends das variedades Isabel Precoce e BRS Cora, na proporção de 80% e 20%, respectivamente, conforme a formulação comercialmente produzida pela empresa doadora.

Todos os sucos foram elaborados pelo método *Hot Press*, seguindo os procedimentos descritos por Silva *et al.* (2019), em três repetições. O processo de elaboração dos sucos consistiu no desengace e esmague das uvas, seguido da adição de preparados enzimáticos a base de pectinases (3 mL para cada 100kg de uva); maceração a 60 °C por 60 minutos, drenagem, prensagem, filtração, pasteurização a 85 °C por 60 segundos, envase à quente; e resfriamento até uma temperatura inferior a 40°C. Um fluxograma do processo de elaboração é apresentado na Figura 3.

Figura 13 – Resumo da condução dos experimentos



Fonte: Próprio autor (2024).

4.3 Análises da qualidade: parâmetros básicos e cor

Foram realizadas as análises básicas da qualidade: Sólidos solúveis, acidez titulável, ratio e pH, seguindo os procedimentos descritos na Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV, 2022); e as análises de cor, de acordo com protocolo de Glories (1984).

As análises de sólidos solúveis (°Brix) foram realizadas em um refratômetro digital, modelo HI 96801 (Hanna, Estados Unidos), previamente higienizado e zerado com água destilada, em seguida, com auxílio de uma pipeta de Pasteur, gotejou-se o suco no prisma do refratômetro para que a leitura fosse realizada.

A análise de acidez foi realizada por meio de titulação ácido-base; neste procedimento utilizou-se 5 mL da amostra e 45 mL de água destilada; e com o auxílio de uma bureta contendo solução padronizada de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N procede-se a titulação até o ponto de equivalência (pH 8,2). A acidez foi expressa através da equação 1.

Equação 1:

$$ATT_{(g/100\text{ mL})} = \frac{n \times N \times Eq}{10 \times V}$$

Onde:

ATT= acidez titulável

N = normalidade da solução de hidróxido de sódio.

n = volume da solução de hidróxido de sódio gastos na titulação em mL.

V = volume da amostra em mL.

Eq = equivalente-grama do ácido (obs: o equivalente-grama do ácido tartárico é 75,04)

O ratio foi determinado pelo quociente da análise de sólidos solúveis pela análise de acidez (SS/ATT). A análise de pH foi realizada utilizando pHmetro digital, modelo PHS-3B (Tecnal, Brasil), previamente calibrado nas soluções tampão 7, seguida da solução tampão 4.

E as análises de cor foram realizadas em espectrofotômetro UV-Visível modelo UV 2000A (Instrutherm, Brasil) usando cubetas de vidro de 0,5 cm de percurso óptico; a determinação da intensidade de cor foi obtida pela soma das absorbâncias nos comprimentos de onda 420, 520 e 620 nm, correspondendo respectivamente as

cores amarelo, vermelho e violeta. E tonalidade pela razão das absorbâncias em 420 e 520 nm.

4.4 Determinação de açúcares e ácidos orgânicos por HPLC-DAD-RID

Os açúcares e ácidos orgânicos foram mensurados seguindo a metodologia descrita por Coelho *et al.* (2018) usando um cromatógrafo líquido Agilent 1260 Infinity LC System (Agilent Technologies, Santa Clara – USA) acoplado a um detector de índice de refração (RID) (G1362A model) e um detector de arranjo de diodos (DAD) (model G1315D). Os dados foram processados usando o software OpenLAB CDS ChemStation Edition (Agilent Technologies, Santa Clara – USA). Foi utilizada uma coluna de troca iônica Agilent Hi-Plex H (300×7,7 mm) com partículas internas de 8,0 µm protegida por uma pré coluna PL Hi-Plex H (5×3 mm) (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA). A temperatura do compartimento da coluna foi mantida a 70 °C e a do RID foi mantida a 50 °C. A vazão aplicada foi de 0,5 mL/min com tempo de execução de 20 min. A fase móvel foi 4,0 mM/L H₂SO₄ em água ultrapura. A amostra a ser injetada foi preparada a partir de uma alíquota de 500 µL de suco diluído em 1 mL de água ultrapura e filtrada em membrana de nylon de 0,45 µm (MillexMillipore, Barueri, SP, Brazil) para que 10 µL da solução fosse injetada no cromatógrafo. Os ácidos orgânicos foram detectados em DAD (210 nm) e os açúcares em RID. A identificação e quantificação foram feitas por comparação com padrões externos, com as curvas de calibração apresentado $R^2 > 0,997$. Os limites de detecção (LOD) foram < 0,01 g/L para ácidos orgânicos e < 0,102 g/L para açúcares.

4.5 Determinação de compostos fenólicos individuais por HPLC-DAD

O perfil fenólico individual foi determinado seguindo metodologia descrita por Padilha *et al.* (2017) com adaptações de Dutra *et al.* (2018a), utilizando um cromatógrafo líquido Agilent 1260 Infinity LC System (Agilent Technologies, Santa Clara – USA) acoplado a um detector de arranjo de diodos (DAD) (model G1315D). Os dados foram processados usando o software OpenLAB CDS ChemStation Edition (Agilent Technologies, Santa Clara – USA). A coluna utilizada foi a Zorbax Eclipse Plus RP-C18 (100 × 4,6 mm, 3,5 µm) e a pré-coluna foi a Zorbax C18 (12,6 × 4,6 mm, 5 µm) (Zorbax, USA). A temperatura do forno foi mantida em 35°C e o volume de injeção foi de 20 µL da amostra, previamente diluída em fase A e filtrada em membrana de 0,45 µm (MillexMillipore, Barueri, SP, Brazil). O fluxo de solventes foi

de 0,8 mL/min. O gradiente utilizado na separação foi 0-5 min: 5% B; 5-14 min: 23% B; 14-30 min: 50% B; 30-33 min: 80% B, onde o solvente A foi composto de uma solução de ácido fosfórico (pH 2,0) e o solvente B foi composto de metanol acidificado com H_3PO_4 0,5%. A detecção dos compostos foi realizada nos comprimentos de onda 220 nm, 280 nm, 320 nm, 360 nm e 520 nm, e a identificação e quantificação por comparação com padrões externos, onde as curvas de calibração mostraram $R^2 > 0,998$.

4.6 Análise da capacidade antioxidante *in vitro*

As capacidades antioxidantes dos sucos (AOX) foram medidas usando métodos espectrofotométricos. As medições foram realizadas por meio dos métodos de DPPH $^{\bullet}$, ABTS $^{+\bullet}$, FRAP e a capacidade redutora do reagente de Folin-Ciocalteu (Singleton; Rossi, 1965). Para os métodos de sequestro de radicais livres DPPH $^{\bullet}$ e ABTS $^{+\bullet}$, o padrão analítico Trolox foi usado para construir as curvas de calibração em concentrações de 200 a 1200 $\mu\text{mol/L}$ ($R^2 = 0,998$). Os resultados foram expressos como equivalentes de Trolox por litro de suco (mmol TE/L), seguindo respectivamente as metodologias de Kim, Guo e Packer (2002) e Re *et al.* (1999). Para o método FRAP a curva de calibração foi preparada utilizando sulfato ferroso, em concentrações de 100 a 2000 $\mu\text{mol/L}$ ($R^2 = 0,999$) e seguiu o protocolo descrito por Rufino *et al.* (2006).

Folin-Ciocalteu: na análise da capacidade redutora do reagente de Folin-Ciocalteu foi adicionado em tubos de ensaio: 100 μL da amostra, previamente diluída, 7,90 mL de água destilada e 0,50 mL do reagente Folin-Ciocalteu. Após 3 a 8 minutos foi acrescentado 1,50 mL de solução saturada de Na_2CO_3 20%. As soluções nos tubos de ensaio foram homogeneizadas e guardadas em repouso por 2 horas. Após esse tempo foi realizada a leitura na absorbância de 765 nm. O espectro foi zerado com branco dos reagentes e os resultados foram obtidos por meio de curva de calibração construída no ácido gálico (25–500 mg/L, $R^2 = 0,998$).

DPPH: no método do DPPH a atividade antioxidante foi mensurada pela taxa de decaimento da absorbância a 517 nm. Preparou-se uma solução de DPPH (1mM) em etanol corrigida para uma absorbância de $0,900 \pm 0,05$. A absorbância da solução de DPPH foi determinada no tempo $t=0$ e 30 min após adição das amostras. E para o preparo da amostra em um tubo de ensaio foi adicionado 100 μL do suco (previamente diluído) a 2,90 mL da solução de DPPH 1,0 mM.

ABTS: o radical ABTS (1 mM) foi formado através da reação de 7 mM de ABTS em persulfato de potássio 140 mM na ausência de luz por 16 h. Então a solução preparada foi diluída em etanol até uma absorção de $0,700 \pm 0,05$. A atividade de eliminação do radical ABTS das amostras foi determinada pela taxa de decaimento na absorbância a 734 nm, determinada no tempo $t = 0$ min e 6 min após a adição das amostras. Para o preparo das amostras foi adicionado 30 μ L do suco (previamente diluído) a 3,0 mL da solução radical ABTS.

FRAP: Para determinação da AOX pelo método FRAP foi preparado uma solução contendo 90 μ L de suco previamente diluído, 2,70 mL do reagente FRAP e 270 μ L de água. Para o controle foi utilizado 360 μ L de água destilada e 2,70 mL do reagente FRAP. As amostras foram incubadas em termoreator de tubos a 37°C por 30 minutos. E em seguida foi realizado a leitura a 595 nm.

4.7 Avaliação da bioacessibilidade utilizando um modelo de digestão *in vitro*

A avaliação da digestão gastrointestinal *in vitro* do suco de uva foi realizada segundo o protocolo INFOGEST (Minekus *et al.*, 2014), acrescentando a simulação da passagem pela barreira intestinal, conforme descrito por Barreto *et al.* (2023). O processo compreendeu três etapas: processo digestivo na boca, estômago (gástrico) e intestino delgado (duodenal) (Minekus *et al.*, 2014).

Para o processo digestivo na boca ou fase oral: foi pipetado 3,5 mL do fluido solução saliva (mistura de KCl 0,5 mol/L, KH_2PO_4 0,5 mol/L, NaHCO_3 1 mol/L, $\text{MgCl}_2(\text{H}_2\text{O})_6$ e $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 0,5 mol/L; pH ajustado para 7), em 5 mL da amostra; logo após foi adicionado 0,5 mL de alfa amilase (1500 U/mL), 25 μ L de CaCl_2 a 0,3 M e 975 μ L de água ultrapura. A mistura foi homogeneizada por 2 minutos a 37 ± 2 °C, simulando a mastigação ou passagem do alimento pela boca.

Para o processo digestivo no estômago ou fase gástrica: foi adicionado a mistura da solução da fase oral 7,5 mL do fluido solução fase gástrica (mistura de KCl 0,5 mol/L, KH_2PO_4 0,5 mol/L, NaHCO_3 1 mol/L, NaCl 2 mol/L, $\text{MgCl}_2(\text{H}_2\text{O})_6$ 0,15 mol/L e $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 0,5 mol/L; pH ajustado para 3), 1,6 mL de pepsina (25 000 U/mL), 5 μ L de CaCl_2 0,3 mol/L, 200 μ L de HCl 1 mol/L e 0,695 μ L de água ultrapura. Logo após a mistura foi homogeneizada por 2 minutos e incubada a 37°C no escuro por 2 h com agitação constante, simulando os movimentos peristálticos, a temperatura foi controlada a 37 ± 2 °C. Uma alíquota de 1 mL dessa solução foi reservada para a análise de fenólicos por HPLC.

Processo digestivo no intestino delgado (duodenal) ou fase intestinal: foi adicionado a mistura da solução fase gástrica (quimo gástrico) 11 mL de fluido solução fase intestinal (mistura de KCl 0,5 mol/L, KH₂PO₄ 0,5 mol/L, NaHCO₃ 1 mol/L, NaCl 2 mol/L e MgCl₂(H₂O)₆ 0,15 mol/L; pH ajustado para 7), 5 mL de solução pancreatina (800 U/mL), 1 mL de sais biliares (25mg de bile/mL de amostra), 40 µL de CaCl₂ 0,3 mol/L, 150 µL de NaOH 1 mol/L e 1,31 mL de água ultrapura. Logo após a mistura foi homogeneizada por 2 minutos, e então pipetado 10 mL da mistura da fase intestinal no saco de diálise (previamente hidratado) e o mesmo foi fechado, sem espaço de ar; e imersos em tubos contendo 19 mL de NaHCO₃ 0,1 mol/L, logo após os tubos foram incubados a uma temperatura de 37 ± 2 °C no escuro por 2 horas com agitação constante para simulação do processo digestivo no intestino; então, após a simulação da fase intestinal uma alíquota de 1 mL dessa solução foi reservada para avaliar fenólicos por HPLC, Considerou-se a fração dialisada como a alíquota que atravessou o saco de diálise, e a fração não dialisada como a alíquota que permaneceu no saco de diálise. A bioacessibilidade foi calculada por meio da equação 2.

Equação 2:

$$\text{Bioacessibilidade (\%)} = \frac{\text{Fração dialisada}}{\text{Fração não dialisada (amostra)}} \times 100$$

4.8 Determinação da atividade enzimática

Foram determinadas as atividades enzimáticas de pectinase (PE), poligalacturonase (PG), pectina liase (PL), pectina metilesterase (PME) e celulase (CE) em preparações enzimáticas comerciais. Foi utilizado um espectrofotômetro UV-visível UV 2000A (Instrutherm, Brasil) nas avaliações. Foi usado pectina e ácido poligalacturônico como substratos de atividade de PE e PG, respectivamente. As curvas de calibração foram construídas no ácido galacturônico.

Para a análise de PE e PG: 100 µL da enzima diluída foram adicionados a 900 µL do substrato (1 g/L) preparado em tampão citrato de sódio (50 mmol/L, pH 4,8) incubado a 37 °C por 1 min para PE e 2 min para PG. As leituras foram feitas em um comprimento de onda de 540 nm. A quantidade de grupos redutores foi estimada usando o método do ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), de acordo com Miller (1959), onde uma unidade de PE e PG foi definida como a quantidade de enzima necessária

para liberar 1 mmol de grupos redutores por minuto nas condições de reação. As atividades de PE e PG foram determinadas, conforme equação 3.

Equação 3:

$$U/ml = \frac{C \times vf \times fdil}{t \times ve}$$

Onde:

C= Concentração de grupos redutores liberados (mg/mL)

Vf= Volume final da reação (mL)

Fdil = Fator de diluição

t= Tempo de reação (min)

ve= Volume de enzima (mL)

A atividade de PL, PME e CE foi analisada seguindo o protocolo descrito por Dal Magro *et al.* (2016). A PL foi estimada medindo o aumento da absorbância a 235 nm devido à formação de produtos insaturados. Para a determinação, 50 µL da enzima diluída foram adicionados a 950 µL da solução de pectina (4 g/L) preparada em tampão citrato de sódio (50 mmol, pH 4,8) incubada a 37 °C por 1 min. A reação foi interrompida pela adição de 3 mL de HCl 0,5 mol/L. Uma unidade de PL foi definida como a quantidade de enzima que produz 1 nmol de uronídeo insaturado ($\epsilon = 5500 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ a 235 nm) por minuto sob as condições de reação, equação 4.

Equação 4:

$$U/ml = \frac{Abs \times vf \times fdil}{Em \times L \times t \times ve}$$

Onde:

Abs= Absorbância das amostras

Vf= Volume final da reação em mL

Fdil= Fator de diluição

Em= Coeficiente de extinção molar

L=Comprimento que a luz atravessa na amostra (cm)

t= Tempo de reação (min)

ve= Volume de enzima (mL)

A atividade da PME foi estimada pela titulação dos grupos carboxílicos liberados pela desesterificação da pectina cítrica. Para a análise, 100 µL da enzima diluída foram adicionados a 9,9 mL de solução de pectina (5 g/L) preparada em tampão NaCl (0,15 mol/L, pH 4,5). A reação ocorreu por 10 min a 30 °C. A titulação potenciométrica das amostras foi realizada com NaOH (0,02 mol/L) para pH 4,5. Uma unidade PME foi definida como a quantidade de enzima que libera 1 miliequivalente de grupos carboxila por minuto sob as condições de reação. Os valores de PME foram determinados, conforme equação 5.

Equação 5:

$$U/ml = \frac{mL\ NaOH \times M\ NaOH \times fdil \times 1000}{t \times ve}$$

Onde:

mL NaOH= Volume gasto de NaOH (mL)

M NaOH= molaridade da solução de NaOH

Fdil= Fator de diluição

t= Tempo de reação (min)

ve= Volume de enzima (mL)

A atividade da CE foi determinada usando papel de filtro como substrato (celulose). A curva de calibração foi obtida com glicose. Para a análise, 50 µL da enzima previamente diluída foram adicionados a 500 µL de tampão citrato de sódio (50 mmol/L, pH 4,8) contendo 50 mg de papel de filtro. A reação foi realizada a 50 °C por 5 min sob agitação. Os açúcares redutores liberados foram estimados usando o método DNS, de acordo com Miller (1959). Uma unidade de CE foi definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 mmol de grupos redutores por minuto sob as condições de reação. Os valores de CE foram determinados conforme equação 1.

4.9 Análise sensorial

Foi realizada análise descritiva, teste de aceitação e intenção de compra, a ficha de avaliação sensorial está apresentada no apêndice 1. Para a realização da análise sensorial foi aprovado um projeto no Comitê de Ética em Pesquisa em Seres

Humanos (CAAE n.º 64362022.9.0000.8052) (Apêndice 2). Todas as amostras foram avaliadas por 100 consumidores de suco de uva integral (consumo regular de pelo menos um copo por semana). A análise foi realizada no laboratório de análise sensorial do IF Sertão Pernambucano, Campus Petrolina-PE, sendo recrutados a participar alunos de graduação e pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, técnicos de laboratório e professores. Foram selecionados 26 voluntários do sexo masculino e 74 do sexo feminino, com idades entre 18 e 59 anos. Os participantes descreveram os perfis sensoriais das amostras e avaliaram sua aceitabilidade em uma única sessão de avaliação, com as amostras servidas de uma única vez. O teste foi realizado em cabines individuais com a temperatura do laboratório mantida em 22 ± 2 °C. Foram servidas trinta microlitros das amostras à temperatura de 8 ± 2 °C em copos para degustação, codificadas com três dígitos. A Figura 12 mostra alguns registros da análise sensorial. A ordem de apresentação das amostras entre os participantes seguiu o delineamento de blocos completamente balanceados proposto por Macfie *et al.* (1989) para a avaliação de cinco amostras. Os avaliadores foram instruídos a limpar o palato com água mineral e bolachas sem sal antes de cada amostra.

A análise descritiva foi realizada por meio do método Rate-All-That-Apply (RATA) (Ares *et al.*, 2014). A seleção dos termos descritores para o formulário de avaliação foi previamente conduzida por um grupo focal (Alencar *et al.*, 2019), composto por nove especialistas em avaliação sensorial de suco de uva. O grupo focal selecionou 12 termos descritivos para caracterizar os perfis sensoriais das amostras de suco de uva: cor violeta, limpidez, intensidade aromática, aroma doce, aroma cozido, aroma de suco de uva, sabor doce, sabor ácido, sabor de suco de uva, sabor cozido, refrescância e adstringência. Os termos selecionados foram apresentados no formulário de avaliação sensorial e para cada termo, os avaliadores ($n = 100$) foram instruídos a avaliar se o termo se aplicava ou não para descrever a amostra e identificar a intensidade percebida usando uma escala estruturada de 5 pontos ancorada com os termos: “1- poquíssimo”, “2- pouco”, “3- médio”, “4- muito” e “5- muitíssimo”.

Os testes de aceitação e intenção de compra foram realizados durante a mesma sessão de avaliação sensorial. Para avaliar a aparência, aroma, sabor e aceitabilidade geral dos sucos de uva, foi aplicada uma escala hedônica híbrida de 9 pontos (1 = desgostei extremamente, 5 = nem gostei nem desgostei e 9 = gostei extremamente) proposta por Biasoto *et al.* (2014). Para o teste de intenção de compra

(Meilgaard *et al.*, 2006), foi utilizada uma escala de 5 pontos: 1 = certamente não compraria, 2 = possivelmente não compraria, 3 = talvez comprasse, talvez não comprasse, 4 = possivelmente compraria e 5 = certamente compraria.

4.10 Delineamento experimental e análise estatística

Foram realizados três experimentos independentes, conduzidos utilizando delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), em 3 repetições. Todos os dados foram processados utilizando os softwares: Past (Past, Paleontological Statistics, versão 4.03), Statistica version 7.0 software (Tibco, Statistica, Palo Alto, CA, USA) e XLStat version 2015 (Addinsoft, Paris, France). Detalhes sobre as análises estatísticas são contidas nos manuscritos.

5 RESULTADOS

O desenvolvimento do presente estudo, vinculado à tese de doutorado, resultou na publicação de três artigos científicos, conforme especificado abaixo:

- Dutra et al., Bioaccessibility of phenolic compounds from brazilian grape juices using a digestion model with intestinal barrier passage. *Food Bioscience*. v. 52, p. 102501, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102501>
- Dutra et al., The juice incorporation from grape pomace pressing positively influence the yield and chemical composition without affecting its sensory profile. *LWT – Food Science and Technology*. v. 217, p. 117372, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117372>
- Dutra et al., Impact of commercial preparations of pectinases on the chemical composition and stability of phenolic compounds in grape juices. *Journal of Food Biochemistry*. V. 2025, 13 pages, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1155/jfbc/2856691>

5.1 Artigo 1: Bioacessibilidade de compostos fenólicos de sucos de uva brasileiros utilizando um modelo de digestão com passagem pela barreira intestinal (<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102501>).

Bioacessibilidade de compostos fenólicos de sucos de uva brasileiros utilizando um modelo de digestão com passagem pela barreira intestinal

Maria da Conceição Prudêncio Dutra¹, Ana Beatriz Martins da Silva², Ederlan de Souza Ferreira¹, Ana Julia de Brito Araujo Carvalho², Marcos dos Santos Lima^{2*}, Aline Camarão Telles Biasoto^{3,4}

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, Faculdade de Farmácia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Laboratório de Cromatografia Líquida, Zona Industrial, *Campus* Petrolina, Pernambuco, Brasil.

³Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Semiárido, Petrolina, Pernambuco, Brasil.

⁴Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, São Paulo, Brasil.

* Autores para correspondência. Tel: +55 87 2101-4300

E-mail: marcos.santos@ifsertao-pe.edu.br

E-mail: maria.cp.dutra@gmail.com

Publicado no Periódico: *Food Bioscience*

ISSN: 2212-4292

Maior percentil (Scopus): 78%

Ano: 2023

Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102501>

RESUMO

Os sucos de uva são ricos em compostos bioativos; no entanto, para que esses compostos exerçam sua funcionalidade, eles devem ser bioacessíveis. Assim, o presente estudo avaliou o processo de digestão simulada sobre os principais compostos bioativos de sucos de uva monovarietais de cinco cultivares híbridas brasileiras (*V. vinifera* x *V. labrusca*). Foram realizadas a caracterização dos perfis químicos por cromatografia líquida (HPLC-DAD-RID), a avaliação do comportamento dos fenólicos nas etapas da digestão e a bioacessibilidade por meio do protocolo INFOGEST, além da passagem pela barreira intestinal. Dos 24 polifenóis identificados nas amostras de suco de uva, 11 foram bioacessíveis, com destaque para a classe dos flavanóis. A procianidina B2 (101- 426%), a (+)-catequina (169-370%) e o ácido gálico (61-230%) se destacaram em todos os sucos, evidenciando que esses compostos são essenciais para a funcionalidade dessas bebidas. Foram observadas particularidades entre os sucos, demonstrando que fatores como a cultivar devem ser explorados mais amplamente em estudos sobre alimentos funcionais. O estudo também sugere que componentes de qualidade, como açúcares e ácidos orgânicos, influenciam a bioacessibilidade dessas bebidas.

Palavras-chave: Cultivares de uva; bebidas funcionais; fitoquímicos; simulação da digestão; bioatividade.

1 INTRODUÇÃO

Os sucos de uva são matrizes ricas em compostos fenólicos, associados a vários benefícios à saúde do consumidor (Toaldo et al., 2016; De Lima Tavares Toscano et al., 2019; Lima et al., 2022). Recentemente, efeitos benéficos dos polifenóis sobre o sistema imunológico contra infecções por SARS-CoV-2 foram relatados (Augusti et al., 2021; Yun Yang et al., 2022). Dentre outros efeitos farmacológicos dos compostos fenólicos, destacam-se a prevenção do risco de doenças cardíacas, diabetes *mellitus* tipo 2, diferentes tipos de câncer, obesidade, modulação da microbiota intestinal, Alzheimer, Parkinson e doenças neurodegenerativas (Dwibedi et al., 2022; Zhou et al., 2022; Xia et al., 2010). No entanto, para que os polifenóis exerçam sua bioatividade, é essencial que sejam bioacessíveis.

A bioacessibilidade dos polifenóis é frequentemente avaliada por meio de sistemas de digestão *in vitro*, devido à dificuldade da avaliação *in vivo*, causada por alterações significativas na estrutura desses compostos durante a passagem pelo trato gastrointestinal (Celep et al., 2015). Modelos de digestão gastrointestinal têm sido estudados para demonstrar seus efeitos sobre os compostos bioativos de alimentos e bebidas (Minekus et al., 2014; Lingua et al., 2018; Carneiro et al., 2022; Barreto et al., 2023). Após a simulação da passagem da amostra pelas etapas da boca, estômago e intestino, a aplicação da diálise pode simular a mobilidade dos compostos através da barreira intestinal (Barreto et al., 2023).

Assim, o uso de técnicas de simulação de digestão *in vitro* tem sido aplicado como uma ferramenta valiosa para propor uma estimativa da bioacessibilidade de compostos bioativos, especialmente os presentes em uvas e vinhos (Lingua et al., 2018; Lingua et al., 2019; Sun et al., 2020).

Estudos anteriores que estabeleceram a bioacessibilidade dos polifenóis presentes no suco de uva são escassos, e sabe-se que a composição química da matriz do suco de uva difere da dos vinhos, principalmente devido aos altos níveis de açúcares, perfil de ácidos orgânicos e ausência de etanol (Coelho et al., 2018), e esses fatores podem influenciar a bioacessibilidade dos compostos fenólicos. Alguns estudos já demonstraram alterações nas estruturas dos compostos fenólicos durante sua passagem pelo trato gastrointestinal, que causaram mudanças na acessibilidade relacionadas ao transporte pelas células intestinais, devido às condições ácidas-alcalinas do sistema digestório e ação enzimática (Lingua, 2018; Celep et al., 2015; Tagliazucchi et al., 2010; Silva Haas et al., 2018). Além disso, a composição da matriz alimentar é um determinante da bioacessibilidade dos fitocompostos, sendo assim, é importante verificar o efeito das interações entre seus componentes (Mohamedshah et al., 2020).

O Vale do Submédio São Francisco (VSF) é uma importante região do Brasil que tem investido na elaboração de sucos de uva de alta qualidade, produzidos com cultivares *V. labruscas* e híbridas (*V. vinifera* x *V. labrusca*) adaptadas ao clima tropical, como Isabel Precoce, BRS Violeta, BRS Magna, BRS Cora e BRS Carmem (Lima et al., 2014; Dutra et al., 2021; Lima et al., 2022). Trabalhos anteriores com sucos de uva do VSF foram focados na caracterização química, e nenhuma informação foi encontrada sobre a bioacessibilidade dos compostos fenólicos desses produtos.

Nesse contexto, avaliamos o efeito do processo de digestão, utilizando uma barreira intestinal simulada, na bioacessibilidade dos compostos fenólicos presentes nos sucos de uva brasileiros. Além disso, a associação da cultivar de uva utilizada, a

composição de açúcares e ácidos orgânicos na matriz e outras características físico-químicas do suco com a bioacessibilidade também foram estudadas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Matéria-prima e processamento dos sucos

Cinco cultivares de uva (Isabel Precoce, BRS Cora, BRS Violeta, BRS Magna e BRS Carmem) foram estudadas. As uvas foram colhidas em abril de 2021 e fornecidas por empresas localizadas em Petrolina-PE (latitude 09°21'S e longitude 40°40'W) e Lagoa Grande-PE (latitude 8°59'S e longitude 40°16'W). A cultivar Isabel Precoce veio da empresa Grand Valle Industrial Ltda; as cultivares BRS Violeta, BRS Magna e BRS Carmem da empresa Queiroz Galvão Alimentos S/A, Fazenda Timbaúba e a cultivar BRS Cora da empresa Asa Indústria e Comércio Ltda. Para determinar o ponto de colheita ideal, durante o período de maturação e no dia da colheita das uvas de todas as cultivares avaliadas, foi realizada uma amostragem de 200 bagas de uva coletadas aleatoriamente das regiões basal, média e apical dos cachos das parcelas (4 parcelas, cada parcela com 50 bagas) e submetidas à análise de sólidos solúveis e acidez titulável. Esse procedimento garantiu que as uvas colhidas estivessem maduras, com sólidos solúveis entre 16 e 18° Brix e acidez titulável de 0,6 a 0,7% (expressa como ácido tartárico). Os sucos monovarietais de uva foram preparados utilizando o método de prensagem a quente, conforme descrito por Silva et al. (2019). Os sucos foram elaborados em três repetições, sendo que cada repetição correspondia a um lote contendo 10 kg de uvas. Os tratamentos consistiram nos sucos monovarietais das cinco cultivares, totalizando 15 lotes de processo. As garrafas de cada lote de processo foram analisadas em triplicata, totalizando 45 amostras analisadas.

2.2 Químicos

A alfa-amilase, pepsina, pancreatina, sais biliares, sacos de diálise de 12 kDa, reagente TPTZ (2,4,6-Tri(2-piridil)-s-triazina), Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico), 2,2-azino-bis (3-etilbenzo-tilina-6 ácido sulfônico) (ABTS•+), 2,2-difenil-1-picrilhidrazila (DPPH•) e cloreto férrico hexahidratado foram obtidos da Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EUA). Água ultrapura foi obtida por purificação no sistema Marte Científica (São Paulo, SP, Brasil). Álcool etílico, persulfato de potássio, ácido fosfórico, sulfato ferroso, fosfato monobásico de potássio, cloreto de potássio, fosfato de potássio diidrogênio, bicarbonato de sódio, cloreto de sódio, cloreto de magnésio hexahidratado, cloreto de amônio, hidróxido de sódio, ácido clorídrico, cloreto de cálcio, ácido ortofosfórico e ácido sulfúrico foram adquiridos da Merck (Darmstadt, Alemanha). Padrões de ácidos málico, cítrico, tartárico, succínico e fórmico, glicose e frutose foram obtidos da Vetec química (Rio de Janeiro, RJ, Brasil). Metanol de grau HPLC foi obtido da J.T. Baker (Phillipsburg, NJ, EUA). Padrões para quantificação de compostos fenólicos, incluindo proantocianidina A₂, (-)-epicatequina galato, quercetina-3-O-rutinosídeo (rutin), (-)-epigallocatequina galato, kaempferol-3-O-glucosídeo, quercetina-3- β -D-glucosídeo, miricetina, cianidina-3-O-glucosídeo, malvidina-3-O-glucosídeo, peonidina-3-O-glucosídeo, delphinidina-3-O-glucosídeo, petunidina-3-O-glucosídeo e pelargonidina-3-O-glucosídeo foram da Extrasynthese (Genay, França). Ácido cafeico, ácido gálico, ácido *p*-cumarico, ácido clorogênico, ácido caftárico, ácido siríngico, hesperidina, proantocianidinas B₁ e B₂, (+)-catequina, (-)-epicatequina, narigenina, cianidina-3,5-O-diglucosídeo, malvidina-3,5-O-diglucosídeo e pelargonidina-3,5-O-diglucosídeo

foram da Sigma-Aldrich. Os isômeros *trans*-resveratrol e *cis*-resveratrol foram adquiridos da Cayman Chemical Company (Michigan, EUA).

2.3 Parâmetros clássicos de qualidade

Os parâmetros clássicos de qualidade dos sucos de uva foram analisados, seguindo as metodologias descritas pela Organização Internacional da Vinha e do Vinho - OIV (OIV, 2022). De forma resumida, o pH foi medido utilizando um potenciômetro digital PHS-3B (Tecnal, Brasil). Os sólidos solúveis (SS) em °Brix foram analisados com um refratômetro digital HI 96801 (Hanna, EUA), a acidez titulável (AT) por titulação com solução de NaOH 0,1 M, a intensidade de cor pela soma das absorbâncias nos comprimentos de onda de 420, 520 e 620 nm, e a tonalidade pela razão das absorbâncias em 420 e 520 nm, medidas em um espectrofotômetro UV-2000A UV-Visível (Instrutherm, Brasil).

2.4 Capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante (AOX) das amostras foi avaliada por meio de ensaios *in vitro* pelos métodos DPPH• (Kim et al., 2002), ABTS•+ (Re et al., 1999) e FRAP (Rufino et al., 2006). Para o método FRAP, o sulfato ferroso foi utilizado para a curva de calibração, e as respostas foram expressas em mmol Fe²⁺ por litro de suco de uva (mmol Fe²⁺ L⁻¹). Para os métodos de captura de radicais livres DPPH• e ABTS•+, o padrão analítico Trolox foi utilizado para construir as curvas de calibração, e os resultados foram expressos em equivalentes de Trolox por litro de suco (mmol TE L⁻¹). De forma resumida, o ensaio DPPH• foi realizado com uma solução de DPPH• (1 mmol L⁻¹) em etanol absoluto, diluída até uma absorbância de 0,900 ± 0,050 (100 µmol L⁻¹). A absorção dos radicais livres na solução foi medida pela taxa de decaimento da

absorbância a 517 nm, após 30 minutos de incubação. O ensaio de captura do radical ABTS^{•+} foi realizado utilizando uma solução de 7 mmol de ABTS^{•+} com 140 mmol de persulfato de potássio incubada a 27 °C, sem luz incidente, por 16 horas. O radical foi diluído em etanol até uma absorbância de $0,700 \pm 0,050$ a 734 nm. Para a análise de AOX, uma alíquota de 30 µL do suco foi combinada com 3000 µL do radical ABTS^{•+} e as leituras foram realizadas 6 minutos após a adição da amostra, em ambiente escuro. No teste com o reagente FRAP, uma solução de acetato (300 mmol; pH 3,6), 10 mmol de TPTZ (2,4,6-Tri(2-piridil)-s-triazina) em 40 mmol de HCl e solução de FeCl₃ a 20 mmol foi preparada. Uma mistura de 90 µL de suco, 270 µL de água deionizada e 2,7 mL de reagente FRAP foi incubada a 37 °C em um termorreator (modelo AAKER IT2002, Brasil) por 30 minutos. A absorbância foi medida a 595 nm em um espectrofotômetro. Todas as leituras de absorbância foram realizadas com um espectrofotômetro UV-Vis modelo 2000A (Instrutherm, Brasil).

2.5 Compostos bioativos, açúcares e ácidos orgânicos

Os compostos fenólicos, açúcares e ácidos orgânicos foram determinados por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), utilizando um sistema de cromatógrafo líquido Agilent 1260 Infinity LC (Agilent Technologies, Santa Clara, EUA), acoplado a um detector de índice de refração (RID) e a um detector de arranjo de diodos (DAD). Os dados foram processados com o software OpenLAB CDS ChemStation Edition (Agilent Technologies, Santa Clara, EUA). A determinação dos compostos fenólicos foi realizada em HPLC-DAD, seguindo a metodologia descrita por Padilha et al. (2017) e Dutra et al. (2018). A coluna utilizada foi a Eclipse Plus RP-C18 (100 × 4,6 mm, 3,5 µm) Zorbax, com uma pré-coluna C18 (12,6 × 4,6 mm, 5 µm) (Zorbax, EUA). A eluição foi feita em gradiente: 0-5 min: 5% da fase B e 95% da fase A; 5-14 min: 23% B; 14-

30 min: 50% B; 30-33 min: 80% B. A fase A consistia em solução aquosa de ácido fosfórico a 0,52% (pH = 2,0), e a fase B foi metanol acidificado com 0,52% de ácido ortofosfórico (H₃PO₄). Os sucos foram diluídos previamente (500 µL de suco + 1000 µL de fase A), filtrados através de uma membrana de 0,45 µm, e 20 µL foram injetados. A quantificação dos compostos fenólicos foi realizada usando curvas de calibração com padrões externos ($R^2 > 0,998$). A determinação de açúcares e ácidos orgânicos foi realizada por HPLC-DAD/RID (Coelho et al., 2018). Foi utilizada uma coluna de troca iônica (300 × 7,7 mm) com partículas internas de 8,0 µm (Hi Plex H, Zorbax) e pré-coluna (5 × 3 mm) (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA). A temperatura do forno da coluna foi mantida a 70 °C e o fluxo do solvente foi de 0,7 mL min⁻¹. A fase móvel consistia em uma solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄) a 4 mmol L⁻¹. O suco de uva foi diluído previamente em água ultrapura (500 µL de suco + 1000 µL de água ultrapura), filtrado através de uma membrana de nylon de 0,45 µm (Millex Millipore, Barueri, SP, Brasil) e injetado em volume de 10 µL. Os ácidos orgânicos foram detectados no DAD (210 nm) e os açúcares utilizando o RID.

2.6 Simulação da digestão gastrointestinal e bioacessibilidade de compostos fenólicos

A avaliação da digestão gastrointestinal (GI) *in vitro* do suco de uva foi realizada de acordo com o protocolo INFOGEST (Minekus et al., 2014), adicionando a simulação da passagem pela barreira intestinal conforme descrito por Barreto et al. (2023). Resumidamente, foi preparada uma solução contendo 5 mL de suco de uva, 3,5 mL de fluido salivar simulado (SSF), 25 µL de CaCl₂ 0,3 mol L⁻¹, 0,5 mL de α-amilase (1500 U mL⁻¹) e 975 µL de água ultrapura para simular a fase oral. O pH da

solução da fase oral foi ajustado para 7, e a mistura foi incubada por 2 minutos (37 ± 1 °C a 90 rpm). Em seguida, para imitar a fase gástrica, foram adicionados 7,5 mL de fluido gástrico simulado (SGF), contendo 5 µL de CaCl_2 0,3 mol L⁻¹, 1,6 mL de pepsina (25.000 U mL⁻¹), 200 µL de HCl a 1 mol L⁻¹ e 0,695 µL de água ultrapura; o pH foi ajustado para 3,0 e o material foi incubado (37 ± 1 °C por 2 h a 90 rpm). Em seguida, a simulação da fase intestinal foi realizada misturando 20 mL de quimo gástrico com 11 mL de fluido intestinal simulado (SIF), contendo 1 mL de sais biliares (25 mg de sais biliares/mL de amostra), 5 mL de pancreatina (800 U mL⁻¹), 40 µL de CaCl_2 0,3 mol L⁻¹, 150 µL de NaOH 1 mol L⁻¹ e 1,31 mL de água ultrapura; o pH foi ajustado para 7 (com NaOH 1 mol L⁻¹) e a solução foi mantida em agitação (90 rpm por 2 h a 37 ± 1 °C). Essa mistura (colocada dentro de um saco de diálise de 12 kDa) simulou a absorção passiva dos compostos fenólicos através da membrana do intestino delgado. Os sacos preenchidos foram imersos em NaHCO_3 0,1 M e incubados no escuro (90 rpm por 2 h a 37 °C). A solução dentro do saco (fração não dialisada) foi separada e armazenada, representando o material que permaneceu no trato gastrointestinal. A fração que passou através da membrana de diálise (dialisada) foi separada, representando a fração disponível para absorção na corrente sanguínea (potencialmente biodisponível). A bioacessibilidade dos compostos fenólicos foi calculada pela Eq. (1):

$$\text{Bioacessibilidade (\%)} = \frac{\text{Fração dialisada}}{\text{Fração não dialisada (suco de uva integral)}} \times 100$$

2.7 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e comparados pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro. Análises multivariadas foram realizadas utilizando as técnicas de Análise de Componentes Principais (PCA) e

Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA), utilizando os softwares Past (Paleontological Statistics) versão 4.03 (Hammer et al., 2001) e XLStat versão 2015 (Addinsoft, Paris, França).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Parâmetros físico-químicos e capacidade antioxidante dos sucos

Os resultados obtidos para a caracterização dos sucos de uva monovarietais estão mostrados na Tabela Suplementar S1. Os valores obtidos para os parâmetros básicos de qualidade estão de acordo com os padrões de identidade e qualidade para sucos de uva brasileiros (Brasil, 2018). A intensidade da cor variou entre as cultivares, com valores mais elevados para os sucos de BRS Violeta (30,52) e BRS Cora (26,62).

A média de açúcares totais quantificados por HPLC-RID variou de 122,76 a 206,54 g L⁻¹ nos sucos de BRS Magna e Isabel Precoce, respectivamente. A soma dos ácidos orgânicos totais variou entre as cinco cultivares, com Isabel Precoce (6,65 g L⁻¹) e BRS Violeta (8,22 g L⁻¹) representando os menores e maiores valores, respectivamente. Os principais ácidos orgânicos quantificados nos sucos foram os ácidos tartárico e málico. No presente estudo, os resultados encontrados foram semelhantes aos relatados em outros estudos com sucos de uva brasileiros (Lima et al., 2014; Coelho et al., 2018; Dutra et al., 2021).

Um total de 24 compostos fenólicos foram quantificados nos sucos por HPLC-DAD. Os sucos que apresentaram a maior quantidade total de compostos fenólicos quantificados, em ordem decrescente, foram BRS Magna > BRS Violeta > BRS Cora > Isabel Precoce > BRS Carmem. Nos sucos de Isabel Precoce, BRS Cora, BRS Magna e BRS Carmem, o principal flavanol quantificado foi o procianidina B₂, com valores médios variando de 13,26 mg L⁻¹ (BRS Carmem) a 16,72 mg L⁻¹ (BRS Magna).

No suco da cultivar BRS Violeta, os flavanóis (-)-epigallocatequina galato e (+)-catequina se destacaram, com valores de 11,80 e 9,20 mg L⁻¹, respectivamente. Do grupo dos flavonóis, a miricetina foi predominante em todos os sucos avaliados, com valores variando de 69,20 mg L⁻¹ (BRS Carmem) a 178,06 mg L⁻¹ (BRS Violeta).

Sete antocianinas foram quantificadas, sendo a petunidina-3-O-glicosídeo a majoritária nos sucos de BRS Cora, BRS Violeta e BRS Magna, com valores médios de 115,50, 254,90 e 128,74 mg L⁻¹, respectivamente. Para os sucos de Isabel Precocce e BRS Carmem, a antocianina predominante foi o malvidina-3-5-O-diglicosídeo. Do grupo dos estilbenos, o *trans*-resveratrol é o composto mais prevalente nas uvas (Lorenzo et al., 2019), sendo identificado em todos os sucos avaliados, com níveis variando de 0,33 a 4,70 mg L⁻¹ nos sucos de BRS Violeta e Isabel Precocce, respectivamente.

Do grupo dos flavanonas, foi identificada a presença de naringenina, e da classe dos ácidos fenólicos, o ácido gálico (7,5–11,1 mg L⁻¹), ácido siríngico (4,1–7,7 mg L⁻¹), ácido cafeico (1,1–2,3 mg L⁻¹) e ácido caftarico (272–625 mg L⁻¹). Este último fitoquímico também foi destacado em outros trabalhos, por exemplo, como o principal ácido fenólico em sucos e uvas de SFV (Dutra et al., 2018; Padilha et al., 2017; Dutra et al., 2021).

No presente estudo, a capacidade antioxidante (AOX) foi avaliada pelos métodos de captura de radicais livres DPPH• e ABTS•+ e pelo poder redutor do ferro (FRAP). De modo geral, todas as amostras avaliadas apresentaram alta capacidade antioxidante (Tabela S1), com destaque para os sucos das cultivares BRS Cora e BRS Violeta. Os valores para o método DPPH• variaram de 7,25 mM TE L⁻¹ (BRS Carmem) a 22,97 mM TE L⁻¹ (BRS Cora). Para o método ABTS•+, os valores variaram de 15,27 mM TE L⁻¹ (BRS Magna) a 38,35 mM TE L⁻¹ (BRS Cora). No método FRAP, os valores

290 variaram de 26,58 mM Fe²⁺ L⁻¹ (BRS Magna) a 78,95 mM Fe²⁺ L⁻¹ (BRS Cora). Os
291 resultados encontrados corroboram com os de outros estudos que avaliaram a
292 capacidade antioxidante de sucos oriundos de viticultura em condições climáticas
293 tropicais (Padilha et al., 2017; Lima et al., 2022).

Tabela Suplementar S1. Perfil químico de sucos de uva de cinco cultivares brasileiras.

Variáveis	Sucos de uva monovarietais				
	Isabel Precoce	BRS Cora	BRS Violeta	BRS Magna	BRS Carmem
pH	3,73 ± 0,02 ^b	3,57 ± 0,01 ^c	3,43 ± 0,01 ^d	3,74 ± 0,01 ^b	3,90 ± 0,02 ^a
Sólidos solúveis -SS (°Brix)	23,20 ± 0,0 ^a	22,22 ± 0,16 ^b	20,15 ± 0,04 ^c	16,35 ± 0,04 ^e	19,80 ± 0,0 ^d
Acidez titulável - TA (%)	0,56 ± 0,0 ^e	0,80 ± 0,0 ^b	0,83 ± 0,01 ^a	0,69 ± 0,0 ^c	0,60 ± 0,0 ^d
Ratio (SS/TA)	41,78 ± 0,0 ^a	27,65 ± 0,01 ^c	24,41 ± 0,04 ^d	23,89 ± 0,19 ^e	32,98 ± 0,0 ^b
Intensidade de cor	11,69 ± 0,54 ^d	26,62 ± 0,60 ^b	30,52 ± 0,20 ^a	15,77 ± 0,72 ^c	15,72 ± 0,27 ^c
Tonialidade	0,72 ± 0,01 ^a	0,59 ± 0,01 ^b	0,37 ± 0,01 ^e	0,47 ± 0,01 ^d	0,55 ± 0,02 ^c
Açúcares (g L ⁻¹)					
Glicose	106,92 ± 2,58 ^a	81,82 ± 0,06 ^b	82,82 ± 2,79 ^b	64,08 ± 0,09 ^c	81,14 ± 2,23 ^b
Frutose	99,62 ± 2,30 ^a	79,36 ± 0,04 ^b	77,80 ± 2,54 ^b	58,68 ± 0,06 ^c	74,68 ± 1,95 ^b
Σ Açúcares	206,54 ± 4,88	161,18 ± 0,10	160,62 ± 5,33	122,76 ± 0,15	155,82 ± 4,18
Ácidos orgânicos (g L ⁻¹)					
Ácido cítrico	0,55 ± 0,22 ^a	0,46 ± 0,01 ^{ab}	0,12 ± 0,01 ^b	0,16 ± 0,01 ^b	0,24 ± 0,01 ^{ab}
Ácido tartárico	3,96 ± 0,01 ^b	3,77 ± 0,13 ^b	4,34 ± 0,11 ^a	3,40 ± 0,01 ^c	3,86 ± 0,08 ^b
Ácido málico	1,76 ± 0,03 ^c	2,80 ± 0,01 ^b	3,34 ± 0,11 ^a	3,24 ± 0,01 ^a	2,86 ± 0,04 ^b
Ácido succínico	0,38 ± 0,01	ND	0,42 ± 0,04	ND	ND
Σ Ácidos orgânicos	6,65 ± 0,27	7,03 ± 0,15	8,22 ± 0,27	6,80 ± 0,03	6,96 ± 0,13
Compostos fenólicos (mg L ⁻¹)					
<i>Flavanóis</i>					
(+)-Catequina	1,54 ± 0,04 ^c	1,58 ± 0,04 ^c	9,20 ± 0,13 ^a	2,36 ± 0,06 ^b	2,66 ± 0,21 ^b
(-)-Epicatequina	1,72 ± 0,09 ^a	ND	0,46 ± 0,01 ^b	0,42 ± 0,01 ^b	1,64 ± 0,09 ^a

(-)-Epicatequina galato	0,74 ± 0,04 ^b	5,00 ± 0,26 ^a	0,64 ± 0,006 ^b	5,48 ± 0,32 ^a	0,75 ± 0,04 ^b
(-)-Epigallocatequina galato	0,98 ± 0,01 ^c	1,84 ± 0,06 ^b	11,80 ± 0,16 ^a	2,14 ± 0,01 ^b	0,96 ± 0,06 ^c
Procianidina A2	ND	2,77 ± 0,01 ^c	4,14 ± 0,01 ^a	3,18 ± 0,08 ^b	ND
Procanidina B1	4,50 ± 0,14 ^b	4,34 ± 0,27 ^b	7,60 ± 0,22 ^a	4,22 ± 0,24 ^b	5,30 ± 0,63 ^b
Procanidina B2	14,08 ± 0,22 ^b	14,90 ± 1,22 ^{ab}	5,48 ± 0,11 ^c	16,72 ± 0,52 ^a	13,26 ± 0,01 ^b
Σ Flavanóis	23,56 ± 0,54	30,43 ± 1,86	39,32 ± 0,64	34,52 ± 1,24	24,57 ± 1,04
<i>Flavonóis</i>					
Quercetina-3-β-D-glicosídeo	28,18 ± 1,22 ^a	13,08 ± 1,24 ^b	1,76 ± 0,09 ^c	15,08 ± 1,66 ^b	26,84 ± 1,56 ^a
Rutina	1,58 ± 0,08 ^c	5,90 ± 0,89 ^b	10,44 ± 0,22 ^a	7,78 ± 1,48 ^b	1,68 ± 0,06 ^c
Kaempferol-3-O-glicosídeo	5,20 ± 0,16 ^{ab}	6,04 ± 0,39 ^a	5,60 ± 0,09 ^{ab}	0,66 ± 0,11 ^c	4,89 ± 0,27 ^b
Miricetina	73,26 ± 2,72 ^d	132,18 ± 10,56 ^c	178,06 ± 12,98 ^a	151,08 ± 13,71 ^b	69,20 ± 2,64 ^d
Σ Flavonóis	108,22 ± 4,18	157,20 ± 13,08	195,86 ± 13,38	174,60 ± 16,96	102,61 ± 4,53
<i>Antocianinas</i>					
Cianidina-3,5-O-diglicosídeo	ND	28,00 ± 0,81 ^b	45,20 ± 1,53 ^a	30,50 ± 1,51 ^b	ND
Delphinidina-3-O-glucosídeo	2,60 ± 0,06 ^c	11,00 ± 11,84 ^a	8,84 ± 0,06 ^b	11,98 ± 1,09 ^a	2,44 ± 0,03 ^c
Malvidina-3,5-O-diglicosídeo	20,40 ± 0,48 ^b	ND	186,28 ± 1,86 ^a	ND	21,24 ± 0,32 ^b
Cianidina-3-O-glicosídeo	2,06 ± 0,01 ^c	3,66 ± 0,24 ^b	ND	3,84 ± 0,39 ^a	1,92 ± 0,03 ^c
Peonidina-3-O-glicosídeo	3,24 ± 0,03	ND	ND	ND	3,02 ± 0,01
Malvidina-3-O-glicosídeo	21,32 ± 0,35	ND	ND	ND	20,29 ± 0,01 ^a
Petunidin-3-O-glicosídeo	ND	115,50 ± 6,45 ^c	254,90 ± 5,37 ^a	128,74 ± 7,62 ^b	ND
Σ Antocianinas	49,62 ± 0,93	158,16 ± 19,34	495,22 ± 8,82	175,06 ± 10,61	48,91 ± 0,40
<i>Estilbenos</i>					
trans-resveratrol	4,70 ± 0,17 ^a	2,09 ± 0,18 ^b	0,33 ± 0,01 ^c	2,40 ± 0,26 ^b	4,48 ± 0,26 ^a
<i>Flavanonas</i>					
Naringenina	ND	0,66 ± 0,01 ^c	0,84 ± 0,09 ^b	1,02 ± 0,01 ^a	ND
<i>Ácidos fenólicos</i>					

Ácido gálico	7,78 ± 0,37 ^c	9,12 ± 0,16 ^b	7,70 ± 0,47 ^c	11,06 ± 0,50 ^a	7,54 ± 0,11 ^c
Ácido siringico	4,22 ± 0,21 ^c	5,72 ± 0,68 ^b	7,72 ± 0,26 ^a	6,24 ± 0,65 ^b	4,07 ± 0,09 ^c
Ácido caftárico	456,00 ± 9,79 ^b	583,42 ± 13,30 ^a	272,30 ± 16,64 ^c	625,40 ± 21,94 ^a	442,46 ± 0,24 ^b
Ácido cafeico	1,06 ± 0,14 ^b	1,68 ± 0,22 ^{ab}	1,30 ± 0,08 ^b	2,26 ± 0,53 ^a	0,98 ± 0,27 ^b
Σ Ácidos fenólicos	469,06 ± 10,51	599,94 ± 14,36	289,02 ± 17,45	644,96 ± 23,62	455,05 ± 0,71
Fenólicos totais quantificados	655,16 ± 16,33	948,48 ± 48,83	1020,59 ± 40,39	1032,56 ± 52,70	635,62 ± 6,94
Atividade antioxidante - AOX					
DPPH mM TE/L	10,49 ± 0,87 ^c	22,97 ± 1,42 ^a	18,36 ± 0,39 ^b	9,34 ± 1,63 ^{cd}	7,25 ± 1,34 ^d
ABTS mM TE/L	18,68 ± 1,06 ^c	38,35 ± 1,00 ^a	30,55 ± 2,88 ^b	15,27 ± 0,07 ^c	17,37 ± 1,86 ^c
FRAP mM Fe ²⁺ /L	32,90 ± 0,29 ^c	78,95 ± 2,54 ^a	54,02 ± 4,81 ^b	29,28 ± 1,71 ^c	26,58 ± 3,27 ^c

295 Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n = 3). Médias seguidas pelas mesmas letras, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey
296 a 5% de probabilidade de erro. ND = Não detectado.

3.2 Bioacessibilidade de compostos fenólicos

Os sucos de uva são matrizes ricas em compostos fenólicos; no entanto, para exercerem seus efeitos fisiológicos nos consumidores, os polifenóis precisam ser bioacessíveis. Neste estudo, o comportamento, a liberação na matriz e a estabilidade dos compostos fenólicos durante a simulação da digestão e sua bioacessibilidade em sucos monovarietais de uva foram avaliados. Em ordem decrescente, os sucos que apresentaram os maiores valores de bioacessibilidade foram BRS Carmem > BRS Cora > BRS Magna > Isabel Precoce > BRS Violeta. A Tabela 1 apresenta um resumo da bioacessibilidade dos compostos fenólicos em todos os sucos avaliados, onde 11 compostos foram bioacessíveis: 3 flavanóis, 4 flavonóis, 1 estilbeno e 3 ácidos fenólicos. Os resultados sugerem que a bioacessibilidade nem sempre está diretamente relacionada à quantidade de compostos fenólicos inicialmente presentes no suco (Tabela S1). A liberação e absorção de fitonutrientes pelo corpo humano é influenciada por diversos fatores, incluindo a composição da matriz alimentar (Ribas-Agustí et al., 2018). De acordo com Alqurashi et al. (2017), tanto os compostos potencialmente bioacessíveis quanto os disponíveis no cólon exercem efeitos benéficos, influenciando a saúde dos sistemas digestivo e sistêmico.

Em relação às classes de compostos fenólicos, após a simulação da digestão gastrointestinal dos sucos monovarietais, a ordem de bioacessibilidade foi flavanóis > flavonóis > ácidos fenólicos > antocianinas (Figura 1). Os flavanóis mais acessíveis para absorção através da barreira intestinal foram (+)-catequina, (-)-epigallocatequina galato e procianidina B₂. A segunda classe mais bioacessível foi a dos flavonóis, representados por rutina, miricetina, quercetina-3- β -D-glicosídeo e kaempferol-3-O-glicosídeo. Entre os ácidos fenólicos, os compostos mais bioacessíveis foram o ácido gálico e o ácido sirínico. De modo geral, a bioacessibilidade dos fenólicos depende

de sua composição, glicosilação, peso molecular e esterificação, estando associada à interação das estruturas químicas dos grupos hidroxila livres (Naeem et al., 2022; Xia et al., 2010).

Segundo Lucas-Gonzalez et al. (2016), a bioacessibilidade dos flavanóis e flavonóis pode ser influenciada pela capacidade desses compostos de se ligarem a proteínas ou fibras na matriz, através de ligações covalentes, interações hidrofóbicas ou ligações de hidrogênio, o que pode aumentar ou diminuir sua solubilidade. Estudos realizados por Augusti et al. (2021) relataram maior biodisponibilidade dos flavanóis quando comparados aos flavonóis, além de efeitos benéficos desses fitoquímicos, como ações antivirais, antioxidantes, imunomodulatórias e anti-inflamatórias, também associadas aos seus efeitos sistêmicos contra infecções por SARS-CoV-2.

De modo geral, nos sucos monovarietais de uva submetidos à simulação da digestão, os compostos bioacessíveis presentes em maiores níveis foram (+)-catequina (169,1%–265,99%), procianidina B₂ (101,42%–423,13%) e ácido gálico (61,59%–230,51%), em todas as cultivares estudadas. Em todos os sucos, quercetina-3- β -D- glicosídeo (12%–283,11%), rutina (10,53%–430,73%) e ácido sirínico (15,29%–111,57%) também foram acessíveis após a digestão, em quantidades razoáveis. Diversos trabalhos que avaliaram sucos das cultivares do presente estudo destacaram a procianidina B₂ como um dos principais fenólicos encontrados, e sua presença está fortemente associada a uma alta capacidade antioxidante (Lima et al., 2014; Dutra et al., 2018; Padilha et al., 2017; Lima et al., 2022), destacando esse fenólico como um importante composto bioacessível nos sucos de uva do VSF.

Em relação à (+)-catequina, de acordo com Augusti et al. (2021), durante as etapas da digestão, os proantocianidinas podem ser quebradas em monômeros de

(+)-catequina. Esse mecanismo de quebra pode explicar a alta bioacessibilidade deste flavanol nas bebidas derivadas da uva, corroborando com os dados obtidos neste estudo para as diferentes cultivares de uva utilizadas para produzir os sucos. De fato, ocorreu uma redução nos conteúdos de procianidina A₂ e B₁ durante as simulações de digestão, possivelmente associada a um aumento na concentração de (+)-catequinas. A alta bioacessibilidade da (+)-catequina também foi destacada em uvas Syrah na pesquisa realizada por Lingua et al. (2018).

As Tabelas 2 e 3 mostram a influência das etapas da digestão nos sucos BRS Magna e BRS Carmem, que foram os sucos que apresentaram as maiores quantidades iniciais de compostos fenólicos na matriz e bioacessibilidade, respectivamente. As Tabelas Suplementares S2, S3 e S4 apresentam os efeitos da simulação da digestão nos sucos das outras cultivares avaliadas.

Para o suco BRS Magna (Tabela 2), os principais compostos bioacessíveis presentes em todas as etapas da digestão foram (+)-catequina (180%), procianidina B₂ (174%) e ácido gálico (124,6%). As bioacessibilidades de kaempferol-3-O-glicosídeo (62,6%), ácido sirínico (40,7%), (-)-epigallocatequina galato (32,9%) e quercetina-3- β -D-glicosídeo (25,9%) também se destacam. No suco BRS Carmem (Tabela 3), os principais compostos bioacessíveis foram (+)-catequina (214%), procianidina B₂ (315%), rutina (431%), ácido gálico (230,5%) e ácido sirínico (111,6%), presentes em todas as etapas da digestão. (-)-Epigallocatequina galato (67,6%), miricetina, quercetina-3- β -D-glicosídeo e *trans*-resveratrol, todos com 35% de disponibilidade, também estavam presentes em todas as etapas da digestão. Nos sucos BRS Magna e BRS Carmem, as antocianinas foram acessíveis apenas até a fase de digestão no estômago, assim como nas outras cultivares (Tabelas S2, S3 e S4).

Nenhuma antocianina foi detectada após a simulação do processo digestivo, e o comportamento desses compostos durante a digestão gastrointestinal *in vitro* pode ser observado nas Tabelas 2 e 3 e nas Tabelas Suplementares S2, S3 e S4. Segundo Han et al. (2019), a bioacessibilidade das antocianinas pode ser considerada baixa, uma vez que esses compostos são hidrolisados na cavidade oral devido às condições enzimáticas e de pH, levando à formação de suas formas agliconas correspondentes. No estômago, são relativamente estáveis, devido ao pH do meio, com apenas uma pequena porção sendo hidrolisada. No intestino, as condições alcalinas também podem quebrar esses compostos em moléculas menores. O *trans*-resveratrol estava presente em todas as etapas do processo digestivo para os sucos BRS Cora (Tabela S3) e BRS Carmem (Tabela 3), com bioacessibilidades de 85,99% e 35,30%, respectivamente. No entanto, a bioacessibilidade desse fitoquímico parecia ser influenciada pela cultivar, já que nos sucos das uvas Isabel Precoce (Tabela S1), BRS Violeta (Tabela S4) e BRS Magna (Tabela 2), esse composto não foi detectado na fração dialisada. De acordo com Tagliazucchi et al. (2010), o *trans*-resveratrol é significativamente degradado pela digestão no fluido intestinal simulado.

Segundo Wojtunik-Kulesza et al. (2020), o ácido gálico tem uma alta capacidade de eliminar radicais livres. Sugere-se que a alta bioacessibilidade do ácido gálico identificada nas amostras seja devido ao suco de uva ser uma matriz rica em taninos, uma vez que a hidrólise do galotanino forma o ácido gálico (Riberéau-Gayon; Glories; Maujean & Dubourdieu, 2003).

De maneira geral, os sucos avaliados apresentaram alta bioacessibilidade de seus componentes fenólicos, com 11 dos 24 fitoquímicos inicialmente quantificados nas matrizes sendo identificados na fração dialisada. É importante ressaltar que estudos sobre a bioacessibilidade dos compostos fenólicos presentes no suco de uva

são escassos, o que sugere que alguns dos compostos identificados podem estar associados a benefícios *in vivo* previamente reportados para este produto (Leal et al., 2020).

400

Tabela 1. Bioacessibilidade de compostos fenólicos de suco de uva de cinco novas cultivares brasileiras.

Bioacessibilidade (%)	Suco de uva Isabel Precocce	Suco de uva BRS Cora	Suco de uva BRS Violeta	Suco de uva BRS Magna	Suco de uva BRS Carmem
<i>Flavanóis</i>					
(+) -Catechin	295,99 ± 3,31 ^{ab}	370,9 ± 40,2 ^a	169,1 ± 10,2 ^c	179,97 ± 7,75 ^c	214,25 ± 46,78 ^{bc}
(-) -Epicatequina galato	7,75 ± 0,20 ^c	5,24 ± 0,89 ^c	5,21 ± 0,09 ^c	32,88 ± 1,58 ^b	67,59 ± 5,09 ^a
Procianidina B2	113,38 ± 15,79 ^{bc}	101,42 ± 18,95 ^c	426,13 ± 133,90 ^a	173,91 ± 7,85 ^{bc}	314,82 ± 0,87 ^{ab}
<i>Flavonóis</i>					
Quercetina-3-β-D-glicosídeo	12,00 ± 1,91 ^c	80,94 ± 14,73 ^b	283,11 ± 23,23 ^a	25,88 ± 2,31 ^c	34,97 ± 1,80 ^c
Rutina	35,75 ± 5,99 ^b	50,47 ± 7,36 ^b	57,56 ± 4,39 ^b	10,53 ± 2,27 ^b	430,73 ± 55,69 ^a
Kaempferol-3-O-glicosídeo	6,83 ± 2,22 ^c	26,74 ± 1,84 ^b	3,00 ± 0,16 ^c	62,65 ± 11,19 ^a	6,66 ± 0,32 ^c
Míricetina	-	-	0,67 ± 0,08 ^b	1,61 ± 0,04 ^b	35,21 ± 0,72 ^a
<i>Estilbeno</i>					
<i>trans</i> -resveratrol	-	85,99 ± 14,44	-	-	35,30 ± 2,21
<i>Ácidos fenólicos</i>					
Ácido gálico	79,49 ± 14,65 ^{bc}	61,59 ± 0,95 ^c	107,09 ± 23,36 ^{bc}	124,56 ± 3,24 ^b	230,51 ± 18,22 ^a
Ácido siríngico	20,67 ± 3,61 ^b	15,29 ± 1,62 ^b	16,80 ± 2,56 ^b	40,74 ± 9,57 ^b	111,57 ± 18,35 ^a
Ácido caftárico	2,17 ± 0,74 ^c	3,46 ± 1,66 ^{bc}	5,18 ± 0,67 ^b	1,44 ± 0,08 ^c	10,12 ± 2,04 ^a

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n = 3). Médias seguidas pelas mesmas letras, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Compostos fenólicos quantificados no suco e ausentes nesta tabela não foram bioacessíveis na fração dialisada.

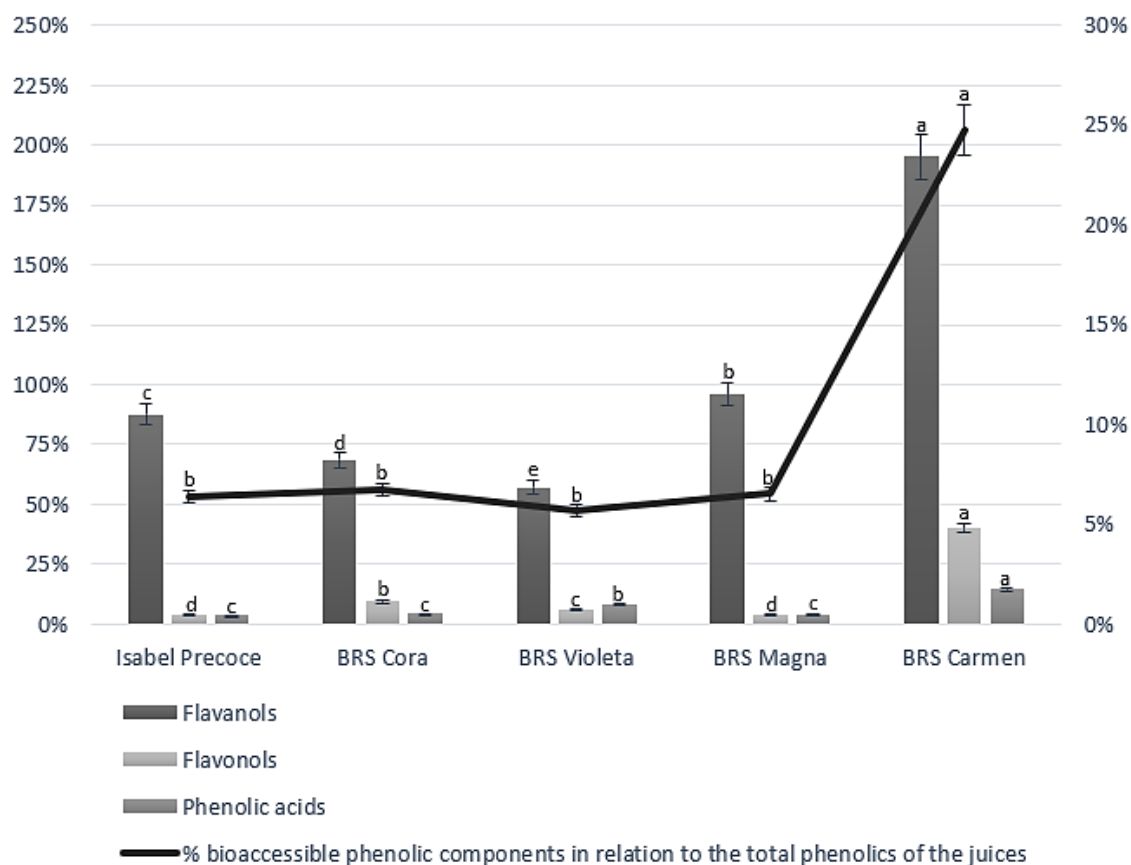


Figura 1. Valores percentuais médios de bioaccessibilidade de compostos fenólicos, agrupados por família, dos sucos de uva de novas cultivares brasileiras. As medias nas barras seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela Suplementar S2. Composição fenólica do suco de uva Isabel, comportamento nas diferentes frações da digestão gastrointestinal *in vitro* e bioacessibilidade.

Compostos fenólicos (mg L ⁻¹)	Suco de uva Isabel	Estômago	Não dialisável	Dialisável	Bioacessibilidade (%)
<i>Flavanóis</i>					
(+)-Catequina	1,54 ± 0,04 ^d	2,60 ± 0,09 ^c	3,79 ± 0,02 ^b	4,56 ± 0,19 ^a	295,99 ± 3,31
(-)-Epicatequina	1,72 ± 0,09 ^a	0,74 ± 0,01 ^b	0,84 ± 0,03 ^b	ND	-
Epicatequina galato	0,74 ± 0,04	ND	ND	ND	-
Epigallocatequina galato	0,98 ± 0,01 ^a	0,90 ± 0,04 ^a	0,72 ± 0,06 ^b	0,07 ± 0,006 ^b	7,75 ± 0,20
Procianidina A2	ND	ND	ND	ND	-
Procianidina B1	4,50 ± 0,14 ^a	3,80 ± 0,16 ^b	1,05 ± 0,01 ^c	ND	-
Procianidina B2	14,08 ± 0,22 ^b	16,02 ± 0,63 ^b	42,40 ± 0,65 ^a	16,00 ± 2,48 ^b	113,38 ± 15,79
Σ Flavanóis	23,56 ± 0,54	24,06 ± 0,93	48,80 ± 0,77	20,63 ± 2,67	-
<i>Flavonóis</i>					
Quercetina-β-D-glicosídeo	28,18 ± 1,22 ^a	27,24 ± 1,95 ^a	11,0 ± 0,75 ^b	3,36 ± 0,39 ^c	12,00 ± 1,91
Rutina	1,58 ± 0,08 ^a	1,62 ± 0,24 ^a	0,76 ± 0,09 ^b	0,56 ± 0,06 ^b	35,75 ± 5,99
Kaempferol-3-O-glicosídeo	5,20 ± 0,16 ^a	4,98 ± 0,34 ^a	2,16 ± 0,13 ^b	0,35 ± 0,10 ^c	6,83 ± 2,22
Míricetina	73,26 ± 2,72 ^a	70,32 ± 5,45 ^a	0,77 ± 0,08 ^b	ND	-
Σ Flavonóis	108,22 ± 4,18	104,16 ± 7,98	14,69 ± 1,05	4,27 ± 0,55	-
<i>Antocianinas</i>					
Cianidina-3,5-O-glicosídeo	ND	ND	ND	ND	-
Delfinidina-3-O-glicosídeo	2,60 ± 0,06	2,32 ± 0,09	ND	ND	-
Malvidina-3,5-O-glicosídeo	20,40 ± 0,48	19,26 ± 1,12	ND	ND	-
Cianidina-3-O-glicosídeo	2,06 ± 0,01	1,90 ± 0,08	ND	ND	-
Peonidina-3-O-glicosídeo	3,24 ± 0,03	2,76 ± 0,29	ND	ND	-
Malvidina-3-O-glicosídeo	21,32 ± 0,35	19,16 ± 1,11	ND	ND	-
Petunidina-3-O-glicosídeo	ND	ND	ND	ND	-

Σ Antocianinas	49,62 ± 0,93	45,40 ± 2,69	-	-	-
<i>Estilbenos</i>					
<i>trans-resveratrol</i>	4,70 ± 0,17 ^a	4,54 ± 0,31 ^a	1,80 ± 0,09 ^b	ND	-
<i>Flavononas</i>					
Naringenina	ND	ND	ND	ND	-
<i>Ácidos fenólicos</i>					
Ácido gálico	7,78 ± 0,37 ^{bc}	9,28 ± 0,45 ^b	20,2 ± 0,03 ^a	6,24 ± 1,17 ^c	79,49 ± 14,65
Ácido siríngico	4,22 ± 0,21 ^a	3,00 ± 0,16 ^b	2,88 ± 0,19 ^b	0,88 ± 0,19 ^c	20,67 ± 3,61
Ácido cafterico	456,00 ± 9,79 ^a	393,80 ± 18,12 ^b	173,80 ± 17,70 ^c	10,01 ± 3,59 ^d	2,17 ± 0,74
Ácido cafeico	1,06 ± 0,14 ^a	1,12 ± 0,06 ^a	0,47 ± 0,09 ^b	ND	-
Σ Ácidos fenólicos	469,06 ± 10,51	407,20 ± 18,79	197,35 ± 18,01	17,13 ± 4,95	-
Fenólicos totais quantificados	655,16 ± 16,33	585,45 ± 30,70	262,64 ± 19,92	42,03 ± 8,17	-

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n = 3). Médias seguidas pelas mesmas letras, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ND = Não detectado.

432 **Tabela Suplementar S3.** Composição fenólica do suco de uva BRS Cora, comportamento nas diferentes frações da digestão
 433 gastrointestinal *in vitro* e bioacessibilidade.

Compostos fenólicos (mg L ⁻¹)	Suco de uva BRS Cora	Estômago	Não dialisável	Dialisável	Bioacessibilidade (%)
<i>Flavanóis</i>					
(+)-Catequina	1,58 ± 0,04 ^b	1,84 ± 0,45 ^b	7,54 ± 0,65 ^a	5,88 ± 0,81 ^a	370,90 ± 40,20
(-)-Epicatequina	ND	ND	1,10 ± 0,10	ND	-
Epicatequina galato	5,00 ± 0,26 ^a	5,48 ± 0,22 ^a	0,50 ± 0,009 ^b	ND	-
Epigallocatequina galato	1,84 ± 0,06 ^b	2,22 ± 0,17 ^a	1,56 ± 0,03 ^b	0,09 ± 0,01 ^c	5,24 ± 0,89
Procyanidina A2	2,77 ± 0,01	3,29 ± 0,21	ND	ND	-
Procyanidina B1	4,34 ± 0,27 ^a	4,50 ± 0,17 ^a	1,08 ± 0,03 ^b	ND	-
Procyanidina B2	14,90 ± 1,22 ^c	22,24 ± 0,91 ^b	46,64 ± 1,50 ^a	14,88 ± 1,56 ^c	101,42 ± 18,95
Σ Flavanóis	30,43 ± 1,86	39,57 ± 2,13	58,42 ± 2,31	20,85 ± 2,38	-
<i>Flavonóis</i>					
Quercetina-β-D-glicosídeo	13,08 ± 1,24 ^b	16,70 ± 0,86 ^a	6,68 ± 0,03 ^c	10,40 ± 0,91 ^b	80,94 ± 14,73
Rutina	5,90 ± 0,89 ^b	10,42 ± 0,27 ^a	0,30 ± 0,04 ^d	2,91 ± 0,02 ^c	50,47 ± 7,36
Kaempferol-3-O-glicosídeo	6,04 ± 0,39 ^a	4,78 ± 0,21 ^b	0,38 ± 0,07 ^d	1,60 ± 0,006 ^c	26,74 ± 1,84
Miricetina	132,18 ± 10,56 ^b	172,02 ± 7,52 ^a	0,68 ± 0,01 ^c	ND	-
Σ Flavonóis	157,20 ± 13,08	203,92 ± 8,86	8,04 ± 0,15	14,91 ± 0,93	-
<i>Antociainas</i>					
Cianidina-3,5-O-glicosídeo	28,00 ± 0,81	31,22 ± 1,06	ND	ND	-
Delfinidina-3-O-glicosídeo	11,00 ± 11,84	12,97 ± 0,01	ND	ND	-
Malvidina-3,5-O-glicosídeo	ND	ND	ND	ND	-
Cianidina-3-O-glicosídeo	3,66 ± 0,24	4,16 ± 0,03	ND	ND	-
Peonidina-3-O-glicosídeo	ND	ND	ND	ND	-
Malvidina-3-O-glicosídeo	ND	ND	ND	ND	-
Petunidina-3-O-glicosídeo	115,50 ± 6,45	135,04 ± 4,53	ND	ND	-
Σ Antocianinas	158,16 ± 19,34	183,39 ± 5,63	-	-	-

<i>Estiblenos</i>					
<i>trans-resveratrol</i>	2,09 ± 0,18 ^b	2,70 ± 0,14 ^a	1,13 ± 0,009 ^c	1,77 ± 0,14 ^b	85,99 ± 14,44
<i>Flavanonas</i>					
Naringenina	0,66 ± 0,01	ND	ND	ND	-
<i>Ácidos fenólicos</i>					
Ácido gálico	9,12 ± 0,16 ^c	11,82 ± 0,76 ^b	21,76 ± 0,06 ^a	5,61 ± 0,01 ^d	61,59 ± 0,95
Ácido sirínico	5,72 ± 0,68 ^a	5,26 ± 0,04 ^{ab}	4,40 ± 0,30 ^b	0,86 ± 0,01 ^c	15,29 ± 1,62
Ácido caftarico	583,42 ± 13,30 ^a	650,20 ± 39,12 ^a	209,28 ± 15,48 ^b	20,00 ± 9,27 ^c	3,46 ± 1,66
Ácido cafeico	1,68 ± 0,22	2,88 ± 0,35	ND	ND	-
Σ Ácidos fenólicos	599,94 ± 14,36	670,16 ± 40,27	235,44 ± 15,84	26,47 ± 9,29	-
Fenólicos totais quantificados	948,48 ± 48,83	1099,74 ± 57,03	303,03 ± 18,30	64,00 ± 12,74	-

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n = 3). Médias seguidas pelas mesmas letras, nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro. ND = Não detectado.

445 **Tabela Suplementar S4.** Composição fenólica do suco de uva BRS Violeta, comportamento nas diferentes frações da digestão
 446 gastrointestinal *in vitro* e bioacessibilidade

Compostos fenólicos (mg L ⁻¹)	Suco de BRS Violeta	Estômago	Não dialisável	Dialisável	Bioacessibilidade (%)
<i>Flavanóis</i>					
(+) Catequina	9,20 ± 0,13 ^b	10,30 ± 0,96 ^b	7,44 ± 0,06 ^{bc}	15,54 ± 0,06 ^a	169,1 ± 10,2
(-) Epicatequina	0,46 ± 0,01 ^{bc}	3,40 ± 0,26 ^a	0,96 ± 0,10 ^b	ND	-
Epicatequina galato	0,64 ± 0,006 ^a	0,68 ± 0,02 ^a	ND	ND	-
Epigallocatequina galato	11,80 ± 0,16 ^a	11,22 ± 1,74 ^a	2,80 ± 0,006 ^b	0,61 ± 0,01 ^b	5,21 ± 0,09
Procianidina A2	4,14 ± 0,01 ^a	3,38 ± 0,28 ^b	ND	ND	-
Procianidina B1	7,60 ± 0,22 ^b	9,28 ± 0,39 ^a	2,44 ± 0,03 ^c	ND	-
Procianidina B2	5,48 ± 0,11 ^c	1,20 ± 0,06 ^c	42,64 ± 0,58 ^a	21,88 ± 2,38 ^b	426,13 ± 133,90
Σ Flavanóis	39,32 ± 0,64	39,46 ± 3,71	56,28 ± 0,77	22,49 ± 2,39	-
<i>Flavonóis</i>					
Quercetina-β-D-glucosídeo	1,76 ± 0,09 ^c	2,30 ± 0,04 ^b	1,12 ± 0,001 ^c	4,96 ± 0,91 ^a	283,11 ± 23,23
Rutina	10,44 ± 0,22 ^b	13,00 ± 0,55 ^a	0,33 ± 0,003 ^d	6,00 ± 0,32 ^c	57,56 ± 4,39
Kaempferol-3-O-glucosídeo	5,60 ± 0,09 ^b	6,32 ± 0,81 ^a	ND	0,16 ± 0,006 ^c	3,00 ± 0,16
Miricetina	178,06 ± 12,98 ^b	239,24 ± 9,07 ^a	6,68 ± 0,22 ^c	1,19 ± 0,05 ^c	0,67 ± 0,08
Σ Flavonóis	195,86 ± 13,38	260,86 ± 10,47	8,13 ± 0,22	12,31 ± 1,28	-
<i>Antocianinas</i>					
Cianidina-3,5-O-glicosídeo	45,20 ± 1,53	51,74 ± 1,71	ND	ND	-
Delfinidina-3-O-glicosídeo	8,84 ± 0,06	10,82 ± 0,47	ND	ND	-
Malvidina-3,5-O-glicosídeo	186,28 ± 1,86	218,64 ± 8,98	ND	ND	-
Cianidina-3-O-glicosídeo	ND	ND	ND	ND	-
Peonidina-3-O-glicosídeo	ND	ND	ND	ND	-
Malvidina-3-O-glicosídeo	ND	ND	ND	ND	-
Petunidina-3-O-glicosídeo	254,90 ± 5,37	316,62 ± 13,24	ND	ND	-
Σ Antocianinas	495,22 ± 8,82	597,82 ± 24,40	-	-	-

<i>Estilbenos</i>					
<i>trans-resveratrol</i>	0,33 ± 0,01	0,42 ± 0,02	ND	ND	-
<i>Flavanonas</i>					
Naringenina	0,84 ± 0,09	1,44 ± 0,19	ND	ND	-
<i>Ácidos fenólicos</i>					
Ácido gálico	7,70 ± 0,47 ^c	11,36 ± 0,55 ^b	18,60 ± 0,68 ^a	8,13 ± 1,05 ^c	107,09 ± 23,36
Ácido sirínico	7,72 ± 0,26 ^b	9,62 ± 0,04 ^a	5,32 ± 0,03 ^c	1,30 ± 0,24 ^d	16,80 ± 2,56
Ácido caftárico	272,30 ± 16,64 ^b	332,16 ± 18,06 ^a	61,40 ± 2,31 ^c	14,00 ± 0,27 ^c	5,18 ± 0,67
Ácido cafeico	1,30 ± 0,08	1,74 ± 0,11	ND	ND	-
Σ Ácidos fenólicos	289,02 ± 17,45	354,88 ± 18,76	85,32 ± 3,02	23,43 ± 1,56	-
Fenólicos totatis quantificados	1020,59 ± 40,39	1254,88 ± 57,55	149,73 ± 4,01	58,23 ± 5,23	-

447 Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n = 3). Médias seguidas pelas mesmas letras, nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey com 5%
 448 de probabilidade de erro. ND = Não detectado.

Tabela 2. Composição fenólica do suco de uva BRS Magna, comportamento nas diferentes frações da digestão gastrointestinal *in vitro* e bioacessibilidade

Comppstos fenólicos (mg L ⁻¹)	Suco de uva	Estômago	Não dialisável	Dialisável	Bioacessibilidade (%)
<i>Flavanóis</i>					
(+)-Catequina	2,36 ± 0,06 ^b	2,98 ± 0,08 ^b	4,80 ± 0,52 ^a	4,24 ± 0,06 ^a	179,97 ± 7,75
(-)-Epicatequina	0,42 ± 0,01	ND	0,80 ± 0,03	ND	-
(-)-Epicatequina galato	5,48 ± 0,32 ^a	2,86 ± 0,14 ^b	2,50 ± 0,009 ^b	ND	-
(-)-Epigallocatequina galato	2,14 ± 0,01 ^b	7,78 ± 0,08 ^a	1,12 ± 0,26 ^c	0,70 ± 0,03 ^c	32,88 ± 1,58
Procianidina A2	3,18 ± 0,08	4,74 ± 0,21	ND	ND	-
Procianidina B1	4,22 ± 0,24 ^a	3,36 ± 0,09 ^b	1,05 ± 0,01 ^c	ND	-
Procianidina B2	16,72 ± 0,52 ^c	22,16 ± 0,56 ^{bc}	45,40 ± 3,75 ^a	29,12 ± 2,22 ^b	173,91 ± 7,85
Σ Flavanóis	34,52 ± 1,24	43,88 ± 1,16	55,67 ± 4,57	34,06 ± 2,31	-
<i>Flavonóis</i>					
Quercetina-3-β-D- glicosídeo	15,08 ± 1,66 ^a	5,88 ± 0,03 ^b	1,32 ± 0,22 ^c	3,21 ± 0,01 ^{bc}	25,88 ± 2,31
Rutina	7,78 ± 1,48 ^b	12,34 ± 0,04 ^a	0,38 ± 0,005 ^c	0,74 ± 0,006 ^c	10,53 ± 2,27
Kaempferol-3-O- glicosídeo	0,66 ± 0,11 ^b	5,94 ± 0,01 ^a	0,14 ± 0,009 ^d	0,40 ± 0,0006 ^c	62,65 ± 11,19
Miricetina	151,08 ± 13,71 ^a	102,96 ± 0,55 ^b	0,49 ± 0,01 ^c	2,43 ± 0,15 ^c	1,61 ± 0,04
Σ Flavonóis	174,60 ± 16,96	127,12 ± 0,63	2,33 ± 0,24	6,78 ± 0,16	-
<i>Antocianinas</i>					
Cianidina-3,5-O- diglicosídeo	30,50 ± 1,51	18,52 ± 0,13	ND	ND	-
Delfinidina-3-O- glicosídeo	11,98 ± 1,09	2,40 ± 0,65	ND	ND	-
Malvidina-3,5-O- diglicosídeo	ND	84,66 ± 12,06	ND	ND	-
Cianidina-3-O- glicosídeo	3,84 ± 0,39	ND	ND	ND	-
Peonidina-3-O- glicosídeo	ND	ND	ND	ND	-

Malvidina-3-O-glicosídeo	ND	ND	ND	ND	-
Petunidina-3-O-glicosídeo	128,74 ± 7,62	297,36 ± 2,18	ND	ND	-
Σ Antocianinas	175,06 ± 10,61	402,94 ± 15,02	-	-	-
<i>Estilbenos</i>					
<i>trans</i> -resveratrol	2,40 ± 0,26	1,20 ± 0,006	ND	ND	-
<i>Flavanonas</i>					
Naringenina	1,02 ± 0,01	ND	ND	ND	-
<i>Ácidos fenólicos</i>					
Ácido gálico	11,06 ± 0,50 ^a	11,48 ± 0,09 ^a	13,76 ± 0,2 ^a	15,12 ± 3,49 ^a	124,56 ± 3,24
Ácido siríngico	6,24 ± 0,65 ^a	7,70 ± 0,47 ^a	2,68 ± 0,55 ^b	2,48 ± 0,32 ^b	40,74 ± 9,57
Ácido caftarico	625,40 ± 21,94 ^a	135,00 ± 2,87 ^b	15,56 ± 1,60 ^c	9,04 ± 0,19 ^c	1,44 ± 0,08
Ácido clorogênico	ND	0,74 ± 0,01	ND	ND	-
Ácido cafeico	2,26 ± 0,53	ND	ND	ND	-
Σ Ácidos fenólicos	644,96 ± 23,62	154,92 ± 3,44	32,00 ± 2,36	26,64 ± 4,00	-
Fenólicos totais					
quantificados	1032,56 ± 52,70	730,06 ± 20,25	90,00 ± 7,17	67,48 ± 6,47	-

Os resultados estão expressos com média ± desvio padrão (n = 3). Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ND = Não detectado.

Tabela 3. Composição fenólica do suco de uva BRS Carmem, comportamento nas diferentes frações da digestão gastrointestinal e bioacessibilidade.

Comppstos fenólicos (mg L ⁻¹)	Suco de uva	Estômago	Não dialisável	Dialisável	Bioacessibilidade (%)
<i>Flavanóis</i>					
(+)-Catequina	2,66 ± 0,21 ^c	3,78 ± 0,31 ^{bc}	9,52 ± 1,37 ^a	5,60 ± 0,78 ^b	214,25 ± 46,78
(-)-Epicatequina	1,64 ± 0,09	ND	ND	ND	-
(-)-Epicatequina galato	0,75 ± 0,04 ^c	2,16 ± 0,12 ^b	2,68 ± 0,15 ^a	ND	-
(-)-Epigallocatequina galato	0,96 ± 0,06 ^c	6,42 ± 0,11 ^a	3,08 ± 0,33 ^b	0,64 ± 0,004 ^d	67,59 ± 5,09
Procianidina A2	ND	2,52 ± 0,09	ND	ND	-
Procianidina B1	5,30 ± 0,63 ^a	2,52 ± 0,06 ^b	0,98 ± 0,11 ^c	ND	-
Procianidina B2	13,26 ± 0,01 ^c	2,46 ± 0,21 ^d	35,79 ± 2,93 ^b	41,68 ± 0,06 ^a	314,82 ± 0,87
Σ Flavanóis	24,57 ± 1,04	19,86 ± 0,90	52,05 ± 4,89	47,92 ± 0,84	-
<i>Flavonóis</i>					
Quercetina-3-β-D-glicosídeo	26,84 ± 1,56 ^a	3,78 ± 0,01 ^c	1,31 ± 0,02 ^c	9,36 ± 0,06 ^b	34,97 ± 1,80
Rutina	1,68 ± 0,06 ^c	3,09 ± 0,11 ^b	0,29 ± 0,02 ^d	7,20 ± 0,65 ^a	430,73 ± 55,69
Kaempferol-3-O-glicosídeo	4,89 ± 0,27 ^a	3,28 ± 0,06 ^b	3,40 ± 0,16 ^b	0,32 ± 0,002 ^c	6,66 ± 0,32
Miricetina	69,20 ± 2,64 ^b	214,94 ± 6,74 ^a	28,80 ± 1,30 ^c	24,32 ± 0,26 ^c	35,21 ± 0,72
Σ Flavonóis	102,61 ± 4,53	225,09 ± 6,92	33,80 ± 1,50	41,20 ± 0,97	-
<i>Antocianinas</i>					
Cianidina-3,5-O-diglicosídeo	ND	ND	ND	ND	-
Delfinidina-3-O-glicosídeo	2,44 ± 0,03	ND	ND	ND	-
Malvidina-3,5-O-diglicosídeo	21,24 ± 0,32 ^b	240,04 ± 9,73 ^a	8,48 ± 0,39 ^{bc}	ND	-
Cianidina-3-O-glicosídeo	1,92 ± 0,03	ND	ND	ND	-
Peonidina-3-O-glicosídeo	3,02 ± 0,01	ND	ND	ND	-

Malvidina-3-O-glicosídeo	20,29 ± 0,01 ^a	9,32 ± 0,19 ^b	2,52 ± 0,09 ^c	ND	-
Petunidina-3-O-glicosídeo	ND	29,26 ± 1,06	ND	ND	-
Σ Antocianinas	48,91 ± 0,40	278,62 ± 10,98	2,52 ± 0,09	-	-
<i>Estilbenis</i>					
<i>trans</i> -resveratrol	4,48 ± 0,26 ^a	0,47 ± 0,06 ^c	0,80 ± 0,003 ^c	1,57 ± 0,006 ^b	35,30 ± 2,21
<i>Flavanonas</i>					
Naringenina	ND	0,98 ± 0,01	ND	ND	-
<i>Ácidos fenólicos</i>					
Ácido gálico	7,54 ± 0,11 ^b	9,92 ± 0,03 ^b	16,20 ± 0,16 ^a	17,36 ± 0,90 ^a	230,51±18,22
Ácido sirínico	4,07 ± 0,09 ^b	9,50 ± 0,24 ^a	8,32 ± 1,17 ^a	4,56 ± 0,84 ^b	111,57±18,35
Ácido caftarico	442,46 ± 0,24 ^a	275,54 ± 8,01 ^b	46,72 ± 0,26 ^c	44,80 ± 9,01 ^c	10,12 ± 2,04
Ácido cafeico	0,98 ± 0,27	ND	7,08 ± 0,03	ND	-
ΣÁcidos fenólicos	455,05 ± 0,71	296,06 ± 8,29	93,36 ± 3,44	66,72 ± 10,75	-
Fenólicos					
quantificados	635,62 ± 6,94	821,08 ± 27,16	182,53 ± 9,92	157,41 ± 12,56	-

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n = 3). Médias seguidas pelas mesmas letras, nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro. ND = Não detectado.

3.3 Análise de componentes principais e análise de cluster hierárquico

As análises quimiométricas utilizando a Análise de Componentes Principais (PCA) e a Análise de Cluster Hierárquico (HCA) foram realizadas para avaliar, de forma integrada, as semelhanças e diferenças entre os sucos das cinco cultivares, com relação a parâmetros de qualidade, teores de açúcares e ácidos orgânicos, capacidade antioxidante, perfis fenólicos e compostos fenólicos bioacessíveis. A análise PCA pode ser vista na Figura 2. Os componentes principais 1 e 2, PC1 e PC2, respectivamente, explicaram 84,70% da variabilidade entre as amostras.

A PC1>0 agrupou os sucos das cultivares BRS Magna e BRS Cora, associando-os à presença de concentrações mais altas dos fitoquímicos delphinidin-3-O-glucoside, ácido gálico, ácido cafeico e (+)-epicatequina galato. Em relação aos 11 polifenóis bioacessíveis, os dois sucos se destacaram pela porcentagem de bioacessibilidade do kaempferol-3-O-glicosídeo, e o suco da BRS Cora também teve uma maior porcentagem de bioacessibilidade do *trans*-resveratrol. O suco de BRS Violeta apresentou maiores níveis de ácidos orgânicos (ácido tartárico e ácido succínico) e compostos fenólicos malvidina-3,5-O-diglicosídeo, (+)-catequina, (-)-epigallocatequina galato e procianidina B₁, além de uma maior bioacessibilidade de procyanidina B₂ e quercetina-3-β-D-glicosídeo. Além disso, o suco de BRS Violeta (PC2 >0) esteve mais próximo do suco de BRS Cora do que dos outros sucos, pois ambos apresentaram uma capacidade antioxidante (AOX) destacada nos testes ABTS^{•+}, FRAP e DPPH[•]. Por outro lado, os sucos das cultivares Isabel Precoce e BRS Carmem estavam na posição oposta em relação ao PC1>0, o que pode estar relacionado ao maior valor no conteúdo dos compostos fenólicos malvidina-3-O-diglicosídeo, peonidina-3-O-glicosídeo, (+)-epicatequina, quercetina-3-β-D-glicosídeo e *trans*-resveratrol. A cultivar BRS Carmem também apresentou a maior fração bioacessível da maioria dos compostos fenólicos identificados, incluindo rutina, ácido gálico, ácido siríngico, (-)-epicatequina galato, miricetina e ácido caftarico. A maior quantidade de compostos bioacessíveis, associada à cultivar BRS Carmem, mostrou uma correlação positiva com os maiores níveis de frutose, glicose, grau Brix, menor acidez e ácidos orgânicos (PC1 <0).

Assim, os resultados mostram que cada cultivar de uva avaliada é uma matriz complexa e única, corroborando com outros trabalhos (Lima et al., 2014; Padilha et al., 2017). A liberação e absorção dos compostos fenólicos podem ter sido

influenciadas pela composição química diferente dessas matrizes, sugerindo uma relação direta entre a bioacessibilidade dos compostos fitoquímicos com um maior teor de açúcares e menor de ácidos orgânicos. Assim, possivelmente, um estágio mais avançado de maturação da uva na colheita pode estar associado a uma maior bioacessibilidade dos fenólicos do suco. Os resultados encontrados na pesquisa também corroboraram com os achados de Seraglio et al. (2018), que estudaram a bioacessibilidade dos compostos fenólicos da fruta “juçara”.

Além da PCA, foi realizada a análise de cluster hierárquico (HCA), e os resultados obtidos são mostrados na Figura 3. Os sucos das cinco cultivares de uva foram agrupados em dois grupos, com alta similaridade entre as amostras. O Cluster 1 consistiu no suco das cultivares BRS Carmem e Isabel Precocce. Os sucos dessas cultivares diferiram em relação à porcentagem total de compostos fenólicos bioacessíveis e foram similares quanto à quantidade de açúcares (Fig. 1). O Cluster 2 consistiu dos sucos de BRS Violeta e um subgrupo com os sucos de BRS Cora e BRS Magna; esses sucos foram os que apresentaram maiores quantidades de compostos fenólicos (Tabela Suplementar S1). Em resumo, a análise de agrupamento fortalece os resultados apresentados na PCA quanto ao agrupamento das amostras e à correlação da composição da matriz com a bioacessibilidade.

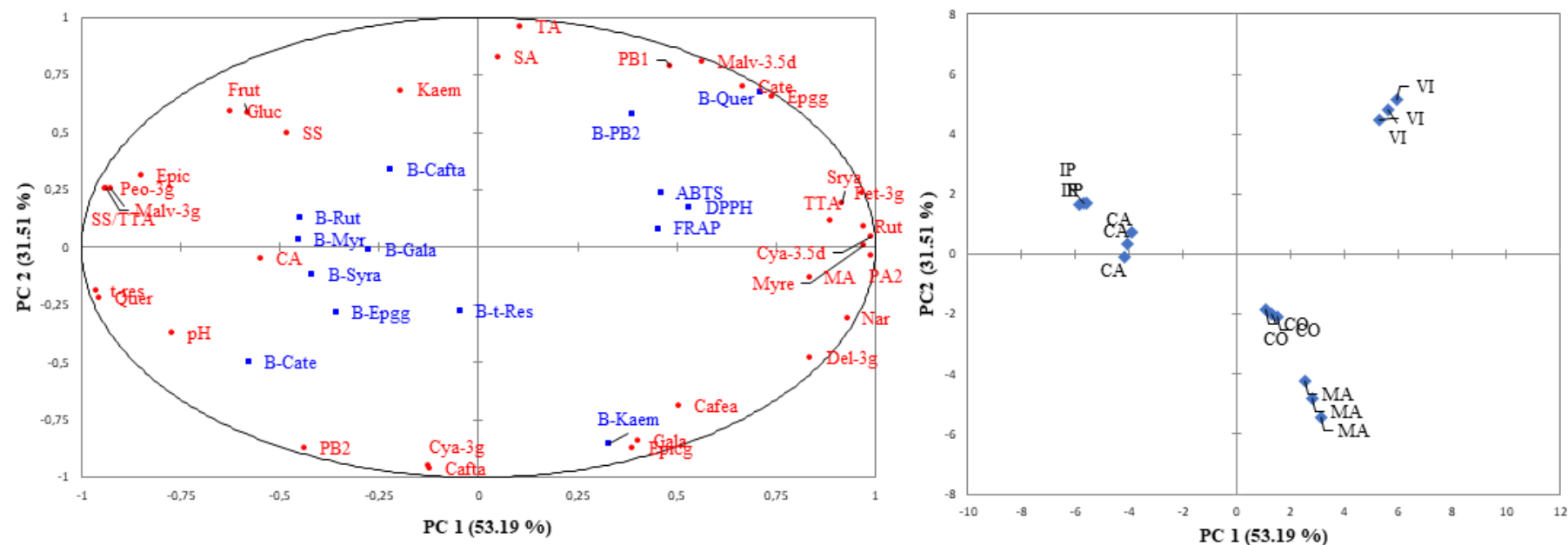


Figura 2. Análise de componentes principais do suco de uva de novas cultivares brasileiras. Legendas: IP = Suco de uva Isabel Precoces; CO = Suco de uva BRS Cora; VI = Suco de uva BRS Violeta; MA = Suco de uva BRS Magna; CA = Suco de uva BRS Carmem. Gala = ácido gálico; Srya = ácido sirínico; Nar = naringenina; PB1 = procianidina B1; Cate = (+)-catequina; PB2 = procianidina B2; Epgg = (-)-epigallocatequina galato; Epic = (-)-epicatequina; Epicg = (-)-epicatequina galato; PA2 = procianidina A2; Cafta = ácido caftárico; Cafea = ácido cafeico; t-res = trans resveratrol; Myre = miricetina; Quer = quercetina-3- β -D-glicosídeo; Rut = rutina; Kaem = kaempferol-3-O-glicosídeo; Cya-3.5d = cianidina-3.5-O-diglicosídeo; Del-3g = delphinidina-3-O-glicosídeo; Malv-3.5d = malvidina-3.5-O-diglicosídeo; Cya-3g = cianidina-3-O-glicosídeo; Peo-3g = peonidina-3-O-glicosídeo; Malv-3g = malvidina-3-O-glicosídeo; Pet-3g = petunidina-3-O-glicosídeo; B-Gala = ácido gálico bioacessível; B-Syra = ácido sirínico bioacessível; B-Cate = (+)-catequina bioacessível; B-PB2 = procianidina B2 bioacessível; B-Epgg = (-)-epigallocatequina galato bioacessível; B-Cafta = ácido caftárico bioacessível; B-t-Res = trans resveratrol bioacessível; B-Myr = miricetina bioacessível; B-Quer = quercetina-3- β -D-glicosídeo bioacessível; B-Rut = rutina bioacessível; B-Kaem = kaempferol-3-O-glicosídeo bioacessível; DPPH = capacidade antioxidante pelo DPPH; ABTS = capacidade antioxidante pelo ABTS; FRAP = capacidade antioxidante pelo FRAP; TTA = acidez total titulável; °Brix = sólidos solúveis em °Brix; °Brix/TTA = razão °Brix/TTA; pH = Potencial de Hidrogênio; CA = ácido cítrico; TA = ácido tartárico; MA = ácido málico; SA = ácido succínico; Glu = glicose; Frut = frutose.

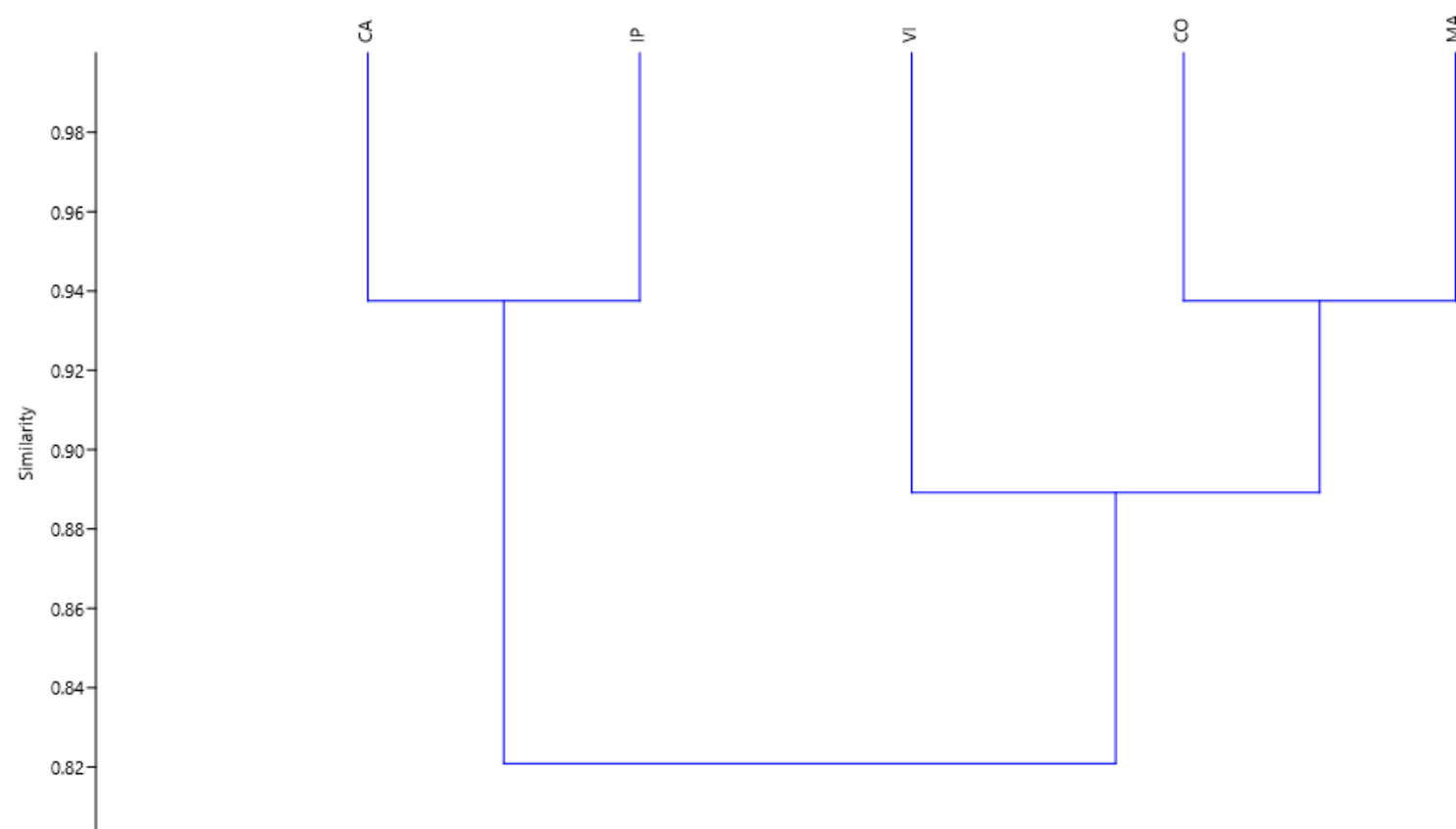


Figura 3. Dendrograma mostrando o agrupamento dos sucos de uva baseado na bioacessibilidade, perfil químico e capacidade antioxidante. Legends: IP = Isabel Precoce grape juice; CO = BRS Cora grape juice; VI = BRS Violeta grape juice; MA = BRS Magna grape juice; CA = BRS Carmem grape juice.

4 CONCLUSÕES

Os sucos de uva produzidos com uvas híbridas brasileiras apresentaram um alto conteúdo de compostos fenólicos bioacessíveis. Dos 24 compostos fenólicos inicialmente identificados e quantificados nos sucos, 11 foram bioacessíveis. O suco de uva BRS Carmem se destacou, com o maior conteúdo de fenólicos bioacessíveis, demonstrando que fatores como a cultivar devem ser mais explorados em estudos com alimentos funcionais. Os compostos fenólicos mais bioacessíveis foram (+)-catequina, proantocianidina B₂ e ácido gálico, todos com acessibilidade superior a 100%, destacando-se a classe dos flavanóis. Esta pesquisa também sugere que a bioacessibilidade dos compostos fenólicos está relacionada com o conteúdo de açúcares e ácidos orgânicos da matriz. Evidencia-se que fatores como a escolha da cultivar e o grau de maturação da uva devem ser considerados pela indústria de processamento de sucos. Por fim, os sucos de uva brasileiros, produzidos a partir de todas as cultivares avaliadas, podem ser caracterizados como uma bebida funcional com apreciável conteúdo de fitoquímicos bioacessíveis, especialmente flavanóis.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa. Agradecem também às empresas Queiroz Galvão Alimentos S/A, EBFT/ASA Ind. Com. Ltda e Grand Valle pela doação das uvas analisadas neste estudo. Ao Grupo AEB pela doação das enzimas e ao Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Embrapa Semiárido e à Universidade Federal da Bahia pelo uso do laboratório e pela doação dos reagentes.

CONFLITOS DE INTERESSE

Não.

REFERÊNCIAS

- Alqurashi, R.M., Alarifi, S.N., Walton, G.E., Costabile, A.F., Rowland, I.R., & Commane, D. M. (2017). In vitro approaches to assess the effects of açai (*Euterpe oleracea*) digestion on polyphenol availability and the subsequent impact on the faecal microbiota. *Food Chemistry*, 234, 190–198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.164>
- Augusti, P.R., Conterato, G.M.M., Denardin, C.C., Prazeres, I.D., Serra, A.T., Bronze, M.R., & Emanuelli, T. (2021). Bioactivity, bioavailability, and gut microbiota transformations of dietary phenolic compounds: implications for COVID-19.

- 36 *Journal of Nutritional Biochemistry*, 97, 108787.
37 <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2021.108787>
- 38 Barreto, S. M. A., da Silva, A. B. M., Dutra, M. C. P., Bastos, D. C., Carvalho, A. J. B.
39 A., Viana, A. C., Narain, N., Lima, M. S. (2023). Effect of commercial yeasts
40 (*Saccharomyces cerevisiae*) on fermentation metabolites, phenolic compounds,
41 and bioaccessibility of Brazilian fermented oranges. *Food Chemistry*, 408, 132-
42 151. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135121>
- 43 Brasil (2018). Instrução Normativa nº 14, de 08 de fevereiro de 2018. Estabelece a
44 complementação dos padrões de identidade e qualidade do vinho e derivados da
45 uva e do vinho. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Ed. 47, Seção 1,
46 p. 4–6
- 47 Carneiro, T.S, Dutra, M.C.P., Andrade, D.L., Araújo, A.J.B., Constante, P.L.C, Lima,
48 M.S.L. (2022). Phenolic compounds in peel, seed and cold pressed pink pepper
49 (*Schinus terebinthifolia* R.) oil and bioaccessibility of peel using a digestion model
50 with intestinal barrier simulation. *Food Bioscience*. 49, 101930.
51 <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101930>
- 52 Celep, E., Charehsaz, M., Akyüz, S., Acar, E.T., & Yesilada, E. (2015). Effect of in vitro
53 gastrointestinal digestion on the bioavailability of phenolic components and the
54 antioxidant potentials of some Turkish fruit wines. *Food Research International*,
55 78, 209–215. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.10.009>
- 56 Coelho, E.M., da Silva Padilha, C.V., Miskinis, G.A., de Sá, A.G.B., Pereira, G.E., de
57 Azevêdo, L.C., & dos Santos Lima, M. (2018). Simultaneous analysis of sugars
58 and organic acids in wine and grape juices by HPLC: Method validation and
59 characterization of products from northeast Brazil. *Journal of Food Composition*
60 *and Analysis*, 66, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.017>
- 61 De Lima Tavares Toscano, L., Silva, A.S., De França, A.C. Lima., De Sousa, B.R.V.,
62 De Almeida Filho, E.J.B., Da Silveira Costa, M., Marques, A.T.B., Da Silva, D.F.,
63 De Farias Sena, K., Cerqueira, G.S., Da Conceição Rodrigues Gonçalves, M
64 (2019). A single dose of purple grape juice improves physical performance and
65 antioxidant activity in runners: a randomized, crossover, double-blind, placebo
66 study. *European Journal of Nutrition*, 59, 2997-3007.
67 <https://doi.org/10.1007/s00394-019-02139-6>
- 68 Dutra, M.C.P., Rodrigues, L.L., Viana, A.C., De Oliveira, D., Pereira, G.E., & Dos
69 Santos Lima, M. (2018). Integrated analyses of phenolic compounds and minerals
70 of Brazilian organic and conventional grape juices and wines: Validation of a
71 method for determination of Cu, Fe and Mn. *Food Chemistry*, 269, 157-165.
72 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.014>
- 73 Dutra, M.C.P., Viana, A.C., Pereira, G.E., Resende Nassur, R.C.M., & Lima, M.S.
74 (2021). Whole, concentrated and reconstituted grape juice: impact of processes
75 on phenolic composition, “foxy” aromas, organic acids, sugars and antioxidant
76 capacity. *Food Chemistry*, 343, 128-399.
77 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128399>
- 78 Dwibedi, V., Jain, S., Singhal, D., Mittal, A., Rath, S. K., Saxena, S. (2022). Inhibitory
79 activities of grape bioactive compounds against enzymes linked with human
80 diseases. *Review. Microbiol Biotechnol*, 106(4):1399-1417.
81 <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11801-9>
- 82 Hammer, Øyvind., David A.T. Harper, Paul D. Ryan. (2001). PAST: Paleontological
83 statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia*
84 *Electronica*. vol. 4, issue 1, art. 4: 9pp. [http://palaeo-](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
85 [electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)

- 86 Han, F., Yang, P., Wang, H., Fernandes, I., Mateus, N., & Liu, Y. (2019). Digestion and
87 absorption of red grape and wine anthocyanins through the gastrointestinal tract.
88 *Trends in Food Science and Technology*, 83(November 2018), 211–224.
89 <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.025>
- 90 Leal, J.B., Portela Leal, J.B., Borges, Y.L., Moura, M.I.L., Teixeira-Araujo, A.A.,
91 Serafim da Costa, V., Carvalho, F. O. (2019). Grape juice and aerobic exercise
92 on blood pressure. *Nutrition & Food Science*. [http://dx.doi.org/10.1108/NFS-08-](http://dx.doi.org/10.1108/NFS-08-2019-0256)
93 [2019-0256](http://dx.doi.org/10.1108/NFS-08-2019-0256)
- 94 Lima, M.D.S., Silani, I.D.S.V., Toaldo, I. M., Corrêa, L.C., Biasoto, A.C.T., Pereira, G.
95 E., Bordignon-Luiz, M. T., & Ninow, J.L. (2014). Phenolic compounds, organic
96 acids and antioxidant activity of grape juices produced from new Brazilian varieties
97 planted in the Northeast Region of Brazil. *Food Chemistry*, 161, 94–103.
98 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.109>
- 99 Lima, M.S., Ferreira, E.T.J., Olinda de Souza, M.E.A., Elias Pereira, G., Toaldo
100 Fedrigo, I.M. (2022). Artificial neural network: a powerful tool in associating
101 phenolic compounds with antioxidant activity of grape juices. *Food Analytical*
102 *Methods*, 15, 527-540. <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02144-8>
- 103 Lingua, M.S., Theumer, M.G., Kruzynski, P., Wunderlin, D.A., & Baroni, M.V. (2019).
104 Bioaccessibility of polyphenols and antioxidant properties of the white grape by
105 simulated digestion and Caco-2 cell assays: Comparative study with its
106 winemaking product. *Food Research International*, 122(May), 496–505.
107 <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.05.022>
- 108 Lingua, M.S., Wunderlin, D.A., & Baroni, M.V. (2018). Effect of simulated digestion on
109 the phenolic components of red grapes and their corresponding wines. *Journal of*
110 *Functional Foods*, 44(February), 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.02.034>
- 111 Lorenzo, J.M, Estévez, M., Barba, F., Thirumdas, R., Franco, D., Sichert Munekata,
112 P.E. (2019). Polyphenols: Bioaccessibility and bioavailability of bioactive
113 components. *Innovative Thermal and Non-Thermal Processing*, 11, 309-332.
114 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814174-8.00011-1>
- 115 Lucas-Gonzalez, R., Navarro-Coves, S., Pérez-Álvarez, J. A., Fernández-López, J.,
116 Muñoz, L. A., & Viuda-Martos, M. (2016). Assessment of polyphenolic profile
117 stability and changes in the antioxidant potential of maqui berry (*Aristotelia*
118 *chilensis* (Molina) Stuntz) during in vitro gastrointestinal digestion. *Industrial Crops*
119 *and Products*, 94, 774–782. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.057>
- 120 Minekus, M., Alvinger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carrière, F.,
121 Boutrou, R., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Egger, L., Golding, M.,
122 Karakaya, S., Kirkhus, B., Le Feunteun, S., Lesmes, U., Maclerzanka, A., MacKie,
123 A., ... Brodkorb, A. (2014). A standardised static in vitro digestion method suitable
124 for food-an international consensus. *Food and Function*, 5(6), 1113–1124.
125 <https://doi.org/10.1039/c3fo60702j>
- 126 Mohamedshah, Z., Chadwick-Corbin, S., D. Wightman, J., Ferruzzi, M. G. (2020)
127 Comparative assessment of phenolic bioaccessibility from 100% grape juice and
128 whole grapes. *Food & Function*, 11, 6433-6445.
129 <https://doi.org/10.1039/d0fo00792g>
- 130 Naeem, A., Ming, Y., Pengyi, H., Jie, K.Y., Yali, L., Haiyan, Z., Shuai, X., Wenjing, L.,
131 Ling, W., Xia, Z.M., Shan, L.S., Qin, Z. (2022). The fate of flavonoids after oral
132 administration: a comprehensive overview of its bioavailability. *Critical reviews in*
133 *Food Science and Nutrition*, 62, 2022.
134 <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1898333>
- 135 OIV – International Organisation of Vine and Wine (2022). Compendium of

- international methods of wine and must analysis, edition 2022. 19th General Assembly, 21 July 2021, Paris
- Padilha, C.V. da S., Miskinis, G.A., de Souza, M.E.A.O., Pereira, G.E., de Oliveira, D., Bordignon-Luiz, M.T., & Lima, M. dos S. (2017). Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. *Food Chemistry*, 228, 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.137>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, New York, v.26, p.1231–1237
- Ribas-Agustí, A., Martín-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R., & Elez-Martínez, P. (2018). Food processing strategies to enhance phenolic compounds bioaccessibility and bioavailability in plant-based foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(15), 2531–2548. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1331200>
- Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A. & Dubourdieu, D. (2003). Tratado de Enología: química del vino estabilización y tratamientos. 1ªed.-Buenos Aires: Hemisferio Sur. v.2, 537p.;26X18
- Rufino, M.D.S.M., Alves, R.E., de Brito, E.S., de Moraes, S.M., Sampaio, C.D.G., Pérez-Jiménez, J., & Saura-Colixto, F. D. (2006). Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). *Comunicado Técnico Embrapa*, 125, 1–4.
- Seraglio, S. K. T., Gonzaga, L. V., Vitali, L., Micke, G. A., Oliveira Costa, A. C. Fett, R., Campelo Borges, C. S. (2018). Effects of gastrointestinal digestion models in vitro on phenolic compounds and antioxidant activity of juçara (*Euterpe edulis*). *International Journal of Food Science and Technology*. 53, 1824–1831. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13816>
- Silva Haas, I.C., Marmitt, D.J., Toaldo Fedrigo, I.M., Goettert, M.I., Bordignon-Luiz, M. T. (2020). Evaluation of antiproliferative and anti-inflammatory effects of non-pomace sediment of red grape juices (*Vitis labrusca* L.) in healthy and cancer cells after in vitro gastrointestinal simulation. *PharmaNutrition*, 13, 100–204. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2020.100204>
- Silva, G.G., Dutra, M. da C.P., de Oliveira, J.B., Rybka, A.C.P., Pereira, G.E., & dos Santos Lima, M. (2019). Processing methods with heat increases bioactive phenolic compounds and antioxidant activity in grape juices. *Journal of Food Biochemistry*, 43(3), 1–10. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12732>
- Sun, X., Cheng, X., Zhang, J., Ju, Y., Que, Z., Liao, X., Lao, F., Fang, Y., & Ma, T. (2020). Letting wine polyphenols functional: Estimation of wine polyphenols bioaccessibility under different drinking amount and drinking patterns. *Food Research International*, 127, 1087–1094. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108704/>
- Tagliazucchi, D., Verzelloni, E., Bertolini, D., & Conte, A. (2010). In vitro bioaccessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry*, 120(2), 599–606. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.030>
- Toaldo, I.M., Cruz, F.A. Silva, E.L., Bordignon-Luiz, M.T. (2016). Acute consumption of organic and conventional tropical grape juices (*V. labrusca* L.) increases antioxidants in plasma and erythrocytes, but not glucose and uric acid levels, in healthy individuals. *Nutrition Research*, 36, 808–817. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2016.04.010>
- Wojtunik-Kulesza, K., Oniszczyk, A., Oniszczyk, T., Combrzyński, M., Nowakowska,

- D., Matwijczuk, A. (2020). Digestion on Composition , Bioaccessibility and Antioxidant Activity of Food Polyphenols — A Non-Systematic Review. *Nutrients*, 12, 1401. <https://doi.org/10.3390/nu12051401>
- Xia, E.Q., Deng, G.F., Guo, J.Y., Li, H.B. (2010). Biological Activities of Polyphenols from Grapes. *International Journal of Molecular Sciences*, 11, 622-646. <https://doi.org/10.3390/ijms11020622>
- Yun Yang, C., Chen, Y. H., Liu, P. J., Hu, W. J., Lu, K. C. Tsai, K. W. (2022). The emerging role of miRNAs in the pathogenesis of COVID-19: Protective effects of nutraceutical polyphenolic compounds against SARS-CoV-2 infection. Review. *International Journal of Medical Sciences*, 19(8): 1340-1356. <https://doi.org/10.7150/ijms.76168>
- Zhou, D.D., Li, J., Xiong, R.G., Saimaiti, A., Huang, S.Y., Wu, S.X., Yang, Z.J., Shang, Ao., Zhao, C.N., Gan, R.Y., Li, H.B. (2022). Bioactive Compounds, Health Benefits and Food Applications of Grape. *Foods* 2022, 11, 2755. <https://doi.org/10.3390/foods11182755>

Contribuições dos Autores

Maria da Conceição Prudêncio Dutra: Concepção, Investigação – especificamente realizando os experimentos, organização de dados, Redação - Rascunho original. Ana Beatriz Martins da Silva: Análise formal. Ederlan de Souza Ferreira: Aquisição de financiamento, Recursos, Visualização. Ana Júlia de Brito Araújo Carvalho: Visualização, Análise formal. Marcos dos Santos Lima: Concepção, Supervisão, Redação – Rascunho original, Revisão e Edição, Aquisição de financiamento, Administração do projeto. Aline Camarão Telles Biasoto: Supervisão, Redação – Revisão e Edição.

5.2 Artigo 2: A incorporação de suco proveniente da prensagem de bagaço de uva influencia positivamente o rendimento e a composição química dos sucos, sem afetar seu perfil sensorial (<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117372>).

A incorporação de suco proveniente da prensagem de bagaço de uva influencia positivamente o rendimento e a composição química dos sucos, sem afetar seu perfil sensorial

Maria da Conceição Prudêncio Dutra ^{a, *}, Tainara Araújo Amorim ^b, Ana Júlia Araújo de Brito ^b, Ederlan de Souza Ferreira ^{a, *}, Marcos dos Santos Lima ^b, Aline Camarão Telles Biasoto ^{c, d}

^a Universidade Federal da Bahia, Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (PGAli). Faculdade de Farmácia, Ondina – CEP 40170-115, Salvador, BA, Brasil.

^b Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina, Laboratório de Cromatografia Líquida, Jardim São Paulo – CEP 56314-522, Petrolina, PE, Brasil.

^c Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, São Paulo, Brasil.

^d Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Semiárido, Petrolina, Pernambuco, Brasil.

*Autores para correspondência Tel: +55 71 992313184

E-mail: ederlan.ferreira@ufba.br; maria.cp.dutra@gmail.com

Periódico: *LWT-Food Science and Technology*

ISSN: 0023-6438

Maior percentil (Scopus): 94%

Ano: 2025

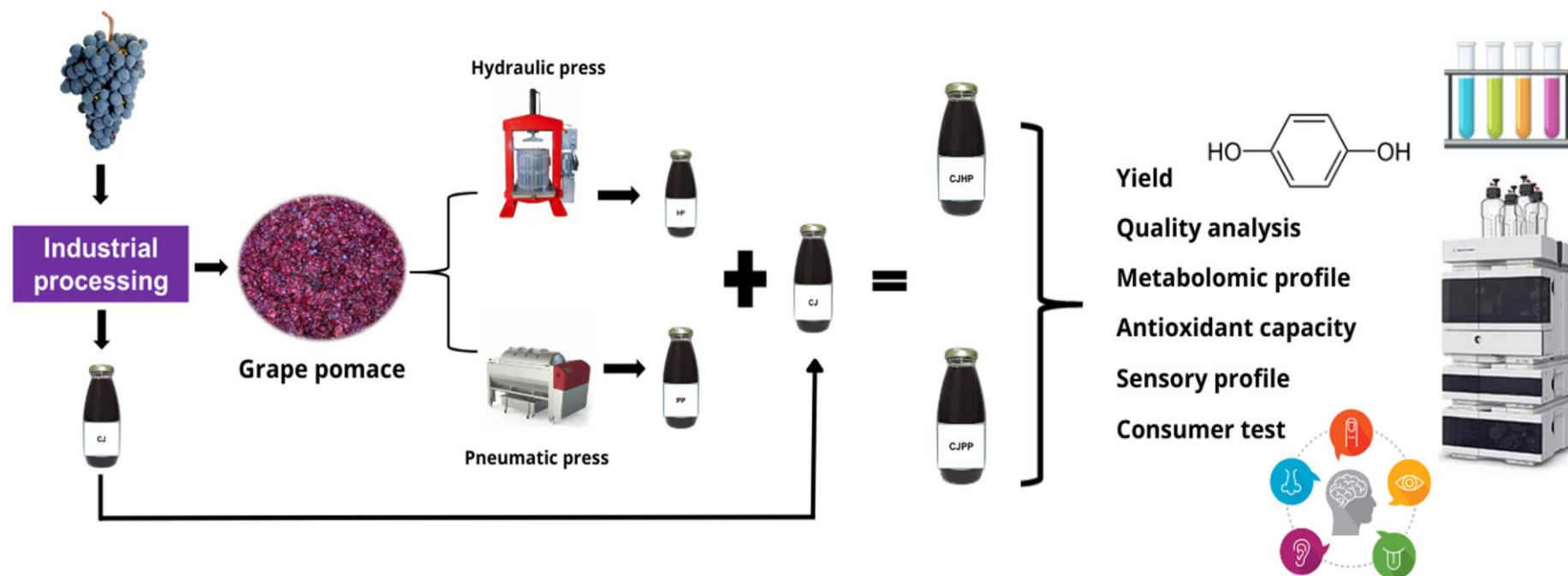
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117372>

RESUMO

A qualidade do suco obtido pela prensagem de bagaço de uva e a viabilidade de sua incorporação ao suco de uva integral foram investigadas pela primeira vez em escala industrial. Dois sistemas de prensagem foram testados: hidráulico e pneumático, e os tratamentos avaliados foram: suco de uva integral (CJ - controle), suco 100% da prensa hidráulica (HP), suco 100% da prensa pneumática (PP), suco com mistura de 87% CJ + 13% HP (CJHP) e 87% CJ + 13% PP (CJPP). Foram realizadas análises para determinar os perfis físico-químicos dos sucos, metabolitos primários e secundários, capacidade antioxidante, perfil sensorial e aceitabilidade pelos consumidores. A prensagem aumentou o rendimento nos sistemas hidráulico e pneumático em 20,5% e 27,3%, respectivamente, a concentração de compostos fenólicos, especialmente flavanóis, flavonóis e estilbenos, e a capacidade antioxidante. No entanto, os sucos HP e PP apresentaram as menores pontuações de aceitabilidade sensorial geral em comparação com o controle, enquanto CJPP e CJHP não diferiram de CJ. A prensa pneumática se destacou por proporcionar melhores resultados em qualidade de suco e rendimento. Neste estudo, a incorporação do suco proveniente da prensagem do bagaço de uva obtido durante a etapa de maceração influenciou positivamente a composição química do produto, sem alterar seu perfil sensorial ou afetar negativamente sua aceitação pelos consumidores.

Palavras-chave: Resíduos agroindustriais; Subprodutos do processamento de uva; Compostos bioativos; Teste de aceitação do consumidor; Rate-all-that-apply (RATA).

Graphical abstract



1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o suco de uva é um produto de expressivo valor comercial, ocupando a terceira posição entre os sucos de frutas mais exportados do mundo. Sua demanda tem crescido, devido principalmente ao estímulo global ao consumo de produtos de uva não alcoólicos e por sua alta aceitabilidade sensorial e funcionalidade biológica (El Kersh et al., 2023; Spinelli et al., 2024; Toscano et al., 2017). Diversos fatores influenciam a composição fenólica dos derivados da uva, incluindo técnicas de processamento e cultivares de uva (Czaplicka et al., 2022; Zubaidi et al., 2023). Os principais grupos de polifenóis no suco de uva são antocianinas, flavanóis, flavonóis, ácidos fenólicos e estilbenos, que estão fortemente associados à qualidade sensorial e às características nutracêuticas das bebidas derivadas da uva, devido às suas propriedades antioxidantes e outros benefícios para a saúde (Biasoto et al., 2010; Dutra et al., 2023; El Kersh et al., 2023; Guler, 2023).

Dentre os processos industrialmente empregados para a produção de suco de uva integral, o método de prensagem a quente se destaca (Silva et al., 2019). Este método envolve desengace e esmagamento das uvas, seguido de aquecimento, adição da enzima pectinase e maceração para a extração do mosto de uva com grande limpidez, visando obter um rendimento satisfatório do processo. A extração do suco geralmente é realizada por drenagem do mosto após a maceração, seguida de filtração, pasteurização e envase a quente. Para melhorar o rendimento do processo, a prensagem do bagaço de uva e sua incorporação ao suco também podem ser realizadas antes da filtração (Lima et al., 2015; Silva et al., 2019; El Kersh et al., 2023).

O rendimento do suco de uva integral pode atingir até 73,8%, dependendo da cultivar, da enzima pectinase e da eficiência do método de processamento empregado (Lima et al., 2015; Morris, 1988). Nesse sentido, a prensagem do bagaço de uva e sua

reincorporação, além de aumentar o rendimento do processo, pode ter um impacto direto na qualidade do produto final, aumentando, por exemplo, a concentração de antocianinas, principalmente presentes nas cascas da uva, que são os pigmentos responsáveis pela coloração roxa do suco (El Kersh et al., 2023; Zemanek et al., 2019). Além das antocianinas, a incorporação do suco obtido pela prensagem do bagaço de uva pode aumentar as concentrações de outros metabolitos, como (+)-catequina, quercetina-3-glicóideo e ácido gálico (Darias-Martín et al., 2000; Zemanek et al., 2019). Para esta etapa de prensagem do bagaço de uva, diferentes mecanismos operacionais podem ser utilizados, como a prensa hidráulica, que usa óleo hidráulico para gerar pressão e extrair o suco das uvas, e a prensa pneumática, que usa ar comprimido para gerar pressão, sendo mais rápida e adequada para o processamento de uvas, visto ser um processo mais delicado (Zemanek et al., 2019).

A adição de bagaço de uva ao suco integral pode otimizar o processo industrial, especialmente no que diz respeito ao rendimento. Como a polpa é composta por 85–92% de uvas (Machado et al., 2023), ocorre uma perda considerável de suco juntamente com o desperdício da maceração. Eventualmente, a prensagem do bagaço de uva e sua reincorporação ao suco integral pode reduzir a aceitabilidade da bebida pelo consumidor, pois pode aumentar as sensações de adstringência e amargor devido ao maior contato com as sementes e cascas da uva (Cosme, Pinto e Vilela, 2018).

Embora alguns estudos tenham relatado os impactos da reincorporação de sucos prensados, especialmente sobre o rendimento e os parâmetros sensoriais, o presente estudo confirma essas descobertas, sendo a primeira vez que são aplicadas à produção em escala industrial. Além disso, oferece uma compreensão sobre a influência da reincorporação do suco obtido pela prensagem em sistemas hidráulicos

e pneumáticos nos aspectos de qualidade, propriedades antioxidantes e sensoriais do suco de uva integral, com base no perfil dos compostos fenólicos, açúcares e ácidos orgânicos. Assim, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a composição química, o perfil sensorial, a aceitabilidade e o rendimento dos sucos obtidos pela prensagem do bagaço de uva em prensas hidráulicas e pneumáticas, bem como estudar o impacto da reincorporação desses sucos ao suco integral produzido em escala industrial.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Sucos de uva

O suco de uva integral foi elaborado pela Empresa Brasileira de Frutas Tropicais (EBFT/ASA) em duplicata, utilizando o método de prensagem a quente (Silva et al., 2019) em um sistema fabricado pela empresa JAPA (Garibaldi, Rio Grande do Sul, Brasil), contendo tanques com capacidade para 3000 kg. Para a elaboração do suco, foi utilizada uma mistura entre uvas das variedades Isabel (80%) e BRS Cora (20%), ambas cultivadas pela empresa na região do Submédio do Vale do São Francisco (latitude 09° 27' S e longitude 40° 38' W, 350 m, Petrolina, Estado de Pernambuco, Brasil, com clima tropical semiárido). A cultivar Isabel foi colhida com conteúdo de sólidos solúveis de 19°Brix, acidez de 0,81% em ácido tartárico e ratio de 23,4. A cultivar BRS Cora foi colhida com conteúdo de sólidos solúveis de 18°Brix, acidez de 0,87% e ratio de 20,6.

Durante o processo de elaboração do suco, 400 kg de resíduos foram seprados após a etapa de maceração (composto por cascas de uva, sementes e mosto residual), sendo coletados e levados para o laboratório de enologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (latitude 9° 9'S, longitude 40° 22'W e altitude 365,5 m, Petrolina, Estado de Pernambuco, Brasil). O resíduo foi prensado utilizando

339 prensas hidráulica e pneumática, ambas em duplicata (100 kg/lote). A prensa
340 hidráulica utilizada foi feita de aço inoxidável AISI 304, com um sistema de prensagem
341 manual ($5,1 \leq X \text{ kgf/cm}^2$) e capacidade de 200 L (Riceffer Metalúrgica Recifer,
342 Garibaldi, RS, Brasil). A prensa pneumática utilizada foi do modelo MRPPR
343 (Metalúrgica Recifer, Garibaldi, RS, Brasil) com pressão de trabalho de $1,8 \text{ Kgf/cm}^2$ e
344 capacidade de 1045 kg. Após a prensagem, foi coletado um volume médio de 18,9 L
345 de suco da prensa hidráulica e 25,20 L da prensa pneumática. Esses sucos foram
346 analisados separadamente e misturados com o suco integral preparado pela empresa
347 parceira. A proporção da mistura, 13% em peso, foi escolhida com base em testes
348 preliminares realizados junto com indústria parceira.

349 Os sucos foram submetidos à pasteurização (85°C por 60 s) e embalados em
350 garrafas de vidro transparente de 500 mL (Saint-Gobain®, São Paulo, Brasil). Após o
351 envase, os sucos foram resfriados para 45°C e armazenados em temperatura
352 ambiente ($22 \pm 2^\circ\text{C}$) até o momento da análise. Os tratamentos consistiram de suco
353 sem adição de resíduo de prensagem (controle - CJ), suco obtido por prensa hidráulica
354 100% (HP), suco obtido por prensa pneumática 100% (PP), mistura de 87% de suco
355 controle + 13% de suco de prensa hidráulica (CJHP) e mistura de 87% de suco
356 controle + 13% de suco de prensa pneumática (CJPP).

358 2.2. Químicos e padrões externos

359 Os produtos químicos Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-
360 carboxílico), 2,2-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) (ABTS•+), 2,2-
361 difenil-1-picrilhidrazila (DPPH•), cloreto férrico hexahidratado e TPTZ (2,4,6-Tri(2-
362 piridil)-s-triazina) foram adquiridos da Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EUA). Água
363 ultrapura foi obtida utilizando um Sistema Marte Scientific (São Paulo, Brasil). Etanol,

reagente de Folin-Ciocalteu, persulfato de potássio e carbonato de sódio foram comprados da Merck (Darmstadt, Alemanha). Ácidos tartárico, málico, cítrico, succínico, láctico, acético, propiônico, butírico e fórmico e glicose, maltose, sacarose, ramnose e frutose foram adquiridos da Química Vetec (Rio de Janeiro, Brasil). Metanol grau HPLC foi obtido da J. T. Baker (Phillipsburg, NJ, EUA). Padrões externos (HPLC) de Procianidina A₂, (-)-epicatequina galato, (-)-epigallocatequina galato, quercetina-3-rutinosídeo (rutina), quercetina-3- β -D-glicosídeo, kaempferol-3-O-glicosídeo, miricetina, cianidina-3-O-glicosídeo, malvidina-3-O-glicosídeo, peonidina-3-O-glicosídeo, delphinidina-3-O-glicosídeo, petunidina-3-O-glicosídeo e pelargonidina-3-O-glicosídeo foram obtidos da Extrasynthese (Genay, França). Ácidos cafeico, gálico, *p*-cumárico, clorogênico, *trans*-caftarico e siringico e hesperidina, proantocianidinas B₁ e B₂, (+)-catequina, (-)-epicatequina, naringenina, isorhamnetina-3-O-glicosídeo, cianidina-3,5-O-diglicosídeo e malvidina-3,5-O-diglicosídeo foram adquiridos da Sigma-Aldrich. Os isômeros, *trans*-resveratrol e *cis*-resveratrol, foram obtidos da Cayman Chemical Company (Michigan, EUA).

2.3. Parâmetros da qualidade e rendimento

O rendimento do suco controle (CJ) foi calculado como a massa de suco (kg) obtida a partir de 100 kg de uvas frescas. Para os sucos HP e PP, o rendimento foi calculado como a massa de suco em quilogramas obtida a partir de 100 kg de bagaço de uva, adicionada ao rendimento do suco CJ. Para os sucos CJHP e CJPP, o rendimento foi obtido adicionando-se 13%, correspondente à adição de suco prensado, ao rendimento obtido no suco CJ. Os sólidos solúveis (SS) em °Brix, acidez titulável (TA), ratio (SS/TA), pH, acidez volátil, teor alcoólico, intensidade de cor e tonalidade foram avaliados de acordo com os protocolos da Organização Internacional

da Vinha e do Vinho (OIV, 2022). SS foi avaliado utilizando um refratômetro digital HI 96801 (Hanna, Estados Unidos), a acidez titulável (TA) foi medida por titulação até pH 8,2, o pH foi medido utilizando um pHmetro digital PHS-3B (Tecnal, Brasil), a acidez volátil foi determinada por destilação a vapor utilizando um destilador enológico SuperDee (Gibertini, Itália), seguido de titulação com NaOH 0,1 M, e o teor alcoólico foi determinado após destilação simples da amostra e leitura a 20 °C em uma balança hidrostática automática modelo Super Alcomat (Gibertini, Itália). A intensidade de cor foi determinada pela soma das absorbâncias a 420, 520 e 620 nm e a tonalidade foi determinado pela razão das absorbâncias a 420 e 520 nm, medidas utilizando um espectrofotômetro UV-visível UV 2000A (Instrutherm, Brasil). Além disso, a cor foi medida utilizando um colorímetro portátil (HunterLab, modelo ColorQuest XE) com o sistema de cores CIELab para determinar as coordenadas L*, a* e b*.

2.4. Capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante (AOX) dos sucos foi medida utilizando os métodos espectrofotométricos *in vitro* de DPPH• (Kim et al., 2002), ABTS•+ (Re et al., 1999) e FRAP (Rufino et al., 2006). Além disso, a capacidade redutora do reagente de Folin-Ciocalteu (Singleton & Rossi, 1965) para determinar o conteúdo total de compostos fenólicos também foi utilizada como metodologia para avaliar o AOX do suco, conforme recomendado por Granato et al. (2018). Todas as leituras de absorbância foram realizadas utilizando um espectrofotômetro UV-Vis modelo UV 2000A (Instrutherm, São Paulo, Brasil).

A capacidade redutora do Folin-Ciocalteu foi quantificada utilizando 50 µL da amostra, 3,95 mL de água destilada, 250 µL de reagente de Folin-Ciocalteu e 750 µL de solução saturada de carbonato de sódio a 20%. A mistura foi incubada no escuro

por 120 minutos e a absorbância foi determinada a 765 nm. Os resultados foram expressos em mg de equivalente ácido gálico por litro de suco (GAE mg/L) e comparados com a curva de calibração com ácido gálico (25–500 mg/L, $R^2 = 0,998$).

Para o ensaio FRAP, o reagente FRAP foi preparado misturando acetato (300 mmol; pH 3,6), TPTZ (10 mM TPTZ em 40 mM HCl) e FeCl_3 (20 mM). Em seguida, uma mistura foi preparada com 90 μL da amostra, 270 μL de água destilada e 2,7 mL do reagente FRAP, incubada a 37 °C em um termo-reator (modelo IT2002, AAKER, Brasil) por 30 minutos. A absorbância foi medida a 595 nm e os resultados foram expressos como mmol Fe^{2+} por litro de suco (mmol Fe^{2+} /L). A curva de calibração foi preparada utilizando sulfato ferroso, em concentrações de 100 a 2000 $\mu\text{mol/L}$ ($R^2 = 0,999$).

A atividade dos radicais DPPH• foi determinada medindo a extinção do máximo de absorção a 517 nm. Uma mistura de 100 μL de amostra em 2,90 mL de solução de etanol contendo 1,0 mM de radical DPPH•, diluída até uma absorbância entre 0,900 e 1,000, foi preparada e incubada no escuro por 30 minutos. Os resultados são expressos como equivalentes de Trolox por litro de suco (mM TE/L). A curva de calibração foi preparada com Trolox, em concentrações de 200 a 1200 $\mu\text{mol/L}$ ($R^2 = 0,998$).

A AOX por ABTS•+ foi medida através da atividade de captura dos radicais ABTS•+ das amostras pela taxa de decaimento na absorbância a 734 nm, determinada em $t = 0$ min e $t = 6$ min após a adição das amostras na ausência de luz. Os radicais foram preparados utilizando uma solução de 7 mmol de ABTS•+ e 140 mmol de persulfato de potássio e incubados no escuro por 16 h. A solução foi diluída em etanol até uma absorbância de $0,700 \pm 0,050$. Os resultados são expressos como equivalentes de

Trolox por litro de suco (mM TE/L). A curva de calibração foi preparada com Trolox, em concentrações de 200 a 2000 $\mu\text{mol/L}$ ($R^2 = 0,997$).

2.5. Compostos fenólicos, açúcares e ácidos orgânicos

Compostos fenólicos, açúcares e ácidos orgânicos foram medidos por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), utilizando um cromatógrafo líquido Agilent, modelo 1260 Infinity LC System (Agilent Technologies, CA, EUA), equipado com uma bomba de solvente quaternária (modelo G1311C), desgasificador, compartimento de coluna (modelo G1316A), e amostrador automático (modelo G1329B) e acoplado a um detector de arranjo de diodos (DAD) (modelo G1315D) e a um detector de índice de refração (RID) (modelo G1362A). Os dados foram processados utilizando o software OpenLAB CDS ChemStation EditionTM (Agilent Technologies, CA, EUA).

Para avaliar o perfil fenólico utilizando HPLC/DAD, foi utilizado o protocolo validado nas mesmas condições analíticas descritas por Padilha et al. (2017), com adaptações de Dutra, Rodrigues, et al. (2018). As condições cromatográficas foram as seguintes: temperatura do forno a 35 °C e volume de injeção de 20 μL . A amostra foi previamente filtrada através de uma membrana de 0,45 μm (Millex Millipore, Barueri, SP, Brasil). A coluna utilizada foi Zorbax Eclipse Plus RP-C18 (100 $\times$ 4,6 mm, 3,5 μm), com uma pré-coluna Zorbax C18 (12,6 $\times$ 4,6 mm, 5 μm) (Zorbax, EUA). A taxa de fluxo do solvente foi 0,8 mL min^{-1} utilizando dois solventes, solvente A e solvente B, onde o solvente A era uma solução aquosa de 0,52% de ácido fosfórico (pH = 2,0) e o solvente B era metanol acidificado com 0,52% de H_3PO_4 . O gradiente aplicado para a separação dos compostos foi: 0–5 min: 5% B; 5–14 min: 23% B; 14–30 min: 50% B; e 30–33 min: 80% B. Trinta compostos fenólicos foram identificados e

quantificados por comparação com padrões externos, e as curvas de calibração mostraram $R^2 > 0,998$.

A metodologia descrita por Coelho et al. (2018) foi utilizada para determinar açúcares e ácidos orgânicos. Esses metabólitos foram detectados simultaneamente em HPLC-DAD/RID, utilizando uma coluna de troca iônica ($300 \times 7,7$ mm) com partículas internas de $8,0 \mu\text{m}$ e uma pré-coluna PL Hi-Plex H (5×3 mm) (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA). As condições cromatográficas foram as seguintes: temperatura do forno da coluna mantida a 70°C , volume de injeção de $10 \mu\text{L}$ e taxa de fluxo do solvente de $0,6 \text{ mL min}^{-1}$. As amostras foram previamente diluídas em água ultrapura e filtradas através de uma membrana de nylon de $0,45 \mu\text{m}$ (Millex Millipore, Barueri, SP, Brasil). A fase móvel foi uma solução de H_2SO_4 4 mmol/L . Ácidos orgânicos foram detectados com um detector DAD (210 nm) e açúcares com RID. A identificação e quantificação foram realizadas por comparação com padrões externos, com as curvas de calibração mostrando $R^2 > 0,997$.

2.6. Análise sensorial

A avaliação sensorial foi previamente aprovada pelo Comitê de Ética para Pesquisa com Seres Humanos (CAAE nº 64362022.9.0000.8052). Todas as amostras foram avaliadas por 100 consumidores de suco de uva integral (consumo regular de pelo menos um copo por semana) recrutados para participar da análise sensorial, incluindo estudantes de graduação e pós-graduação em ciência de alimentos, técnicos de laboratório e professores. Vinte e seis voluntários do sexo masculino e setenta e quatro do sexo feminino, com idades entre 18 e 59 anos, foram selecionados. Os jurados descreveram os perfis sensoriais das amostras e avaliaram sua aceitabilidade em uma única sessão de avaliação, com as amostras servidas em

uma ordem de apresentação monádica. O teste foi realizado em cabines individuais, com a temperatura do laboratório mantida a 22 ± 2 °C. Trinta microlitros das amostras foram servidos a uma temperatura de 8 ± 2 °C em taças de cristal padrão para degustação de vinho (ISO 3591:1977), codificadas com três dígitos. A ordem de apresentação das amostras entre os participantes seguiu o desenho de blocos completamente balanceado proposto por Macfie et al. (1989) para a avaliação de cinco amostras. Os avaliadores foram instruídos a limpar o paladar com água mineral e biscoitos sem sal antes de cada amostra.

2.7. Análise sensorial descritiva

O método Rate-All-That-Apply (RATA) (Ares et al., 2014) foi utilizado para descrever o perfil sensorial das amostras de suco de uva. A seleção dos termos descritivos para o formulário de avaliação foi realizada previamente por um grupo focal (Alencar et al., 2019), composto por nove especialistas em avaliação sensorial de suco de uva. O grupo focal selecionou 12 termos descritivos para caracterizar os perfis sensoriais das amostras de suco de uva: cor violeta, limpidez, intensidade aromática, aroma doce, aroma cozido, aroma de suco de uva, gosto doce, gosto ácido, sabor de suco de uva, sabor cozido, refrescância e adstringência. Os termos selecionados foram apresentados no formulário de avaliação sensorial e, para cada termo, os jurados ($n = 100$) foram instruídos a avaliar se o termo se aplicava ou não para descrever a amostra e identificar a intensidade percebida usando uma escala estruturada de 5 pontos ancorada pelos termos: “1- muito pouco,” “2- pouco,” “3- médio,” “4- muito” e “5- muito.”

2.8. Teste de consumidor

Os testes de aceitação e intenção de compra foram realizados durante a mesma sessão de avaliação sensorial. Para avaliar a aparência, aroma, sabor e aceitação geral dos sucos de uva, foi aplicada uma escala hedônica híbrida de 9 pontos (1 = desgostei extremamente, 5 = nem gostei nem desgostei, e 9 = gostei extremamente), proposta por Biasoto et al. (2014). Para o teste de intenção de compra (Meilgaard et al., 2006), foi utilizada uma escala de 5 pontos: 1 = certamente não compraria, 2 = possivelmente não compraria, 3 = teria dúvidas se compraria, 4 = possivelmente compraria, e 5 = certamente compraria.

2.9. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância unidirecional (ANOVA) e ao teste de Tukey com nível de probabilidade de 5% para comparar as médias. Além disso, análises multivariadas, incluindo Análise de Componentes Principais (PCA), Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) e Mapa de Preferência Interna Estendido (EPM), foram realizadas utilizando o software XLStat (Addinsoft, Paris, França, 2015).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Rendimento e parâmetros da qualidade

Quanto ao rendimento do processo, o suco CJ obteve um valor médio de 67%, um valor próximo ao reportado por Lima et al. (2015), que estudaram diferentes processos de maceração para a produção de suco de uva integral na mesma unidade industrial. Após a etapa de prensagem, o rendimento médio aumentou em 20,5% para a prensa hidráulica (HP) e 27,3% para a prensa pneumática (PP), podendo alcançar um rendimento industrial de 87,5% a 94,3% se as prensas hidráulica e pneumática fossem adicionadas à linha de processamento, respectivamente, e todo o suco prensado fosse utilizado. Esse é um excelente resultado do ponto de vista econômico, alcançando a extração de toda a polpa presente na baga da uva, o que, segundo Machado et al. (2023), representa aproximadamente 92%. Alleria et al. (2016) estudaram a influência dos métodos de prensagem na qualidade e rendimento do suco de romã e também relataram valores de rendimento mais elevados com o uso de prensa pneumática. Adicionando apenas 13% do suco obtido a partir da prensagem do bagaço da uva (amostras CJHP e CJPP), o rendimento do suco integral aumentou de 67% para 80%.

Os parâmetros de qualidade físico-químicos do suco de uva integral estão diretamente relacionados à aceitabilidade do produto pelo consumidor. A legislação determina os padrões de identidade e qualidade para o suco de uva, os quais incluem principalmente variáveis como sólidos solúveis, acidez total titulável, além de álcool e acidez volátil (Brasil, 2018; Codex Alimentarius, 2005). Esses parâmetros foram relacionados às concentrações de metabólitos primários da uva, particularmente açúcares e ácidos orgânicos. A Tabela 1 apresenta os valores médios dos parâmetros

de qualidade, conteúdos de açúcares e ácidos orgânicos nos sucos avaliados. Os tratamentos foram os seguintes: suco integral controle (CJ), suco 100% prensa hidráulico (HP), suco 100% prens pneumático (PP), uma mistura de 87% de suco controle e 13% de suco prensa hidráulico (CJHP), e uma mistura de 87% de suco controle e 13% de suco prensa pneumático (CJPP).

Os parâmetros de qualidade dos sucos avaliados (Tabela 1) atenderam à legislação brasileira (Brasil, 2018) e ao CODEX STAN 247 2005 (Codex Alimentarius, 2005). Os sólidos solúveis variaram de 19,60 °Brix no suco CJ a 20,40 °Brix no suco HP. O pH variou de 3,1 no suco CJHP a 3,4 no suco HP; a relação variou de 21,8 (CJHP) a 23,1 (CJPP); a acidez volátil apresentou resultados entre 2,75 mEq/L (CJHP) e 3,20 mEq/L (PP); e o teor alcoólico variou de 0,13% no suco CJ a 0,18% nos sucos PP, CJHP e CLPP, respectivamente, indicando boas condições sanitárias no processo e estabilidade microbiana das bebidas (Sharma et al., 2017). Outro atributo importante de qualidade é a intensidade da cor, para a qual os sucos obtidos com 100% de prensagem da polpa apresentaram os melhores resultados, o que pode ser explicado pela força mecânica exercida nas cascas das uvas, possivelmente extraíndo concentrações mais altas de antocianinas. Para a tonalidade, uma variável relacionada à razão entre as cores amarelo/vermelho (absorvância a 420 nm/520 nm), todos os sucos apresentaram valores baixos (<0,48), demonstrando a predominância da cor vermelha, que é desejável para esta bebida. Este resultado é corroborado pelos valores encontrados nas coordenadas L* (luminosidade), menores que 14,86, e a* (variação verde-vermelha), variando de 0,47 no suco CJHP a 1,46 no suco HP. De acordo com Campbell et al. (2021), valores menores de L* indicam sucos mais coloridos.

3.2. Perfil de açúcares e ácidos orgânicos

Os açúcares predominantes nos sucos foram glicose e frutose, com concentrações médias acima de 100 g/L para todos os tratamentos, seguidos pela sacarose em concentrações baixas (menos de 1 g/L). O ácido tartárico foi encontrado como o ácido orgânico predominante, seguido pelo ácido málico (Tabela 1). O tipo e a quantidade de açúcares e ácidos orgânicos presentes nas uvas são indicadores importantes do sabor do suco, e a quantidade desses metabolitos está principalmente relacionada à maturação das uvas na colheita (Czaplicka et al., 2022; Wang et al., 2024).

O suco obtido pela prensagem do bagaço de uva influenciou o perfil dos ácidos orgânicos, diminuindo a quantidade de ácido tartárico. Os sucos CJ (5,25 g/L), CJHP (4,71 g/L) e CJPP (4,56 g/L) apresentaram valores mais altos de ácido tartárico do que os sucos HP (3,48 g/L) e PP (3,36 g/L). Por outro lado, o conteúdo de ácido málico foi maior nos sucos HP (3,05 g/L) e PP (2,90 g/L).

A análise de regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) foi aplicada para correlacionar os parâmetros físico-químicos e as concentrações de açúcares e ácidos orgânicos com a aceitabilidade geral do suco de uva integral, o que mostrou que uma maior concentração de ácido tartárico estava positivamente relacionada à aceitação do produto, enquanto o ácido málico apresentou uma correlação negativa (Figura Suplementar 1). De acordo com Gancel et al. (2022), o ácido málico é descrito como um ácido "verde" e "agressivo", com alto poder acidificante, e seu limiar de percepção é mais alto do que o do ácido tartárico, o que pode justificar a menor aceitação dos sucos com maior concentração de ácido málico. Na produção de vinhos tintos, visando alcançar uma melhor aceitação sensorial da bebida, a fermentação malolática é geralmente realizada para converter o ácido málico em ácido lático (Tian et al., 2024).

Tabela 1. Parâmetros de qualidade, açúcares e ácidos orgânicos de sucos de uva integral obtidos sem e com prensagem do bagaço da uva

Parâmetros ¹	Sucos de uva ³				
	CJ	HP	PP	CJHP	CJPP
<i>Classical analyses</i>					
pH	3,20 ± 0,01 ^c	3,30 ± 0,02 ^b	3,40 ± 0,01 ^a	3,10 ± 0,01 ^d	3,30 ± 0,03 ^b
Sólidos solúveis (°Brix)	19,60 ± 0,00 ^d	20,40 ± 0,10 ^a	20,00 ± 0,06 ^b	19,70 ± 0,00 ^{cd}	19,80 ± 0,00 ^c
Acidez titulável (%)	0,87 ± 0,00 ^{ab}	0,90 ± 0,00 ^a	0,90 ± 0,01 ^a	0,90 ± 0,01 ^a	0,85 ± 0,01 ^b
Relação °Brix/AT	22,30 ± 0,12 ^b	22,50 ± 0,30 ^{ab}	22,20 ± 0,32 ^b	21,80 ± 0,24 ^b	23,10 ± 0,27 ^a
Acidez volátil (mEq/L)	3,00 ± 0,01 ^d	3,10 ± 0,04 ^c	3,30 ± 0,03 ^a	2,75 ± 0,04 ^e	3,20 ± 0,04 ^b
Teor alcoólico (% v/v)	0,13 ± 0,01 ^b	0,16 ± 0,02 ^{ab}	0,18 ± 0,01 ^a	0,18 ± 0,01 ^a	0,18 ± 0,01 ^a
Intensidade de cor	8,65 ± 0,06 ^c	11,59 ± 0,32 ^a	12,70 ± 0,90 ^a	10,05 ± 0,03 ^{bc}	9,25 ± 0,61 ^{bc}
Tonalidade	0,46 ± 0,01 ^a	0,46 ± 0,00 ^a	0,44 ± 0,00 ^a	0,46 ± 0,00 ^a	0,47 ± 0,01 ^a
Cor CIELAB					
L*	12,80 ± 0,07 ^b	13,80 ± 0,76 ^{ab}	14,05 ± 0,79 ^{ab}	14,86 ± 0,85 ^a	12,52 ± 0,17 ^b
a*	0,73 ± 0,11 ^b	1,46 ± 0,15 ^a	0,68 ± 0,14 ^b	0,47 ± 0,11 ^b	0,74 ± 0,03 ^b
b*	0,67 ± 0,01 ^c	5,72 ± 0,03 ^b	6,56 ± 0,16 ^a	6,56 ± 0,28 ^a	6,69 ± 0,01 ^a
<i>Açúcares² g/L</i>					
Sacarose	0,87 ± 0,12 ^a	0,34 ± 0,00 ^b	0,38 ± 0,01 ^b	0,77 ± 0,24 ^a	0,40 ± 0,00 ^b
Glicose	108,70 ± 0,90 ^a	105,30 ± 0,60 ^{ab}	102,40 ± 3,90 ^b	104,30 ± 0,03 ^{ab}	104,20 ± 0,37 ^{ab}
Frutose	114,90 ± 0,90 ^a	111,90 ± 0,70 ^b	106,80 ± 0,99 ^c	110,30 ± 0,02 ^b	110,20 ± 0,38 ^b
Ramnose	ND	ND	ND	ND	ND
Σ Açúcares	224,47 ± 1,92	217,54 ± 1,30	209,58 ± 4,90	215,37 ± 0,29	214,80 ± 0,72
<i>Ácidos orgânicos² g/L</i>					
Ácido cítrico	0,42 ± 0,08 ^a	0,29 ± 0,00 ^b	0,27 ± 0,00 ^b	0,29 ± 0,00 ^b	0,29 ± 0,00 ^b
Ácido tartárico	5,25 ± 0,20 ^a	3,48 ± 0,12 ^c	3,36 ± 0,04 ^c	4,71 ± 0,10 ^b	4,56 ± 0,04 ^b
Ácido málico	2,61 ± 0,02 ^c	3,05 ± 0,01 ^a	2,90 ± 0,03 ^b	2,59 ± 0,01 ^c	2,59 ± 0,02 ^c
Ácido succínico	0,30 ± 0,00 ^a	ND	ND	0,30 ± 0,00 ^a	0,31 ± 0,00 ^a
Ácido láctico	0,55 ± 0,05 ^b	0,66 ± 0,01 ^a	0,67 ± 0,01 ^a	0,48 ± 0,00 ^c	0,49 ± 0,00 ^c
Ácido fórmico	0,04 ± 0,00 ^b	0,07 ± 0,01 ^a	0,08 ± 0,00 ^a	0,05 ± 0,01 ^b	0,05 ± 0,00 ^b
Ácido acético	ND	ND	ND	ND	ND
Ácido propiônico	ND	ND	ND	ND	ND
Ácido butírico	ND	ND	ND	ND	ND
Σ Ácidos orgânicos	9,17 ± 0,35	7,54 ± 0,15	7,27 ± 0,08	8,42 ± 0,12	8,29 ± 0,06

¹Os resultados são expressos como média ± desvio-padrão (n = 3 avaliações de cada lote). Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ²ND: Não detectado ou abaixo do limite de quantificação. ³CJ: Suco controle (sem prensagem do bagaço de uva); HP: Suco 100% prensado em prensa hidráulica; PP: Suco 100% prensado em prensa pneumática; CJHP: Mistura de 87% de suco controle + 13% de suco prensado em prensa hidráulica; e CJPP: Mistura de 87% de suco controle + 13% de suco prensado em prensa pneumática.

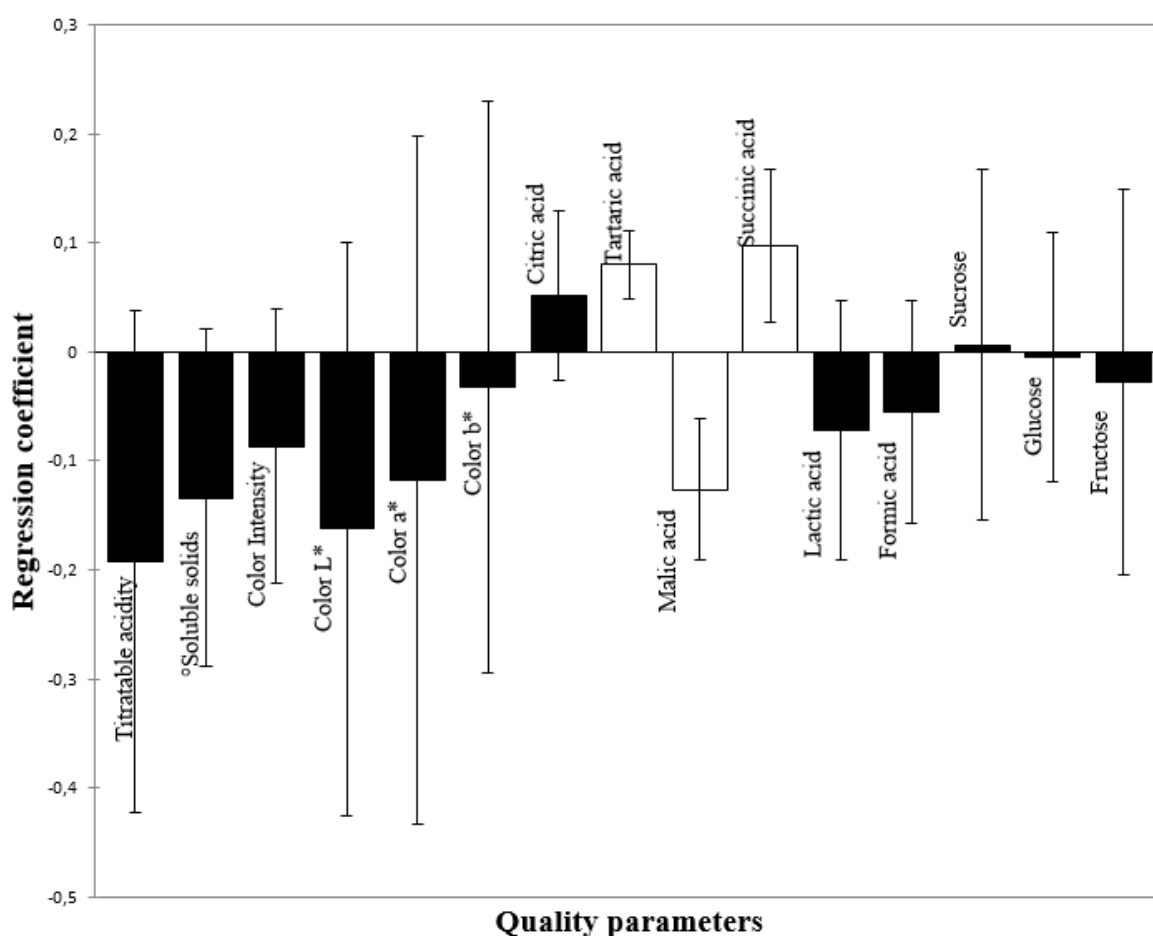


Figura suplementar 1- Intervalo de confiança jackknife de 95% dos coeficientes da regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) para a predição da aceitação global de sucos de uva pelos consumidores (n=100), com base nos parâmetros de qualidade (Tabela 1). Barras brancas indicam parâmetros de qualidade que contribuíram positiva ou negativamente para a aceitação pelos consumidores, com $p \leq 0,05$, e barras pretas indicam parâmetros de qualidade sem contribuição significativa para a aceitação pelos consumidores.

3.3. Perfil fenólico e capacidade antioxidante

Os perfis fenólicos das amostras de suco estão apresentados na Tabela 2. De forma geral, os polifenóis são estruturas químicas que influenciam as características sensoriais de cor, adstringência e amargor em produtos derivados da uva e são distribuídos em duas principais classes: flavonoides e não-flavonoides (El Kersh et al., 2023; Machado et al., 2023). Seis flavanóis, cinco flavonóis, sete antocianinas e um flavanona foram detectados na classe dos flavonoides, enquanto que quatro ácidos fenólicos e dois estilbenos foram identificados na classe dos não-flavonoides. A Figura

Suplementar 2 mostra um cromatograma dos compostos fenólicos quantificados nas amostras utilizando HPLC/DAD.

Na classe dos flavanóis, os sucos que apresentaram as maiores quantidades, em ordem decrescente, foram PP > HP > CJPP > CJHP > CJ (Tabela 2). O flavanol predominante foi a procianidina A₂, com resultados variando de 24,24 mg/L no suco PP a 19,17 mg/L no suco CJ. Outros flavanóis notáveis nas amostras foram as procianidinas B₁ e B₂, e (-)-epicatequina galato. De acordo com Cosme et al. (2018), as proantocianidinas nas uvas estão principalmente presentes na casca e nas sementes das bagas, o que explica a maior presença de flavanóis nos sucos PP e HP. (+)-Catequina, (-)-epicatequina e procianidinas, especialmente a procianidina B₂, estão mais presentes nas sementes, enquanto maiores concentrações de prodelphinidinas e procianidinas, principalmente a procianidina B₁, são encontradas nas cascas. As características sensoriais associadas aos flavanóis incluem a adstringência, que está principalmente relacionada à presença de flavanóis menos polimerizados. Essa percepção sensorial é comumente descrita como uma “sensação de secura na boca” (Gibbins & Carpenter, 2013; Zhao et al., 2023), e em sucos de frutas, tende a não ser uma característica apreciada pelos consumidores (Cosme et al., 2018).

Em relação aos flavonóis, os sucos obtidos da prensagem do bagaço de uva apresentaram os maiores níveis, sendo a miricetina o composto predominante em todos os sucos, com destaque particular no suco obtido 100% por prensagem pneumática (PP) e na mistura do suco controle com o suco 100% prensa pneumático (CJPP). Isso indica que o método de prensagem influencia a concentração desse composto. De acordo com El Kersh et al. (2023), a miricetina é um dos principais flavonóis encontrados na casca das uvas vermelhas. Uma qualidade sensorial

importante associada a essa classe de compostos fenólicos é a capacidade de produzir pigmentos coloridos mais estáveis, o que influencia a estabilidade da cor do suco de uva (Machado et al., 2023).

As antocianinas encontradas em maiores quantidades nos sucos foram malvidina-3-O-glicosídeo, malvidina-3,5-O-diglicosídeo e cianidina-3,5-O-diglicosídeo. De forma geral, os sucos diferiram na concentração de antocianinas, sugerindo que a extração desses compostos foi afetada pela incorporação de suco obtido da prensagem do bagaço de uva, assim como por outras etapas do processamento da bebida, como a maceração (Lima et al., 2015). A diferenciação ocorreu principalmente para cianidina-3-O-glicosídeo, pelargonidina-3-O-glicosídeo e peonidina-3-O-glicosídeo ao comparar o suco controle com o suco CJHP. Além disso, a concentração de malvidina-3-O-glicosídeo e malvidina-3,5-O-diglicosídeo nos sucos obtidos 100% da prensagem do bagaço de uva (HP e PP) aumentou. De acordo com El Kersh et al. (2023), as antocianinas são compostos biossintetizados na casca da uva e são extremamente importantes para a qualidade sensorial dos sucos de uva, pois são os principais pigmentos responsáveis pela cor vermelha da bebida, que é altamente apreciada pelos consumidores (Cosme et al., 2018). Na classe dos estilbenos, *trans*-resveratrol e *cis*-resveratrol foram detectados nos sucos (exceto no suco CJ), e apenas hesperidina foi detectada no grupo dos flavonoides. Os métodos de prensagem testados aumentaram a concentração de estilbenos, com destaque particular no suco obtido por prensagem pneumática (PP), e um aumento na concentração de hesperidina foi observado apenas no suco PP.

Quanto aos ácidos fenólicos, ácidos gálico, clorogênico, cafeico e *trans*-cafárico foram identificados nos sucos, sendo o *trans*-cafárico predominante em todas as amostras, com valores médios variando de 424,32 mg/L no suco PP até 296,61 mg/L

no suco CJHP. O suco obtido 100% pela prensagem do bagaço de uva utilizando a prensa pneumática (PP) apresentou concentrações mais altas de ácidos *trans*-cafárico, gálico e cafeico. Já o conteúdo de ácido clorogênico não diferiu entre as amostras de suco. De acordo com Cosme et al. (2018), essa classe de compostos é encontrada principalmente na polpa e na casca das uvas, o que pode explicar as maiores concentrações de alguns desses compostos no suco PP devido ao maior contato com as cascas das uvas.

Além de influenciar as características sensoriais dos produtos derivados da uva, os compostos fenólicos podem modificar as propriedades funcionais desses produtos, principalmente devido à sua atividade antioxidante, que pode mitigar os efeitos do estresse oxidativo (Hussain et al., 2016). No presente estudo, as capacidades antioxidantes (AOX) foram medidas utilizando os testes DPPH•, ABTS•+, FRAP e Folin-Ciocalteu. Todos os sucos apresentaram valores antioxidantes (Tabela 2), consistentes com outros estudos que avaliaram suco de uva integral produzido na mesma região, caracterizada por um clima semiárido tropical (Dutra, Rodrigues, et al., 2018; Padilha et al., 2017). Os dados de DPPH• variaram de 6,12 mM TE/L no suco CJ até 10,86 mM TE/L no suco PP. Para ABTS•+, os resultados variaram de 12,34 mM TE/L no suco CJ até 21,28 mM TE/L no suco PP. No método FRAP, a AOX variou de 20,87 mM Fe²⁺/L no suco CJ até 41,60 mM Fe²⁺/L no suco PP. Na avaliação da capacidade redutora dos compostos fenólicos utilizando o reagente Folin-Ciocalteu, os resultados variaram de 1953,33 mg GAE/L no suco CJ até 2980,01 mg GAE/L no suco HP. Em resumo, todos os sucos apresentaram AOX satisfatório, com ênfase no suco obtido a partir de 100% da prensagem do bagaço de uva em prensas pneumáticas (PP) (Tabela 2). A Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada para correlacionar a AOX com o perfil fenólico dos sucos de uva avaliados

(Figura Suplementar 3). Os compostos fenólicos que melhor se correlacionaram com a atividade antioxidante foram cianidina-3,5-*O*-diglicosídeo, malvidina-3,5-*O*-diglicosídeo, proantocianidina B₁, ácido cafeico e ácido gálico. Dutra et al. (2023) relataram que a proantocianidina B₁ e o ácido gálico são polifenóis do suco de uva com alta bioacessibilidade utilizando o protocolo Infogest.

Tabela 2. Compostos bioativos e capacidade antioxidante de sucos de uva integrais obtidos com e sem prensagem de bagaço de uva

Compostos fenólicos ^{1,2} (mg L ⁻¹)	Sucos de uva ⁵				
	CJ	HP	PP	CJHP	CJPP
<i>Flavanóis</i>					
(+) -Catequina	1,63 ± 0,15 ^{ab}	2,11 ± 0,15 ^a	2,10 ± 0,17 ^a	1,41 ± 0,19 ^b	1,69 ± 0,06 ^{ab}
Procianidina B1	9,18 ± 1,05 ^b	23,57 ± 3,56 ^a	22,57 ± 2,91 ^{ab}	13,35 ± 1,10 ^{ab}	16,44 ± 0,90 ^{ab}
Procianidina B2	14,49 ± 0,04 ^a	5,91 ± 0,41 ^c	6,84 ± 0,90 ^c	12,49 ± 0,67 ^{ab}	12,10 ± 0,33 ^b
Procianidina A2	19,17 ± 0,95 ^a	20,37 ± 2,49 ^a	24,24 ± 4,36 ^a	19,84 ± 1,18 ^a	22,72 ± 0,77 ^a
(-) -Epigallocatequina galato	0,96 ± 0,04 ^c	4,41 ± 0,83 ^a	3,88 ± 0,47 ^a	1,77 ± 0,22 ^b	1,96 ± 0,33 ^b
(-) -Epicatequina galato	9,40 ± 1,33 ^b	11,85 ± 1,02 ^a	11,47 ± 0,67 ^a	10,01 ± 0,42 ^b	10,80 ± 0,02 ^{ab}
(-) -Epicatequina	ND	ND	ND	ND	ND
Σ Flavanóis	54,83 ± 3,56	68,22 ± 8,46	71,10 ± 9,48	58,87 ± 3,78	65,71 ± 2,41
<i>Flavonóis</i>					
Quercetina-3-β-D-glicosídeo	1,15 ± 0,03 ^b	2,13 ± 0,04 ^{ab}	2,71 ± 0,02 ^a	1,77 ± 0,29 ^{ab}	2,23 ± 0,20 ^a
Rutina	12,06 ± 0,04 ^b	27,99 ± 7,51 ^{ab}	35,71 ± 2,46 ^a	23,82 ± 4,89 ^{ab}	32,56 ± 3,73 ^a
Kaempferol-3-O-glicosídeo	1,68 ± 0,02 ^c	4,41 ± 0,20 ^{ab}	5,13 ± 0,02 ^a	3,39 ± 0,61 ^{bc}	4,39 ± 0,52 ^{ab}
Isorhamnetina-3-O-glicosídeo	1,27 ± 0,01 ^c	2,61 ± 0,41 ^{ab}	3,13 ± 0,03 ^a	2,07 ± 0,34 ^{bc}	2,65 ± 0,20 ^{ab}
Miricetina	34,24 ± 0,03 ^b	71,25 ± 16,33 ^a	94,98 ± 3,82 ^a	59,31 ± 10,28 ^b	78,10 ± 7,40 ^a
Σ Flavonóis	50,40 ± 0,13	108,39 ± 24,49	141,66 ± 6,35	90,36 ± 16,41	119,93 ± 12,05
<i>Antocianinas</i>					
Cianidina-3,5-O-diglicosídeo	15,70 ± 0,08 ^{ab}	15,76 ± 1,48 ^{ab}	18,34 ± 1,7 ^a	14,50 ± 0,57 ^b	16,62 ± 0,01 ^{ab}
Delfinidina-3-O-glicosídeo	12,96 ± 0,04 ^a	11,70 ± 1,20 ^a	12,28 ± 1,53 ^a	10,51 ± 0,55 ^a	12,00 ± 0,19 ^a
Cianidina-3-O-glicosídeo	10,57 ± 0,06 ^a	9,97 ± 0,79 ^{ab}	9,58 ± 0,57 ^{ab}	8,56 ± 0,35 ^b	9,39 ± 0,17 ^{ab}
Peonidina-3-O-glicosídeo	10,81 ± 0,01 ^a	11,17 ± 0,91 ^a	10,90 ± 0,42 ^a	9,30 ± 0,41 ^b	10,23 ± 0,14 ^{ab}

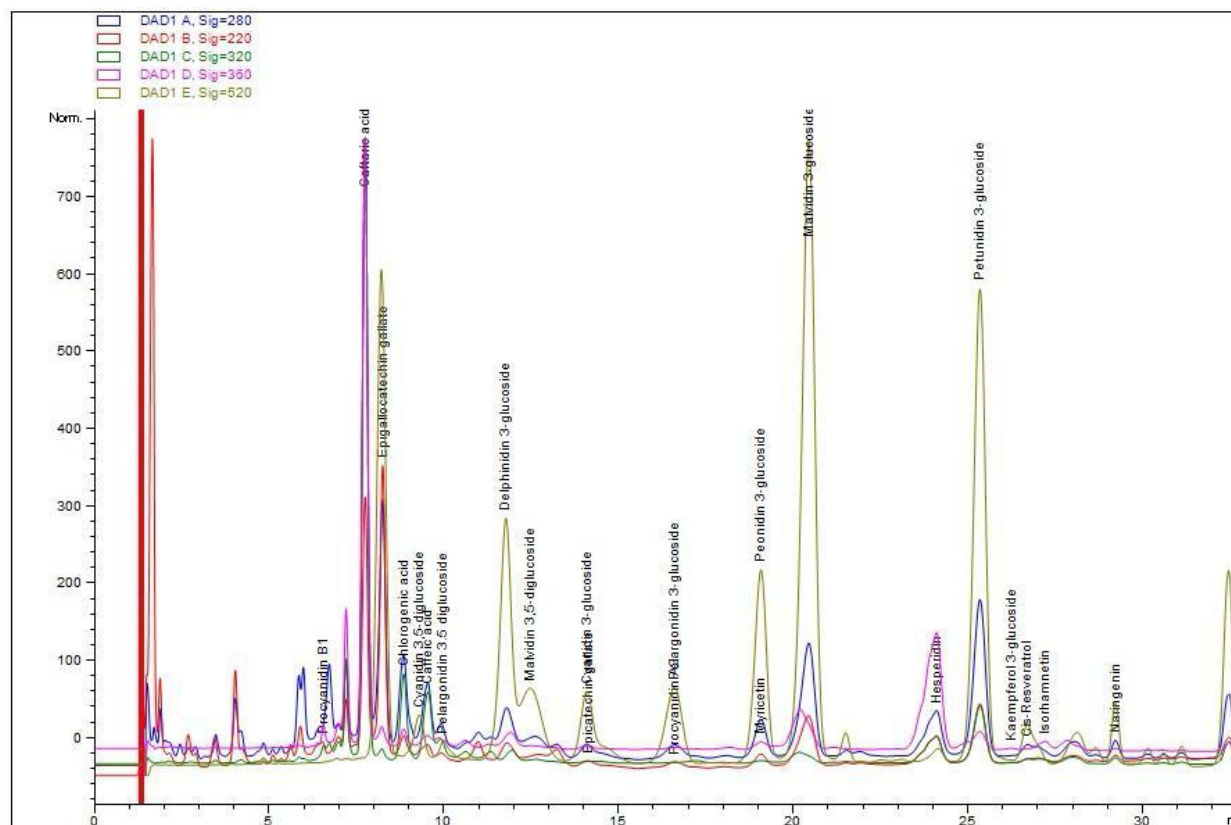
Malvidina-3,5-O-diglicosídeo	13,84 ± 0,03 ^b	19,66 ± 1,62 ^a	19,54 ± 0,79 ^a	13,93 ± 0,69 ^b	14,98 ± 0,40 ^b
Malvidina-3-O-glicosídeo	44,14 ± 0,03 ^{ab}	48,55 ± 4,27 ^a	47,28 ± 2,86 ^{ab}	39,33 ± 1,83 ^b	43,68 ± 0,61 ^{ab}
Petunidina-3-O-glicosídeo	ND	ND	ND	ND	ND
Pelargonidina-3-O-glicosídeo	10,21 ± 0,01 ^{ab}	10,83 ± 0,90 ^a	10,51 ± 0,77 ^a	8,53 ± 0,37 ^b	9,51 ± 0,09 ^{ab}
Σ Antocianinas	118,23 ± 0,26	127,64 ± 11,17	128,43 ± 8,64	104,66 ± 4,77	116,41 ± 1,61
<i>Estilbenos</i>					
<i>trans</i> -resveratrol	2,49 ± 0,02 ^b	5,35 ± 0,50 ^{ab}	7,03 ± 0,11 ^a	4,74 ± 0,93 ^{ab}	6,46 ± 0,72 ^a
<i>cis</i> -resveratrol	ND	0,91 ± 0,25 ^a	1,21 ± 0,01 ^a	0,94 ± 0,03 ^a	0,94 ± 0,13 ^a
Σ estilbenos	2,49 ± 0,02	6,26 ± 0,75	8,24 ± 0,12	5,68 ± 0,96	7,40 ± 0,85
<i>Flavanonas</i>					
Hesperidina	2,29 ± 0,64 ^b	2,47 ± 0,05 ^b	5,19 ± 0,80 ^a	2,07 ± 0,02 ^b	2,68 ± 0,17 ^b
Naringenina	ND	ND	ND	ND	ND
Σ Flavanonas	2,29 ± 0,64	2,47 ± 0,05	5,19 ± 0,80	2,07 ± 0,02	2,68 ± 0,17
<i>Ácidos fenólicos</i>					
Gallic acid	6,15 ± 0,12 ^b	17,07 ± 1,73 ^a	15,49 ± 2,75 ^a	6,44 ± 0,34 ^b	6,93 ± 0,98 ^b
Syringic acid	ND	ND	ND	ND	ND
Ácido <i>trans</i> -cafártico	344,47 ± 11,81 ^{ab}	424,32 ± 3,03 ^a	313,05 ± 1,22 ^b	296,61 ± 51,80 ^b	354,40 ± 59,75 ^{ab}
Ácido clorogênico	0,76 ± 0,01 ^a	0,78 ± 0,12 ^a	0,73 ± 0,15 ^a	0,60 ± 0,09 ^a	0,76 ± 0,01 ^a
Ácido <i>p</i> -coumarico	ND	ND	ND	ND	ND
Ácido cafeico	0,46 ± 0,01 ^c	1,20 ± 0,02 ^a	0,78 ± 0,04 ^b	0,67 ± 0,06 ^c	0,78 ± 0,14 ^b
Σ Ácidos fenólicos	351,84 ± 11,95	443,37 ± 4,90	330,05 ± 4,16	304,32 ± 52,29	362,87 ± 60,88
Fenólicos totais quantificados	580,08 ± 16,56	756,35 ± 49,82	684,67 ± 29,55	565,96 ± 78,23	675,00 ± 77,97
Antividade antioxidante – AOX ^{3,4}					
DPPH mM TE L ⁻¹	6,12 ± 0,11 ^b	9,98 ± 0,74 ^a	10,86 ± 1,03 ^a	7,90 ± 0,28 ^b	7,64 ± 0,50 ^b
ABTS mM TE L ⁻¹	12,34 ± 0,60 ^c	17,88 ± 1,30 ^{ab}	21,28 ± 1,74 ^a	13,98 ± 0,60 ^{bc}	13,90 ± 0,73 ^{bc}

707	FRAP mM Fe ²⁺ L ⁻¹	20,87 ± 0,28 ^b	30,87 ± 2,72 ^b	41,60 ± 5,44 ^a	23,28 ± 0,79 ^b	23,62 ± 0,02 ^b
708	Folin Ciocalteu mg L ⁻¹ GAE	1953,33 ± 27,87 ^b	2980,01 ± 30,34 ^a	2552,61 ± 311,03 ^{ab}	2023,01 ± 45,51 ^b	2069,47 ± 212,41 ^b

709 ¹Os resultados são expressos como média ± desvio-padrão (n = 3 avaliações de cada lote). Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ²ND = Não
710 detectado ou abaixo do limite de quantificação. ³TE = Equivalente a Trolox. ⁴GAE = Equivalente a ácido gálico. ⁵CJ: Suco controle (sem prensagem do bagaço de uva); HP: Suco 100% prensado em prensa hidráulica; PP:
711 Suco 100% prensado em prensa pneumática; CJHP: Mistura de 87% de suco controle + 13% de suco prensado em prensa hidráulica; e CJPP: Mistura de 87% de suco controle + 13% de suco prensado em prensa
712 pneumática.

713

714



715

Figura suplementar 2- Chromatograma HPLC-DAD do suco 100% prensado em prensa pneumática. 280 nm para ácido gálico, hesperidina e cis-resveratrol; 220 nm para (+)-catequina, (-)-epicatequina, (-)-epigallocatequina galato, (-)-epicatequina galato, procianidina A2, procianidina B1 e procianidina B2; 320 nm para ácido trans-cafártico, ácido cafeico, ácido p-coumarico, ácido clorogênico e trans-resveratrol; 360 nm para miricetina, quercetina-3-β-D-glicosídeo, rutina, kaempferol-3-O-glicosídeo e isorhamnetina-3-O-glicosídeo; 520 nm para malvidina-3,5-O-diglicosídeo, cianidina-3,5-O-diglicosídeo, pelargonidina-3,5-O-diglicosídeo, peonidina-3-O-glicosídeo, delphinidina-3-O-glicosídeo e malvidina-3-O-glicosídeo.

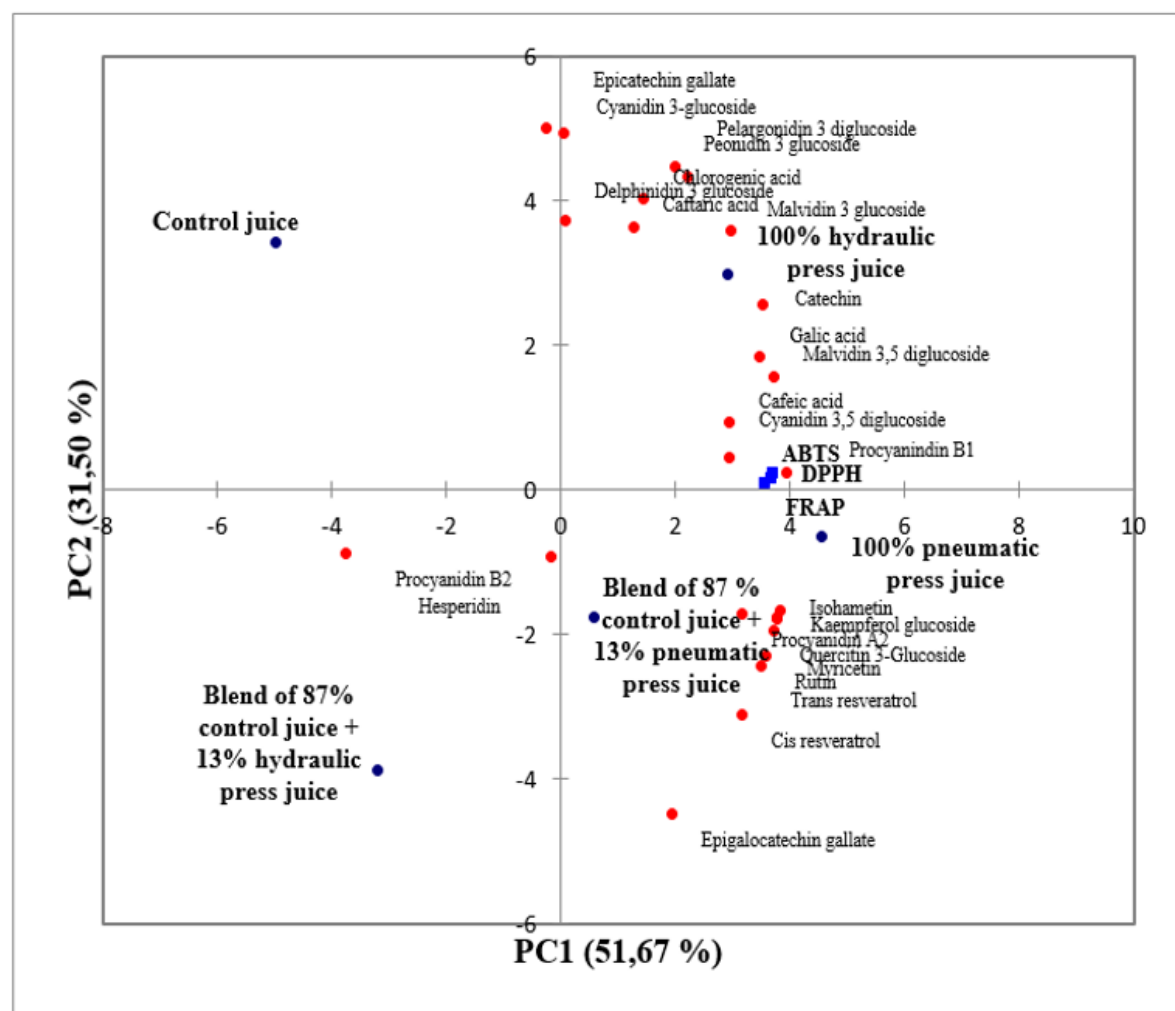


Figura suplementar 3- PCA gerada com os dados de de compostps fenólicos e capacidade antioxidante dos sucos de uva.

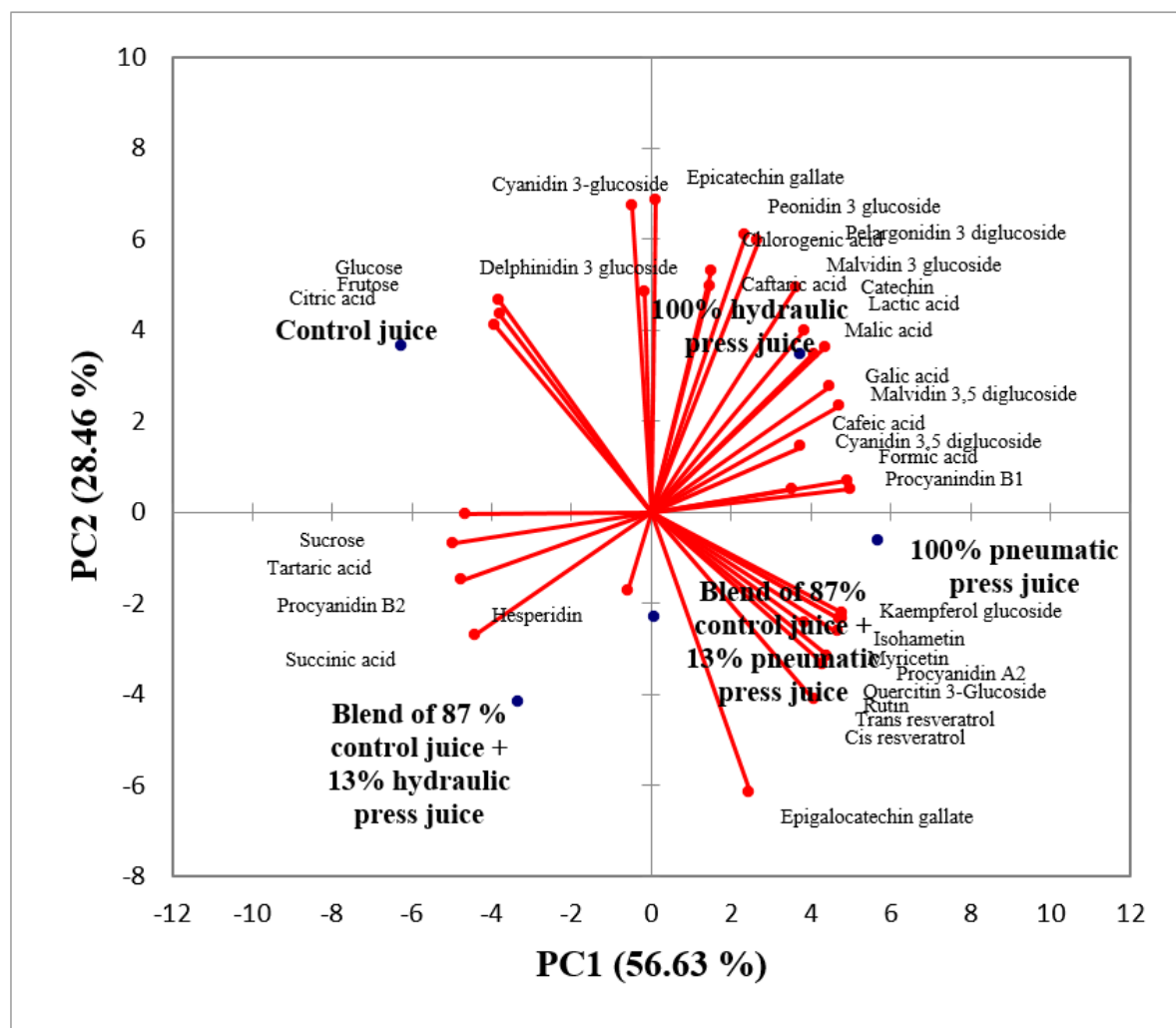
3.4. Perfil metabólico dos sucos de uva

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi a ferramenta estatística utilizada para mostrar as diferenças nos perfis metabólicos dos sucos de uva (Figura 1). Os componentes principais 1 e 2 (PC1 e PC2) representaram 85,09% da variabilidade entre as amostras, sendo que a PC1 representou 56,63% e a PC2 representou 28,46%.

A PC1 separou os tratamentos em grupos distintos (Fig. 1). Os vetores mais próximos ao tratamento HP representam os ácidos orgânicos málico, ácidos fenólicos *trans*-caftarico, caféico, gálico e clorogênico, flavanóis (-)-epicatequina galato, (+)-catequina e proantocianidina B₁, bem como os antocianinas malvidina-3,5-O-diglicosídeo e peonidina-3-O-glicósido. Por outro lado, os sucos PP e CJPP apresentam perfis metabólicos mais semelhantes, pois estão mais próximos e se destacam pela presença de metabólitos como kaempferol-3-O-glicósido, isorhamnetina-3-O-glicósido, miricetina, quercetina-3- β -D-glicósido, *trans*-resveratrol, *cis*-resveratrol e proantocianidina A₂.

Enquanto isso, o suco controle (CJ) está mais próximo dos vetores que representam açúcares (glicose, frutose e sacarose), ácidos orgânicos (ácidos tartárico e cítrico) e o flavanol proantocianidina B₂. Em contraste, o CJHP está separado do CJ na PC2 e não se destacou entre nenhum dos metabólitos quantificados. Em resumo, a PCA demonstrou que a incorporação de suco obtido pela prensagem do bagaço da uva influencia o perfil metabólico do suco de uva e, conseqüentemente, a qualidade do produto. A escolha do método de prensagem deve ser considerada, combinando qualidade e rendimento. Corroborando com os achados, Zemanek et al. (2019) também enfatizaram a influência do sistema de prensagem (hidráulico ou pneumático) na qualidade dos produtos derivados da uva.

750



751

752 **Figura 1-** Análise de Componentes Principais (PCA) construída com os metabolitos primários e
753 secundários quantificados nos sucos de uva integrais obtidos sem e com prensagem do bagaço de
754 uva.

755

756 3.5. Análise sensorial

757 Os perfis sensoriais dos sucos são apresentados na Tabela 3. A intensidade da
758 maioria dos atributos sensoriais avaliados não diferiu significativamente entre as
759 amostras ($p \leq 0,05$). Por outro lado, para os atributos de intensidade aromática e
760 aroma e sabor de suco de uva, o suco controle (CJ) apresentou as maiores
761 intensidades médias, que diferiram significativamente ($p \leq 0,05$) apenas dos sucos
762 obtidos 100% pela prensagem do bagaço da uva, PP (para intensidade aromática,

aroma de suco de uva e sabor de suco de uva) e HP (para sabor de suco de uva). Entre os compostos voláteis responsáveis pelo aroma do suco de uva, o antranilato de metila, o 2'-aminoacetofenona e o 4-hidroxi-2,5-dimetil-3 (2H)-furanona (furaneol) se destacam. O furaneol foi associado à tipicidade aromática dos sucos de uva produzidos na mesma região deste estudo, como relatado por Dutra et al. (2018b). Em resumo, os compostos voláteis foram extraídos durante a etapa de maceração da produção do suco de uva. A incorporação do suco obtido pela prensagem do bagaço da uva em uma proporção de 13% não reduziu significativamente o potencial olfativo desses compostos, pois não diminuiu significativamente a intensidade de atributos como intensidade aromática, aroma de suco de uva ou sabor de suco de uva.

A preferência dos consumidores em relação às amostras de suco de uva e a influência dos descritores sensoriais na média de aceitabilidade geral podem ser observadas no Mapa de Preferência Interna Estendido (EPM), apresentado na Figura 2. CJ, CJHP e CJPP foram preferidos pela maioria dos consumidores ($n = 100$) e foram associados a uma maior intensidade de atributos, como refrescância, sabor e aroma de suco de uva, sabor e aroma doces, e intensidade aromática. Poucos consumidores preferiram o suco PP, que foi associado à cor violeta, e o suco HP, que se destacou pelo sabor e aroma cozidos. A Figura Suplementar 4 mostra que os atributos de sabor doce e sabor de suco de uva podem ser considerados como os principais responsáveis pela aceitabilidade do suco de uva pelos consumidores. Esses atributos apresentaram uma correlação positiva significativa ($p < 0,05$) com a aceitabilidade geral, de acordo com o modelo de regressão de Mínimos Quadrados Parciais (Biasoto et al., 2014).

A Tabela 4 apresenta as respostas para aparência, aroma, sabor e aceitabilidade geral, juntamente com as porcentagens de aceitação e rejeição no teste de intenção

de compra. As amostras de suco de uva não diferiram em termos de aceitação de aparência, embora os sucos HP e PP tenham exibido maior intensidade de cor (Tabela 1). No entanto, para aroma, sabor e aceitabilidade geral, o suco HP obteve as menores pontuações, possivelmente devido às intensidades mais altas de sabor e aroma cozidos nesta amostra (Figura 2). Zemanek et al. (2019) enfatizaram que o processo de prensagem de uvas utilizando prensa hidráulica é mais rústico e menos cuidadoso do que a prensagem em prensa pneumática, com a vantagem de ter um custo menor.

A aceitabilidade geral diminuiu na seguinte ordem: CJ > CJPP > CJHP > PP > HP. No teste de intenção de compra, mais de 60% dos consumidores indicaram que comprariam os sucos CJ, CJPP e CJHP se estivessem disponíveis para venda, enquanto 48% comprariam o suco HP. No entanto, todos os sucos obtiveram aceitação satisfatória dos consumidores, que não perceberam diferenças entre as características sensoriais do suco controle e os sucos com 13% de bagço de uva prensado (CJPP e CJHP). Isso demonstra que a prensagem do bagço residual da uva da etapa de maceração, seguida pela incorporação do suco prensado, é uma excelente opção para otimizar a produção de suco de uva integral. Isso aumenta o rendimento do processo e mantém a qualidade sensorial esperada pelos consumidores de suco de uva.

Tabela 3. Perfil sensorial dos sucos obtidos com e sem prensagem do bagaço de uva, usando 100 consumidores.

Descritores ^{1,2}	Sucos de uva ³				
	CJ	HP	PP	CJHP	CJPP
<i>Aparência</i>					
Cor violeta	4,3 ^{ab}	4,1 ^b	4,4 ^a	4,1 ^b	4,2 ^{ab}
Limpidez	2,4 ^a	2,5 ^a	2,5 ^a	2,5 ^a	2,4 ^a
<i>Aroma</i>					
Intensidade aromática	3,2 ^a	2,8 ^{ab}	2,7 ^b	3,1 ^{ab}	3,1 ^{ab}
Aroma doce	2,9 ^a	2,5 ^a	2,6 ^a	2,7 ^a	2,7 ^a
Aroma cozido	1,2 ^a	1,5 ^a	1,3 ^a	1,3 ^a	1,4 ^a
Aroma de suco de uva	3,5 ^a	3,1 ^{ab}	2,9 ^b	3,3 ^{ab}	3,4 ^a
<i>Sabor</i>					
Sabor doce	3,0 ^{ab}	2,7 ^b	2,7 ^b	3,2 ^a	3,2 ^a
Sabor ácido	2,3 ^a	2,2 ^a	2,2 ^a	1,8 ^b	1,9 ^{ab}
Sabor de suco de uva	3,8 ^a	3,2 ^c	3,3 ^{bc}	3,7 ^{ab}	3,6 ^{ab}
Sabor cozido	1,3 ^a	1,5 ^a	1,3 ^a	1,2 ^a	1,2 ^a
<i>Sensações na boca</i>					
Refrescância	2,5 ^{ab}	2,2 ^b	2,4 ^{ab}	2,5 ^{ab}	2,6 ^a
Adstringência	1,4 ^a	1,5 ^a	1,5 ^a	1,2 ^a	1,3 ^a

¹As médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Escala utilizada para avaliar a intensidade dos descritores pelo método sensorial. ²Escala RATA utilizada: 1 = muito pouco; 2 = pouco; 3 = médio; 4 = muito; 5 = muito. ³CJ: Suco controle (sem prensagem do bagaço de uva); HP: Suco 100% prensado em prensa hidráulica; PP: Suco 100% prensado em prensa pneumática; CJHP: Mistura de 87% de suco controle + 13% de suco prensado em prensa hidráulica; e CJPP: Mistura de 87% de suco controle + 13% de suco prensado em prensa pneumática.

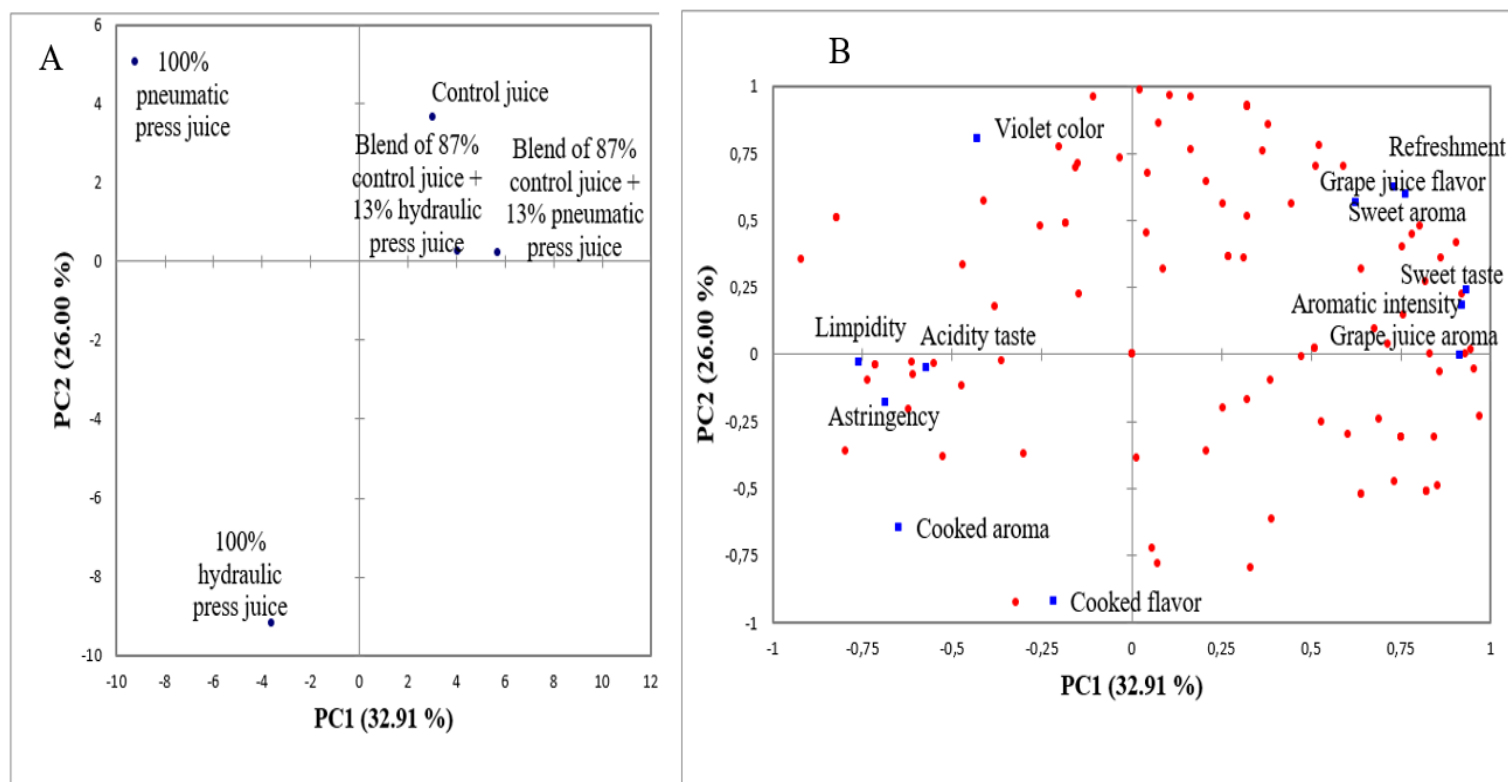


Figura 2 - Mapa de Preferência Interna Estendido (EPM) para a aceitabilidade geral e dados do perfil sensorial descritivo, mostrando a configuração dos sucos de uva (A) e EPM para a aceitabilidade geral e dados do perfil sensorial descritivo, mostrando a configuração dos consumidores (n = 100) e os descritores sensoriais (n = 12) (B).

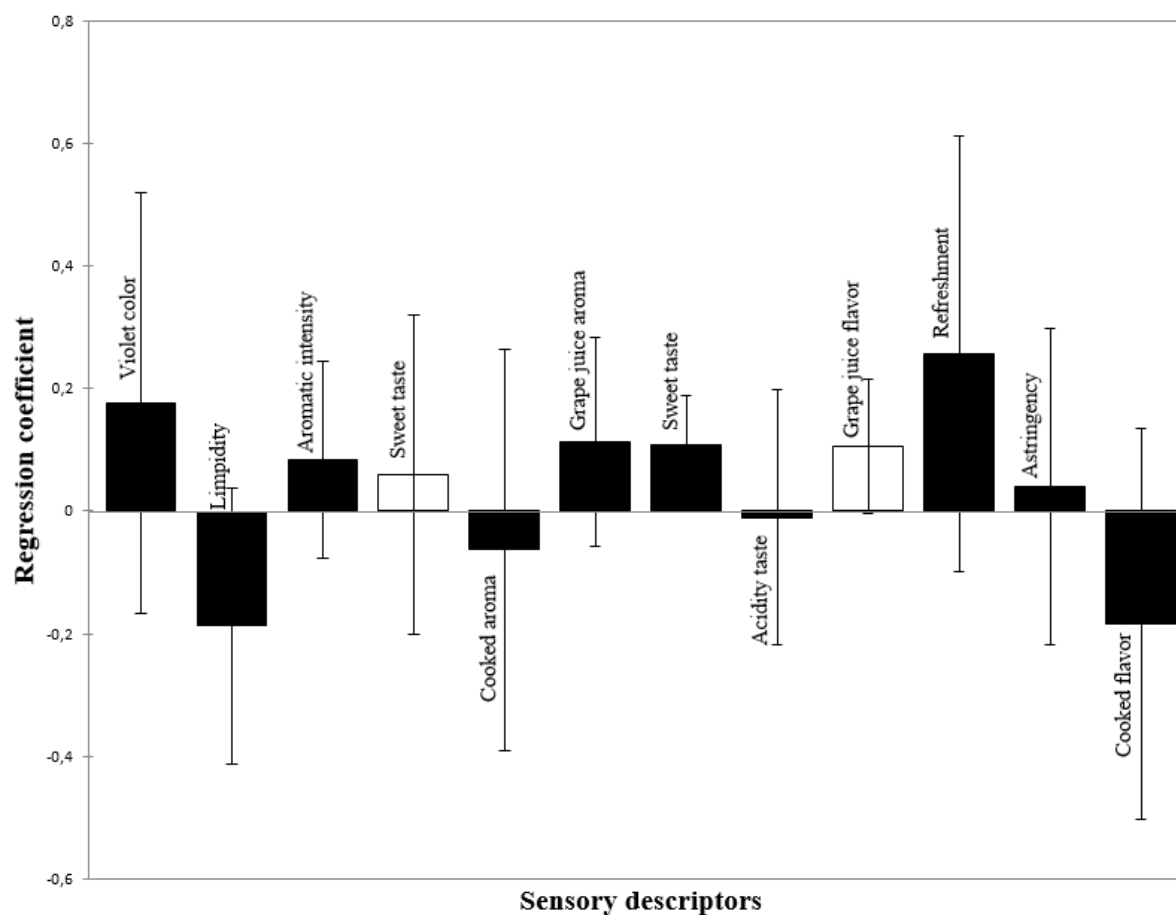


Figura suplementar 4- Intervalo de confiança jackknife de 95% dos coeficientes da regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) para a predição da aceitação geral dos sucos de uva pelos consumidores (n=100), com base nos descritores sensoriais. Barras brancas indicam descritores que contribuíram positiva ou negativamente para a aceitação dos consumidores com $p \leq 0,05$, e barras pretas indicam descritores sem contribuição significativa para a aceitação dos consumidores.

Tabela 4. Aceitação sensorial e intenção de compra dos sucos obtidos com e sem prensagem do bagaço de uva, usando 100 consumidores

	Sucos de uva ⁴				
	CJ	HP	PP	CJHP	CJPP
<i>Teste de aceitação^{1,2}</i>					
Aparência	7,6 ^a	7,4 ^a	7,5 ^a	7,7 ^a	7,5 ^a
Aroma	6,9 ^a	6,1 ^b	6,6 ^{ab}	6,7 ^{ab}	6,7 ^{ab}
Sabor	7,0 ^{ab}	6,1 ^c	6,5 ^{bc}	7,2 ^a	7,1 ^{ab}
Aceitabilidade geral	7,3 ^a	6,4 ^c	6,7 ^{bc}	7,0 ^{ab}	7,2 ^{ab}
<i>Teste de intenção de compra³</i>					
Notas de aceitação	69%	48%	50%	67%	67%
Notas de rejeição	16%	32%	30%	17%	13%

¹As médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ²Escala hedônica híbrida utilizada: 1 = extremamente desgostado; 5 = nem gostou nem desgostou; 9 = extremamente gostou. ³Notas de aceitação = Σ certamente compraria + possivelmente compraria; Notas de rejeição = Σ certamente não compraria + possivelmente não compraria. ⁴CJ: Suco controle (sem prensagem do bagaço de uva); HP: Suco 100% prensado em prensa hidráulica; PP: Suco 100% prensado em prensa pneumática; CJHP: Mistura de 87% de suco controle + 13% de suco prensado em prensa hidráulica; e CJPP: Mistura de 87% de suco controle + 13% de suco prensado em prensa pneumática.

4. CONCLUSÕES

A incorporação do suco proveniente da prensagem do bagaço da uva coletado durante a etapa de maceração influenciou positivamente a composição química do produto, sem alterar seu perfil sensorial ou afetar negativamente sua aceitação pelos consumidores. A adição da etapa de prensagem à produção de suco de uva integral aumentou o rendimento do processo, reduziu a quantidade de resíduos industriais gerados e potencializou a concentração de fitoquímicos como flavanóis, flavonóis e estilbenos. Portanto, este estudo recomenda a proporção testada de 13% de incorporação para a produção em escala industrial de suco de uva integral. Os sucos obtidos de 100% da prensagem do bagaço de uva tiveram as menores pontuações de aceitação pelos consumidores (HP < PP), possivelmente devido à menor intensidade

aromática, notas de aroma e sabor de suco de uva, aroma e gosto doces e concentrações mais altas de ácido málico. No entanto, esses sucos ainda receberam classificações satisfatórias de aceitabilidade e continham altas concentrações de compostos bioativos, tornando-os adequados para comercialização a um custo mais baixo. Este estudo demonstrou que a recuperação do suco prensado do bagaço de uva é uma excelente alternativa para melhorar a produção de suco de uva, reduzir perdas, minimizar impactos ambientais e produzir produtos de alta qualidade, principalmente ao utilizar prensas pneumáticas.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa, ao projeto CAPES/PDPG número 88881.708195/2022-0 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), projeto número 312378/2022. Os autores também agradecem à Empresa Brasileira de Frutas Tropicais (EBFT/ASA) pela doação das matérias-primas e espaço para a realização do experimento.

CONFLITOS DE INTERESSES

Não

REFERÊNCIAS

- Alencar, N. M. M., Ribeiro, T. G., Barone, B., Barros, A. P. A., Marques, A. T. B., Behrens, J. H. (2019). Sensory profile and check-all-that-apply (cata) as tools for evaluating and characterizing syrah wines aged with oak chips. *Food Research International* v. 124, p. 156-164. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.052>
- Alleria, P. C., Pasquale, C., Vallone, M. (2016). Effect of different processing methods on the quality of obtained pomegranate juice. *Acta Hort.* 1242. ISHS 2019. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1242.5>
- Ares, G. et al. Evaluation of a rating-based variant of check-all-that-apply questions:

- Rate all-that-apply (RATA). *Food Quality and Preference*, v. 36, p. 87–95, 1 set. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.03.006>
- Biasoto, A. C. T., Catharino, R. R., Sanvido, G. B., Eberlin, M. N., Da Silva, M. A. A. P. (2010). Flavour characterization of red wines by descriptive analysis and ESI mass spectrometry. *Food Quality and Preference*, v. 21, p. 755-762. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.07.005>
- Biasoto, A. C. T., Netto, F. M.; Marques, E. J. N. ; da Silva, M. A. A. P. (2014). Acceptability and preference drivers of red wines produced from vitis labrusca and hybrid grapes. *Food Research International*, v. 62, p. 456-466. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.052>
- Brasil (2018). Instrução Normativa nº 14, de 08 de fevereiro de 2018. Estabelece a complementação dos padrões de identidade e qualidade do vinho e derivados da uva e do vinho. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Ed. 47, Seção 1, p. 4–6
- Campbell, J., Sarkhosh, A., Habibi, F., Gajjar, P., Ismail, A., Tsoleva, V., El-Sharkawy, I. (2021). Evaluation of Biochemical Juice Attributes and Color-Related Traits in Muscadine Grape Population. *Foods*, 10, 1101. <https://doi.org/10.3390/foods10051101>
- Codex Alimentarius, 2005. STAN 247-2005. Codex Gen. Stand. Fruit Juices and Nactars. Food and Agriculture Organization, Rome
- Coelho, E. M., da Silva Padilha, C. V., Miskinis, G. A., de Sá, A. G. B., Pereira, G. E., de Azevêdo, L. C., & dos Santos Lima, M. (2018). Simultaneous analysis of sugars and organic acids in wine and grape juices by HPLC: Method validation and characterization of products from northeast Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.017>
- Cosme, F., Pinto, T., Vilela, A. (2018). Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Grape Juices: A Chemical and Sensory View: Review. *Beverages*, 2018, 4, 22. <https://doi.org/10.3390/beverages4010022>
- Darias-Martín, J. J., Rodríguez, O., Díaz, E., Lamuela-Raventós. (2000). Effect of skin contact on the antioxidant phenolics in white wine. *Food Chemistry* 71 (2000) 483-487. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00177-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00177-1)
- Dutra, M. C. P., de Souza, J. F., Viana, A. C., Oliveira, D., Pereira, G. E., Lima, M.S. (2018b). Rapid determination of the aromatic compounds methyl-anthranilate, 2'-aminoacetophenone and furaneol by GC-MS: Method validation and characterization of grape derivatives. *Food Research International*, 107 (2018) 613–618. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.020>
- Dutra, M. C. P., Rodrigues, L. L., Viana, A. C., De Oliveira, D., Pereira, G. E., & Dos Santos Lima, M. (2018a). Integrated analyses of phenolic compounds and minerals of Brazilian organic and conventional grape juices and wines: Validation of a method for determination of Cu, Fe and Mn. *Food Chemistry*, 269, 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.014>
- Dutra, M. C. P., Silva, A. B. M., Ferreira, E. S., Carvalho, A. J. B. A., Lima, M. S., Biasoto, A. C. T. (2023). Bioaccessibility of phenolic compounds from Brazilian grape juices using a digestion model with intestinal barrier passage. *Food Bioscience*, 52 (2023) 102501. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102501>
- El Kersh, D. M., Hammad, G., Donia, M. S., Forag, M. A. (2023). A Comprehensive Review on Grape Juice Beverage in Context to Its Processing and Composition with Future Perspectives to Maximize Its Value. *Food and Bioprocess Technology*, 16:1–23. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02858-5>
- Gancel, A. L., Payan, C., Koltunova, T., Jourdes, M., Christmann, M., Teissedre, P. L.

- (2022). Solubility, acidifying power and sensory properties of fumaric acid in water, hydro-alcoholic solutions, musts and wines compared to tartaric, malic, lactic and citric acids. *OENO one* Vol. 56 No. 3 (2022). <https://doi.org/10.20870/oenone.2022.56.3.5455>
- Gibbins, H., & Carpenter, G. (2013). Alternative mechanisms of astringency—what is the role of saliva? *Journal of Texture Studies*, 44(5), 364–375. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12022>
- Granato, D., Shahidi, F., Wrolstad, R., Kilmartin, P., Melton, L. D., Hidalgo, F. J., Miyashita, K., van Camp, J., Alasalvar, C., Ismail, A. B., Elmore, S., Birch, G. G., Charalampopoulos, D., Astley, S. B., Pegg, R., Zhou, P., Finglas, P. (2018). Antioxidant activity, total phenolics and flavonoids contents: Should we ban in vitro screening methods? *Food Chemistry* 264, 471–475. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.012>
- Guler, A. (2023). Effects of different maceration techniques on the colour, polyphenols and antioxidant capacity of grape juice. *Food Chemistry*, 404 (2023) 134603. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134603>
- Hussain, T., Tan, B., Yin, Y., Blachier, F., Tossou, M. C. B., & Rahu, N. (2016). Oxidative Stress and Inflammation: What Polyphenols Can Do for Us? *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/7432797>
- Kim, Y. K., Guo, Q., & Packer, L. (2002). Free radical scavenging activity of red ginseng aqueous extracts. *Toxicology*, 172(2), 149–156. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(01\)00585-6](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(01)00585-6)
- Kobayashi, H., Sasaki, K., Tanzawa, F., Matsuyama, S., Suzuki, S., Takata, R., & Saito, H. (2013). Impact of harvest timing on 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone concentration in 'Muscat Bailey A' grape berries. *Vitis*, 52, 9–11
- Lima, M. S., Dutra, M. C. P., Toaldo, I. M., Corrêa, L. C., Pereira, G. E., de Oliveira, D., Bordignon-Luiz, M. T, Ninow, J. L. (2015). Phenolic compounds, organic acids and antioxidant activity of grape juices produced in industrial scale by different processes of maceration. *Food Chemistry*, 188, 384–392. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.014>
- MacFIE, H. J. H., & Thomson, D.M. H. (1988). Preference mapping and multidimensional scaling. In J. R. Piggott (Ed.), *Sensory Analysis of Foods* (pp. 380–409). London: *Elsevier Applied Science*. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-2171-6_6
- Machado, A. R., Atatoprak, T., Santos, J., Alexandre, E. M.C., Pintado, M. E., Paiva, J. A. A., Nones, J. (2023). Potentialities of the Extraction Technologies and Use of Bioactive Compounds from Winery By-Products: A Review from a Circular Bioeconomy Perspective. *Applied Sciences*, 13, 7754. <https://doi.org/10.3390/app13137754>
- Meilgaard, M. C., Carr, B. T., & Carr, B. T. (2006). *Sensory Evaluation Techniques*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b16452>
- Morris, J. R. (1998). Factors influencing grape juice quality. *HortTechnology*, 8(4), 471–478
- OIV – International Organisation of Vine and Wine. (2022). Compendium of international methods of wine and must analysis, edition 2022. *19th General Assembly*, 21 July 2021(Paris)

- Padilha, C. V. da S., Miskinis, G. A., de Souza, M. E. A. O., Pereira, G. E., de Oliveira, D., Bordignon-Luiz, M. T., & Lima, M. dos S. (2017). Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. *Food Chemistry*, 228, 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.137>
- Panighel, A., Vedova, A. D., De Rosso, M., Gardiman, M., & Flamini, R. (2010). A solid phase microextraction gas chromatography/ion trap tandem mass spectrometry method for simultaneous determination of 'foxy smelling compounds' and 3-alkyl-2-methoxypyrazines in grape juice. *Rapid Communication Mass Spectrometry*, 24, 2023–2029. <https://doi.org/10.1002/rcm.4611>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C., 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, New York, v.26, p.1231–1237
- Rufino, M. D. S. M., Alves, R. E., de Brito, E. S., de Moraes, S. M., Sampaio, C. D. G., Pérez-Jiménez, J., & Saura-Colixto, F. D. (2006). Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). *Comunicado Técnico Embrapa*, 125, 1–4. Available in: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/664093/1/cot126.Pdf>
- Sharma, A. K., Somkuwar, R. G., Bhange, M. A., Samarth, R. R. (2017). Evaluation of Grape Varieties for Juice Quality Under Tropical Conditions of Pune Region. *Proc. Natl. Acad. Sci., India, Sect. B Biol. Sci.* <https://doi.org/10.1007/s40011-017-0894-4>
- Silva, G. G., Dutra, M. da C. P., de Oliveira, J. B., Rybka, A. C. P., Pereira, G. E., & dos Santos Lima, M. (2019). Processing methods with heat increases bioactive phenolic compounds and antioxidant activity in grape juices. *Journal of Food Biochemistry*, 43(3), 1–10. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12732>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–158
- Spinelli, F. R., André, J. P., Celso, P. G., Vicenzi, M. S., Kinast, E. J., Lamb, C. L., Bertoldo, G. (2024). Soluble solids profile of Brazilian *Vitis labrusca* and hybrid grape musts, from the 2012–2022 harvest. *Journal of Food Composition and Analysis*, 125 (2024) 105797. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105797>
- Tian, M. B., Hu, R. Q., Liu, Z. L., Shi, N., Lu, H. C., Duan, C. Q., Wang, J., Sun, Y. F., Kong, Q. S., He, F. (2024). The pH adjustment of *Vitis amurensis* dry red wine revealed the evolution of organic acids, volatiles, and sensory quality during winemaking. *Food Chemistry* 436 (2024) 137730. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137730>
- Toscano, L. T., Silva, A. S., Toscano, L. T., Tavares, R. L., Biasoto, A. C., De camargo, A. C., Da Silva, C. S. O., Gonçalves, M. C. R., Shahidi, F. (2017). Phenolics from purple grape juice increase serum antioxidant status and improve lipid profile and blood pressure in healthy adults under intense physical training. *Journal of Functional Foods*, v. 33, p. 419-424, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.03.063>
- Wang, L., Zhou, W., Liu, C., Chen, P., Zhou, L. (2024). Study on the accumulation pattern of anthocyanins, sugars and organic acids in medicinal *Vitis vinifera* 'SuoSuo' during ripening. *Food Chemistry*, 433 (2024) 137294.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137294>

Zemanek, P., Masan, V., Burg, P., Gladyszewska, B. (2019). Evaluation of Selected Parameters of Mechanical and Pneumatic Press During Grape Pressing. *Engineering for Rural Development*, 22.

<https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N260>

Zhao, Q., Du, G., Zhao, P., Guo, A., Cao, X., Cheng, C., Liu, H., Wang, F., Zhao, Y., Liu, Y., Wang, X. (2023). Investigating wine astringency profiles by characterizing tannin fractions in Cabernet Sauvignon wines and model wines. *Food Chemistry*, 414 (2023) 135673. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135673>

Contribuições dos Autores:

Maria da Conceição Prudêncio Dutra: Concepção, Investigação – realização específica dos experimentos, organização de dados e Redação - Rascunho original. Tainara Araújo Amorim: Análise formal. Ana Júlia de Brito Araújo Carvalho: Visualização e análise formal. Ederlan de Souza Ferreira: Revisão, Edição e Aquisição de financiamento, Recursos e visualização. Marcos dos Santos Lima: Concepção, Supervisão, Redação – Rascunho original, Revisão, Edição e Aquisição de financiamento. Aline Camarão Telles Biasoto: Supervisão, Aquisição de financiamento, Redação – Rascunho original – Revisão, Edição e Administração do projeto.

5.3 Artigo 3: Impacto de preparações comerciais de pectinases na composição química e estabilidade dos compostos fenólicos em sucos de uva (<https://doi.org/10.1155/jfbc/2856691>).

Impacto de preparações comerciais de pectinases na composição química e estabilidade dos compostos fenólicos em sucos de uva

Maria da Conceição Prudêncio Dutra^{a*}, Ana Júlia Araújo de Brito^b, Newton Carlos Santos^c, Sérgio Tonetto de Freitas^d, Ederlan de Souza Ferreira^a, Aline Telles Biasoto Marques^e, Marcos dos Santos Lima^{b*}

^a Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (PGAli). Faculdade de Farmácia, Ondina – CEP 40170-115, Salvador, BA, Brasil.

^b Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina, Laboratório de Cromatografia Líquida, Jardim São Paulo – CEP 56314-522, Petrolina, PE, Brasil.

^c Laboratório de Bioprocessos, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil.

^d Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Semiárido, Petrolina, Pernambuco, Brasil.

^e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, São Paulo, Brasil.

* Autores para correspondência. Tel: +55 87 2101-4300

E-mail: marcos.santos@ifsertao-pe.edu.br

E-mail: maria.cp.dutra@gmail.com

Periódico: *Journal of Food Biochemistry*

ISSN: 1745-4514

Maior percentil (Scopus): 86%

Ano: 2025

Doi: <https://doi.org/10.1155/jfbc/2856691>

RESUMO

Preparações enzimáticas comerciais apresentam diferentes formulação e são amplamente aplicadas no processamento de sucos; no entanto suas atividades enzimáticas em relação a estabilidade dessa bebida precisam ser estudadas. Este estudo avaliou cinco preparações comerciais para extração de rendimento e cor em relação à composição química do suco de uva, cor e fitoquímicos quantificados por HPLC-DAD-RID. A atividade das enzimas foi analisada, e um estudo da estabilidade dos sucos ao longo de 360 dias foi realizado. As enzimas de extração de cor Everzym Thermo e Endozym Rouge (hemicelulases) aumentaram o conteúdo de flavonoides, especialmente malvidina-3-glicosídeo. A preparação Endozym Pectofruit PR (pectina liase) destacou-se pelo rendimento e pela extração de ácidos orgânicos, como o tartárico. Ao avaliar a estabilidade do suco usando o parâmetro de meia-vida, ficou claro que todos os sucos apresentaram comportamento evolutivo semelhante, com degradação mais acelerada dos componentes relacionados à cor nos primeiros 100 dias. Embora a preparação Everzym Thermo tenha mostrado maior extração de cor, ela apresentou taxas de degradação mais altas para esses parâmetros e para as antocianinas em comparação com as outras preparações avaliadas. Ao final do período de armazenamento, as diferenças na cor e nas antocianinas foram pequenas entre as preparações, praticamente iguais ao controle. Isso mostra que no suco obtido sem enzimas, a não degradação dos polissacarídeos pode estar associada a um efeito protetor sobre a cor e as antocianinas.

Palavras-chave: processamento de suco de uva, hemicelulase, pectina liase, vida útil, degradação de cor, antocianinas.

1 INTRODUÇÃO

Os sucos de uva integrais são comparáveis às uvas frescas em termos de metabolitos vegetais, incluindo açúcares, ácidos orgânicos e compostos fenólicos, que contribuem com aspectos sensoriais, como doçura, acidez e cor, além do potencial bioativo da bebida [1, 2, 3]. Os compostos fenólicos no suco de uva são reconhecidos por suas propriedades farmacológicas, como efeitos antioxidantes, antimicrobiano, vasodilatador, anti-inflamatório, antidiabético e antitumoral [4], e o suco é considerado altamente bioacessível [2].

Em relação aos fatores de processamento de suco, o uso de pectinases influencia o conteúdo de compostos fenólicos [5]. Existem várias formulações comerciais de enzimas disponíveis para aplicação na maceração da uva, compostas principalmente por atividades de pectimetilesterase, endo-poligalacturonase e pectina liase, além de atividades de hemicelulase e celulase [8].

Dependendo das atividades específicas das preparações enzimáticas comerciais, elas podem ser utilizadas para diferentes finalidades [8, 9]. De maneira geral, a maceração das uvas com pectinases tem sido utilizada pela indústria para melhorar o rendimento do processo, reduzir a viscosidade e melhorar a extração de cor [5, 6, 7, 10]. As antocianinas são os principais compostos fenólicos extraídos durante o processamento da uva e estão associadas à cor do suco, sendo compostos essenciais para a vida útil dessa bebida [11, 12]. Diversas estratégias para aumentar a estabilidade da cor em sucos de uva têm sido estudadas, desde o uso de processos não térmicos até o uso de antioxidantes industriais e naturais, como taninos enológicos, além de extratos microencapsulados de sementes de uva [12], devido à evidência da ação dos flavanóis na condensação e co-pigmentação das antocianinas, aumentando sua estabilidade [13].

O processo de quebra dos polissacarídeos da uva durante a maceração com pectinases é complexo e, dependendo das atividades específicas das enzimas, pode haver uma influência na estabilidade da cor durante a vida útil dos sucos [14]. Também se sabe que polissacarídeos, como os hidrocolóides, nos sucos podem ter um efeito protetor sobre a cor [15]. Estudos que avaliam a atividade de preparações enzimáticas comerciais para diferentes aplicações no processamento da uva e sua influência na composição química, compostos fenólicos, e na estabilidade da cor e das antocianinas durante o armazenamento ainda precisam ser expandidos, dado a relevância do conhecimento detalhado, especialmente para a indústria, sobre os impactos práticos na melhoria do rendimento, qualidade e na observação da estabilidade dessa bebida durante sua vida útil. Em estudos sobre a estabilidade das antocianinas nos sucos, é comum o uso de modelos cinéticos de degradação, incluindo o tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), que é o tempo necessário para que as antocianinas se degradem até 50% de seu conteúdo inicial, obtido a partir da constante de velocidade (k) [16].

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o impacto de cinco preparações enzimáticas comerciais, formuladas para otimizar o rendimento da prensagem da uva e melhorar a extração de cor, na composição química dos sucos, incluindo o perfil de açúcares, ácidos orgânicos e compostos fenólicos, quantificados por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), acoplada a um detector de arranjo de diodos (DAD) e um detector de índice de refração (RID); e sua capacidade antioxidante. Além disso, o estudo também teve como objetivo avaliar a influência dessas preparações na estabilidade da cor e das principais antocianinas presentes nos sucos durante o período de armazenamento de 360 dias.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Uvas, elaboração do suco e tratamentos

Os sucos de uva foram elaborados a partir de uma mistura de uvas 'BRS Cora' (20%) e 'Isabel Precoce' (80%), colhidas em uma área destinada à produção comercial de suco na Empresa Brasileira de Frutas Tropicais (EBFT) em Petrolina, PE, Brasil (latitude 09° 27'S e longitude 40° 38'W). A cultivar 'Isabel Precoce' foi colhida com grau Brix de 18 e acidez titulável de 0,69%. A variedade 'BRS Cora' foi colhida com grau Brix de 20,2 e acidez titulável de 0,85%. Os sucos foram elaborados utilizando o processo de "prensagem a quente" descrito por Silva et al. [17], em três repetições, cada uma correspondente a um lote de 10 kg de uvas. O método de elaboração dos sucos consistiu no desengace manual e esmagamento das uvas, seguido pela adição das preparações enzimáticas estudadas em uma dosagem de 3 mL de preparação enzimática para cada 100 kg de uvas frescas (dosagem que convergiu entre os fabricantes de enzimas) e maceração a 60 °C por 60 min. Após a maceração, os sucos foram drenados e as uvas prensadas. Os sucos foram pasteurizados e envasados a quente (85 °C) em garrafas de vidro claro (300 mL). Após o envase, os sucos foram resfriados em água corrente até uma temperatura de < 40 °C e armazenados à temperatura ambiente (26 °C ± 2) para análise e estudo da vida útil do suco recém-elaborado (tempo 0) e aos 120, 240 e 360 dias.

Os tratamentos consistiram em suco controle (sem adição de enzima); sucos utilizando preparações enzimáticas formuladas para prensagem de frutas: Endozym Pectofruit PR (AEB Bioquímica Latinoamericana, PR, Brasil) e Pectinex Ultra Pulp (Novozymes, Dinamarca); e sucos utilizando preparações enzimáticas formuladas para extração de cor: Everzym Thermo (Ever, RS, Brasil), Endozym Rouge Liquid (AEB Bioquímica Latinoamericana, PR, Brasil) e Pectinex Ultra Color (Novozymes,

123 Dinamarca). As informações do fabricante para as preparações enzimáticas estão
124 mostradas nos dados suplementares (Tabela S1). Para cada tratamento, 15 garrafas
125 de suco de 300 mL foram preenchidas, com três unidades (3 repetições) abertas a
126 cada tempo de vida útil.

127

Tabela S1. Preparações enzimáticas, fornecedores, fontes, atividade declarada e condições recomendadas.

Preparações enzimáticas	Fornecedores	Fontes	Atividades	T °C	Recomendações	
					Dose (mL/100kg)	Tempo (min)
Endozym Pectofruit PR (Prensagem de frutas)	AEB Biochemistry Latin America	<i>Aspergillus niger</i>	Pectina liase	50-60	2 at 4	> 30
Everzym Thermo (Extração de cor)	Ever, Brazil	Not given	Hemicelulase e Pectina liase	45-60	1 at 3	> 45
Endozym Rouge Liquid (Extração de cor)	AEB Biochemistry Latin America	<i>Aspergillus niger</i>	Hemicelulase e Pectina liase	45-60	2 at 4	> 45
Pectinex Ultra Pulp (Prensagem de frutas)	Novozymes, Denmark	Not given	Pectinases, hemicelulases e beta-glucanases	45-60	3 at 5	> 45
Pectinex Ultra Color (color extraction)	Novozymes, Denmark	Not given	Pectinases e hemicelulases	40-60	3 at 5	> 45

2.2 Produtos Químicos e Padrões Externos Grau HPLC

Os reagentes químicos ácido galacturônico, ácido poligalacturônico, ácido dinitro salicílico (DNS), Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico), 2,2-azino-bis (ácido 3-etilbenzo-tiazolina-6-sulfônico) (ABTS•+), TPTZ (2,4,6-Tri(2-piridil)-s-triazina), 2,2-difenil-1-picrilhidrazila (DPPH•), cloreto férrico hexahidratado, ácido butírico, ácido propiônico foram obtidos da Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EUA). Ácidos tartárico, málico, lático, cítrico, succínico, fórmico, glicose, sacarose e frutose foram obtidos da Química Vetec (Rio de Janeiro, RJ, Brasil). Citrato de sódio e tartrato de sódio foram obtidos da Contemporary Chemical Dynamics Ltd. (Indaiatuba, SP, Brasil). Etanol, reagente de Folin-Ciocalteu, persulfato de potássio e carbonato de sódio foram adquiridos da Merck (Darmstadt, Alemanha). Metanol grau HPLC foi obtido da J.T. Baker (Phillipsburg, NJ, EUA). Padrões externos (grau HPLC) de epicatequina, catequina, epigallocatequina galato, epicatequina galato, procianidina A₂, procianidina B₁, procianidina B₂, kaempferol 3-glicosídeo, quercetina 3-glicosídeo, miricetina, isorhamnetina, rutina, malvidina 3-glicosídeo, cianidina 3-glicosídeo, pelargonidina 3-glicosídeo, peonidina 3-glicosídeo, delphinidina 3-glicosídeo foram fornecidos pela Extrasynthese (Genay, França). *Trans*-resveratrol e *cis*-resveratrol foram adquiridos da Cayman Chemical Company (Michigan, EUA). Ácido cafeico, ácido gálico, ácido siringico, ácido clorogênico, ácido *trans*-caftárico, epigallocatequina, ácido *p*-cumárico, naringenina, hesperidina, cianidina-3,5-diglicosídeo, pelargonidina-3,5-diglicosídeo e malvidina-3,5-diglicosídeo foram obtidos da Sigma-Aldrich.

2.3 Rendimento e características físico-químicas

Os sucos foram avaliados quanto ao rendimento e às características físico-químicas básicas de pH, sólidos solúveis (SS) (graus Brix) e acidez titulável (AT), razão SS/AT, seguindo as metodologias da Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV, 2022). A cor foi medida utilizando leituras espectrofotométricas nas comprimentos de onda de 420, 520 e 620 nm (Espectrofotômetro modelo UV 2000A (Instrutherm, Brasil)), determinando a intensidade da cor, tonalidade e % de cor vermelha, de acordo com a metodologia de Glories (1984). Os rendimentos dos sucos foram obtidos utilizando a Equação 1.

Eq. 1:

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{massa do suco}}{\text{massa inicial das uvas}} \times 100$$

2.4 Determinação simultânea de açúcares e ácidos orgânicos por HPLC-DAD-RID

Os açúcares sacarose, glicose e frutose, e os ácidos orgânicos cítrico, tartárico, málico, succínico, láctico, fórmico, propiónico, butírico e acético foram analisados utilizando a metodologia validada por Coelho et al. (2018). Todos os metabólitos foram avaliados utilizando um cromatógrafo líquido modelo 1260 Infinity LC System, acoplado a um detector UV/Vis tipo DAD: modelo G1315D, e detector de índice de refração (RID): modelo G1362A, todos da Agilent (Agilent Technologies, CA, EUA). Os dados foram processados utilizando o programa OpenLAB CDS ChemStation EditionTM. A separação foi realizada em uma coluna de troca iônica Hi Plex H (300 × 7,7 mm, 8,0 µm) (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA). As condições cromatográficas foram as seguintes: temperatura do forno da coluna mantida a 70 °C,

volume de injeção de 10 µL e taxa de fluxo do solvente de 0,7 mL/min. A fase móvel isocrática foi uma solução de H₂SO₄ 4 mmol/L. Os ácidos orgânicos foram detectados no DAD (210 nm) e os açúcares no RID. A identificação e quantificação foram feitas por comparação com padrões externos, com as curvas de calibração mostrando $R^2 > 0,997$. Os limites de detecção (LOD) foram $< 0,01$ g/L para ácidos orgânicos e $< 0,102$ g/L para açúcares.

2.5 Quantificação de compostos fenólicos por RP-HPLC/DAD

Compostos fenólicos foram determinados por RP-HPLC/DAD em desempenho UPLC utilizando o método validado por Dos Santos Lima et al. [20]. A coluna utilizada foi a Gemini NX RP-C18 (150 x 4,6 mm, 3 µm) (Phenomenex, Torrance, EUA). As condições cromatográficas foram: temperatura do forno a 35 °C, volume da injeção da amostra de 20 µL. A taxa de fluxo do solvente foi de 0,8 mL/min, utilizando uma solução aquosa de ácido fosfórico a 0,52% (solvente A) e metanol acidificado com 0,52% de H₃PO₄ (solvente B). O gradiente utilizado para separar os compostos foi: 0 min: 5% B; 5 min: 23% B; 14 min: 26% B; 30 min: 50% B; 33-34 min: 80% B; 34,1-36,6 min: 100% B; 36,7 min: 5% B (5 min pós-corrída). Os compostos fenólicos foram detectados a 280, 220, 320, 360 e 520 nm no DAD. Os compostos foram identificados/quantificados por comparação com o tempo de retenção, as curvas de calibração e a similaridade do espectro com os padrões externos. A Tabela S4 mostra os parâmetros básicos para a validação do método. Um cromatograma típico obtido a partir das amostras de suco de uva é mostrado nos dados suplementares (Figura S1).

Tabela S4- Parâmetros de validação para determinação de fenólicos (método validado por Dos Santos Lima et al. [20].)

Compostos fenólicos	Detecção λ (nm)	Intervalo (mg/L)	Coeficiente		Precisão CV%	LOD (mg/L)	LOQ (mg/L)
			de correlação (<i>r</i>)	Recuperação %			
Ácidos fenólicos							
Ácido gálico	280	0,55 - 17,5	0,9998	87,5	0,25	0,12	0,16
Ácido siríngico	280	0,55 - 17,5	0,9999	101,1	0,28	0,11	0,13
Ácido <i>p</i> -cumárico	320	0,55 - 17,5	1,0000	99,1	0,24	0,07	0,10
Ácido cafeico	320	0,55 - 17,5	1,0000	99,4	0,23	0,08	0,11
Ácido <i>trans</i> -caftárico	320	0,55 - 17,5	0,9999	98,2	0,29	0,09	0,10
Ácido clorogênico	320	0,5 - 10	0,9999	95,6	0,21	0,08	0,09
Estilbenos							
<i>trans</i> -Resveratrol	320	0,55 – 17,5	0,9999	98,6	0,51	0,06	0,08
<i>cis</i> -Resveratrol	280	0,55 – 17,5	0,9998	99,2	0,48	0,12	0,25
Flavanonas							
Hesperidina	280	0,5 - 20	0,9998	98,9	0,42	0,05	0,06
Naringenina	280	0,5 – 20	0,9999	99,6	0,36	0,09	0,10
Flavanóis							
(+)-Catequina	220	0,55- 17,5	1,0000	102,1	0,26	0,06	0,07
(-)-Epicatequina	220	0,5 - 20	0,9995	98,7	0,39	0,06	0,08
(-)-Epigallocatequina	220	0,5 - 10	0,9999	94,5	0,52	0,08	0,11

(-)-Epicatequina galato	220	0,55 - 17,5	0,9999	99,8	0,40	0,06	0,07
(-)-Epigallocatequina galato	220	0,55 - 17,5	0,9999	99,1	0,29	0,04	0,05
Procianidina A2	220	0,5 - 20	0,9994	90,5	0,41	0,11	0,15
Procianidina B1	220	0,31 - 10	0,9998	95,6	0,31	0,10	0,12
Procianidina B2	220	0,31 - 10	0,9999	98,5	1,12	0,06	0,08
Flavonóis							
Quercetina 3-glucosídeo	360	0,5 – 20	0,9996	95,4	0,55	0,09	0,14
Rutina	360	0,5 - 20	0,9992	97,5	0,74	0,08	0,17
Kaempferol 3-glucosídeo	360	0,5 – 20	0,9999	98,2	0,56	0,04	0,06
Isoramnétina	360	0,5 – 20	0,9996	98,5	0,52	0,10	0,22
Miricetina	360	05 - 20	0,9997	95,8	0,48	0,10	0,25
Antocianinas							
Cianidina 3,5-diglucosídeo	520	0,55 - 17,5	1,0000	95,6	0,11	0,07	0,10
Malvidina 3,5-diglucosídeo	520	0,55 - 17,5	0,9985	95,8	3,09	0,16	0,24
Pelargonidina 3,5-diglucosídeo	520	0,55 - 17,5	0,9999	93,3	0,14	0,05	0,09
Delfinidina 3-glucosídeo	520	0,5 – 20	0,9995	98,5	1,12	0,12	0,15
Pelargonidina 3-glucosídeo	520	0,5 - 20	0,9999	98,2	0,96	0,09	0,11
Cianidina 3-glucosídeo	520	0,5 – 20	0,9997	99,4	0,88	0,10	0,14
Peonidina 3-glucosídeo	520	0,55 - 17,5	1,0000	98,1	0,22	0,09	0,10
Malvidina 3-glucosídeo	520	2,74 - 87,5	1,0000	99,4	1,78	0,25	0,32

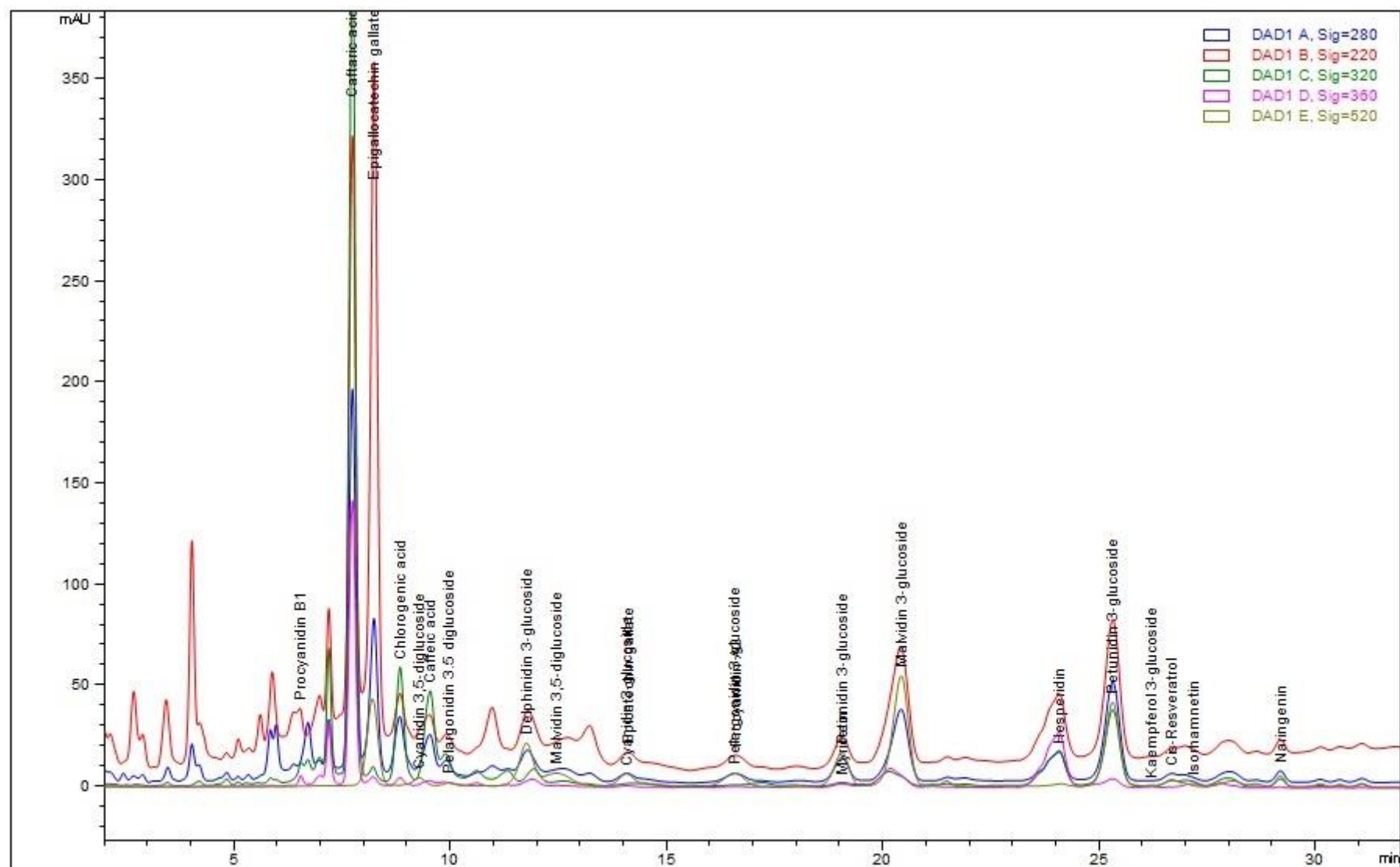


Figura S1. Cromatograma da amostra de suco de uva obtido em RP-HPLC/DAD.

208

209 **2.6 Capacidade Antioxidante dos Sucos**

210 A capacidade antioxidante dos sucos foi medida utilizando métodos
211 espectrofotométricos de acordo com Lima et al. [21]. As medições foram feitas pelos
212 métodos de captura de radicais livres DPPH•, ABTS•+, FRAP e pela capacidade
213 redutora do reagente de Folin-Ciocalteu [22]. Para os métodos de captura de radicais
214 livres DPPH• e ABTS•+, o padrão analítico Trolox foi utilizado para construir as curvas
215 de calibração nas concentrações de 200 a 1200 µmol/L ($R^2 = 0,998$). Os resultados
216 foram expressos como equivalentes de Trolox por litro de suco (mmol TE/L). Para
217 medir a atividade do radical DPPH•, preparou-se uma mistura de 100 µL da amostra
218 em 2,90 mL de solução etanólica contendo 1,0 mmol de radical DPPH• diluído até
219 uma absorbância entre 0,900 e 1,000, sendo incubada no escuro por 30 min antes
220 das leituras. A extinção do máximo de absorção a 517 nm foi medida. Para medir a
221 capacidade antioxidante do ABTS•+, preparou-se uma solução de 7 mmol de ABTS•+
222 com 140 mmol de persulfato de potássio e incubada a 27 °C por 16 horas na ausência
223 de luz. Após a reação, o radical foi diluído em etanol até uma absorbância de $0,700 \pm$
224 $0,050$ a 734 nm. Para a análise, uma alíquota de 30 µL do suco foi misturada com
225 3000 µL do radical ABTS•+, e as leituras foram realizadas no tempo zero e 6 minutos
226 após a adição da amostra em ambiente escuro.

227 Para medir a capacidade antioxidante pelo método FRAP, preparou-se uma
228 solução de acetato (300 mmol; pH 3,6), TPTZ (10 mmol TPTZ em 40 mmol de HCl) e
229 FeCl₃ (20 mmol). A curva de calibração foi preparada utilizando sulfato ferroso nas
230 concentrações de 100 a 2000 µmol/L ($R^2 = 0,999$). Para a análise, utilizaram-se 90
231 µL da amostra, 270 µL de água e 2,7 mL do reagente FRAP, que foram incubados a
232 37 °C em um termorreator (modelo IT2002, AAKER, Brasil) por 30 minutos. A

absorbância foi medida a 595 nm, e os resultados foram expressos em mmol Fe²⁺ por litro de suco (mM Fe²⁺/L).

A capacidade redutora de Folin-Ciocalteu foi determinada utilizando 50 µL da amostra, 3,95 mL de água destilada, 250 µL de reagente Folin-Ciocalteu e 750 µL de solução saturada de carbonato de sódio a 20%. A mistura foi incubada no escuro por 120 minutos, e a absorbância foi determinada a 765 nm. A curva de calibração foi preparada utilizando ácido gálico (25-500 mg/L, R² = 0,998), e os resultados foram expressos como equivalente a mg de ácido gálico por litro de suco (GAE mg/L).

2.7 Medições das atividades enzimáticas

As atividades enzimáticas específicas de pectinase (PE), poligalacturonase (PG), pectina liase (PL), pectin metilesterase (PME) e celulase (CE) foram analisadas nas preparações enzimáticas comerciais. Para as avaliações, foi utilizado um espectrofotômetro UV-visível UV 2000A (Instrutherm, Brasil). Pectina e ácido poligalacturônico foram usados como substratos para a atividade de PE e PG, respectivamente. Para a análise, 100 µL da enzima diluída foram adicionados a 900 µL do substrato (1 g/L), preparado em tampão de citrato de sódio (50 mmol/L, pH 4,8), incubado a 37 °C por 1 minuto para PE e 2 minutos para PG. As leituras foram feitas a uma comprimento de onda de 540 nm. A quantidade de grupos redutores foi estimada utilizando o método de 3,5-dinitrosalicilato (DNS), de acordo com Miller [23], onde uma unidade de PE e PG foi definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 mmol de grupos redutores por minuto nas condições da reação.

A atividade de PL, PME e CE foi analisada de acordo com o protocolo descrito por Dal Magro et al. [10]. A atividade de PL foi estimada medindo o aumento na absorbância a 235 nm devido à formação de produtos insaturados. Para a

determinação, 50 µL da enzima diluída foram adicionados a 950 µL da solução de pectina (4 g/L) preparada em tampão de citrato de sódio (50 mmol, pH 4,8), incubada a 37 °C por 1 minuto. A reação foi interrompida com a adição de 3 mL de HCl 0,5 mol/L. Uma unidade de PL foi definida como a quantidade de enzima que produz 1 nmol de uronídeo insaturado ($\epsilon = 5500 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ a 235 nm) por minuto nas condições da reação.

A atividade de PME foi estimada pela titulação dos grupos carboxílicos liberados pela desesterificação da pectina cítrica. Para a análise, 100 µL da enzima diluída foram adicionados a 9,9 mL de solução de pectina (5 g/L) preparada em tampão de NaCl (0,15 mol/L, pH 4,5). A reação ocorreu por 10 minutos a 30 °C. A titulação potenciométrica das amostras foi realizada com NaOH (0,02 mol/L) até pH 4,5. Uma unidade de PME foi definida como a quantidade de enzima que libera 1 miliequivalente de grupos carboxila por minuto sob as condições da reação.

A atividade de CE foi determinada utilizando papel de filtro como substrato (celulose). A curva de calibração foi obtida com glicose. Para a análise, 50 µL da enzima previamente diluída foram adicionados a 500 µL de tampão de citrato de sódio (50 mmol/L, pH 4,8) contendo 50 mg de papel de filtro. A reação foi realizada a 50 °C por 5 minutos sob agitação. Os açúcares redutores liberados foram estimados utilizando o método DNS, conforme Miller [23]. Uma unidade de CE foi definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 mmol de grupos redutores por minuto sob as condições da reação.

279

2.8 Estudo da estabilidade dos sucos

As características físico-químicas dos sucos, o perfil fenólico e a capacidade antioxidante foram avaliados nos tempos 0, 120, 240 e 360 dias. A evolução das

283 variáveis A520nm (cor vermelha), intensidade da cor, tonalidade, antocianinas
 284 malvidina-3-glicosídeo e petunidina-3-glicosídeo, bem como a capacidade
 285 antioxidante (FRAP), foram utilizadas para avaliar a estabilidade, pois mostraram
 286 variações significativas ($p < 0,05$) e representaram marcadores relacionados à cor dos
 287 sucos durante o armazenamento. A constante de velocidade (k) e o tempo de meia-
 288 vida ($t_{1/2}$) dessas variáveis foram obtidos utilizando modelos cinéticos de ordem zero
 289 e primeira ordem, conforme Singhal et al. [24], apresentados nos dados
 290 suplementares (Tabela S2).

291 **Tabela S2.** Modelos cinéticos de ordem zero, de primeira ordem e tempo de meia-
 292 vida.

Modelos cinéticos		Tempo de meia vida
Ordem zero	$A = A_0 - k \times t$	$t_{1/2} = \frac{1}{k} \times (A_0 - \frac{A_0}{2})$
Primeira ordem	$A = A_0 \times \text{Exp}(-k \times t)$	$t_{1/2} = \frac{0.693}{k}$

293 A = concentração do parâmetro avaliado após um determinado tempo; A₀ = concentração inicial do
 294 parâmetro avaliado; k = constante de velocidade da reação; t = tempo. Fonte: Singhal et al. (2020).

295

296

2.9 Análise estatística

297

298

299

300

301

302

Os dados foram submetidos a uma análise de variância unidirecional (ANOVA) e ao teste de Tukey, com nível de probabilidade de 5%, para comparar as médias. As análises multivariadas utilizaram a Análise de Componentes Principais (PCA) (Past, Paleontological Statistics, versão 4.03). Além disso, a constante de velocidade (k) e o tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) dos parâmetros escolhidos foram calculados utilizando o software Statistica versão 7.0 (Tibco, Statistica, Palo Alto, CA, EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Atividades enzimáticas dos preparados comerciais

A Tabela Suplementar S1 mostra as atividades declaradas pelos fabricantes nas fichas técnicas das cinco preparações enzimáticas estudadas, além das recomendações de uso (dose, temperatura e tempo). As preparações enzimáticas destinadas à prensagem diferem em sua formulação declarada. A enzima Endozym Pectofruit PR declara alta atividade de pectina liase, enquanto a Pectinex Ultra Pulp declara pectinases, hemicelulases e beta-glucanase. As preparações enzimáticas para extração da cor do suco de uva, Pectinex Ultra Color e Everzym Thermo, declaram pectina liase e hemicelulase como principais atividades, e a preparação Endozym Rouge declara uma mistura de pectina liase e hemicelulase.

Neste trabalho, as preparações enzimáticas utilizadas foram analisadas para quantificar cinco atividades: atividade pectinase (PE), poligalacturonase (PG), pectina liase (PL), pectin metilesterase (PME) e celulase (CE). Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Entre as atividades avaliadas, a atividade de PL foi a majoritária nas preparações enzimáticas estudadas, variando de 971 a 1544 U/mL nas preparações Everzym Thermo e Endozym Pectofruit PR. As atividades de pectinase (218-418 U/mL) e pectin metilesterase (126-144 U/mL) também se destacaram. De acordo com Yadav et al. [25], a pectina liase é uma enzima única que atua diretamente sobre os polímeros de pectina através do processo de β -eliminação, formando oligogalacturonídeos 4,5-insaturados, e essa atividade é considerada uma das mais importantes para as indústrias de processamento de sucos. Segundo Osete-Alcaraz [8], a atividade principal de PL nas preparações enzimáticas está relacionada à maior extração de compostos fenólicos e à intensidade da cor, sendo esta enzima

classificada como uma atividade típica das enzimas de maceração, enquanto as atividades de celulase e hemicelulase são mais focadas nos processos de clarificação (redução de viscosidade e turbidez).

Todas as preparações enzimáticas foram, principalmente, uma mistura de atividades pectina liase > pectinase > pectin metilesterase (Tabela 1). De acordo com Dal Magro et al. [26], é a mistura das diferentes atividades que contribuem de forma sinérgica para a melhoria da qualidade dos sucos.

335

Tabela 1. Atividades enzimáticas analisadas nas preparações enzimáticas comerciais.

Preparações enzimáticas comerciais	Atividade				
	PE (U/mL)	PG (U/mL)	PL (U/mL)	PME (U/mL)	CE (U/mL)
Endozym Pectofruit PR	399,2	0,017	1544,3	132	0,234
Everzym Thermo	218,0	0,012	971,1	126	0,094
Endozym Rouge Liquid	148,5	0,009	1525,7	132	0,085
Pectinex Ultra Pulp	416,1	0,020	1401,9	126	0,145
Pectinex Ultra Color	478,3	0,025	1493,5	144	0,196

Legenda: atividade de pectinase (PE), poligalacturonase (PG), pectina liase (PL), pectina metilesterase (PME) e celulase (CE).

339

3.2 Rendimento, análises clássicas, açúcares e ácidos orgânicos dos sucos

Os valores obtidos para o rendimento do processo e as análises físico-química dos sucos elaborados com as diferentes enzimas são apresentados na Tabela 2. Todos os preparados enzimáticos comerciais forneceram maiores rendimentos no processo de elaboração dos sucos (57,9-67,1%) quando comprados ao controle (52,3%). Os preparados Endozym Rouge, Everzym Thermo, Pectinex Ultra Color e

346 Pectinex Ultra Pulp apresentaram valores de rendimento variando de 57,8 a 59,3%,
347 sem diferenças significativas entre si ($p < 0,05$). O preparado Endozym Pectofruit PR
348 teve o maior rendimento de 67,1%. Esperava-se, de forma geral, que os preparados
349 enzimáticos aumentassem o rendimento do suco [6, 26]. O preparado Endozym
350 Pectofruit PR, teve o maior rendimento, e também a maior atividade de pectinase
351 (Tabela 1), sendo esta também a principal atividade declarada pelo seu fornecedor
352 (Tabela S1).

353 Em termos dos parâmetros básicos de qualidade (Tabela 2), os sucos diferiram
354 ($p < 0,05$), com o suco obtido com o preparado Everzym Thermo se destacando por
355 seus maiores valores de Brix (21,3) e menor acidez titulável (0,82%). A quantificação
356 de açúcares e ácidos orgânicos por HPLC corrobora os resultados obtidos na análise
357 de °Brix, onde o suco obtido com Everzym Thermo também teve os maiores valores
358 de glicose + frutose (215,5 g/L). O suco obtido com Endozym Pectofruit PR teve a
359 maior soma de ácidos orgânicos quantificados (9,22 g/L), fortemente influenciado pelo
360 alto conteúdo de ácido tartárico (6,51 g/L). Ao avaliar o perfil de açúcares e ácidos
361 orgânicos, houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as enzimas, especialmente
362 para o suco obtido com Everzym Thermo. Nos outros preparados avaliados, as
363 diferenças obtidas não foram significativas. De maneira geral, os ácidos tartárico
364 (4,69-6,51 g/L) e málico (1,41-1,59 g/L) se destacaram, sendo os ácidos mais
365 importantes em termos de quantidade nas uvas e seus sucos [19].

366 Nas avaliações de cor (Tabela 2), o suco obtido com Everzym Thermo também
367 obteve os maiores valores para o índice de cor vermelha (17,19) e intensidade de cor
368 (29,08), seguido pelo suco obtido com Everzym Rouge, com valores médios de 10,27
369 (cor vermelha) e 17,08 (intensidade de cor). Os sucos obtidos com os outros
370 preparados enzimáticos não diferiram ($p < 0,01$) nos atributos de cor. Quanto à

371 tonalidade (razão entre as cores amarela/vermelha), os sucos obtidos com Everzym
372 Thermo e Endozym Rouge também obtiveram os menores valores médios (0,49 e
373 0,48, respectivamente), apresentando uma cor vermelha mais intensa.

374 A intensidade de cor e a tonalidade são atributos importantes de qualidade. A
375 intensidade de cor depende do tipo, concentração e grau de polimerização dos
376 antocianinas presentes nas uvas [4]. A tonalidade é uma variável estabelecida pela
377 proporção da cor vermelha/amarela (absorvância em 420 nm/520 nm). É um marcador
378 importante da evolução natural do suco de uva [12]. De maneira geral, os sucos
379 obtidos com os preparados Everzym Thermo e Endozym Rouge se destacaram pela
380 maior extração de cor, o que pode ser explicado pela alta atividade de hemicelulase
381 declarada pelo fabricante (Tabela S1), uma atividade não medida neste estudo, já que
382 a celulose constitui aproximadamente 15-19% dos polissacarídeos das paredes
383 celulares das cascas das uvas [27].

384 A hemicelulase faz parte de um grupo de enzimas eficientes na hidrólise de
385 polissacarídeos contituídos em hemicelulose. Essa hidrólise é importante não apenas
386 para degradar a estrutura da parede celular das cascas das uvas, mas também para
387 melhorar a hidrólise da celulose fortemente ligada, o que poderia justificar os valores
388 mais altos de sólidos solúveis, já que a quantidade de açúcares liberados é um
389 indicador da decomposição dos materiais hemicelulósicos por esse grupo de enzimas
390 [27].

391

Tabela 2. Análises físico-químicas, açúcares e ácidos orgânicos quantificados por HPLC-DAD-RID nos sucos de uva obtidos com preparações enzimáticas.

Análises	Preparações enzimáticas					
	Controle	Endozym Pectofruit PR	Everzym Thermo	Endozym Rouge	Pectinex Pulp	Ultra Pectinex Ultra Color
Análises clássicas						
	52,3 ± 1,5 ^c	67,1 ± 0,8 ^a	57,8 ± 0,7 ^b	57,8 ± 0,8 ^b	57,9 ± 0,8 ^b	59,3 ± 1,3 ^b
Rendimento (%)	3,20 ± 0,00 ^b	3,19 ± 0,02 ^b	3,39 ± 0,01 ^a	3,39 ± 0,06 ^a	3,36 ± 0,02 ^a	3,33 ± 0,00 ^a
pH	18,25 ± 0,04 ^{bc}	17,80 ± 0,16 ^c	21,33 ± 0,61 ^a	19,70 ± 0,73 ^b	18,25 ± 0,44 ^{bc}	18,00 ± 0,44 ^c
Sólidos solúveis (°Brix)	0,90 ± 0,00 ^a	0,91 ± 0,00 ^a	0,82 ± 0,01 ^c	0,87 ± 0,00 ^b	0,81 ± 0,00 ^c	0,87 ± 0,01 ^b
Acidez titulável % (AT)	20,26 ± 0,04 ^c	19,44 ± 0,17 ^c	25,86 ± 0,74 ^a	22,63 ± 0,84 ^b	22,53 ± 0,49 ^b	20,68 ± 0,57 ^c
Relação (°Brix/AT)	8,09 ± 0,10 ^c	6,91 ± 0,29 ^c	17,19 ± 0,79 ^a	10,27 ± 0,94 ^b	7,06 ± 0,61 ^c	7,38 ± 0,46 ^c
Cor vermelha (A520 nm)	14,59 ± 0,15 ^{bc}	12,50 ± 0,60 ^c	29,08 ± 1,17 ^a	17,08 ± 1,53 ^b	13,77 ± 0,57 ^c	12,80 ± 0,91 ^c
Intensidade de cor Tonalidade	0,58 ± 0,00 ^{ab}	0,58 ± 0,00 ^{ab}	0,49 ± 0,00 ^c	0,48 ± 0,01 ^c	0,59 ± 0,02 ^a	0,54 ± 0,00 ^b
	0,19 ± 0,00 ^a	0,06 ± 0,00 ^{bc}	0,08 ± 0,00 ^b	0,06 ± 0,01 ^{bc}	0,05 ± 0,00 ^c	0,07 ± 0,01 ^{bc}
Açúcares g/L	88,55 ± 0,74 ^{de}	90,63 ± 3,29 ^{cd}	110,71 ± 2,78 ^a	100,29 ± 1,69 ^b	82,82 ± 0,38 ^b	96,54 ± 0,62 ^{bc}
Sacarose	86,39 ± 0,26 ^{bc}	88,72 ± 3,51 ^{bc}	104,73 ± 6,46 ^a	95,66 ± 0,36 ^{ab}	80,29 ± 0,20 ^c	96,36 ± 0,58 ^{ab}
Glicose	175,13 ± 1,00	179,41 ± 6,80	215,52 ± 9,24	196,01 ± 2,06	163,16 ± 0,58	192,97 ± 1,21
Frutose						
Σ Açúcares	0,41 ± 0,04 ^a	0,37 ± 0,00 ^{ab}	0,33 ± 0,02 ^b	0,41 ± 0,01 ^a	0,39 ± 0,01 ^{ab}	0,41 ± 0,00 ^a
	5,94 ± 0,05 ^{ab}	6,51 ± 0,39 ^a	5,63 ± 0,31 ^{ab}	4,80 ± 0,19 ^c	4,69 ± 0,00 ^c	5,09 ± 0,39 ^{bc}

Ácidos orgânicos g/L	1,53 ± 0,00 ^a	1,48 ± 0,00 ^b	1,40 ± 0,21 ^b	1,49 ± 0,01 ^b	1,41 ± 0,01 ^b	1,59 ± 0,01 ^a
Ácido cítrico	ND	0,21 ± 0,00	ND	ND	ND	0,26 ± 0,00
Ácido tartárico	0,35 ± 0,02 ^b	0,44 ± 0,01 ^a	0,35 ± 0,03 ^b	0,37 ± 0,01 ^b	0,39 ± 0,00 ^{ab}	0,45 ± 0,00 ^a
Ácido málico	0,27 ± 0,02 ^a	0,21 ± 0,00 ^b	0,13 ± 0,01 ^c	0,16 ± 0,01 ^{bc}	0,18 ± 0,00 ^{bc}	0,17 ± 0,00 ^{bc}
Ácido succínico	8,50 ± 0,13	9,22 ± 0,39	7,84 ± 0,37	7,33 ± 0,23	7,06 ± 0,02	7,97 ± 0,40

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n = 3 avaliações de cada lote). Médias seguidas de letras iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ND = não detectado ou abaixo do limite de quantificação.

3.3 Compostos fenólicos e capacidade antioxidante dos sucos

O perfil fenólico quantificado por HPLC-DAD é apresentado na Tabela 3. Os flavanóis quantificados nos sucos foram procianidina B₁, procianidina B₂, procianidina A₂, (-)-epigallocatequina galato e (-)-epicatequina galato, sendo a procianidina B₂ o principal flavanol em termos de quantidade, especialmente nos sucos obtidos com enzimas. Todos os sucos obtidos com enzimas diferiram do controle por apresentarem maiores quantidades de flavanóis, destacando-se os sucos obtidos com Endozym Pectofruit e Everzym Thermo pelos maiores valores de procianidina B₂.

Em relação à classe dos flavonóis, kaempferol-3-glicosídeo, isorhamnetina-3-glicosídeo e miricetina foram quantificados nos sucos, sendo a miricetina o flavonol majoritário. Apenas os sucos obtidos com Everzym Thermo e Endozym Rouge diferiram ($p \leq 0,05$) do controle, apresentando valores mais elevados. Os flavonóis são polifenóis presentes em maior quantidade nas cascas das uvas em comparação com a polpa [28, 29]. Isso indica uma maior extração de compostos fenólicos das cascas nos sucos obtidos com Everzym Thermo e Endozym Rouge, que são preparações enzimáticas voltadas para a melhor extração de cor (Tabela S1).

Todos os sucos elaborados com enzimas apresentaram valores mais elevados de antocianinas do que o controle (Tabela 3). A soma das antocianinas quantificadas nos sucos seguiu a seguinte ordem: Everzym Thermo > Everzym Rouge > Endozym Pectofruit > Pectinex Ultra Color > Pectinex Ultra Pulp > Controle. As principais antocianinas presentes nos sucos, em termos de quantidade, foram malvidina 3-glicosídeo (24,98-162,39 mg/L) e petunidina 3-glicosídeo (47,79-55,4 mg/L). A principal antocianina que diferiu entre os sucos obtidos com enzima e o controle foi a malvidina 3-glicosídeo. As preparações que resultaram nos maiores teores de antocianinas foram Everzym Thermo (302,67 mg/L) e Endozym Rouge (210,15 mg/L),

424 que são preparações comercializadas para maior extração de cor. Outras
425 antocianinas também estiveram presentes nos sucos, com valores mais elevados para
426 Everzym Thermo e Endozym Rouge, sem diferenças consideráveis entre as demais
427 preparações enzimáticas e o controle: malvidina 3,5-diglicosídeo (13,44-24,88 mg/L),
428 peonidina 3-glicosídeo (6,15-21,69 mg/L), pelargonidina 3-glicosídeo (5,62-21,86
429 mg/L), delphinidina 3-glicosídeo (4,01-12,56 mg/L), cianidina 3-glicosídeo (3,88-9,79
430 mg/L) e cianidina 3,5-diglicosídeo (3,73-4,5 mg/L).

431 O uso de pectinases geralmente aumenta a quantidade de antocianinas nos
432 sucos de uva [10]. No entanto, este estudo mostrou que as preparações formuladas
433 para extração de cor obtiveram melhores resultados do que as enzimas destinadas à
434 prensagem, exceto para o Pectinex Ultra Color, que apresentou resultados
435 semelhantes às enzimas de prensagem. Em relação às atividades medidas nas
436 preparações, Everzym Thermo e Endozym Rouge foram as que apresentaram a
437 menor atividade de pectinase-PE (148,5-218 U/mL) em comparação com as demais
438 preparações avaliadas, mantendo, contudo, uma alta atividade de pectin liase (Tabela
439 1). Segundo o fabricante, Everzym Thermo e Endozym Rouge são preparações com
440 alta atividade de hemicelulase (Tabela S1). No estudo de Jia et al. [30], as enzimas
441 pectinase, celulase e hemicelulase foram comparadas na extração de antocianinas na
442 maceração de cerejas, e a hemicelulase apresentou o melhor efeito de extração
443 devido à sua capacidade de quebrar celulose e hemicelulose, dissolvendo a parede
444 celular e liberando melhor os solutos intracelulares, como as antocianinas. Os
445 resultados obtidos na quantificação de antocianinas corroboram com os índices de cor
446 vermelha (A520nm) e a intensidade de cor nos sucos (Tabela 2), uma vez que as
447 antocianinas são as principais fontes de cor vermelha e influenciam as características
448 cromáticas [31].

O suco obtido com Everzym Thermo também apresentou os maiores valores em relação aos flavanonas. Quanto aos ácidos fenólicos, não houve grande diferença entre o suco controle e os sucos obtidos com enzimas, mas, de modo geral, as preparações enzimáticas resultaram em valores mais baixos. No estudo de Lima et al. [6], também não houve aumento na concentração de ácidos quando os sucos foram elaborados com a preparação enzimática Endozym Pectofruit PR em diferentes concentrações e temperaturas de maceração, em comparação com o controle, o que é explicado pelo fato de os ácidos fenólicos estarem principalmente presentes na polpa da uva. O principal ácido fenólico quantificado nos sucos foi o ácido caftárico, que já foi relatado em outros estudos como predominante em sucos de uva das mesmas cultivares utilizadas neste estudo [1, 2].

Os sucos também foram avaliados quanto à sua capacidade antioxidante utilizando os métodos DPPH•, ABTS•+, FRAP e a capacidade redutora pelo método de Folin-Ciocalteu (Tabela 3). O suco obtido com a preparação Everzym Thermo apresentou os maiores valores de capacidade antioxidante em todos os métodos quando comparado ao controle e às outras enzimas, com DPPH• (7,42 mmol TE/L), ABTS•+ (15,48 mmol TE/L), FRAP (29,53 mmol Fe²⁺/L) e Folin-Ciocalteu (1920,8 mg/L), associados ao maior teor de fenólicos quantificados por HPLC-DAD (626,6 mg/L) e à alta contribuição da antocianina malvidina 3-glicosídeo (162,4 mg/L). A elevada capacidade antioxidante no suco, associada aos compostos fenólicos, se mostra relevante, uma vez que essas substâncias apresentam alta bioacessibilidade no suco de uva [2].

Tabela 3. Composição fenólica e capacidade antioxidante dos sucos de uva produzidos com preparações enzimáticas comerciais.

<i>Compostos fenólicos mg/L</i>	Preparações enzimáticas					
	Controle	Endozym Pectofruit PR	Everzym Thermo	Endozym Rouge	Pectinex Ultra Pulp	Pectinex Ultra Color
Flavanóis						
Procianidina B1	1.30 ± 0.03 ^{ab}	1.34 ± 0.10 ^a	1.24 ± 0.00 ^{abc}	1.15 ± 0.02 ^{bc}	1.21 ± 0.05 ^{abc}	1.10 ± 0.01 ^c
Procianidina B2	3.68 ± 0.01 ^e	43.25 ± 0.04 ^a	32.10 ± 1.55 ^b	24.46 ± 1.84 ^d	28.22 ± 0.39 ^c	27.04 ± 0.54 ^{cd}
Procianidina A2	3.24 ± 0.03 ^c	2.88 ± 0.05 ^{cd}	6.96 ± 0.37 ^a	4.66 ± 0.25 ^b	2.23 ± 0.10 ^d	2.72 ± 0.16 ^{cd}
(-)-Epigallocatequina galato	22.78 ± 0.89 ^a	22.96 ± 1.00 ^a	20.28 ± 0.61 ^b	18.34 ± 0.22 ^b	18.28 ± 0.53 ^b	18.73 ± 0.17 ^b
(-)-Epicatequina galato	2.51 ± 0.25 ^b	2.07 ± 0.17 ^{bc}	3.56 ± 0.20 ^a	2.37 ± 0.18 ^b	1.67 ± 0.06 ^c	1.64 ± 0.12
Σ Flavanóis	33.51 ± 1.21	72.50 ± 1.36	64.14 ± 2.73	50.98 ± 2.51	51.61 ± 1.13	53.23 ± 1.00
Flavonóis						
Kaempferol-3-glucosídeo	0.38 ± 0.00 ^b	0.32 ± 0.01 ^b	0.44 ± 0.00 ^a	0.32 ± 0.01 ^b	0.12 ± 0.00 ^c	0.15 ± 0.01 ^c
Isoramnétina-3-glucosídeo	1.08 ± 0.06 ^a	1.01 ± 0.08 ^a	1.14 ± 0.04 ^a	0.69 ± 0.05 ^b	0.64 ± 0.02 ^b	0.69 ± 0.03 ^b
Miricetina	4.61 ± 0.09 ^{cd}	5.89 ± 0.34 ^c	16.88 ± 0.70 ^a	10.50 ± 0.78 ^b	4.31 ± 0.09 ^d	5.45 ± 0.24 ^{cd}
Σ Flavonóis	6.07 ± 0.17	7.22 ± 0.43	18.46 ± 0.74	11.51 ± 0.84	5.07 ± 0.11	6.29 ± 0.28
Antocianinas						
Cianidina-3,5-diglucosídeo	4.24 ± 0.03 ^a	4.50 ± 0.31 ^a	4.24 ± 0.22 ^a	3.73 ± 0.05 ^a	4.04 ± 0.39 ^a	3.97 ± 0.28 ^a
Delfinidina-3-glucosídeo	5.03 ± 0.07 ^c	4.04 ± 0.00 ^c	12.56 ± 0.62 ^a	7.25 ± 0.41 ^b	4.22 ± 0.18 ^c	4.01 ± 0.08 ^c
Cianidina-3-glucosídeo	5.12 ± 0.02 ^c	4.51 ± 0.33 ^{cd}	9.79 ± 0.56 ^a	6.57 ± 0.31 ^b	3.88 ± 0.05 ^d	4.03 ± 0.05 ^d
Peonidina-3-glucosídeo	8.12 ± 0.01 ^c	7.67 ± 0.39 ^{cd}	21.69 ± 1.22 ^a	13.84 ± 0.52 ^b	6.15 ± 0.15 ^c	7.23 ± 0.17 ^{cd}
Malvidina-3,5-glucosídeo	16.46 ± 0.00 ^{ab}	14.18 ± 1.08 ^c	17.08 ± 0.50 ^b	14.77 ± 0.63 ^{bc}	24.88 ± 0.11 ^a	13.44 ± 0.07 ^c
Malvidina-3-glucosídeo	24.98 ± 0.84 ^d	66.04 ± 4.01 ^c	162.39 ± 10.91 ^a	102.41 ± 10.37 ^b	48.85 ± 0.82 ^c	68.25 ± 1.97 ^c
Petunidina-3-glucosídeo	53.16 ± 6.17 ^a	55.40 ± 8.42 ^a	53.07 ± 2.38 ^a	47.89 ± 1.31 ^a	51.40 ± 0.50 ^a	47.79 ± 5.28 ^a

Pelargonidina-3-glucosídeo	8.08 ± 0.03 ^c	7.25 ± 0.31 ^{cd}	21.86 ± 1.33 ^a	13.69 ± 0.85 ^b	5.62 ± 0.37 ^d	7.02 ± 0.46 ^{cd}
Σ Antocianinas	125.19 ± 7.17	163.59 ± 14.85	302.68 ± 17.74	210.15 ± 14.45	149.04 ± 2.57	155.74 ± 8.36
Estilbenos						
cis-Resveratrol	0.75 ± 0.01 ^c	1.91 ± 0.17 ^a	1.66 ± 0.05 ^{ab}	1.42 ± 0.02 ^b	1.48 ± 0.02 ^b	1.57 ± 0.13 ^b
Flavanonas						
Hesperidina	18.57 ± 0.41 ^b	17.77 ± 1.64 ^{bc}	19.66 ± 1.24 ^a	13.85 ± 0.95 ^d	14.62 ± 0.41 ^{cd}	14.95 ± 0.54 ^{cd}
Naringenina	2.98 ± 0.03 ^{cd}	4.61 ± 0.01 ^b	5.04 ± 0.33 ^a	2.52 ± 0.0 ^d	3.33 ± 0.05 ^c	3.02 ± 0.23 ^{cd}
Σ Flavanonas	21.55 ± 0.44	22.38 ± 1.65	24.70 ± 1.57	16.37 ± 0.96	17.95 ± 0.46	17.97 ± 0.77
Ácidos fenólicos						
Ácido caftárico	247.83 ± 5.90 ^a	208.38 ± 19.52 ^b	170.46 ± 8.20 ^c	155.28 ± 9.49 ^c	150.71 ± 2.44 ^c	145.09 ± 2.93 ^c
Ácido clorogênico	17.35 ± 0.08 ^c	14.69 ± 1.25 ^c	39.94 ± 2.81 ^a	25.98 ± 2.52 ^b	12.81 ± 0.13 ^c	13.64 ± 0.01 ^c
Ácido cafeico	6.42 ± 0.10 ^a	5.48 ± 0.53 ^b	4.61 ± 0.25 ^{bc}	3.57 ± 0.05 ^d	3.70 ± 0.24 ^{cd}	4.09 ± 0.18 ^{cd}
Σ Ácidos fenólicos	271.60 ± 6.08	228.55 ± 21.30	215.01 ± 11.26	184.83 ± 12.06	167.22 ± 2.81	162.82 ± 3.12
Fenólicos totais quantificados	458.7 ± 15.08	496.15 ± 39.76	626.65 ± 34.09	475.26 ± 30.84	392.37 ± 7.10	397.6 ± 13.66
Capacidade antioxidante						
DPPH• mM TE/L	6.76 ± 0.17 ^b	5.60 ± 0.10 ^c	7.42 ± 0.08 ^a	7.42 ± 0.07 ^a	5.31 ± 0.11 ^c	4.36 ± 0.12 ^d
ABTS•+ mM TE/L	11.47 ± 0.62 ^b	10.66 ± 1.09 ^{bc}	15.48 ± 0.61 ^a	10.73 ± 0.10 ^{bc}	16.32 ± 0.32 ^a	8.72 ± 0.54 ^c
FRAP mM Fe ²⁺ /L	23.94 ± 0.59 ^b	19.66 ± 0.19 ^c	29.53 ± 0.55 ^a	23.39 ± 0.10 ^b	24.10 ± 0.24 ^b	18.55 ± 0.55 ^c
Folin Ciocalteu mg/L GAE	1530.6 ± 83.4 ^{ab}	1446.7 ± 220 ^{bc}	1920.8 ± 144 ^a	1200.7 ± 110 ^{bc}	1298.3 ± 113 ^{bc}	1070.7 ± 79 ^c

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n = 3 avaliações de cada lote). Médias seguidas de letras iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ND = não detectado ou abaixo do limite de quantificação. TE = equivalente a Trolox. GAE = equivalente a ácido gálico.

3.4 Parâmetros cinéticos dos sucos no período de 360 dias

Os sucos de uva foram avaliados aos 0, 120, 240 e 360 dias de armazenamento (26 ± 2 °C), e a composição fenólica e os parâmetros de cor aos 360 dias de armazenamento são apresentados nos dados suplementares (Tabela S3). Os parâmetros cinéticos da evolução da degradação da cor vermelha (A520 nm), da intensidade da cor e de suas principais antocianinas – malvidina-3-glicosídeo e petunidina-3-glicosídeo, que são os principais parâmetros associados ao estudo da cor neste trabalho, são apresentados na Tabela 4. Para a cor vermelha do suco, os valores estimados de meia-vida ($t_{1/2}$) na cinética de ordem zero ($R^2 > 0,92$) variaram de aproximadamente 235 dias (Everzym Thermo) a 284 dias (Pectinex Ultra Pulp). Para a cinética de primeira ordem ($R^2 > 0,97$), o $t_{1/2}$ variou de aproximadamente 180 dias (Everzym Thermo) a 275 dias (Pectinex Ultra Pulp).

Quanto à intensidade da cor (Tabela 4), os valores médios de $t_{1/2}$ variaram de 261 dias (Everzym Thermo) a 321 dias (Controle) para a cinética de ordem zero ($R^2 > 0,91$) e de 271 dias (Endozym Rouge) a 295 dias (Everzym Thermo e Pectinex Ultra Color) para a cinética de primeira ordem ($R^2 > 0,96$). A cor dos derivados de uva resulta da combinação de diversas tonalidades; esse parâmetro foi determinado pela soma das absorbâncias em 420 nm (amarelo), 520 nm (vermelho) e 620 nm (violeta) [32; 33], sendo o vermelho destacado como um atributo sensorial importante para a aceitação do produto [29]. De modo geral, observa-se que quanto maior a intensidade da cor vermelha ao longo da vida de prateleira do produto, maior é sua aceitação pelo consumidor, e todos os sucos elaborados com as enzimas apresentaram um $t_{1/2}$ estimado superior a 250 dias, menor do que o observado no controle.

Quanto à cinética de degradação das antocianinas (Tabela 4), a malvidina-3-glicosídeo (cinética de ordem zero, $R^2 > 0,85$) apresentou $t_{1/2}$ variando de aproximadamente 164 dias (Endozym Rouge) a 226 dias (Controle). Para a cinética de primeira ordem ($R^2 > 0,80$), o $t_{1/2}$ variou de 44 dias (Endozym Pectofruit) a 131 dias (Controle). Para a petunidina-3-glicosídeo, na cinética de ordem zero ($R^2 > 0,83$), o $t_{1/2}$ variou de 192 dias (Endozym Pectofruit) a 204 dias (Pectinex Ultra Pulp); e na cinética de primeira ordem ($R^2 > 0,80$), o $t_{1/2}$ variou de 60 dias (Endozym Pectofruit) a 138 dias (Pectinex Ultra Pulp). Assim como nos parâmetros de cor, não foi observado um $t_{1/2}$ maior nos sucos elaborados com enzimas em comparação ao controle.

De forma resumida, embora o suco obtido com a preparação Everzym Thermo tenha apresentado inicialmente maior intensidade de cor e maior teor de antocianinas

(Intensidade de Cor = 29,08; Malvidina-3-glicosídeo = 162,39 mg/L (Tabelas 2 e 3)), seus parâmetros cinéticos de degradação foram mais elevados, com reduções de aproximadamente 65% na intensidade de cor e 94% na malvidina-3-glicosídeo ao longo de 360 dias (relação entre as Tabelas 2, 3 e Tabela S3), em comparação ao controle (Intensidade de Cor = 14,59; Malvidina-3-glicosídeo = 24,98 mg/L (Tabelas 2 e 3)), que apresentou reduções de aproximadamente 56% na intensidade de cor e 70% na malvidina-3-glicosídeo no mesmo período (relação entre as Tabelas 2, 3 e Tabela S3). Este trabalho corrobora o estudo de Prado et al. [19], que também relataram maior coloração inicial nos sucos obtidos com Everzym Thermo, mas observaram uma degradação mais acelerada do teor total de antocianinas monoméricas quando comparados aos sucos elaborados com as outras duas preparações enzimáticas de prensagem. Destacamos que o conhecimento das taxas de degradação dos componentes nos sucos é essencial para a tomada de decisões relacionadas à conservação, vida de prateleira e potencial de mercado do produto.

Assim, os resultados deste estudo mostram que os sucos elaborados com as preparações enzimáticas formuladas para a extração de cor foram, em geral, responsáveis por uma maior extração de antocianinas e outros compostos fenólicos da casca da uva durante a maceração, resultando em uma coloração mais intensa no suco (Tabelas 1 e 2). No entanto, possivelmente devido à maior degradação de polissacarídeos na casca/suco, que frequentemente podem atuar como colóides protetores [15], esses sucos apresentaram uma evolução mais acelerada da tonalidade e perda de cor ao longo da vida de prateleira. Isso explicaria as maiores meias-vidas dos parâmetros de cor e das antocianinas no suco controle (Tabela 4).

A Figura 1 apresenta a evolução dos parâmetros de cor e antocianinas dos sucos neste estudo. Para a cor vermelha (A520nm), intensidade de cor, malvidina-3-glicosídeo e petunidina-3-glicosídeo, observa-se um comportamento semelhante em relação à degradação dos compostos ao longo dos dias, com uma degradação mais acelerada nos primeiros 100 dias e mais lenta posteriormente. Ao longo de 360 dias, os sucos obtidos com Endozym Pectofruit PR, Endozym Rouge, Pectinex Ultra Pulp e Ultra Color apresentaram um comportamento semelhante ao suco controle quanto à evolução da cor vermelha e da intensidade de cor. O suco obtido com Everzym Thermo apresentou os maiores valores para esses parâmetros tanto na fase inicial quanto ao final do período de armazenamento de 360 dias, embora a cinética tenha mostrado o menor $t_{1/2}$. Todos os sucos com as preparações enzimáticas comerciais

apresentaram comportamento semelhante ao controle ao final dos 360 dias no que se refere às antocianinas. Quanto à tonalidade, o suco obtido com Everzym Thermo apresentou menores valores e maior intensidade de cor vermelha ao final dos 360 dias, conforme os dados suplementares (Tabela S3). Em relação à capacidade antioxidante por FRAP, DPPH e ABTS, não foram observadas perdas significativas na concentração dos sucos ao final do período de análise, demonstrando estabilidade na capacidade antioxidante. Embora o suco obtido com Everzym Thermo tenha apresentado uma cinética de degradação mais acelerada para cor e antocianinas devido aos altos valores iniciais desses parâmetros, ao final dos 360 dias de armazenamento ainda manteve maior intensidade de cor; no entanto, sofreu uma alta degradação de antocianinas, tornando-se praticamente indistinguível das demais preparações enzimáticas.

Após 360 dias de armazenamento, as diferenças na cor, no teor de antocianinas e na composição fenólica entre as preparações foram pequenas, sendo praticamente iguais para todos os sucos, incluindo o controle (Tabela S3). Isso indica que, mesmo com valores iniciais menores para os índices de cor e antocianinas, a não degradação dos polissacarídeos pode estar associada a um maior efeito protetor para a cor e as antocianinas.

Tabela 4. Parâmetros cinéticos dos sucos de uva produzidos com diferentes preparações enzimáticas comerciais ao longo de 360 dias de armazenamento, incluindo parâmetros de cor, malvidina-3-glicosídeo e petunidina-3-glicosídeo.

Parametros		Modelos ¹	Amostras ²					
			Controle	Endozym Pectofruit PR	Everzym Thermo	Endozym Rouge	Pectinex Ultra Pulp	Pectinex Ultra Color
Cor vermelho (A _{520 nm})	Ordem zero	R ²	0,9298	0,9618	0,9488	0,9250	0,9992	0,9566
		K (dias ⁻¹)	0,0135	0,0125	0,0331	0,0180	0,0125	0,0130
		t _{1/2} (dias ⁻¹)	268,5845	253,8033	235,2440	253,7769	284,6330	260,1913
	Primeira ordem	R ²	0,9710	0,9924	0,9904	0,9731	0,9862	0,9858
		K (dias ⁻¹)	0,0033	0,0033	0,0038	0,0034	7,2625	0,0033
		t _{1/2} (dias ⁻¹)	208,9122	209,5949	180,1991	200,3029	275,5244	209,6384
	Ordem zero	R ²	0,9363	0,9618	0,9530	0,9159	0,9925	0,9714
		K (dias ⁻¹)	0,0209	0,0196	0,0510	0,0251	0,0239	0,0192
		t _{1/2} (dias ⁻¹)	321,2587	299,7960	261,8293	307,0030	295,6734	314,0436
Intensidade de cor	Primeira ordem	R ²	0,9652	0,9915	0,9474	0,9582	0,9737	0,9910
		K (dias ⁻¹)	0,0025	0,0025	0,0023	0,0025	0,0023	0,0023
		t _{1/2} (dias ⁻¹)	274,7531	274,0412	295,3021	271,1982	295,1398	295,8759
	Ordem zero	R ²	0,9831	0,8593	0,9288	0,8745	0,9434	0,9065
Malvidina-3-O- glicoside	Ordem zero	K (dias ⁻¹)	0,0525	0,1548	0,4134	0,2494	0,1253	0,1674
		t _{1/2} (dias ⁻¹)	226,5220	169,6922	167,8689	164,8219	170,5514	169,8285
	Primeira ordem	R ²	0,9318	0,8093	0,9999	0,9892	0,8034	0,9976

		K (dias ⁻¹)	0,0052	0,0154	0,0080	0,0101	0,0125	0,0084
		t _{1/2} (dias ⁻¹)	131,9955	44,7634	86,4245	69,2427	55,27	82,4488
Petunidina-3-O-glicosideo	Ordem zero	R ²	0,9361	0,8333	0,9570	0,9223	0,8575	0,9474
		K (dias ⁻¹)	0,1190	0,1151	0,1217	0,1021	0,1130	0,1053
		t _{1/2} (dias ⁻¹)	201,0185	192,0196	197,1417	203,7444	204,3010	202,2742
	Primeira ordem	R ²	0,9895	0,8333	0,9992	0,8023	0,9960	0,8074
		K (dias ⁻¹)	0,0052	0,0115	0,0052	0,0102	0,0049	0,0105
		t _{1/2} (dias ⁻¹)	133,1641	60,1994	131,6019	67,8580	138,6585	65,7919

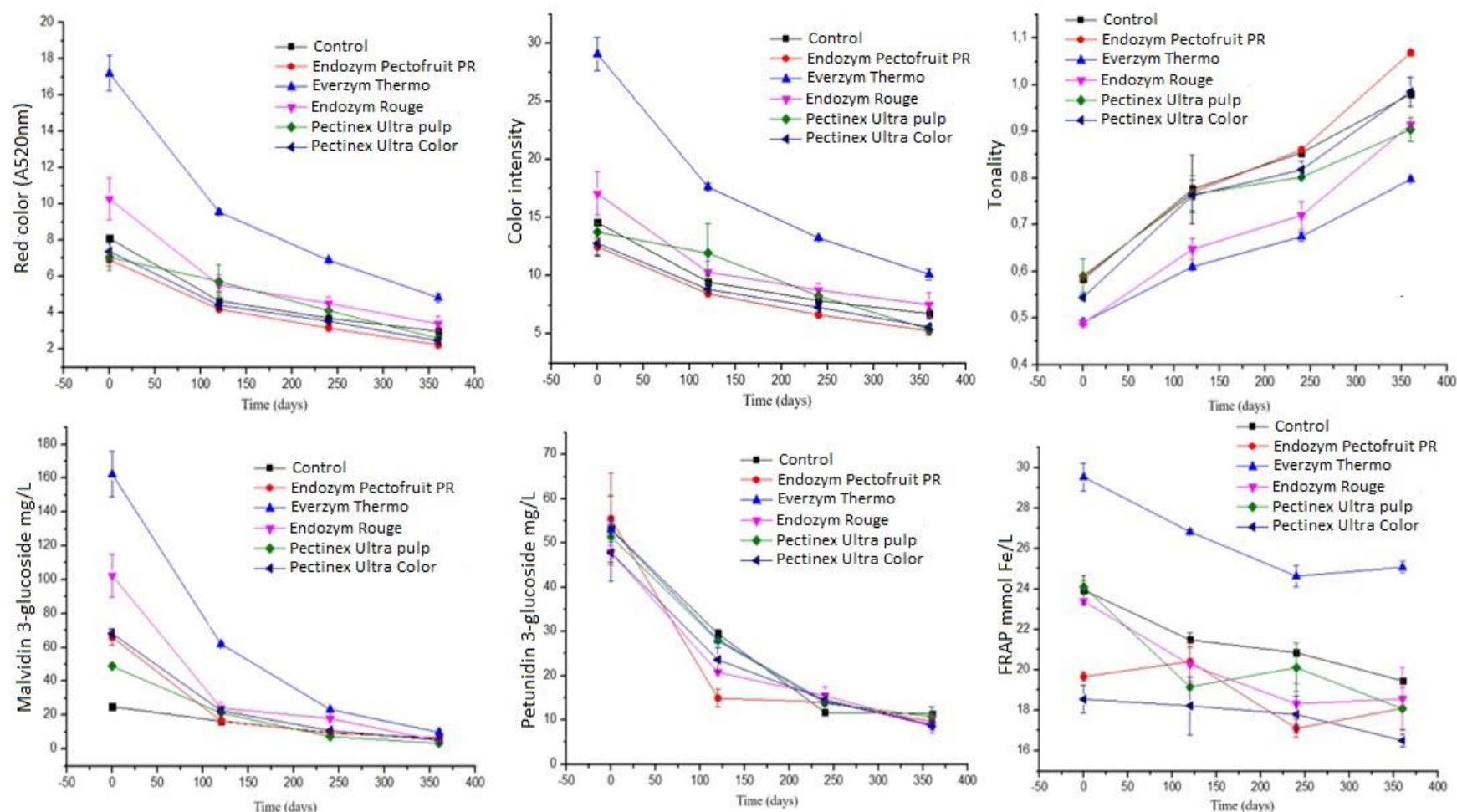


Figura 1. Avaliação da estabilidade de sucos de uva produzidos com diferentes preparações enzimáticas ao longo de 360 dias por meio da análise da evolução dos parâmetros de cor, malvidina-3-glucosídeo, petunidina-3-glucosídeo e capacidade antioxidante.

Tabela S3. Cor, capacidade antioxidante e perfil fenólico de sucos de uva após 360 dias de armazenamento.

Analises	Controle	Endozym Pectofruit PR	Everzym Thermo	Endozym Rouge	Pectinex Ultra pulp	Pectinex Ultra color
pH	3,38±0,01c	3,41±0,02bc	3,52±0,04a	3,46±0,03b	3,36±0,03c	3,41±0,01bc
Grau Brix	18,3±0,3ab	17,5±0,2c	22,1±0,1a	19,5±1b	18,0±0,5ab	16,9±0,3c
Acidez %	0,82±0,01b	0,86±0,01a	0,71±0,01c	0,81±0,01b	0,86±0,01a	0,84±0,01ab
Cor vermelha	2,98±0,21bc	2,23±0,16d	4,84±0,24a	3,37±0,42b	2,59±0,19cd	2,45±0,06cd
Intensidade de cor	6,76±0,44bc	5,27±0,39d	10,14±0,48a	7,52±1b	5,71±0,3cd	5,61±0,18cd
Tonalidade	0,98±0b	1,07±0,01a	0,80±0,01d	0,91±0,01c	0,93±0,02c	0,99±0,03b
<i>Ácidos fenólicos</i>						
Ácido caftárico	142,75±7,9ab	160,07±8,4a	154,8±1,5a	114,56±13b	159,43±11,7a	148,51±10a
Ácido clorogênico	9,13±0,7c	17,50±0,5b	21,58±2,6a	8,09±0,6c	8,52±0,94c	8,89±0,1c
Ácido cafeico	3,73±0,16a	4,18±0,36a	3,99±0,11a	3,40±0,2a	3,94±0,06a	3,68±0,41 ^a
Ácido p-cumárico	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total de ácidos fenólicos quantificados	155,61	181,75	180,37	126,06	171,89	161,08
<i>Flavanóis</i>						
Epicatequina galato	ND	1,49±0,02	1,16±0,13	ND	ND	ND
Epigallocatequina galato	4,76±0,28a	3,74±0,38bc	3,88±0,22bc	3,85±0,43bc	4,63±0,14a	3,85±0,42b
Procianidina B1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Procianidina B2	27,25±1,1bc	31,27±2,3a	30,16±0,09a	22,01±2,4b	30,44±2,1a	28,59±2 ^a
Procianidina A2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total de flavanóis quantificados	32,02	36,50	35,21	25,86	35,07	32,44
Isoflavonas						

Naringenina	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hesperidina	12,44±0,66bc	15,28±1,5a	14,58±0,5abc	10,40±1,2c	15,14±1,8ab	14,5±1,5abc
<i>Estilbenos</i>						
Cis resveratrol	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Flavonóis</i>						
Miricetina	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Quercetina 3-glucosídeo	0,37±0,04	ND	0,39±0,03	ND	ND	ND
Rutina	10,96±0,6a	13,97±1,4a	13,37±0,4a	9,76±1,0a	13,61±1,2a	12,72±1,3a
Kaempferol glucosídeo	0,23±0,01d	0,69±0,05a	0,58±0,05b	0,20±0,01	0,38±0,02c	0,38±0,03c
Isoramnétina	0,67±0,02bc	0,92±0,11a	0,81±0,05abc	0,55±0,05c	0,76±0,07bc	0,71±0,10bc
Total de flavonóis quantificados	12,23	15,47	15,15	10,51	14,75	13,81
<i>Antocianinas</i>						
Cianidina 3,5-diglucosídeo	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pelargonidina 3,5-diglucosídeo	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Delfinidina 3-glucosídeo	0,43±0,03c	0,69±0,03a	0,5±0,03b	ND	ND	ND
Malvidina 3,5-diglucosídeo	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pelargonidina 3-glucosídeo	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Peonidina 3-glucosídeo	ND	1,40±0,05	1,28±0,08	ND	ND	ND
Malvidina 3-glucosídeo	7,46±1,2b	7,74±1,2b	9,86±1,6a	4,72±0,4bc	2,66±0,06c	5,19±0,01bc
Petunidina 3-glucosídeo	12,93±1,4a	9,03±0,6b	9,00±0,03b	8,81±1,8b	10,54±0,2ab	8,67±0,08b
Cianidina 3-glucosídeo	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total de antocianinas quantificadas	20,79	18,87	20,68	13,53	13,20	13,86
<i>Capacidade antioxidante</i>						
DPPH mM Trolox/L	7,09±0,07b	6,04±0,14c	9,17±0,15a	5,92±0,04c	5,96±0,08c	5,81±0,12c
ABTS mM Trolox/L	9,61±0,06bc	9,79±0,87bc	13,35±0,63a	10,78±0,79b	9,65±0,25bc	8,67±0,57c

FRAP mM Fe ²⁺ /L	19,46±0,14bc	18,10±1,0bc	25,07±0,27a	20,10±1,5b	18,16±0,08bc	16,51±0,30c
Fenólicos totais (mg/L)	1298,3±9,3bc	1205,4±18cd	1892,9±111a	1358,7±90b	949,9±4,6e	1103,2±46de

Os resultados etrão expressos como medias ± desvio padrão (n = 3 avaliações de cada lote). Médias seguidas por letras iguais, nas linhas não diferem entre sim pelo teste de Tukey a 5% de probablidade de erro. ND= não detectado ou menor que o limite de quantificação.

570
571

3.5 Análise quimiométrica (PCA) dos sucos no tempo de zero dias

A análise de componentes principais (PCA) foi realizada para avaliar de forma multivariada as semelhanças e diferenças entre os sucos produzidos com as diferentes preparações enzimáticas comerciais e sua caracterização química inicial (Figura 2). Para o PCA, os componentes principais 1 e 2 (PC1 e PC2) explicaram 69,2% da variância no experimento. Na PC1>0 (45% da variância), o suco obtido com Everzym Thermo foi agrupado, associado à presença de concentrações mais altas de antocianinas como cianidina-3,5-diglicosídeo, cianidina-3-diglicosídeo, petunidina-3-glicosídeo, pelargonidina-3-glicosídeo, naringenina, kaempferol, isorhamnetina e hesperidina, e maiores valores de capacidade antioxidante por FRAP, DPPH, ABTS e Folin-Ciocalteu. Na PC1>0, com uma carga menor, a preparação Endozym Rouge também foi agrupada, assim como as preparações Everzym Thermo, para maior extração de cor. Na PC2<0, foram agrupados os sucos obtidos com as preparações enzimáticas para prensagem Pectinex Ultra Pulp, Endozym Pectofruit e Pectinex Ultra Color, associados ao maior conteúdo de ácidos orgânicos (málico, cítrico e láctico), e às maiores atividades de pectinase, poligalacturonase e pectina.

Os resultados da análise multivariada de PCA corroboram os obtidos no teste de Tukey (Tabelas 2 e 3), onde as preparações formuladas para extração de cor, exceto Pectinex Ultra Color, produziram sucos com maior conteúdo de antocianinas, índices de cor e polifenóis em geral. Esse tipo de preparação enzimática mostra maior potencial para extrair compostos bioativos das uvas durante a produção do suco, como confirmado pelas maiores capacidades antioxidantes (ver cargas de PC1, Figura Suplementar S2). Por outro lado, as preparações destinadas à prensagem, especialmente Endozym Pectofruit PR (alta atividade de pectinase), foram associadas a maior rendimento de suco e extração de ácidos orgânicos e principais ácidos

597 fenólicos na polpa, como o ácido cafeico e ácido cafeico (ver cargas de PC2, Figura
598 Suplementar S3).

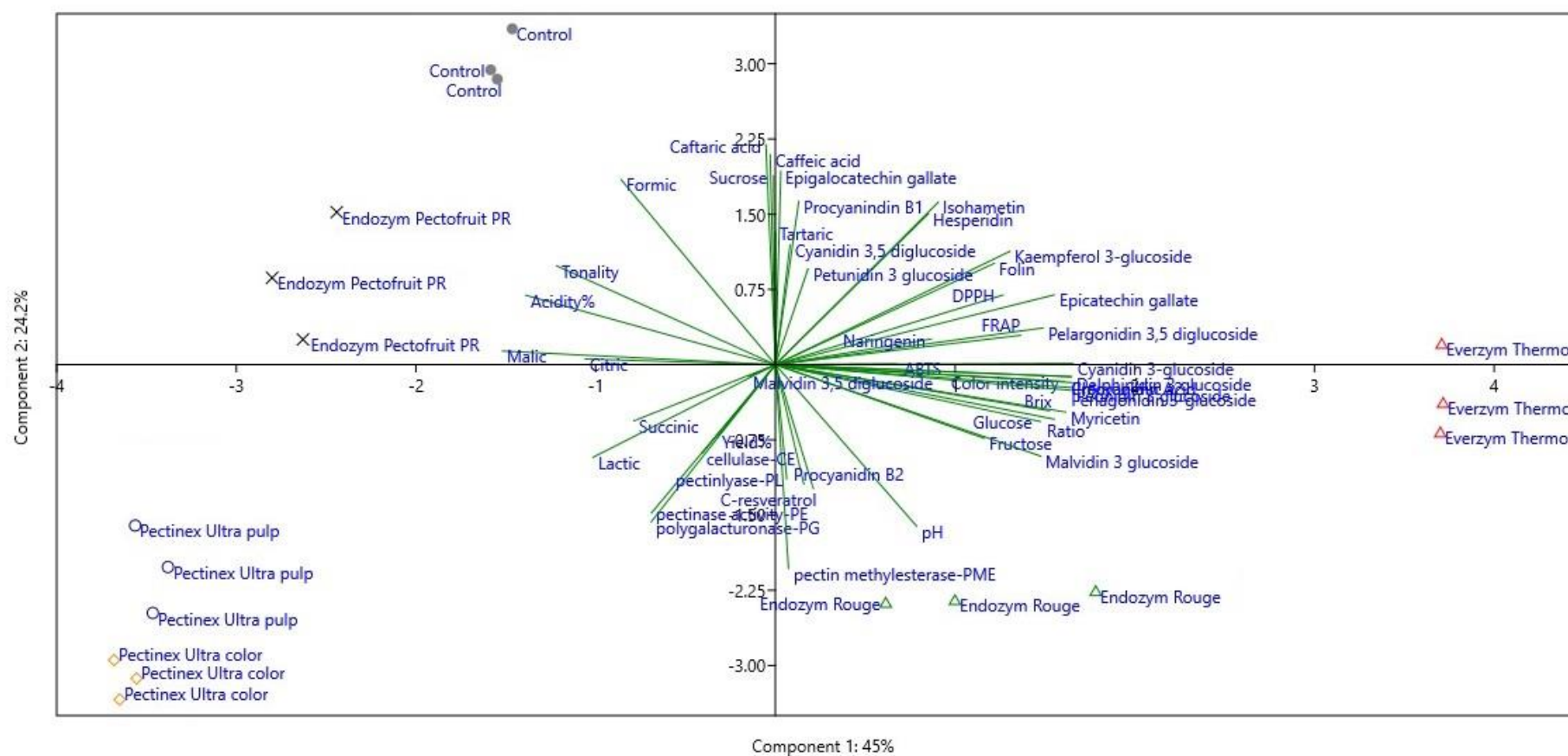


Figura 2. Análise de componentes principais dos sucos de uva obtidos com diferentes preparações de pectinase.

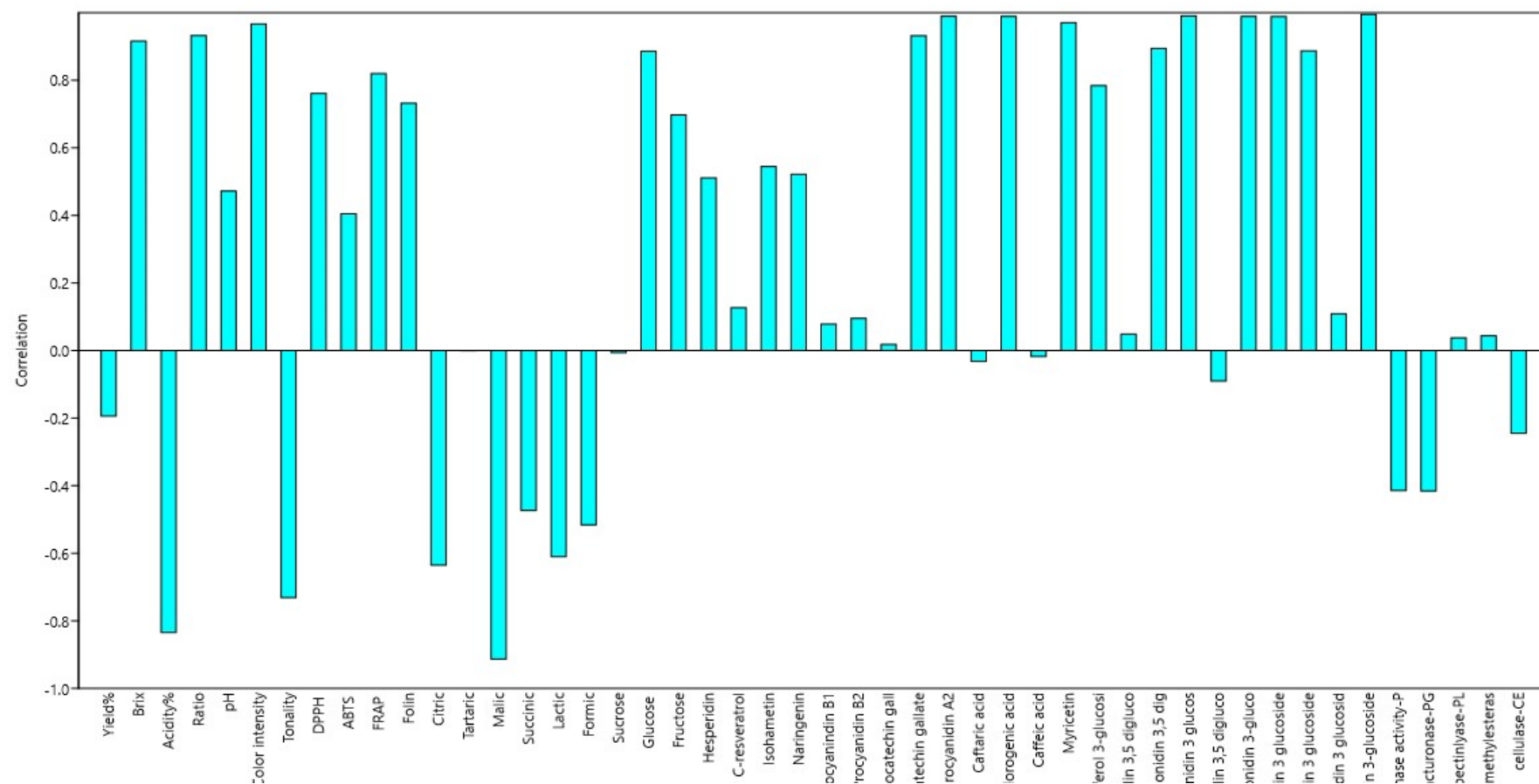


Figura S2. Loading Correlação do componente principal1.

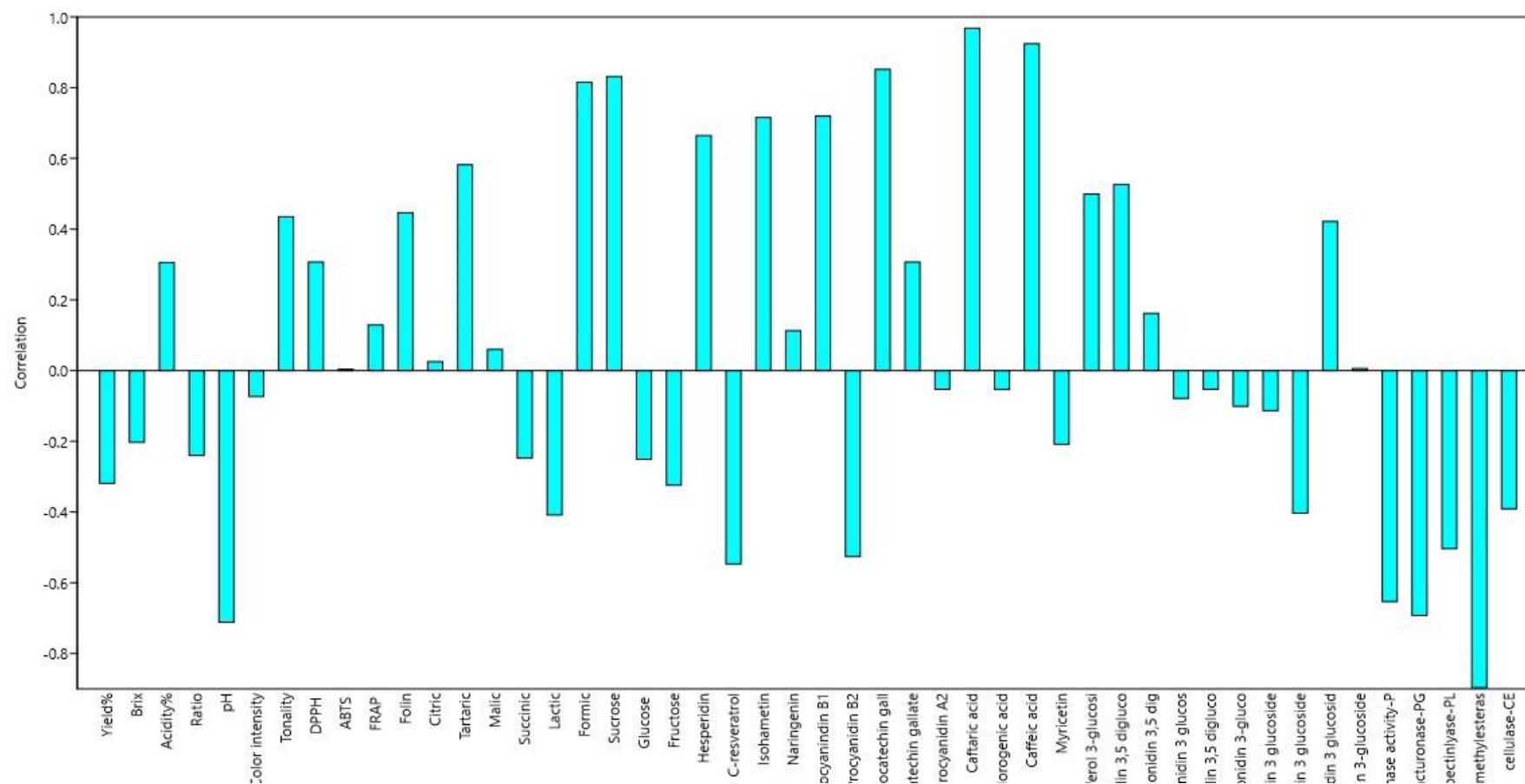


Figura S3. Loading Correlação do componente principal 2.

4 CONCLUSÕES

As preparações enzimáticas, principalmente Everzym Thermo e Endozym Rouge, aumentaram o conteúdo de bioativos nos sucos de uva, promovendo o aumento de flavanóis, flavonóis, isoflavonas e antocianinas. A Endozym Pectofruit PR, com alta atividade de pectinase, proporcionou melhor rendimento e aumentou ácidos orgânicos como o tartárico. As enzimas para extração de cor mostraram intensificação na intensidade da cor do suco, capacidade antioxidante e antocianinas, especialmente malvidina-3-glicosídeo. No entanto, após o armazenamento, as diferenças na cor e nas antocianinas foram mínimas, indicando que o efeito protetor de polissacarídeos não degradados em sucos sem enzimas pode ajudar a preservar a cor e as antocianinas ao longo do tempo. Esses resultados destacam o potencial das preparações enzimáticas para melhorar a qualidade do suco de uva, oferecendo insights valiosos para a indústria de sucos na otimização das técnicas de processamento, aumento do rendimento do produto e aprimoramento do conhecimento sobre os impactos na qualidade durante toda a vida útil do produto.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa (primeiro autor). Agradecem também à Empresa brasileira de frutas tropicais (EBFT) pela doação da matéria-prima e à AEB Brasil pela doação das enzimas Endozym Pectofruit PR e Endozym Rouge.

CONFLITOS DE INTERESSE

NÃO.

REFERÊNCIAS

1. Dutra, M.C.P., Viana, A.C., Pereira, G.E., Resende Nassur, R.C.M., & dos Santos Lima, M. (2021). Whole, concentrated and reconstituted grape juice: Impact of processes on phenolic composition, “foxy” aromas, organic acids, sugars and antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 343, 128–399. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128399>
2. Dutra, M.C.P., Silva, A.B.M., Ferreira, E.S., Carvalho, A.J.B.A., dos Santos Lima, M., & Biasoto, A.C.T. (2023). Bioaccessibility of phenolic compounds from Brazilian grape juices using a digestion model with intestinal barrier passage. *Food Bioscience*, 52, 102501. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102501>
3. Spinelli, F.R., André, J.P., Celso, P.G., Vicenzi, M.S., Kinast, E.J., Lamb, C.L., Bertoldo, G. (2024). Soluble solids profile of Brazilian *Vitis labrusca* and hybrid grape musts, from the 2012–2022 harvest. *Journal of Food Composition and*

- Analysis*, 125, 105797. <https://doi.org/10.1016/j.ifca.2023.105797>
4. Machado, A.R., Atatoprak, T., Santos, J., Alexandre, E. M.C., Pintado, M. E., Paiva, J. A. A., Nones, J. (2023). Potentialities of the Extraction Technologies and Use of Bioactive Compounds from Winery By-Products: A Review from a Circular Bioeconomy Perspective. *Applied Sciences*, 13, 7754. <https://doi.org/10.3390/app13137754>
 5. Patrício, T., Santos, L.A., Dionízio, R., Torres, R., Filho, N.R., Florentino, S., & Honorato, F.L. (2024). Pectinases production using an exotic caatinga passion fruit waste and wheat bran as a substrate for clarification of grape juice. *Food Bioscience* 61, 104163. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104163>
 6. Lima, M.d.S., Dutra, M.C.P., Toaldo, I.M., Corrêa, L.C., Pereira, G.E., de Oliveira, D., Bordignon-Luiz, M. T, Ninow, J. L. (2015). Phenolic compounds, organic acids and antioxidant activity of grape juices produced in industrial scale by different processes of maceration. *Food Chemistry*, 188, 384–392. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.014>
 7. Azimi, S.Z., Hosseini, S.S., & Khodaiyan, F. (2021). Continuous clarification of grape juice using a packed bed bioreactor including pectinase enzyme immobilized on glass beads. *Food Bioscience*, 40, 100877. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100877>
 8. Osete-Alcaraz, A., Gomez-Plaza, E., P´erez-Porras, P., Bel´en Bautista-Ortín, A. (2022). Revisiting the use of pectinases in enology: A role beyond facilitating phenolic grape extraction. *Food Chemistry*, 372 (2022) 131282. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131282>
 9. Siddiq, M., Dolan, K. D., Perkins-Veazie, P., Collins, J. K. (2018). Effect of pectinolytic and cellulytic enzymes on the physical, chemical, and antioxidant properties of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) juice. *LWT - Food Science and Technology* 92, 127–132. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.008>
 10. Dal Magro, L., Dalagnol, L. M. G., Manfroí, V., Hertz, P. F., Klein, M. P., Rodrigues, R. C. Synergistic effects of Pectinex Ultra Clear and Lallzyme Beta on yield and bioactive compounds extraction of Concord grape juice (2016a). *LWT - Food Science and Technology*, 72, 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.046>
 11. Lambri, M., Torchio, F., Colangelo, D., Segade, S.R., Giacosa, S., Faveri, D.M.D., Gerbi, V., & Rolle, L. (2015). Influence of different berry thermal treatment conditions, grape anthocyanin profile, and skin hardness on the extraction of anthocyanin compounds in the colored grape juice production. *Food Research International*, 77, 584-590. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.027>
 12. Nogueira, E.T.S., Dutra, M.C.P., Santos, R.G.B., Carvalho, A.J.B.A., & dos Santos Lima, M. (2024). Phenolic composition and encapsulation of Brazilian grape seed extracts: evaluating color stabilizing capacity in grape juices. *Journal of Food Science and Technology*, 61, 1778-1789. <https://doi.org/10.1007/s13197-024-05956-8>
 13. Paissoni, M.A., Bitelli, G., Vilanova, M., Montanini, C., Sagade, S.R., Rolle, L., & Giacosa, S. (2022). Relative impact of oenological tannins in model solutions and red wine according to phenolic, antioxidant, and sensory traits. *Food Research International*, 157, 111203. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111203>
 14. Prado, D.D.S, Pereira Fernandes, J. L., Gomes de Oliveira, L., Farias Lima Guedes, T. J., da Silva Padilha, C. V., dos Santos Lima, M. (2016). Physicochemical stability of grape juice produced on industrial scale by different

- commercial enzyme preparations. *International Food Research Journal* 26(1): 67 – 74.
15. Weiss, V., Okun, Z., & Shpigelman, A. (2023). Utilization of hydrocolloids for the stabilization of pigments from natural sources. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 68, 101756. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2023.1017>
 16. Martins, A.B.N., Canto, M., Perrone, D., & Monteiro, M. (2021). Chemical, Microbiological and Sensory Stability of Steam Extracted Jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) Juice. *Foods*, 10, 732. <https://doi.org/10.3390/foods10040732>
 17. Silva, G.G., Dutra, M., da, C.P., de Oliveira, J.B., Rybka, A.C.P., Pereira, G.E., & dos Santos Lima, M. (2019). Processing methods with heat increases bioactive phenolic compounds and antioxidant activity in grape juices. *Journal of Food Biochemistry*, 43 (3), 1–10. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12732>
 18. OIV – International Organisation of Vine and Wine. (2022). Compendium of international methods of wine and must analysis, edition 2022. 19th General Assembly, 21 July 2021(Paris)
 19. Coelho, E. M., da Silva Padilha, C. V., Miskinis, G. A., de Sá, A. G. B., Pereira, G. E., de Azevêdo, L. C., & dos Santos Lima, M. (2018). Simultaneous analysis of sugars and organic acids in wine and grape juices by HPLC: Method validation and characterization of products from northeast Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.017>
 20. Dos Santos Lima, M., Monteiro, L.I.S, Carvalho, A.J.B.A., Bastos, D.C, Pimentel, T.C., Magnani, M. (2024). A robust method for quantifying 42 phenolic compounds by RP-HPLC/DAD: Columns performance and characterization of Brazilian Citrus peels. *Food Chemistry*, 460, 106511. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140807>
 21. Lima, M.d.S., Ferreira, E.T.J., de Souza, M.E.A.O., Pereira, G.E., & Fedrigo, I.M.T. (2022). Artificial neural network: A powerful tool in associating phenolic compounds with antioxidant activity of grape juices. *Food Analytical Methods*, 15(2), 527–540. <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02144-8>
 22. Singleton, V.L., & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16,144–158.
 23. Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31, 426-428.
 24. Singhal, S., Rasane, P., Kaur, S., Singh, J., & Gupta, N. (2020). Thermal degradation kinetics of bioactive compounds in button mushroom (*Agaricus bisporus*) during tray drying process. *Journal of Food Process Engineering*, 43, e13555. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13555>
 25. Yadav, K., Dwivedi, S., Gupta, S.P., Tanveer, A., Yadav, S., Yadav, P.K., Anand, G., Yadav, D. (2023). Recent insights into microbial pectin lyases: A review. *Process Biochemistry*, 134, 199–217. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2023.10.008>
 26. Dal Magro, L., Goetze, D., Ribeiro, C. T., Paludo, N., Rodrigues, E., Hertz, P. F., Klein, M. P., Rodrigues, R. C. (2016b). Identification of bioactive compounds from *Vitis labrusca* L. variety Concord grape juice Treated With Commercial Enzymes: Improved Yield and Quality Parameters. *Food and Bioprocess Technology*, 9, 365–377. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1634-5>
 27. Souza, T.S.P., Kawaguti, H.Y. (2021). Cellulases, hemicellulases, and pectinases: Applications in the food and beverage industry. *Food and Bioprocess Technology*, 14, 1446–1477. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02678-z>

28. El Kersh, D. M., Hammad, G., Donia, M. S., Forag, M. A. (2023). A comprehensive review on grape juice beverage in context to its processing and composition with future perspectives to maximize its value. *Food and Bioprocess Technology*, 16, 1–23. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02858-5>
29. Cosme, F., Pinto, T., Vilela, A. (2018). Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Grape Juices: A Chemical and Sensory View: Review. *Beverages*, 4, 22. <https://doi:10.3390/beverages4010022>
30. Jia, C., Han, F., Miao, X., Zhang, Q., Yan, A., & Wu, P. (2019). Study on optimization of extraction process of anthocyanin from cherry wine lees. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 9, 18–27.
31. Garrido-Bañuelos, G., Buica, A., du Toit, W. (2021). Relationship between anthocyanins, proanthocyanidins, and cell wall polysaccharides in grapes and red wines. A current state-of-art review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62, 7743–7759. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1918056>
32. Glories, Y. 1984. La couleur des vins rouges. 1. Les équilibres des anthocyanes et des tannins. *Connaissance Vigne Vin*, 18, 195–217. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.1984.18.3.1751>
33. Moreno, C. P., Brossard, N., & Bordeu, E. (2023). Color Indexes: Traditional and Advanced Methods. In *Basic Protocols in Enology and Winemaking*. New York, NY: Springer US. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-0716-3088-4_5

Contribuições dos Autores

Maria da Conceição Prudêncio Dutra: Investigação, elaboração do rascunho original e análise formal; Ana Júlia de Brito Araújo Carvalho: Análise formal e visualização; Newton Carlos Santos: Visualização; Sérgio Tonetto de Freitas: Recursos; Ederlan de Souza Ferreira: Visualização; Aline Telles Biasoto Marques: Concepção, Metodologia e Visualização; Marcos dos Santos Lima: Concepção, metodologia, investigação, elaboração do rascunho original e administração do projeto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu:

- Conhecer o comportamento dos compostos fenólicos em sucos de uva de diferentes cultivares por meio da simulação do processo digestivo *in vitro*;
- Avaliar a viabilidade da incorporação do suco obtido da prensagem do bagaço (sub-produto) ao suco integral, assim como estudar as características relacionadas à sua composição físico-química, nutracêutica e qualidade sensorial;
- Avaliar o efeito de diferentes preparados enzimáticos comerciais no rendimento do suco de uva integral, nas características físico-químicas e na estabilidade da bebida, identificando preparados enzimáticos mais eficientes na obtenção e manutenção de características fundamentais ao produto, como a extração de cor e o aumento do conteúdo bioativo.

Assim, a presente pesquisa possibilitou um conhecimento mais detalhado sobre o suco de uva brasileiro e alternativas para a melhoria de seu rendimento e qualidade, trazendo informações importantes do ponto de vista científico e proporcionando uma devolutiva à sociedade, sobretudo ao produtor, sobre as características do seu produto e os impactos relacionados ao processo. Essa ampliação do entendimento sobre o produto, especialmente para os pequenos produtores, muitas vezes é limitada pela falta de recursos, considerando o alto custo de realizar pesquisas de grande impacto. Sendo assim, é essencial estabelecer essa conexão entre o meio acadêmico-científico e a indústria.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASIL. Estudo analisa suco de uva integral produzido no Vale do São Francisco. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/geral/audio/2023-07/estudo-analisa-suco-de-uva-integral-produzido-no-vale-do-sao-francisco#:~:text=O%20Vale%20do%20São%20Francisco%20%C3%A9%20hoje%20uma,mais%20de%2030%20milh%C3%B5es%20de%20litros%20de%20suco>. Acesso em: 21 nov. 2024.
- ALENCAR, N. M. M.; RIBEIRO, T. G.; BARONE, B.; BARROS, A. P. A.; MARQUES, A. T. B.; BEHRENS, J. H. Sensory profile and check-all-that-apply (CATA) as tools for evaluating and characterizing Syrah wines aged with oak chips. *Food Research International*, v. 124, p. 156–164, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.052>.
- ALKORTA, I.; GARBISU, C.; LLAMA, M. J.; SERRA, J. L. Industrial applications of pectic enzymes: a review. *Process Biochemistry*, v. 33, n. 1, p. 21-28, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(97\)00046-0](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(97)00046-0).
- ANZALDÚA-MORALES, A. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Zaragoza: Acribia SA, p. 198, 1994.
- AQUARONE, E. et al. *Biotecnologia industrial*. São Paulo: Blucher, 2001. v. 4. 523 p.
- ARES, G.; BARREIRO, C.; DELIZA, R.; GIMÉNEZ, A.; GÁMBARO, A. Application of a check-all-that-apply questions to the development of chocolate milk desserts. *Journal of Sensory Studies*, v. 25, p. 67-86, 2010. DOI: 10.1111/j.1745-459X.2010.00290.x.
- ARES, G.; BRUZZONE, F.; VIDAL, L.; CADENA, R. S.; GIMÉNEZ, A.; PINEAU, B.; HUNTER, D. C.; PAUSLEY, A. G.; JAEGER, S. R. Evaluation of a rating-based variant of check-all-that-apply questions: Rate-all-that-apply (RATA). *Food Quality and Preference*, v. 36, p. 87-95, 2014. DOI: 10.1016/j.foodqual.2014.03.006.
- ARNOUS, A.; MEYER, A. S. Discriminated release of phenolic substances from red wine grape skins (*Vitis vinifera* L.) by multicomponent enzymes treatment. *Biochemical Engineering Journal*, v. 49, p. 68-77, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2009.11.012>.
- ASSIS, S. A.; FERREIRA, B. S.; FERNANDES, P.; GUAGLIANONI, D. G.; CABRAL, J. M. S.; OLIVEIRA, O. M. M. F. Gelatin-immobilized pectinametilsterase for production of low methoxyl pectin. *Food Chemistry*, v. 86, n. 3, p. 333-337, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.09.040>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Análise sensorial dos alimentos e bebidas: terminologia. ABNT NBR 12845. 8 p., 1993.
- AUGUSTI, P. R.; CONTERATO, G. M. M.; DENARDIN, C. C.; PRAZERES, I. D.; SERRA, A. T.; BRONZE, M. R.; & EMANUELLI, T. Bioactivity, bioavailability, and gut microbiota transformations of dietary phenolic compounds: Implications for COVID-19. *Journal of Nutritional Biochemistry*, v. 97, p. 108787, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2021.108787>.
- AZEREDO, C. M. H. *Fundamentos de Estabilidade de Alimentos*. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2012.

AZIMI, S. Z.; HOSSEINI, S. S.; & KHODAIYAN, F. Continuous clarification of grape juice using a packed bed bioreactor including pectinase enzyme immobilized on glass beads. *Food Bioscience*, v. 40, p. 100877, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100877>.

BARRETO, S. M. A.; DA SILVA, A. B. M.; DUTRA, M. C. P.; BASTOS, D. C.; CARVALHO, A. J. B. A.; VIANA, A. C.; NARAIN, N.; LIMA, M. S. Effect of commercial yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) on fermentation metabolites, phenolic compounds, and bioaccessibility of Brazilian fermented oranges. *Food Chemistry*, v. 408, p. 132–151, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135121>.

BAXTER, I. A. Descriptive sensory analysis: past, present and future. *Food Res Int.*, v. 34, n. 6, p. 461-71, 2001.

BERES, C. et al. Towards integral utilization of grape pomace from winemaking process: A review. *Waste Management*, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.017>.

BERTHA, C. T.; ALBERTO, S. B. J.; TOVAR, J.; SÁYAGO-AYERDI, S. G.; ZAMORA-GASGA, V. M. In vitro gastrointestinal digestion of mango by-product snacks: Potential absorption of polyphenols and antioxidant capacity. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 54, n. 11, p. 3091-3098, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14224>.

BIASOTO, A. C. T.; NETTO, F. M.; MARQUES, E. J. N.; DA SILVA, M. A. A. P. Acceptability and preference drivers of red wines produced from *Vitis labrusca* and hybrid grapes. *Food Research International*, v. 62, p. 456–466, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.052>.

BOYER, J.; BROWN, D.; LIU, R. H. In vitro digestion and lactase treatment influence uptake of quercetin and quercetin glucoside by the Caco-2 cell monolayer. *Nutrition Journal*, v. 4, p. 1-15, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1475-2891-4-1>.

BRAGA, A. R. C.; MURADOR, D. C.; DE SOUZA MESQUITA, L. M.; DE ROSSO, V. V. Bioavailability of anthocyanins: Gaps in knowledge, challenges and future research. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 68, p. 31-40, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.07.031>.

BRASIL. Instrução Normativa nº 01, de 7 de janeiro de 2000. Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 10 jan. 2000, Seção 1, p. 54-58.

BRASIL. Instrução normativa nº 14, de 8 de fevereiro de 2018. Estabelece a Complementação dos Padrões de Identidade e Qualidade do Vinho e Derivados da Uva e do Vinho. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 9 mar. 2018, Seção 1.

BRASIL. Lei nº 7.678, de 8 de novembro de 1988. Dispõe sobre a produção, circulação e comercialização do vinho e derivados da uva e do vinho, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 8 nov. 1988.

BROWNLEADRES, M. D. et al. Molecular aspects of cell wall modifications during fruit ripening. *Food Science & Nutrition*, v. 32, p. 149-164, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408399908500494>.

CAMARA, M. A.; MARTÍNEZ, G.; CERMEÑO, S.; ZAFRILLA, P.; OLIVA, J. Influence of fungicide residues and in vitro gastrointestinal digestion on total antioxidant capacity and phenolic fraction of Graciano and Tempranillo red wines. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, v. 54, n. 12, p. 942–947, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1652073>.

CAMARGO, U. A. 'Isabel Precoce': alternativa para a vitivinicultura brasileira. *Comunicado Técnico n° 54*, 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPUV/5747/1/cot054.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2024.

CAMARGO, U. A.; MAIA, J. D. G. "BRS Cora" nova cultivar de uva para suco, adaptada a climas tropicais. *Comunicado Técnico n° 53*, 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/539513/1/cot053.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2024.

CAMARGO, U. A.; MAIA, J. D. G.; NACHTIGAL, J. C. "BRS Violeta" nova cultivar de uva para suco e vinho de mesa. *Comunicado Técnico n° 63*, 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/541004/1/cot063.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2024.

CAMARGO, U. A.; MAIA, J. D. G.; RITSCHER, P. S. 'BRS Carmem' nova cultivar de uva tardia para suco. *Comunicado Técnico n° 84*, 2008. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/542548/1/cot084.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2024.

CARULLO, G.; BADOLATO, M.; AIELLO, F. Bioavailability and biochemistry of quercetin and applications to health and diseases. In: *Polyphenols: Mechanisms of Action in Human Health and Disease*. 2. ed. Elsevier Inc., 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813006-3.00026-X>.

CASTALDO, L.; NARVÁEZ, A.; IZZO, L.; GRAZIANI, G.; GASPARI, A.; MINNO, G. DI; RITIENI, A. Red wine consumption and cardiovascular health. *Molecules*, v. 24, n. 19, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules24193626>.

CELEP, E.; CHAREHSAZ, M.; AKYÜZ, S.; ACAR, E. T.; YESILADA, E. Effect of in vitro gastrointestinal digestion on the bioavailability of phenolic components and the antioxidant potentials of some Turkish fruit wines. *Food Research International*, v. 78, p. 209–215, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.10.009>.

CILLA, A.; BOSCH, L.; BARBERÁ, R.; ALEGRÍA, A. Effect of processing on the bioaccessibility of bioactive compounds – A review focusing on carotenoids, minerals, ascorbic acid, tocopherols and polyphenols. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 68, p. 3–15, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.01.009>.

COELHO, E. M.; DA SILVA PADILHA, C. V.; MISKINIS, G. A.; DE SÁ, A. G. B.; PEREIRA, G. E.; DE AZEVEDO, L. C.; DOS SANTOS LIMA, M. Simultaneous analysis of sugars and organic acids in wine and grape juices by HPLC: Method validation and characterization of products from Northeast Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 66, p. 160–167, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.017>.

CORREDOR, Z.; RODRÍGUEZ-RIBERA, L.; COLL, E.; MONTAÑÉS, R.; DIAZ, M.; BALLARIN, J.; MARCOS, R.; PASTOR, S. SC. Food and Chemical Toxicology. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.03.016>.

COSGROVE, D. J. Assembly and enlargement of the primary cell wall in plants. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.*, v. 13, p. 171–201, 1997. <https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.13.1.171>.

COSME, F.; PINTO, T.; VILELA, A. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Grape Juices: A Chemical and Sensory View. *Beverages*, v. 4, n. 1, p. 22, 2018. DOI: 10.3390/beverages4010022.

CRUZ, M.; CARVALHO, D.; COLOMBO, R.; YOKOTA, L.; SILVA, A.; NETO, H.; ROBERTO, S. Exploratory analysis of the sensory attributes of American grape juice blends. *Agronomy Science and Biotechnology*, v. 4, n. 2, p. 79-89, 2018. DOI: 10.33158/ASB.2018v4i2p79.

DAL MAGRO, L.; DALAGNOL, L. M. G.; MANFROI, V.; HERTZ, P. F.; KLEIN, M. P.; RODRIGUES, R. C. Synergistic effects of Pectinex Ultra Clear and Lallzyme Beta on yield and bioactive compounds extraction of Concord grape juice. *LWT - Food Science and Technology*, v. 72, p. 157–165, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.046>.

DAL MAGRO, L.; GOETZE, D.; RIBEIRO, C. T.; PALUDO, N.; RODRIGUES, E.; HERTZ, P. F.; KLEIN, M. P.; RODRIGUES, R. C. Identification of bioactive compounds from *Vitis labrusca* L. variety Concord grape juice treated with commercial enzymes: improved yield and quality parameters. *Food Bioprocess Technol.*, v. 9, p. 365–377, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1634-5>.

DANTAS, A. M.; MAFALDO, I. M.; OLIVEIRA, P. M. de L.; LIMA, M. dos S.; MAGNANI, M.; BORGES, G. da S. C. Bioaccessibility of phenolic compounds in native and exotic frozen pulps explored in Brazil using a digestion model coupled with a simulated intestinal barrier. *Food Chem.*, v. 274, p. 202–214, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.099>.

DE LORYN, L. C.; PETRIE, P. R.; HASTED, A. M.; JOHNSON, T. E.; COLLINS, C.; BASTIAN, S. E. P. Evaluation of Sensory Thresholds and Perception of Sodium Chloride in Grape Juice and Wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, v. 65, p. 124-133, 2014. DOI: 10.5344/ajev.2013.13088.

DE MORAIS, J. S.; SANT'ANA, A. S.; DANTAS, A. M.; SILVA, B. S.; LIMA, M. S.; BORGES, G. C.; MAGNANI, M. Antioxidant activity and bioaccessibility of phenolic compounds in white, red, blue, purple, yellow and orange edible flowers through a simulated intestinal barrier. *Food Res. Int.*, v. 131, p. 109046, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109046>.

DE SOUZA PRADO, D.; PEREIRA FERNANDES, J. L.; GOMES DE OLIVEIRA, L.; FARIAS LIMA GUEDES, T. J.; DA SILVA PADILHA, C. V.; DOS SANTOS LIMA, M. Physicochemical stability of grape juice produced on industrial scale by different commercial enzyme preparations. *Int. Food Res. J.*, v. 26, n. 1, p. 67–74, 2016.

DUTRA, M. C. P.; DE SOUZA, J. F.; VIANA, A. C.; DE OLIVEIRA, D.; PEREIRA, G. E.; DOS SANTOS LIMA, M. Rapid determination of the aromatic compounds methyl-anthranilate, 2'-aminoacetophenone and furaneol by GC-MS: Method validation and characterization of grape derivatives. *Food Res. Int.*, v. 107, p. 613–618, 2018b. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.020>.

DUTRA, M. C. P.; LIMA, M. D. S.; BARROS, A. P. A.; MASCARENHAS, R. J.; LAFISCA, A. Influência da variedade de uvas nas características analíticas e aceitação sensorial do suco artesanal. *Rev. Bras. Produtos Agroindustriais*, v. 16, p. 265–272, 2014.

DUTRA, M. C. P.; RODRIGUES, L. L.; VIANA, A. C.; DE OLIVEIRA, D.; PEREIRA, G. E.; DOS SANTOS LIMA, M. Integrated analyses of phenolic compounds and minerals of Brazilian organic and conventional grape juices and wines: Validation of a method for determination of Cu, Fe and Mn. *Food Chem.*, v. 269, p. 157–165, 2018a. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.014>.

DUTRA, M. C. P.; SILVA, A. B. M.; FERREIRA, E. S.; CARVALHO, A. J. B. A.; LIMA, M. S.; BIASOTO, A. C. T. Bioaccessibility of phenolic compounds from Brazilian grape juices using a digestion model with intestinal barrier passage. *Food Biosci.*, v. 52, p. 102501, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102501>

DUTRA, M. C. P.; VIANA, A. C.; PEREIRA, G. E.; RESENDE NASSUR, R. C. M.; LIMA, M. S. Whole, concentrated and reconstituted grape juice: Impact of processes on phenolic composition, “foxy” aromas, organic acids, sugars and antioxidant capacity. *Food Chem.*, v. 343, p. 128–399, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128399>

DWIBEDI, V.; JAIN, S.; SINGHAL, D.; MITTAL, A.; RATH, S. K.; SAXENA, S. Inhibitory activities of grape bioactive compounds against enzymes linked with human diseases. *Microbiol Biotechnol*, v. 106, n. 4, p. 1399–1417, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11801-9>.

EL KERSH, D. M.; HAMMAD, G.; DONIA, M. S.; FORAG, M. A. A Comprehensive Review on Grape Juice Beverage in Context to Its Processing and Composition with Future Perspectives to Maximize Its Value. *Food and Bioprocess Technology*, v. 16, p. 1–23, 2023. DOI: 10.1007/s11947-022-02858-5.

EMBRAPA. Study reveals the nutritional wealth of Brazilian grape juices. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-noticias-embrapa/busca-de-noticias/-/noticia/81573003/estudo-revela-a-riqueza-nutricional-dos-sucos-de-uva-brasileiros#:~:text=Suco%20da%20uva%20BRS%20Carmem%2C%20cultivar%20desenvolvida%20pela,de%20obesidade%2C%20diabetes%20e%20doen%C3%A7as%20card%C3%ADacas%20e%20neurodegenerativas>. Acesso em: 20 nov. 2024.

ENARU, B.; RETCANU, G.; DARIA POP, T.; et al. Review: Anthocyanins: Factors affecting their stability and degradation. *Antioxidants*, v. 10, n. 12, p. 1967, 2021. <https://doi.org/10.3390/antiox10121967>.

EVANGELISTA, R. M.; CHITARRA, A. B.; CHITARRA, M. I. F. Influência da aplicação pré-colheita de cálcio na textura e na atividade das enzimas poligalacturonase, pectinametilesterase e galactosidase de mangas ‘Tommy Atkins’ armazenadas sob refrigeração. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 24, p. 174–181, dez. 2000.

FAILLA, M. L.; CHITCHUMROONCHOKCHAI, C. In vitro models as tools for screening the relative bioavailabilities of provitamin A carotenoids in foods. *HarvestPlus Technical Monographs*, v. 3, p. 36, 2005.

FORDE, C. G.; DELAHUNTY, C. M. Understanding the role cross-modal sensory interactions play in food acceptability in younger and older consumers. *Food Quality and Preference*, v. 15, n. 7, p. 715–727, 2004.

GIL-IZQUIERDO, A.; ZAFRILLA, P.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A. An in vitro method to simulate phenolic compound release from the food matrix in the gastrointestinal tract. *Eur. Food Res. Technol.*, v. 214, n. 2, p. 155–159, 2002. <https://doi.org/10.1007/s00217-001-0428-3>.

GLORIES, Y. La couleur des vins rouges. 1. Les équilibres des anthocyanes et des tannins. *Connaissance Vigne Vin*, v. 18, p. 195–217, 1984. <https://doi.org/10.20870/oenone.1984.18.3.1751>.

GRANATO, D.; CARRAPEIRO, M. M.; FOGLIANO, V.; VAN RUTH, S. M. Effects of geographical origin, varietal and farming system on the chemical composition and functional properties of purple grape juices: A review. *Trends Food Sci. Technol.*, v. 52, p. 31–48, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.013>.

GUMIENNA, M.; LASIK, M.; CZARNECKI, Z. Bioconversion of grape and chokeberry wine polyphenols during simulated gastrointestinal in vitro digestion. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, v. 62, n. 3, p. 226–233, 2011. <https://doi.org/10.3109/09637486.2010.532115>

HAAS, I. C. da S.; MARMITT, D. J.; FEDRIGO, I. M. T.; GOETTERT, M. I.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Evaluation of antiproliferative and anti-inflammatory effects of non-pomace sediment of red grape juices (*Vitis labrusca* L.) in healthy and cancer cells after in vitro gastrointestinal simulation. *PharmaNutrition*, v. 13, p. 100204, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2020.100204>

HAN, F.; YANG, P.; WANG, H.; FERNANDES, I.; MATEUS, N.; LIU, Y. Digestion and absorption of red grape and wine anthocyanins through the gastrointestinal tract. *Trends Food Sci. Technol.*, v. 83, p. 211–224, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.025> Han,

F., Yang, P., Wang, H., Fernandes, I., Mateus, N., & Liu, Y. (2019). Trends in Food Science & Technology Digestion and absorption of red grape and wine anthocyanins through the gastrointestinal tract. *Trends in Food Science & Technology*, 83(July 2018), 211–224. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.025>.

HOLLMAN, P. C. H.; GEELEN, A.; KROMHOUT, D. Dietary flavonol intake may lower stroke risk in men and women. *J. Nutr.*, v. 140, n. 3, p. 600–604, 2010. <https://doi.org/10.3945/jn.109.116632>.

HUR, S. J.; LIM, B. O.; DECKER, E. A.; McCLEMENTS, D. J. In vitro human digestion models for food applications. *Food Chem.*, v. 125, n. 1, p. 1–12, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.036>.

HUSSAIN, T.; TAN, B.; YIN, Y.; BLACHIER, F.; TOSSOU, M. C. B.; RAHU, N. Oxidative stress and inflammation: What polyphenols can do for us? *Oxid. Med. Cell. Longev.*, v. 2016, p. 7432797, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/7432797>.

IAL-INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). Métodos físico-químicos para análise de alimentos/coordenadores Odair Zenobon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. p. 1020.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). Indicação geográfica: Vale do São Francisco. *Rev. Propr. Ind.*, n. 2619, 16 mar. 2021. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Indicação geográfica: Vale do São Francisco. Revista da Propriedade Industrial, nº 2619, 16 de março de 2021.

IROHI, R.; TARAFDAR, A.; SINGH, S.; et al. Green processing and biotechnological potential of grape pomace: Current trends and opportunities for sustainable biorefinery. *Bioresource Technology*, v. 314, p. 123771, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123771>.

IYER, M. M.; SACKS, G. L.; PADILLA-ZAKOUR, O. I. Impact of harvesting and processing conditions on green leaf volatile development and phenolics in Concord grape juice. *Food Chem.*, v. 75, n. 3, p. 1094–1101, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01559.x>

JAMES, N. B. An Introduction to Pectins: Structure and Properties. Chemistry and Function of Pectins. *American Chemical Society*, v. 310, p. 2-12, 1986. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/bk-1986-0310.ch001>

JAYANI, R. S.; SAXENA, S.; GUPTA, R. Microbial pectinolytic enzymes: A review. *Process Biochem.*, v. 40, n. 9, p. 2931–2944, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.03.026>

KASHYAP, D. R.; VOHRA, P. K.; CHOPRA, A.; TEWARI, R. Applications of pectinases in the commercial sector: A review. *Bioresour. Technol.*, v. 77, p. 215–227, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00118-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00118-8)

KATO-SCHWARTZ, C. G.; GOMES CORRÊA, R. C.; DE SOUZA LIMA, D.; DE SÁ-NAKANISHI, A. B.; DE ALMEIDA GONÇALVES, G.; VICENTE SEIXAS, F. A.; HAMINIUK, W. I.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R.; BRACHT, A.; PERALTA, R. M. Potential anti-diabetic properties of Merlot grape pomace extract: An in vitro, in silico and in vivo study of α -amylase and α -glucosidase inhibition. *Food Res. Int.*, v. 137, p. 109462, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109462>

KIM, Y. K.; GUO, Q.; & PACKER, L. Free radical scavenging activity of red ginseng aqueous extracts. *Toxicology*, v. 172, n. 2, p. 149–156, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(01\)00585-6](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(01)00585-6)

KRIKORIAN, R.; BOESP, E. L.; FLECK, D. E.; STEIN, A. L.; WIGHTMAN, J. D.; SHIDLER, M. D.; SADAT-HOSSIENY, S. Concord Grape Juice Supplementation and Neurocognitive Function in Human Aging. *J. Nutr. Health Aging*, v. 16, p. 479–486, 2012.

KUMAR, S.; PANDEY, A. Free radicals: Health implications and their mitigation by herbals. *Br. J. Med. Med. Res.*, v. 7, n. 6, p. 438–457, 2015. <https://doi.org/10.9734/bjmmr/2015/16284>

LAWLESS, H.; HEYMANN, G. V. *Sensory evaluation of foods*. Springer, p. 827, 1999.

LIMA, M. D. S.; FERREIRA, E. T. J.; DE SOUZA, M. E. A. O.; PEREIRA, G. E.; & FEDRIGO, I. M. T. Artificial neural network: A powerful tool in associating phenolic compounds with antioxidant activity of grape juices. *Food Analytical Methods*, v. 15, n. 2, p. 527–540, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02144-8>.

- LIMA, M. S.; DUTRA, M. C. P.; TOALDO, I. M.; CORRÊA, L. C.; PEREIRA, G. E.; DE OLIVEIRA, D.; BORDIGNON-LUIZ, M. T.; NINOW, J. L. Phenolic compounds, organic acids and antioxidant activity of grape juices produced in industrial scale by different processes of maceration. *Food Chem.*, v. 188, p. 384–392, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.014>
- LIMA, M. S.; SILANI, I. S. V.; TOALDO, I. M.; CORREA, L. C.; BIASOTO, A. C. T.; PEREIRA, G. E.; NINOW, J. L.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Phenolic compounds, organic acids and antioxidant activity of grape juices produced from new Brazilian varieties planted in the Northeast Region of Brazil. *Food Chemistry*, v. 161, p. 94–103, 2014.
- LINGUA, M. S.; THEUMER, M. G.; KRUYNSKI, P.; WUNDERLIN, D. A.; BARONI, M. V. Bioaccessibility of polyphenols and antioxidant properties of the white grape by simulated digestion and Caco-2 cell assays: Comparative study with its winemaking product. *Food Res. Int.*, v. 122, p. 496–505, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.05.022>
- LINGUA, M. S.; WUNDERLIN, D. A.; BARONI, M. V. Effect of simulated digestion on the phenolic components of red grapes and their corresponding wines. *Journal of Functional Foods*, v. 44, p. 86–94, fev. 2018. DOI: 10.1016/j.jff.2018.02.034.
- LIU, S. et al. Recent advances in polygalacturonase: Industrial applications and challenges. *Carbohydrate Research*, v. 528, p. 108816, 2023. DOI: 10.1016/j.carres.2023.108816.
- MACFIE, H. J. H.; & THOMSON, D. M. H. Preference mapping and multidimensional scaling. In J. R. PIGGOTT (Ed.), *Sensory Analysis of Foods*, p. 380–409. London: Elsevier Applied Science, 1988. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-2171-6_6.
- MACHADO, A. R. et al. Potentialities of the extraction technologies and use of bioactive compounds from winery by-products: A review from a circular bioeconomy perspective. *Applied Sciences*, v. 13, n. 13, p. 7754, 2023. DOI: 10.3390/app13137754.
- MACHADO, T. O. X.; PORTUGUAL, I. B. M.; PAILHA, C. V. S.; PADILHA, F. F.; LIMA, M. S. Review: New trends in the use of enzymes for the recovery of polyphenols in grape byproducts. *J Food Biochem.*, v. 45, e13712, 2021. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13712>.
- MALACRIDA, C. R.; DA MOTTA, S. Antocianinas em Suco de Uva: Composição e Estabilidade. *B.CEPPA*, v. 24, n. 1, p. 59–82, 2006.
- MARTINS, A. B. N.; CANTO, M.; PERRONE, D.; & MONTEIRO, M. Chemical, microbiological and sensory stability of steam extracted jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) juice. *Foods*, v. 10, p. 732, 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10040732>.
- MEILGAARD, M. C.; CARR, B. T.; & CARR, B. T. *Sensory Evaluation Techniques*. CRC Press, 2006. <https://doi.org/10.1201/b16452>.
- MELLO, L. M. R.; MACHADO, C. A. E. Vitivinicultura brasileira: panorama 2021. *Comunicado Técnico 226*. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, dez. 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1149674/1/Com-Tec-226.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2024.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, v. 31, p. 426-428, 1959.

MINEKUS, M.; ALMINGER, M.; ALVITO, P.; BALLANCE, S.; BOHN, T.; BOURLIEU, C.; CARRIÈRE, F.; BOUTROU, R.; CORREDIG, M.; DUPONT, D.; DUFOUR, C.; EGGER, L.; GOLDING, M.; KARAKAYA, S.; KIRKHUS, B.; LE FEUNTEUN, S.; LESMES, U.; MACIERZANKA, A.; MACKIE, A.; ... BRODKORB, A. A standardized static in vitro digestion method suitable for food – an international consensus. *Food and Function*, v. 5, n. 6, p. 1113–1124, 2014. <https://doi.org/10.1039/c3fo60702j>.

MINZER, S.; ESTRUCH, R.; CASAS, R. Wine intake in the framework of a Mediterranean diet and chronic non-communicable diseases: A short literature review of the last 5 years. *Molecules*, v. 25, n. 21, p. 5045, 2020. DOI: 10.3390/molecules25215045.

MOHAMEDSHAH, Z. et al. Comparative assessment of phenolic bioaccessibility from 100% grape juice and whole grapes. *Food and Function*, v. 11, n. 7, p. 6433-6445, 2020. DOI: 10.1039/d0fo00792g.

MORAES, M. A. C. Métodos para avaliação sensorial dos alimentos. 6. ed. Campinas: Editora da Unicamp, p. 93, 1988.

MOTTA, F. L.; ANDRADE, C. C. P.; SANTANA, M. H. A. A review of xylanase production by the fermentation of xylan: classification, characterization and applications. In: *Sustainable degradation of lignocellulosic biomass-techniques, applications and commercialization*, v. 1, p. 251-276, 2013. DOI: 10.5772/53544.

MURRAY, J. K.; DELAHUNTY, C. M.; BAXTER, I. A. Descriptive sensory analysis: past, present and future. *Food Research International*, v. 34, n. 6, p. 461-471, 2001.

MURRAY, J. K.; DELAHUNTY, C. M.; SUN, X.; CHENG, X.; ZHANG, J.; et al. Letting wine polyphenols functional: Estimation of wine polyphenols bioaccessibility under different drinking amounts and drinking patterns. *Food Research International*, v. 127, p. 108704, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108704>.

OIV – INTERNATIONAL ORGANISATION OF VINE AND WINE. Compendium of international methods of wine and must analysis, edition 2022. 19th General Assembly, 21 July 2021, Paris.

OSETE-ALCARAZ, A. et al. Revisiting the use of pectinases in enology: A role beyond facilitating phenolic grape extraction. *Food Chemistry*, v. 372, p. 131282, 2022. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131282.

OSETE-ALCARAZ, A.; GOMEZ-PLAZA, E.; PÉREZ-PORRAS, P.; BAUTISTA-ORTÍN, A. B. Revisiting the use of pectinases in enology: A role beyond facilitating phenolic grape extraction. *Food Chemistry*, v. 372, p. 131-282. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131282>.

PADILHA, C. V. da S. et al. Phenolic compounds profile and antioxidant activity of commercial tropical red wines (*Vitis vinifera* L.) from São Francisco Valley, Brazil. *Journal of Food Biochemistry*, v. 41, n. 3, p. 1-9, 2017. DOI: 10.1111/jfbc.12346.

PADILHA, C. V. DA S.; MISKINIS, G. A.; DE SOUZA, M. E. A. O.; PEREIRA, G. E.; DE OLIVEIRA, D.; BORDIGNON-LUIZ, M. T.; & LIMA, M. D. S. Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. *Food Chemistry*, v. 228, p. 106–115, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.137>.

PAIVA, E.; LIMA, M. S.; PAIXÃO, J. A. Pectina: propriedades químicas e importância sobre a estrutura da parede celular de frutos durante o processo de maturação. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, v. 10, p. 196-211, 2009.

PATRÍCIO, T.; SANTOS, L. A.; DIONÍZIO, R.; TORRES, R.; FILHO, N. R.; FLORENTINO, S.; & HONORATO, F. L. Pectinases production using an exotic caatinga passion fruit waste and wheat bran as a substrate for clarification of grape juice. *Food Bioscience*, v. 61, p. 104163, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104163>.

PEDRERO F., D. L.; PANGBORN, R. M. Evaluación sensorial de los alimentos: métodos analíticos. México DF: Alhambra Mexicana, p. 251, 1989.

PEREIRA, G. E. et al. Chemical and aromatic characteristics of Brazilian tropical wines. *Acta Horticulturae*, n. 910, p. 135-140, 2011. DOI: 10.17660/ACTAHORTIC.2011.910.11.

PEREIRA, G. E. et al. Le poids des consommateurs sur l'évolution des vins: l'exemple de la Vallée du São Francisco, Brésil. In: PERARD, J.; PERROT, M. (Org.). *Le poids des consommateurs sur l'évolution des vins: l'exemple de la Vallée du São Francisco, Brésil*. Dijon: Centre Georges Chevrier, 2016. v. 1, p. 301-310.

PIMENTA, C. J.; CHAGAS, S. J. R.; COSTA, L. Pectinas e enzimas pectinolíticas em café (*Coffea arabica* L.) colhido em quatro estágios de maturação. *Ciência Agrotecnica*, Lavras, v. 24, n. 4, p. 1079-1083, 2000.

PORTAPILLA, T. F.; VOLANTE, C. R. Os conceitos físicos aplicados em uma prensa pneumática. *Interface Tecnológica*, 2019.

RANGEL-HUERTA, O. D. et al. A systematic review of the efficacy of bioactive compounds in cardiovascular disease: Phenolic compounds. *Nutrients*, v. 7, n. 7, p. 5177-5191, 2015. DOI: 10.3390/nu7075177.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, New York, v. 26, p. 1231–1237, 1999.

RENAUD, S.; DE LORGERIL, M. Wine, alcohol, platelets, and the French paradox for coronary heart disease. *The Lancet*, v. 339, n. 8808, p. 1523-1526, 1992. DOI: 10.1016/0140-6736(92)91277-f.

REVISTA DO GLOBO RURAL. Estudo comprova que suco de uva brasileiro faz bem à saúde. 2023. Disponível em: <https://globo rural.globo.com/agricultura/noticia/2023/07/estudo-comprova-que-suco-de-uva-brasileiro-faz-bem-a-saude.ghtml>. Acesso em: 21 nov. 2024.

RIBAS-AGUSTÍ, A. et al. Food processing strategies to enhance phenolic compounds bioaccessibility and bioavailability in plant-based foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 58, n. 15, p. 2531-2548, 2018. DOI: 10.1080/10408398.2017.1331200.

RIBÉREAU-GAYON, P. et al. *Tratado de Enología: química del vino estabilización y tratamientos*. 1. ed. Buenos Aires: Hemisfério Sur, 2003. v. 2, 537 p.

RITSCHER, P. et al. 'BRS Magna' nova cultivar de uva para suco com ampla adaptação climática. *Comunicado Técnico n.º. 125*, 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/941741/1/cot125.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2024.

RIZZON, L. A.; MANFROI, V.; MENEGUZZO, J. Elaboração de suco de uva na propriedade vitícola. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 1998. 24 p.

RIZZON, L. A.; MENEGUZZO, J. *Suco de uva*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, Coleção Agroindústria Familiar, 2007. 45 p.

RIZZON, L. A.; MIELE, A. Analytical characteristics and discrimination of Brazilian commercial grape juice, nectar, and beverage. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 32, n. 1, p. 93-97, 2012.

RODRÍGUEZ-ROQUE, M. J. et al. Soymilk phenolic compounds, isoflavones and antioxidant activity as affected by in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, v. 136, n. 1, p. 206-212, 2013. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.07.115.

RUFINO, M. D. S. M.; ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; DE MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. D. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; & SAURA-COLIXTO, F. D. Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). *Comunicado Técnico Embrapa*, v. 125, p. 1-4, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/664093/1/cot126.Pdf>.

SALEHI, B. et al. Plants of the genus *Vitis*: Phenolic compounds, anticancer properties and clinical relevance. *Trends in Food Science and Technology*, v. 91, p. 362-379, 2019. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.07.042.

SANKARAN, A. K. et al. Effect of enzyme homogenization on the physical properties of carrot cell wall suspensions. *Food and Bioprocess Technology*, v. 8, p. 1377-1385, 2015. DOI: 10.1007/s11947-015-1481-4.

SCHULZ, M.; BILUCA, F. C.; GONZAGA, L. V.; et al. Bioaccessibility of bioactive compounds and antioxidant potential of juçara fruits (*Euterpe edulis* Martius) subjected to in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, v. 228, p. 447-454, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.038>.

SILVA, G. G.; DUTRA, M. C. P.; OLIVEIRA, J. B.; et al. Processing methods with heat increases bioactive phenolic compounds and antioxidant activity in grape juices. *Food Biochemistry*, v. 43, n. 3, p. 12732, 2019. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12732>.

SILVA, P. C. G.; COELHO, R. C. Caracterização econômica e social da cultura da videira. Embrapa Semiárido. Disponível em: http://www.cpatia.embrapa.br:8080/sistema_producao/spuva/Caracterizaca_social_da_%20videira.html. Acesso em: 20 jun. 2024.

SINGLETON, V. L.; & ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, v. 16, p. 144–158, 1965. Kim, Y. K., Guo, Q., & Packer, L. (2002). Free radical scavenging activity of red ginseng aqueous extracts. *Toxicology*, 172(2), 149–156. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(01\)00585-6](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(01)00585-6)

SOUZA, T. S. P.; KAWAGUTI, H. Y. Cellulases, Hemicellulases, and Pectinases: Applications in the Food and Beverage Industry. *Food and Bioprocess Technology*, v. 14, p. 1446–1477, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02678-z>.

STONE, H.; SIDEL, J. L. Quantitative descriptive analyses: developments, applications and the future. *Food Technology*, Chicago, v. 52, n. 8, p. 48-52, 1998.

TAGLIAZUCCHI, D.; VERZELLONI, E.; BERTOLINI, D.; CONTE, A. In vitro bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry*, v. 120, n. 2, p. 599–606, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.030>. Thomas, R. A. T., Parameshwaran, R., Deepak Kumar, R., Harishwaran, M. An Investigation on Modelling and Controller design of a Hydraulic press. *IFAC*, 2014.

TEIXEIRA, E.; MEINERT, E. M.; BARBETTA, P. A. Análise sensorial de alimentos. Florianópolis: Ed. da UFSC, p. 180, 1987.

TEIXEIRA, L. V. Análise Sensorial na Indústria de Alimentos. *Revista Inst. Latic. Cândido Tostes*, v. 64, p. 12–21, 2009.

THOMAS, R. A. T.; PARAMESHWARAN, R.; DEEPAK KUMAR, R.; et al. An investigation on modelling and controller design of a hydraulic press. *IFAC Proceedings Volumes*, v. 47, n. 1, p. 719-725, 2014. <https://doi.org/10.3182/20140313-3-IN-3024.00146>.

TIAN, C.; HAO, L.; YI, W.; et al. Polyphenols, Oxidative Stress, and Metabolic Syndrome. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, v. 2020, p. 7398453, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/7398453>.

TOALDO, I. M.; CRUZ, F. A.; SILVA, E. L.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Acute consumption of organic and conventional tropical grape juices (*V. labrusca* L.) increases antioxidants in plasma and erythrocytes, but not glucose and uric acid levels, in healthy individuals. *Nutrition Research*, v. 36, p. 808-817, 2016. DOI: 10.1016/j.nutres.2016.04.010.

TONIETTO, J.; PEREIRA, G. E. The development of the viticulture for a high-quality tropical wine production in the world. In: *Proceedings of the International Symposium of the Group of International Experts of Vitivinicultural Systems for Cooperation*, 2011. p. 25-28. Asti: Le Progrès Agricole et Viticole.

TONIETTO, J.; TEIXEIRA, A. H. C. Zonage climatique des périodes viticoles de production dans l'année em zonage tropicale: application de la méthodologie du Système CCM Géoviticole. In: *Joint International Conference on Viticultural Zoning*, Cape Town, South Africa. [S.l.: s.n.], 2004. p. 193-201.

TOSCANO TAVARES, L.; SÉRGIO, A.; TAVARES, L.; et al. Phenolics from purple grape juice increase serum antioxidant status and improve lipid profile and blood pressure in healthy adults under intense physical training. *Journal of Functional Foods*, v. 33, p. 419–424, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.03.063>.

TOSCONO, L. de L. T.; SILVA, A. S.; LIMA, A. C. de F.; SOUSA, B. R. V. de; ALMEIDA FILHO, E. J. B. de; COSTA, M. da S. C. da S.; MARQUES, A. T. B.; SILVA, D. F. da; SENNA, K. de F. de; CERQUEIRA, G. S.; GONÇALVES, M. C. R. de C. (2019). A single dose of purple grape juice improves physical performance and antioxidant activity in runners: a randomized, crossover, double-blind, placebo study. *European Journal of Nutrition*, v. 59, p. 2997-3007, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00394-019-02139-6>. Acesso em: 28 nov. 2024.

TUFFI, L. C. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 6, p. 35067–35076, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-156>.

UENOJO, M.; PASTORE, G. M. Pectinases: Aplicações Industriais e Perspectivas. *Química Nova*, v. 30, n. 2, p. 388-394, 2007.

VENTURI FILHO, W. G. *Bebidas não Alcoólicas: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Bucher, 2010. v. 2. Capítulo: Suco de Uva. Voragem, F., Beldman, G., Schols, H. Chemistry and enzymology of pectins. In: McCleary, V.; Prosky, L., Editors, 2001. Advanced dietary fibre technology, Blackwell Science, London, p.379-398, 2001.

WEISS, V.; OKUN, Z.; & SHPIGELMAN, A. Utilization of hydrocolloids for the stabilization of pigments from natural sources. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, v. 68, p. 101756, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2023.1017>.

WOJTUNIK-KULESZA, K.; ONISZCZUK, A.; ONISZCZUK, T. Influence of in vitro digestion on composition, bioaccessibility, and antioxidant activity of food polyphenols — A non-systematic review. *Nutrients*, v. 12, n. 5, p. 1401, 2020. <https://doi.org/10.3390/nu12051401>.

WONG, D. W. S. *Food Enzymes Structure and Mechanism*. New York: Chapman & Hall, 1995.

WORLD INTEGRATED TRADE SOLUTION. Trade Statistics by Product (HS 6-digit). 2022. Disponível em: <https://wits.worldbank.org/trade/country-byhs6product.aspx?lang=en>. Acesso m: 10 agosto de 202.

XIA, E.; HE, X.; LI, H.; et al. Biological Activities of Polyphenols from Grapes. In: *Polyphenols in Human Health and Disease*. Elsevier, 2014. p. 622-646. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398456-2.00005-0>.

YANG, C. Y.; CHEN, Y. H.; LIU, P. J.; HU, W. J.; LU, K. C.; TSAI, K. W. The emerging role of miRNAs in the pathogenesis of COVID-19: Protective effects of nutraceutical polyphenolic compounds against SARS-CoV-2 infection. *International Journal of Medical Sciences*, v. 19, n. 8, p. 1340-1356, 2022. <https://doi.org/10.7150/ijms.76168>.

ZEMANEK, P.; MASAN, V.; BURG, P.; & GLADYSZEWSKA, B. Evaluation of selected parameters of mechanical and pneumatic press during grape pressing. *Engineering for Rural Development*, v. 22, 2019. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N260>.

ZOUBIRI, L.; BAKIR, S.; BARKAT, M.; et al. Changes in the phenolic profile, antioxidant capacity and in vitro bioaccessibility of two Algerian grape varieties, Cardinal and Dabouki (Sabel), during the production of traditional sun-dried raisins

and homemade jam. *Journal of Berry Research*, v. 9, n. 4, p. 563–574, 2019.
<https://doi.org/10.3233/JBR-190432>.

ZUANAZZI, C.; MACCARI, P. A.; BENINCA, S. C.; et al. White grape juice increases high-density lipoprotein cholesterol levels and reduces body mass index and abdominal and waist circumference in women. *Nutrition*, v. 57, p. 109–114, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2018.05.026>.

Apendice 1. Ficha de Avaliação sensorial

Avaliação Sensorial de Suco de uva integral

Número da amostra: 538

Nome: _____ Idade: _____

Data: ____/____/____

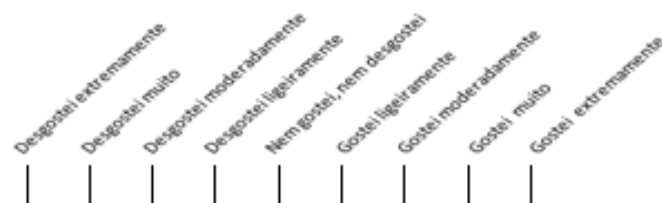
1- Você está recebendo uma amostra codificada de suco de uva integral. Por favor, observe a bebida na taça. Em seguida, avalie o quanto você gostou ou desgostou da **APARENCIA** da amostra e atribua uma nota para ela, marcando com um traço na escala abaixo a posição que melhor indica sua opinião. Você pode marcar o traço em qualquer lugar da escala, cruzando a linha.

Desgostei extremamente	Desgostei muito	Desgostei moderadamente	Desgostei ligeiramente	Nem gostei, nem desgostei	Gostei ligeiramente	Gostei moderadamente	Gostei muito	Gostei extremamente

2-Em seguida OBSERVE novamente a amostra e marque com um "X" SOMENTE os termos que achar que realmente a **CARACTERIZAM** com relação ao atributo **APARENCIA**. Para os termos que foram marcados, indique, também com um "X", seu **GRAU DE INTENSIDADE** na amostra, que pode variar de 1 (pouquíssimo) a 5 (muitíssimo).

ATRIBUTO		Pouquíssimo (1)	Pouco (2)	Médio (3)	Muito (4)	Muitíssimo (5)
Aparência						
	Cor Violeta					
	Limpidez					

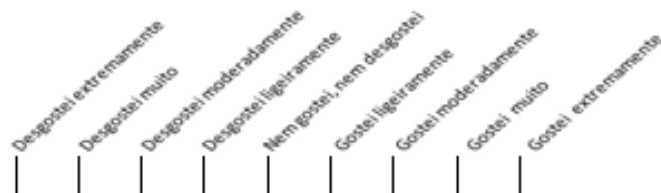
3- Então, gire a taça com a bebida, avalie o quanto você gostou ou desgostou do **AROMA** da amostra e atribua uma nota para ela, marcando com um traço na escala abaixo a posição que melhor indica sua opinião. Você pode marcar o traço em qualquer lugar da escala, cruzando a linha.



4- Agora, gire novamente a taça e marque com um "X" SOMENTE os termos que achar que realmente **CHARACTERIZAM** a amostra com relação ao atributo **AROMA**. Para os termos que foram marcados, indique, também com um "X", seu **GRAU DE INTENSIDADE** na amostra, que pode variar de 1 (pouquíssimo) a 5 (muitíssimo).

ATRIBUTO		Pouquíssimo (1)	Pouco (2)	Médio (3)	Muito (4)	Muitíssimo (5)
Aroma						
	Intensidade aromática					
	Doce					
	Cozido					
	Suco de uva					
	Aroma desagradável					

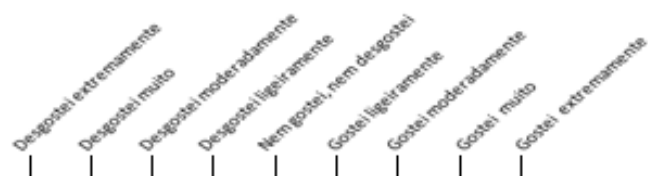
5- Logo após, prove a bebida e avalie o quanto você gostou ou desgostou de seu **SABOR**, atribuindo uma nota para ela, marcando com um traço na escala abaixo a posição que melhor indica sua opinião. Você pode marcar o traço em qualquer lugar da escala, cruzando a linha.



6- Na sequência prove novamente a amostra e marque com um "X" SOMENTE os termos que achar que realmente a CARACTERIZAM com relação ao atributo **SABOR**. Para os termos que foram marcados, indique, também com um "X", seu GRAU DE INTENSIDADE na amostra, que pode variar de 1 (pouquíssimo) a 5 (muitíssimo).

ATRIBUTO		Pouquíssimo (1)	Pouco (2)	Médio (3)	Muito (4)	Muitíssimo (5)
Sabor						
	Gosto de doce					
	Gosto ácido					
	Sabor de suco de uva					
	Refrescância					
	Adstringência					
	Sabor cozido					

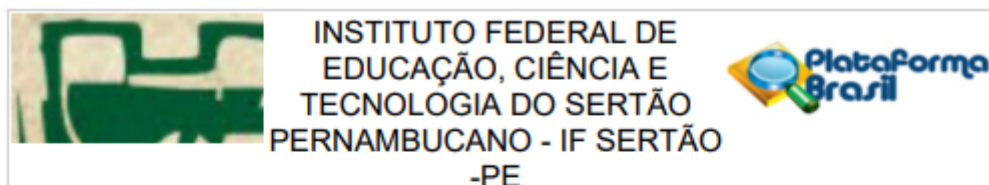
7- Na sequência, por favor, observe novamente, cheire (girando a taça) e prove a bebida. Em seguida, avalie o quanto você gostou ou desgostou da **IMPRESSÃO GLOBAL** da amostra (aparência, aroma e sabor) e atribua uma nota para ela, marcando com um traço na escala abaixo a posição que melhor indica sua opinião. Você pode marcar o traço em qualquer lugar da escala, cruzando a linha.



8- Se o suco que você provou estivesse a disposição no supermercado, indique através da escala abaixo grau de certeza que eu certeza que você compraria ou não o produto.

- ☐ Certamente compraria
- ☐ Possivelmente compraria
- ☐ Talvez comprasse, talvez não comprasse
- ☐ Possivelmente não compraria
- ☐ Certamente não compraria

APÊNDICE 2. Parecer de aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Alternativas para melhoria da qualidade e rendimento de sucos de uva da Região do Vale do Submédio São Francisco e estudo da bioacessibilidade dos compostos fenólicos através de um modelo de digestão in vitro

Pesquisador: MARIA DA CONCEICAO PRUDENCIO DUTRA

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 64362022.9.0000.8052

Instituição Proponente: Faculdade de Farmácia

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO, CIENCIA E TECNOLOGIA DO SERTAO
PERNAMBUCANO
Universidade Federal da Bahia - UFBA

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.779.006

Apresentação do Projeto:

1. O projeto de pesquisa intitulado: "Alternativas para melhoria da qualidade e rendimento de sucos de uva da Região do Vale do Submédio São Francisco e estudo da bioacessibilidade dos compostos fenólicos através de um modelo de digestão in vitro", está sob responsabilidade da pesquisadora MARIA DA CONCEICAO PRUDENCIO DUTRA, aluna de doutorado do programa de pós-graduação em Ciência dos Alimentos, da UFBA. A equipe também é composta pelos membros ALINE TELLES BIASOTO MARQUES, Ana Júlia de Brito Araújo, ARAO CARDOSO VIANA e Marcos dos Santos Lima, todos cadastrados na Plataforma Brasil. O projeto apresenta os itens necessários à elaboração do parecer ético (Arquivo PB-informações básicas, projeto básico, descrição riscos e benefícios aos participantes da pesquisa e termos de apresentação obrigatória).

Objetivo da Pesquisa:

2. Os objetivos de pesquisa são claros, estão alinhados com a metodologia proposta e são exequíveis dentro do cronograma apresentado.

Endereço: Rua Aristarco Lopes, 240, 2º andar, sala 46.

Bairro: CENTRO

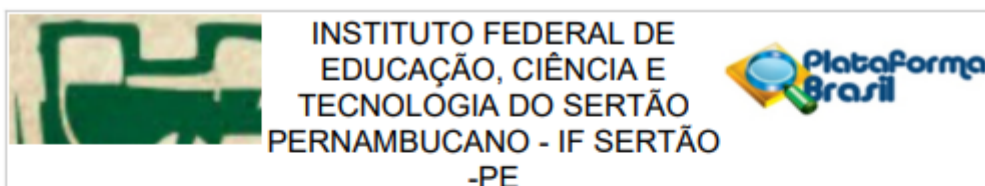
CEP: 56.302-100

UF: PE

Município: PETROLINA

Telefone: (87)2101-2364

E-mail: cep@ifsertao-pe.edu.br



Continuação do Parecer: 5.779.006

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

3.O presente estudo não oferece risco à saúde dos consumidores. Os sucos a serem avaliados foram elaborados sob rígidos controles de higiene e todas as amostras foram previamente avaliadas com relação a atributos da qualidade e físico-químicos. No entanto, de acordo com a Resolução 466/12, toda a pesquisa com seres humanos envolve riscos para a saúde, como possíveis reações alérgicas ao produto avaliado (suco). Então para evitar riscos associados à alergias, o participante não poderá participar do estudo se possui alergia a suco de uva integral.

3.1 A avaliação dos riscos e benefícios estão bem delineados na metodologia do projeto

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

4. O projeto apresenta adequadamente os seguintes itens necessários para a análise ética: tema, objeto da pesquisa, relevância social, local de realização da pesquisa, população a ser estudada, garantias éticas aos participantes da pesquisa, método a ser utilizado, cronograma, orçamento, critérios de inclusão dos participantes na pesquisa, critérios de encerramento ou suspensão da pesquisa e divulgação dos resultados do estudo. Apresenta também uma carta resposta esclarecendo os pontos questionados na primeira avaliação desse comitê, como também as adequações pedidas.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

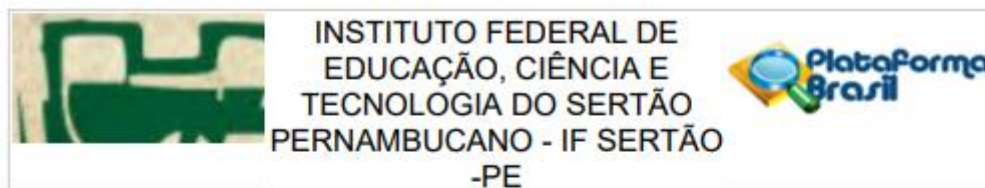
5.1 – O projeto apresenta os Termos de Apresentação obrigatória: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido-TCLE (Maiores de 18 anos; Para incapazes/analfabetos e Responsáveis pelos menores de 18 anos), Termo de Assentimento (Menores de 18 anos), Termo de Sigilo e Compromisso dos pesquisadores, Declaração de autorização de uso de dados, Folha de rosto e Carta de Anuência, além de estar em conformidade com os princípios éticos e com as resoluções nº 466/12 e nº 510/16 do CNS.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

7.1 - No que concerne aos aspectos éticos o projeto foi APROVADO por estar apto e adequado para sua execução.

- O(a) pesquisador(a) deve atentar-se ao prazo para o envio do relatório parcial e/ou final das atividades desenvolvidas (12 meses a partir da data de aprovação do parecer consubstanciado do

Endereço: Rua Aristarco Lopes, 240, 2º andar, sala 46.
 Bairro: CENTRO CEP: 56.302-100
 UF: PE Município: PETROLINA
 Telefone: (87)2101-2364 E-mail: cep@ifsertao-pe.edu.br



Continuação do Parecer: 5.779.006

CEP), quando deverá anexar na Plataforma Brasil um exemplar preenchido digitalizado de cada termo (TCLE, TCLE para Pais/Responsáveis e/ou TALE, conforme o caso), além de uma declaração que afirma que todos os demais termos foram encaminhados. (Ver modelo no site do CEP IF Sertão-PE);

- Deve-se informar ao CEP, a qualquer tempo, a existência de mudanças no projeto (metodologia, cronograma, dentre outros aspectos), caso tenha implicação ética em sua execução.
- Recomenda-se procurar o CEP para tirar quaisquer dúvidas em relação aos aspectos éticos da pesquisa envolvendo seres humanos ou demais informações que necessite.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1982896.pdf	17/10/2022 16:24:24		Aceito
Outros	Termodesigloecompromisso.pdf	17/10/2022 16:19:25	MARIA DA CONCEICAO PRUDENCIO	Aceito
Folha de Rosto	Folhaderostoassinada.pdf	04/10/2022 11:20:41	MARIA DA CONCEICAO PRUDENCIO	Aceito
Outros	Cartaresposta.pdf	04/10/2022 11:20:06	MARIA DA CONCEICAO PRUDENCIO	Aceito
Outros	Cartadeanuenciaufba.pdf	04/10/2022 11:17:07	MARIA DA CONCEICAO PRUDENCIO	Aceito
Outros	Autorizacaodeusodedados.pdf	11/09/2022 20:40:55	MARIA DA CONCEICAO PRUDENCIO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projetodetalhadocx.pdf	22/08/2022 23:31:35	MARIA DA CONCEICAO PRUDENCIO	Aceito
Outros	Fichadeavaliacaosensorial.pdf	22/08/2022 23:31:00	MARIA DA CONCEICAO PRUDENCIO	Aceito
Outros	cartadeanuencia.pdf	22/08/2022 23:27:59	MARIA DA CONCEICAO	Aceito

Endereço: Rua Aristarco Lopes, 240, 2º andar, sala 46.

Bairro: CENTRO

CEP: 56.302-100

UF: PE

Município: PETROLINA

Telefone: (87)2101-2364

E-mail: cep@ifsertao-pe.edu.br

PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Período do doutorado: 2020 a 2025

Participação em publicação de artigos:

Artigos provenientes da tese

- DUTRA, MARIA DA CONCEIÇÃO PRUDÊNCIO; MARTINS DA SILVA, ANA BEATRIZ; DE SOUZA FERREIRA, EDERLAN; CARVALHO, ANA JULIA DE BRITO ARAUJO; LIMA, MARCOS DOS SANTOS; TELLES BIASOTO, ALINE CAMARÃO. Bioaccessibility of phenolic compounds from Brazilian grape juices using a digestion model with intestinal barrier passage. Food Bioscience, v. 52, p. 102, 2023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102501>
- DUTRA, M.C.P.; AMORIM, T.A; ARÚJO DE BRITO, A.J.; FERREIRA, E.S.; LIMA, M.S.; BIASOTO, A.T.C. The juice incorporation from grape pomace pressing positively influence the yield and chemical composition without affecting its sensory profile. LWT - Food Science and Technology 217 (2025) 117372, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117372>
- DUTRA, M.C.P.; ARAUJO DE BRITO. A. J. SNATOS, N. C., FREITAS. S. T., FERREIRA, E. S. MARQUES, A. T. B., LIMA, M. S. Impact of Commercial Preparations of Pectinases on the Chemical Composition and Stability of Phenolic Compounds in Grape Juices. Journal of Food Biochemistry, 13 pages, 2025. <https://doi.org/10.1155/jfbc/2856691>

Artigos de outras parcerias

- DA CONCEIÇÃO PRUDÊNCIO DUTRA, MARIA; VIANA, ARÃO CARDOSO; PEREIRA, GIULIANO ELIAS; NASSUR, R. C. M. R.; DOS SANTOS LIMA, MARCOS. Whole, concentrated and reconstituted grape juice: Impact of processes on phenolic composition, -foxy- aromas, organic acids, sugars and antioxidant capacity. Food Chemistry, v. 343, p. 128399, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128399>
- SOARES CARNEIRO, TUÂNIA; DA CONCEIÇÃO PRUDÊNCIO DUTRA, MARIA; ANDRADE LIMA, DÉBORA; JÚLIA DE BRITO ARAÚJO, ANA; LESSA CONSTANT, PATRÍCIA BELTRÃO; DOS SANTOS LIMA, MARCOS. Phenolic compounds in peel, seed and cold pressed pink pepper (*Schinus terebinthifolia* R.) oil and bioaccessibility of peel using a digestion model with intestinal barrier simulation. Food Bioscience, v. 49, p. 101930, 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101930>
- MARIA ANDRADE BARRETO, SUZANA; BEATRIZ MARTINS DA SILVA, ANA; DA CONCEIÇÃO PRUDÊNCIO DUTRA, MARIA; COSTA BASTOS, DEBORA; JÚLIA DE BRITO ARAÚJO CARVALHO, ANA; CARDOSO VIANA, ARÃO; NARAIN, NARENDRA; DOS SANTOS LIMA, MARCOS. Effect of commercial

yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) on fermentation metabolites, phenolic compounds, and bioaccessibility of Brazilian fermented oranges. *Food Chemistry*, v. 1, p. 135121, 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135121>

- ALMEIDA DOS ANJOS, VICTOR HUGO; DE BRITO ARAÚJO CARVALHO, ANA JÚLIA; PRUDÊNCIO DUTRA, MARIA DA CONCEIÇÃO; CÂNDIDO DA SILVA, MARIA CARLA; SANTOS LEITE NETA, MARIA TEREZINHA; CARDOSO VIANA, ARÃO; DOS SANTOS LIMA, MARCOS. Effect of commercial *Saccharomyces cerevisiae* and non-*Saccharomyces* yeasts on the chemical composition and bioaccessibility of pineapple wine. *Food Research International*, v. 194, p. 114888, 2024. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114888>
- CÂNDIDO DA SILVA, MARIA CARLA; DE BRITO ARAÚJO CARVALHO, ANA JÚLIA; CARDOSO VIANA, ARÃO; ALMEIDA DOS ANJOS, VICTOR HUGO; PRUDÊNCIO DUTRA, MARIA DA CONCEIÇÃO; PIMENTEL, TATIANA COLOMBO; MAGNANI, MARCIANE; DOS SANTOS LIMA, MARCOS. Effects of unconventional non-*Saccharomyces* yeast fermentation on the chemical profile and bioaccessibility of watermelon wine. *Food Bioscience*, v. 61, p. 104961, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104961>
- DA SILVA NOGUEIRA, ELIS TATIANE; PRUDÊNCIO DUTRA, MARIA DA CONCEIÇÃO; DE BARROS SANTOS, RENATA GOMES; DE BRITO ARAÚJO CARVALHO, ANA JÚLIA; DOS SANTOS LIMA, MARCOS. Phenolic composition and encapsulation of Brazilian grape seed extracts: evaluating color stabilizing capacity in grape juices. *JOURNAL OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY-MYSORE*, v. n.a, p. n.a, 2024. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-024-05956-8>

Participação em resumo publicado em anais de eventos

Resumos provenientes da tese:

- DUTRA, MARIA; MARQUES, A. T. B.; AMORIM, T. A.; ARAUJO, A. J. B.; LIMA, M. S. IMPACT OF GRAPE POMACE PRESSING PROCESS ON YIELD, QUALITY, AND SENSORIAL ACCEPTABILITY OF GRAPE JUICE. In: 15° Slacan, 2023, Campinas-SP. 15° SLACAN - Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos e Nutrição, 2023.
- DUTRA, M.C.P.; LIMA, MARCOS DOS SANTOS; ARAUJO, A. J. B.; MARQUES, A. T. B. IMPACT OF DIFFERENT TYPES OF PECTINASE ENZYMES ON THE NUTRACEUTICAL QUALITY AND SHELF LIFE OF THE GRAPE JUICE. In: 2nd International Congress on Bioactive Compounds and 3rd International Workshop on Bioactive Compounds, 2022, São Paulo. 3rd International Workshop on Bioactive Compounds: Personal Nutrition, Ageing and Food Science, 2022.

Impactos de mídia provenientes da tese- Reportagens:

Estudo comprova que suco de uva brasileiro faz bem a saúde.

- Revista do globo rural: <https://globo rural.globo.com/agricultura/noticia/2023/07/estudo-comprova-que-suco-de-uva-brasileiro-faz-bem-a-saude.ghtml>
- Estudo revela a riqueza nutricional dos sucos de uva brasileiros.
- Neo mundo: <https://neomundo.org.br/2023/07/04/estudo-revela-a-riqueza-nutricional-dos-sucos-de-uva-brasileiros/>
- Portal Embrapa: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/81573003/estudo-revela-a-riqueza-nutricional-dos-sucos-de-uva-brasileiros>
- Canal rural: <https://www.canalrural.com.br/agricultura/estudo-da-embrapa-destaca-riqueza-nutricional-dos-sucos-de-uva-brasileiros/>
- Uvas nacionais se destacam em avaliações e trazem benefícios a saúde.

Sociedade nacional de agricultura: <https://sna.agr.br/uvas-nacionais-se-destacam-em-avaliacoes-e-trazem-beneficios-a-saude/>

Revista cultivar: <https://revistacultivar.com.br/noticias/uvas-nacionais-se-destacam-em-avaliacoes-e-apresentam-beneficios-a-saude>

Sociedade brasileira de fruticultura: <https://fruticultura.org/noticia&id=893>

Participação em banca examinadora (graduação e pós-graduação)

Participação em bancas de especialização:

- MACHADO, S. M. S.; DUTRA, MARIA; RIBEIRO, P. L. L. Participação em banca de IASMIM PEREIRA OLIVEIRA. EXTRAÇÃO E PERFIL DA SEIVA DA INFLORECÊNCIA DO LICURIZEIRO (SYAGRUS CORONATA). 2023. Monografia (Aperfeiçoamento/Especialização em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano.
- ARAUJO, A. J. B.; DUTRA, MARIA DA CONCEIÇÃO PRUDÊNCIO; DOS SANTOS LIMA, MARCOS. Participação em banca de Tainara Araújo Amorim. ELABORAÇÃO DE SUCO INTEGRAL DE PITAYA-VERMELHA (*Hylocereus polyrhizus*) OBTIDAS POR CULTIVO CONVENCIONAL E ORGÂNICO. 2023.
- ARAUJO, A. O.; DUTRA, MARIA; RIBEIRO, P. L. L. Participação em banca de Élice Brunelle Lessa dos Santos. ADIÇÃO DE PIMENTA ROSA (*Schinus terebinthifolius* Raddi) SOBRE OS PARÂMETROS FÍSICO QUÍMICOS E POTENCIAL ANTIOXIDANTE DO QUEIJO DE COALHO CAPRINO ARTESANAL. 2023.

Participação em bancas de graduação:

- ARAUJO, A. O.; SOUZA, R. C.; DUTRA, MARIA DA CONCEIÇÃO PRUDÊNCIO; TEIXEIRA, L. P. S. Participação em banca de JOSÂINE CONCEIÇÃO DA SILVA. EVASÃO DE TRABALHADORES DE CASAS DE

FARINHA NO DISTRITO DE IGARA - BA. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Agrárias) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano.

- SANTOS, A. O.; DUTRA, MARIA; SANTOS, J. S. Participação em banca de MARCELA ALVES MAGALHÃES. EXTRAÇÃO E GRAU DE ESTERIFICAÇÃO DA PECTINA DO MARACUJÁ DO MATO (PASSIFLORA CINCINNATA). 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Agrárias) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano.
- ARAUJO, A. J. B.; DUTRA, MARIA; ROCHA, F. A. T. Participação em banca de NATALY ARIANA GONÇALVES NASCIMENTO. PROCEDIMENTOS DA QUALIDADE EM PACKING HOUSE DE UVA NO VALE DO SÃO FRANCISCO. 2023.
- Viana, A. C; DUTRA, M.C.P.; Azevedo, A. C. Participação em banca de RAIANE TERESA ALVES PEREIRA. PROSPECÇÃO DE PRODUTOS PARA PESSOAS INTOLERANTES E/OU ALÉRGICOS COMERCIALIZADOS NAS CIDADES DE PETROLINA-PE E JUAZEIRO-BA. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Alimentos) - Instituto Federal do Sertão Pernambucano.

Palestras

- Bioacessibilidade de compostos fenólicos de suco de uva. Evento: "Simpósio Suco de Uva e Saúde", realizado em 21 de março de 2024. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Bento Gonçalves-RS.
- “Desafios do Mercado de Trabalho para o Tecnólogo em Alimentos”. Evento: Semana do Tecnólogo em Alimentos – 2023. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina-PE.