



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
**DE ALIMENTOS – PPGCTA**

**SABRINA DUARTE DE OLIVEIRA**

**PERFIL NUTRICIONAL E BIOATIVO DE SUBPRODUTOS DO**  
**PROCESSAMENTO DE ACEROLA E GOIABA FERMENTADOS**  
**ESPONTANEAMENTE E SUAS FARINHAS**

**JOÃO PESSOA – PB**

**2024**

**SABRINA DUARTE DE OLIVEIRA**

**PERFIL NUTRICIONAL E BIOATIVO DE SUBPRODUTOS DO  
PROCESSAMENTO DE ACEROLA E GOIABA FERMENTADOS  
ESPONTANEAMENTE E SUAS FARINHAS**

Tese apresentada ao Programa de  
Ciência e Tecnologia de Alimentos,  
Centro de Tecnologia, Universidade  
Federal da Paraíba, em cumprimento aos  
requisitos para obtenção do título de  
Doutora em Ciência e Tecnologia de  
Alimentos.

Orientador(a): Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Antonia Lucia de Souza

**JOÃO PESSOA – PB**

**2024**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

048p Oliveira, Sabrina Duarte de.

Perfil nutricional e bioativo de subprodutos do processamento de acerola e goiaba fermentados espontaneamente e suas farinhas / Sabrina Duarte de Oliveira. - João Pessoa, 2024.

76 f. : il.

Orientação: Antônia Lúcia de Souza.

Tese (Doutorado) - UFPB/CT.

1. Subprodutos de frutas. 2. Bioprocesso. 3. Fermentação. I. Souza, Antônia Lúcia de. II. Título.

UFPB/BC

CDU 641.13(043)



Universidade Federal da Paraíba  
Centro de Tecnologia



Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – PPGCTA

ATA DE DEFESA DE TESE

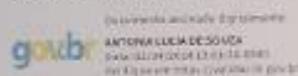
DOUTORADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Aos vinte e sete dias do mês de março do ano de dois mil e vinte e quatro, de forma híbrido, às 14h, reuniu-se a Banca Examinadora composta pela Profa. Dra. Antônia Lucia Souza, orientadora do trabalho e presidente da Banca, Profa. Dra. Haissa Roberta Cardarelli (Membro Interno/UFPB), Profa. Dra. Juliana Kessya Barbosa Soares (Membro Interno/UFPB), Profa. Dra. Nataly Albuquerque dos Santos (Membro Externo ao Programa/UFPB) e Profa. Dra. Ana Cristina Silveira Martins (Membro Externo à Instituição/UNINASSAU). A reunião teve por objetivo julgar o trabalho da estudante **Sabrina Duarte de Oliveira**, matrícula nº 20201014901, sob o Título: "Perfil Nutricional e bioativo de subprodutos do processamento de acerola e goiaba fermentados espontaneamente". Os trabalhos foram abertos pela Profa. Dra. Antônia Lucia Souza. A seguir foi dada a palavra a estudante para apresentação do trabalho. Cada Examinador(a) arguiu a doutoranda, com tempos iguais de arguição e resposta. Terminadas as arguições, procedeu-se o julgamento do trabalho, concluindo a Banca Examinadora por sua APROVADA. Atendidas as exigências da Resolução nº 15/2019/CONSEPE que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, e nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente Ata, que vai assinada pelos membros da Banca Examinadora e pela doutoranda.

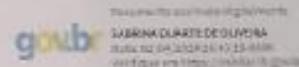
João Pessoa, 27 de março de 2024.

Se houver alteração no título do trabalho, informar o no título abaixo:

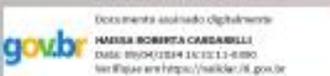
Perfil Nutricional e bioativo de subprodutos do processamento de acerola e goiaba fermentados espontaneamente e suas farinhas



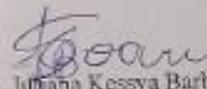
Profa. Dra. Antônia Lucia Souza  
Orientadora e Presidente



Sabrina Duarte de Oliveira  
Doutoranda

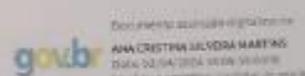


Haissa Roberta Cardarelli  
(Membro Interno/UFPB)

  
Profa. Dra. Juliana Kessya Barbosa Soares  
(Membro Interno/UFPB)



Profa. Dra. Nataly Albuquerque dos Santos  
(Membro Externo/UFPB)  
(Membro Externo à Instituição/ITAL)



Profa. Dra. Ana Cristina Silveira Martins  
(Membro Externo/UNINASSAU)  
(Membro Externo/UFPB)

## RESUMO

Investigamos com a presente pesquisa a fermentação espontânea de subprodutos do processamento de acerola (*Malpighia emarginata* D.C., ACE) e goiaba (*Psidium guajava* L., GUA) a uma temperatura de 37 °C, a 200 rpm, por 120 horas avaliando alterações no perfil de compostos bioativos durante a fermentação. Além disso, elaboramos uma farinha a partir desses subprodutos fermentados por 48 horas nas condições já citadas. Antes da fermentação, realizaram-se análises da caracterização físico-química dos subprodutos *in natura* da acerola e goiaba. Nos intervalos de zero, 8, 24, 48, 72 e 120 horas de fermentação foi realizada a contagem de células viáveis. Os parâmetros físico-químicos, conteúdo de compostos bioativos (perfil de fenólicos e fenólicos totais, carotenóides totais, flavonóides e vitamina C) e atividade antioxidante (FRAP e ABTS) foram avaliados nos tempos zero, 48 e 120 horas de fermentação. As farinhas dos subprodutos de acerola e goiaba fermentadas por 48 horas (ACES e GUAS, respectivamente), bem como as farinhas de acerola e goiaba *in natura* (ACE e GUA, respectivamente) foram avaliadas quanto as suas características físico-químicas, fibras dietéticas, perfil de compostos bioativos (compostos fenólicos, açúcares e ácidos orgânicos) e composição elementar. Houve um aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) na contagem de células viáveis em ACE e GUA em 24 h de fermentação, sendo que as maiores contagens de células viáveis ( $p \leq 0,05$ ) foram observadas após 24 h para GUA (8,9 log UFC/mL) e após 48 h para ACE. Houve diminuição no conteúdo de sólidos solúveis totais, aumento da acidez titulável e do conteúdo de ácido lático, e redução do pH, para os subprodutos fermentados, bem como para ACES e GUAS ( $p \leq 0,05$ ). Quanto aos parâmetros de colorimetria dos subprodutos fermentados, houve aumento da luminosidade e redução do contraste ao longo da fermentação, e os tratamentos apresentaram uma tonalidade tendendo a ir do vermelho para vermelho-amarelado durante este período ( $p \leq 0,05$ ). Enquanto que para as farinhas, ACES apresentou um aumento de luminosidade, enquanto que GUAS demonstrou um aumento no contraste. O conteúdo de ácido ascórbico foi maior no tempo zero da fermentação para ACE; no entanto, esse valor reduziu durante a fermentação ( $p \leq 0,05$ ). Enquanto para GUA, o conteúdo de ácido ascórbico aumentou com a fermentação ( $p \leq 0,05$ ). A fermentação contribuiu com o aumento do conteúdo de flavonóides e fenólicos totais nos subprodutos fermentados, o que possivelmente favoreceu a maior atividade antioxidante observada em todos os momentos da fermentação, principalmente para ACE. O teor de fibras insolúveis foi superior ao de fibras solúveis nas farinhas fermentadas. O potássio foi o mineral predominante encontrado em todas as farinhas, seguido do magnésio e manganês e o conteúdo de ferro e zinco aumentaram após a fermentação. As concentrações de frutose e glicose diminuíram nas farinhas fermentadas ao mesmo tempo em que houve aumento dos ácidos orgânicos. O ácido gálico foi o composto fenólico encontrado em maior quantidade nas farinhas de acerola e a hesperidina foi a flavona encontrada em maior quantidade nas farinhas de goiaba. Os resultados indicam que a fermentação natural de subprodutos do processamento de acerola e goiaba, bem como a farinha obtida desses subprodutos fermentados, favorece o aumento do conteúdo de compostos bioativos e da atividade antioxidante, indicando que esse processo é uma alternativa para agregar multifuncionalidade aos subprodutos de frutas, além do seu potencial para promoção de saúde e de trazer benefícios ao meio ambiente.

**Palavras-chave:** Subprodutos de frutas. Bioprocesso. Fermentação natural. Compostos Bioativos.

## ABSTRACT

With this research, we investigated the spontaneous fermentation of by-products from the processing of acerola (*Malpighia emarginata* D.C., ACE) and guava (*Psidium guajava* L., GUA) at a temperature of 37 °C, at 200 rpm, for 120 hours, evaluating changes in the profile of bioactive compounds during fermentation. Furthermore, we prepare a flour from these by-products fermented for 48 hours under the conditions already mentioned. Before fermentation, physical-chemical characterization analyses of the acerola and guava by-products *in natura* were carried out. At intervals of zero, 8, 24, 48, 72 and 120 hours of fermentation, viable cell counts were performed. The physicochemical parameters, content of bioactive compounds (phenolic profile and total phenolics, total carotenoids, flavonoids and vitamin C) and antioxidant activity (FRAP and ABTS) were evaluated at times zero, 48 and 120 hours of fermentation. Flours from acerola and guava byproducts fermented for 48 hours (ACES and GUAS, respectively), as well *in natura* acerola and guava flours (ACE and GUA, respectively) were evaluated for their physicochemical characteristics, dietary fiber, profile of bioactive compounds (phenolic compounds, sugars and organic acids) and elemental composition. There was a significant increase ( $p \leq 0.05$ ) in the viable cell count in ACE and GUA in 24 h of fermentation, with the highest viable cell counts ( $p \leq 0.05$ ) being observed after 24 h for GUA ( $8.9 \log$  CFU/mL) and after 48 h for ACE. There was a decrease in the content of total soluble solids, an increase in titratable acidity and lactic acid content, and a reduction in pH, for fermented by-products, as well as for ACES and GUAS ( $p \leq 0.05$ ). Regarding the colorimetry parameters of the fermented by-products, there was an increase in luminosity and a reduction in contrast throughout fermentation, and the treatments presented a tone tending to go from red to yellowish-red during this period ( $p \leq 0.05$ ), while for flours, ACES had an increase in brightness, while GUAS had an increase in contrast. The ascorbic acid content was higher at zero fermentation time for ACE; however, this value reduced during fermentation ( $p \leq 0.05$ ), for GUA, the ascorbic acid content increased with fermentation ( $p \leq 0.05$ ). Fermentation contributed to an increase in the content of flavonoids and total phenolics in the fermented by-products, which possibly favored the greater antioxidant activity observed at all times of fermentation, especially for ACE. The insoluble fiber content was higher than the soluble fiber content in fermented flours. Potassium was the predominant mineral found in all flours, followed by magnesium and manganese, the iron and zinc content increased after fermentation. The concentrations of fructose and glucose decreased in fermented flours at the same time as there was an increase in organic acids. Gallic acid was the phenolic compound found in greatest quantity in acerola flour and hesperidin was the flavone found in greatest quantity in guava flour. The results indicate that the natural fermentation of by-products from the processing of acerola and guava, as well as the flour obtained from these fermented by-products, favors an increase in the content of bioactive compounds and antioxidant activity, indicating that this process is an alternative to add multifunctionality to by-products fruit, in addition to its potential to promote health and bring benefits to the environment.

**Keywords:** Fruit by-products. Bioprocess. Natural fermentation. Bioactive compounds.

## LISTA DE FIGURAS

### FIGURAS DA TESE

Figura 1 – Acerola ( <i>Malpighia emarginata</i> D.C.).....	14
Figura 2 – Subproduto de acerola.....	15
Figura 3 – Goiaba ( <i>Psidium guajava</i> L.).....	16
Figura 4 – Subproduto de goiaba.....	17
Figura 5 – Desenho experimental do estudo.....	26
Figura 6 – Subprodutos de acerola (a) e goiaba (b) no tempo 0 da fermentação.....	27
Figura 7 – Farinhas de subprodutos de acerola e goiaba <i>in natura</i> e fermentadas.....	33

### FIGURAS DO ARTIGO 1

<b>Figure 1.</b> Viable cell counts (log CFU/mL) of lactic acid bacteria in acerola (ACE, ●) and guava by-product (GUA, ▼) during a 120 h of spontaneous fermentation. Results are expressed as average (n = 3) ± standard deviation. a–b: Average ± standard deviation with different lowercase letters differs (p≤0.05) among fermented fruit processing by-products, based on Student’s t-test. A–C: Average ± standard deviation with different uppercase letters differs (p≤0.05) among fermentation times, based on Tukey’s test.....	53
<b>Figure 2.</b> Values of total soluble solids (a), titratable acidity (b), and pH (c) in acerola (ACE, ●) and guava by-product (GUA, ▼) during 120 h of spontaneous fermentation. Results are expressed as average (n = 3) ± standard deviation. a–b: Average ± standard deviation with different lowercase letters differs (p≤0.05) among fermented fruit processing by-products, based on Student’s t-test. A–C: Average ± standard deviation with different uppercase letters differs (p≤0.05) among fermentation times, based on Tukey’s test. ....	53
<b>Figure 3.</b> Principal component analysis (PCA) of the groups of LAB viable cell counts (log CFU/mL), contents of total phenolics, total flavonoids, total carotenoids, ascorbic acid, and antioxidant activity (FRAP and ABTS) of fermented acerola (n = 3) and guava by-product (n = 3) at zero, 48, and 120 h of spontaneous fermentation. A: acerola by-product spontaneously fermented at zero, 48, and 120 h; G: guava by-product spontaneously fermented at zero, 48, and 120 h. ....	57

## FIGURAS DO ARTIGO 2

**Figure 1.** Principal component analysis (PCA) of phenolic compounds from acerola (n = 3) and guava (n = 3) flours *in natura* and spontaneously fermented. ACE: fresh acerola by-product flour; ACES: spontaneously fermented acerola by-product flour; GUA: fresh guava by-product flour; GUAS: spontaneously fermented guava by-product flour.....83

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Subprodutos de frutas: composição, aplicação e principais efeitos no produto final .....	19
--	----

## LISTA DE TABELAS

### TABELAS DO ARTIGO 1

<b>Table 1.</b> Physicochemical, color parameters, and contents of different bioactive compounds (mean $\pm$ standard deviation) of <i>in natura</i> acerola (ACE) and guava by-product (GUA) used in spontaneous fermentation (Oliveira et al. 2020) .....	52
<b>Table 2.</b> Values of color parameters in acerola (ACE) and guava by-product (GUA) during 120 h of spontaneous fermentation.....	54
<b>Table 3.</b> Contents of bioactive compounds and antioxidant activity in acerola (ACE) and guava by-product (GUA) during 120 h of spontaneous fermentation. ....	55
<b>Table 4.</b> Phenolic compounds (average $\pm$ standard deviation) identified in acerola (ACE) and guava by-product (GUA) during 120 h of spontaneous fermentation.....	56

### TABELAS DO ARTIGO 2

<b>Table 1.</b> Physicochemical composition, instrumental color, dietary fiber content and mineral content (mean $\pm$ standard deviation) of acerola and guava flours <i>in natura</i> and spontaneously fermented. ....	84
<b>Table 2.</b> Sugar and organic acid profile (mean $\pm$ standard deviation) of acerola and guava flours <i>in natura</i> and spontaneously fermented.....	85
<b>Table 3.</b> Phenolic compounds (mean $\pm$ standard deviation) identified in acerola and guava flours <i>in natura</i> and spontaneously fermented. ....	86

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
2.1	FRUTAS E SUBPRODUTOS DE FRUTAS.....	12
2.1.1	Acerola.....	13
2.1.2	Goiaba.....	15
2.2	APROVEITAMENTO INTEGRAL DOS ALIMENTOS .....	17
2.2.1	Aproveitamento integral de frutas.....	18
2.2.2	Farinha de subproduto de frutas .....	19
2.3	FERMENTAÇÃO: INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS EM FRUTAS E SUBPRODUTOS.....	21
2.3.1	Fermentação espontânea em frutas e subprodutos de frutas.....	23
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
3.1	OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA E LOCAL DE EXECUÇÃO .....	25
3.2	FERMENTAÇÃO ESPONTANEA DOS SUBPRODUTOS DE FRUTAS .....	26
3.3	CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS COMPOSTOS BIOATIVOS E DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS SUBPRODUTO FERMENTADOS ESPONTANEAMENTE.....	27
3.3.1	Determinação das características físico-químicas.....	28
3.3.2	Determinação do conteúdo de ácido ascórbico e carotenoides totais .....	29
3.3.3	Determinação do conteúdo total de fenólicos e flavonoides .....	29
3.3.4	Determinação do perfil dos compostos fenólicos.....	30
3.3.5	Atividade Antioxidante .....	31
3.4	ELABORAÇÃO DAS FARINHAS OBTIDAS DOS SUBPRODUTOS DE ACEROLA E GOIABA FERMENTADOS ESPONTANEAMENTE.....	32
3.5	CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS COMPOSTOS BIOATIVOS DAS FARINHAS <i>IN NATURA</i> E FERMENTADAS ESPONTANEAMENTE.....	33
3.5.1	Determinação da cor instrumental e das características físico-químicas .....	33
3.5.2	Determinação de macroelementos (K e Mg) e oligoelementos (Mn, Fe e Zn) ....	34
3.5.3	Determinação do perfil de açúcares e ácidos orgânicos.....	34
3.5.4	Determinação do perfil dos compostos fenólicos.....	35
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	35
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>37</b>

<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>48</b>
4.1	ARTIGO 1 - SPONTANEOUS FERMENTATION IMPROVES THE PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS, BIOACTIVE COMPOUNDS, AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF ACEROLA ( <i>MALPIGHIA EMARGINATA</i> D.C.) AND GUAVA ( <i>PSIDIUM GUAJAVA</i> L.) FRUIT PROCESSING BY-PRODUCTS. ....	48
4.2	ARTIGO 2 - EFFECT OF SPONTANEOUS FERMENTATION ON THE NUTRITIONAL AND BIOACTIVE PROPERTIES AND ELEMENTAL COMPOSITION OF FLOURS FROM BY-PRODUCTS OF ACEROLA ( <i>MALPIGHIA EMARGINATA</i> D.C.) AND GUAVA ( <i>PSIDIUM GUAJAVA</i> L.) PROCESSING.....	48
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>74</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas tropicais, ficando atrás apenas da China e da Índia (MOREIRA-ARAÚJO *et al.*, 2019). As frutas nativas ou exóticas cultivadas no Brasil ganharam popularidade no mercado por seus sabores e cores agradáveis, além de serem consideradas fontes ricas de compostos bioativos, indispensáveis à boa saúde do organismo (CARVALHO *et al.*, 2017; FDA, 2010; LEONARD *et al.*, 2021). Por serem alimentos perecíveis, ocorrem muitas perdas ao longo da cadeia produtora, de forma que cerca de 53% de toda a produção de frutas no Brasil é destinada ao processamento industrial (IBRAF, 2015) e, conseqüentemente, ocorre a formação de uma grande quantidade de subprodutos. Existem poucas alternativas para seu aproveitamento, o que resulta no descarte inadequado destes subprodutos, que além de prejuízos econômicos provoca também impactos negativos no meio ambiente.

A acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) e a goiaba (*Psidium guajava* L.) são frutas de alto valor nutricional, ricas em compostos fenólicos, vitaminas, minerais e fibras. Seus consumos estão associados a uma dieta saudável, ajudando na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) (ALVAREZ-SUAREZ *et al.*, 2018; JAESCHKE; MARCZAK; MERCALI, 2016; PAZ *et al.*, 2015). Semelhante ao que ocorre com as demais frutas, a produção de acerola e goiaba é destinada, principalmente ao processamento agroindustrial com geração de grandes quantidades de subprodutos, que geram resíduos orgânicos que contribuem para a poluição ambiental (ARAÚJO *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

A grande quantidade de subprodutos de frutas gerados do processamento industrial e os problemas causados no meio ambiente, despertou a necessidade do desenvolvimento de estudos sobre o uso de subprodutos de frutas, visto que são fontes de muitos compostos bioativos com inúmeras propriedades, dentre as quais cabe destaque a atividade antioxidante (ARAÚJO *et al.*, 2020; LEITE *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2014).

Os subprodutos de frutas, como já mencionado, são fontes naturais de bioativos e, a aplicação de determinados bioprocessos pode aumentar a disponibilidade destes compostos, dando valor agregado para esses materiais (SAGAR *et al.*, 2018). A fermentação é um dos métodos mais antigos de bioprocessamento de alimentos que envolve a ação de microrganismos como bactérias e fungos. Além de contribuir para prolongar a vida de prateleira e melhorar as propriedades organolépticas, a fermentação altera o perfil nutricional dos alimentos através da conversão de macronutrientes e liberação de peptídeos antioxidantes e compostos fenólicos (LEONARD *et al.*, 2021; TAMANG *et al.*, 2016). Neste contexto, o interesse pela fermentação

permanece alto na comunidade de ciência de alimentos, com mais de 5.000 variedades de produtos alimentícios fermentados desenvolvidos e consumidos em todo o mundo, incluindo vinho, cerveja, kimchi, queijo e mais recentemente os subprodutos de frutas (ARAÚJO *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

A fermentação espontânea é um bioprocessamento que ocorre quando a microbiota natural está em condições de baixa concentração de oxigênio, elevada atividade de água, boa concentração de nutrientes e temperatura em torno de 37 °C (DI CAGNO *et al.*, 2013). A fermentação é responsável por induzir a quebra estrutural das paredes celulares, o que pode liberar e/ou induzir a síntese de vários compostos bioativos; além disso, esse processo pode inibir a multiplicação de microrganismos patogênicos e deteriorantes, bem como modificar características de sabor, odor e textura dos alimentos (DI CAGNO *et al.*, 2013; KIM; KIM; KANG, 2019).

Diante do exposto, com o presente estudo objetivou-se realizar a fermentação espontânea de subprodutos de processamento de acerola e goiaba durante 120 horas, bem como de elaborar uma farinha destes subprodutos fermentados por 48 horas, a fim de avaliar o possível efeito deste processo no perfil nutricional, conteúdo de compostos bioativos e na atividade antioxidante desses subprodutos fermentados e nas farinhas obtidas a partir deles.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 FRUTAS E SUBPRODUTOS DE FRUTAS

As frutas são fonte de carboidratos, ácidos orgânicos, minerais, polifenóis, vitaminas hidrossolúveis (vitamina C e vitaminas do complexo B), provitamina A, aminoácidos, compostos aromáticos, carotenoides, fibras, fitoesteróis e outras substâncias bioativas da dieta humana. O teor de água das frutas varia de 70 a 90%. Embora as frutas possuam quantidades pobres de lipídios em sua polpa e casca, esses compostos estão presentes principalmente em suas sementes, que não são comumente consumidas (GÓMEZ; MARTINEZ, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2022; RODRÍGUEZ *et al.*, 2021).

Devido às suas propriedades, frutas e subprodutos de frutas são uma boa fonte para extrair compostos bioativos para a produção de nutracêuticos e alimentos funcionais (RODRÍGUEZ *et al.*, 2021). Alimentos funcionais são definidos como “alimentos processados industrialmente ou naturais que, quando consumidos regularmente em uma dieta diversificada em níveis eficazes, têm efeitos potencialmente positivos na saúde além da nutrição básica”. Os alimentos funcionais possuem valor agregado, como aumento do teor de compostos promotores de saúde, redução de componentes indesejáveis e/ou adição de novos ingredientes com propriedades tecnológicas (JIMÉNEZ-MORENO *et al.*, 2020; PENG *et al.*, 2020).

As frutas são consideradas alimentos funcionais, pois contêm quantidades significativas de compostos bioativos que previnem algumas atividades fisiológicas prejudiciais, incluindo doenças metabólicas e cardiovasculares (PENG *et al.*, 2020), além de contribuir também com a prevenção de câncer, mortalidade prematura e com a redução do risco de acidentes vasculares cerebrais (RODRÍGUEZ *et al.*, 2021).

Em relação a contaminação microbiológica, as frutas estão suscetíveis à deterioração microbiana e à contaminação por patógenos, o que influencia diretamente na sua vida útil, tornando-a curta. Por outro lado, cada tipo de fruta é um nicho único em termos de composição química, disponibilidade de nutrientes, microbiota hospedeira competitiva e compostos antagonistas naturais, tendo uma microbiota dominante característica, onde as contagens de células usuais variam de 5 a 7 log UFC/g (DI CAGNO *et al.*, 2013; GARCIA *et al.*, 2016; RODRÍGUEZ *et al.*, 2019).

No entanto, apesar da sua composição química e microbiológica, há uma grande quantidade de desperdício de frutas, o que se deve também a larga produção desse alimento, estimada em mais de 900 milhões de toneladas métricas em 2020, gerando uma grande quantidade de subproduto (IQBAL; SCHULZ; RIZVI, 2021). O manejo do subproduto do processamento de frutas é um dos grandes problemas da agroindústria. Geralmente, os produtores descartam toneladas de bagaço diretamente nos aterros, o que causa sérios problemas ambientais (OSORIO; FLÓREZ-LÓPEZ; GRANDE-TOVAR, 2021).

Os subprodutos são resíduos obtidos da utilização de matérias-primas na indústria; ou seja, são o resultado do processamento de alimentos por uma variedade de fontes, principalmente frutas, vegetais, laticínios, frutos do mar e alimentos processados derivados de animais. Esses produtos têm impactos ambientais, sociais e econômicos em todo o mundo. Durante muito tempo, os subprodutos foram tratados apenas como um problema ambiental, pois geralmente esses resíduos são lançados em aterros sanitários ou queimados para produção de energia. No entanto, recentemente os subprodutos têm sido valorizados pela comunidade científica devido ao seu potencial uso em alimentos como aditivos alimentares, prebióticos, biocombustíveis, óleos, na fortificação de alimentos e no desenvolvimento de alimentos funcionais e nutracêuticos (CAMPOS *et al.*, 2020; TRIGO *et al.*, 2020).

Os maiores produtores mundiais de resíduos alimentares são as indústrias de processamento de frutas, e a quantidade de subprodutos gerados varia de acordo com o produto de origem, chegando a até 50% da fruta inteira (GÓMEZ; MARTINEZ, 2018). Aproximadamente 40-50% das frutas e vegetais são desperdiçados em todo o mundo (FAO, 2015). Os subprodutos de frutas são compostos por cascas, caules, sementes e/ou bagaço e contêm níveis mais elevados de compostos bioativos e nutricionais do que nas partes comestíveis das frutas (CAMPOS *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2014). O subproduto gerado a partir do processamento das frutas é rico em compostos fenólicos, polissacarídeos, fitoquímicos, fibras alimentares, antioxidantes naturais e vários outros nutrientes que promovem saúde (IQBAL; SCHULZ; RIZVI, 2021). Portanto, o uso benéfico desses subprodutos tornou-se uma tendência crescente na indústria de alimentos.

### **2.1.1 Acerola**

A acerola ou aceroleira (*Malpighia emarginata*) é uma fruta tropical nativa das ilhas do Caribe e cultivada em regiões de clima tropical e subtropical, incluindo principalmente o Brasil, que possui as maiores plantações do mundo (BARROS *et al.*, 2020; MALEGORI *et al.*, 2017). A acerola possui alto teor de vitamina C e de outros componentes bioativos importantes, como antocianinas, carotenóides, flavonoides e compostos fenólicos (APARICIO-GARCÍA *et al.*, 2020; PRAKASH; BASKARAN, 2018; RIBEIRO; FREITAS, 2020).

O Brasil é o maior produtor de acerola, com significativo aumento da produção ao longo dos anos, o que se deve a suas condições favoráveis em relação a posição geográfica, condições de solo e clima (CAVICHIOLO *et al.*, 2014; LEFFA *et al.*, 2015). A produção de acerola atingiu um volume de aproximadamente 70 mil toneladas em 2017, com produção máxima na região Nordeste que respondeu por 75% da produção total do país (BORGES *et al.*, 2021, CAETANO *et al.*, 2011; PRAKASH; BASKARAN, 2018).

O fruto da acerola caracteriza-se por ser uma fruta pequena, carnosa, variando na sua forma, tamanho e peso e contém três pequenas sementes não albuminosas de tamanhos diferentes, envoltas por um endocarpo trilobado reticulado (Figura 1) (BATAGLION *et al.*, 2015; COSTA *et al.*, 2003).

A fruta de acerola é comumente utilizada na indústria para produção de polpas, sucos e geleias, além de apresentar grande potencial para utilização na produção de suplementos alimentares que melhoram a resposta imune do organismo devido à presença de compostos antioxidantes e alto teor de vitamina C (BELWAL *et al.*, 2018). No entanto, o uso em larga escala da acerola gera cerca de 40% de subprodutos, sendo 30% de sementes e cascas (bagaço) da etapa de prensagem e 10% de borra da etapa de clarificação do suco (sem bagaço) (POLETTI *et al.*, 2021).

Figura 1 – Acerola (*Malpighia emarginata* D.C.)



Fonte: Belwal *et al.* (2018).

O subproduto da acerola (Figura 2), formado pela semente e bagaço, além de ser rico em compostos bioativos como carotenóides, antocianinas, fenólicos, flavonoides e ácido ascórbico, também contém altos teores de fibras solúveis e insolúveis (MARQUES *et al.*, 2013; REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2017). Aproximadamente 60% de ácido ascórbico é relatado nos resíduos da acerola, quando comparado à polpa da fruta (REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2017).

Devido à sua composição bioativa e consequente atividade antioxidante, o subproduto de acerola pode promover diversos benefícios à saúde, como ação antienvhecimento, reparação do sistema nervoso, atividade antiinflamatória, prevenção do câncer e antiaterogenicidade (MISKINIS; NASCIMENTO; COLUSSI, 2022). Logo, levando-se em consideração o potencial bioativo do subproduto do processamento da acerola, é importante destacar a necessidade do aproveitamento integral desta fruta (fruta e subproduto), promovendo maior desenvolvimento para a indústria de alimentos.

Figura 2– Subproduto de acerola



Fonte: Acervo pessoal (2020).

### 2.1.2 Goiaba

A goiaba (*Psidium guajava* L.) é considerada uma importante fruta tropical amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais (SILVA *et al.*, 2018). A produção global de goiaba foi de aproximadamente 55,85 milhões de toneladas em 2019 (KUMAR *et al.*, 2022). A goiaba é considerada uma fruta rica em compostos bioativos, por ser uma excelente fonte de fibra dietética, vitaminas, minerais e compostos fenólicos (MURMU; MISHRA, 2018).

A goiabeira é uma planta de pequeno porte, que pode atingir de 3 a 6 metros de altura. A fruta apresenta forma arredondada ou baga globosa, ovoide ou piriforme, de 4 a 12 cm de comprimento (Figura 3) (ALVES; FREITAS, 2007). O consumo de goiaba é conhecido por reduzir os níveis séricos de colesterol, triglicerídeos e hipertensão, ao mesmo tempo em que aumenta o nível de colesterol HDL (lipoproteína de alta densidade) (MANGARAJ; GOSWAMI, 2011).

Figura 3 – Goiaba (*Psidium guajava* L.)



Fonte: Marques *et al.* (2008).

A goiaba apresenta sabor doce e agradável, além da rica composição de nutrientes e propriedades terapêuticas. A fruta é consumida *in natura* e também é formulada em inúmeros produtos de valor agregado, como suco, geleia, compota, néctares e xaropes, por exemplo (NARVÁEZ-CUENCA *et al.*, 2020). Esta fruta e seus subprodutos têm potencial para serem incorporados a alimentos processados mais saudáveis devido às suas características sensoriais e à presença de compostos bioativos (KUMAR *et al.*, 2022; LIMA *et al.*, 2019).

A produção global combinada de goiaba é de cerca de 40 milhões de toneladas (IRSHAD *et al.*, 2019). O processamento em larga escala da goiaba em vários produtos gera uma grande quantidade de subproduto, criando o problema de descarte de resíduos. Em particular, o processamento de uma tonelada métrica de frutos de goiaba produz aproximadamente 80 kg de subprodutos (LING; CHANG, 2017). Segundo Treichel *et al.* (2016), o índice de desperdício da cultura da goiabeira chega a 30% após o beneficiamento, sendo constituído principalmente por sementes com alto valor nutritivo.

O subproduto de goiaba (Figura 4) é uma fonte abundante de vários componentes nutricionais, incluindo polissacarídeos, proteínas, lipídios, minerais, vitaminas, fenólicos, carotenóides e fibras alimentares, juntamente com uma vasta gama de bioatividade e propriedades funcionais (KUMAR *et al.*, 2022). Sendo assim, é claro a necessidade do

desenvolvimento de estratégias que visem utilizar os subprodutos do processamento de goiaba como potencial ingrediente funcional para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios.

Figura 4 – Subproduto de goiaba



Fonte: Acervo pessoal (2020).

## 2.2 APROVEITAMENTO INTEGRAL DOS ALIMENTOS

Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), estima-se que 1,3 bilhões de toneladas de alimentos são perdidas e desperdiçadas mundialmente todos os anos, cerca de 33% de tudo que é produzido, podendo alimentar 815 milhões de pessoas (FAO, 2018). Já no Brasil, aproximadamente 26 milhões de toneladas de alimentos são desperdiçadas, dos quais, 5,6 milhões de toneladas são hortaliças, e 5,3 milhões são de frutas (DOLABELLA, 2018).

Além da perda econômica, a FAO estima que os prejuízos econômicos provocados pelo desperdício de alimentos sejam da ordem de US\$ 700 bilhões do ponto de vista ambiental e US\$ 900 bilhões na dimensão social. Sendo assim, ao analisar o tripé da sustentabilidade (econômico, ambiental e social), o custo total relacionado ao desperdício de alimentos situa-se em torno de US\$ 2,6 trilhões por ano, valor que corresponde ao PIB do Reino Unido, que atualmente representa a quinta maior economia do mundo (FAO, 2015).

Dada a importância de reduzir as perdas e o desperdício de alimentos, a FAO e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente estão agora medindo o Índice de Perda de Alimentos e o Índice de Desperdício de Alimentos para avaliar o progresso em direção à Meta 12.3 do Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) (SANTOS; SILVA; PINTADO,

2022). Recentemente, a FAO propôs o conceito de perda e desperdício de alimentos, onde refere-se a perdas que ocorrem ao longo da cadeia de abastecimento de alimentos desde a colheita até, mas não incluindo, o nível de varejo, já os desperdícios de alimentos ocorrem no nível de varejo e consumo (FAO, 2019).

O primeiro relatório desenvolvido pela FAO mostrou que 14% dos alimentos produzidos são perdidos desde a pós-colheita até, mas não incluindo o nível de varejo, relatou ainda que frutas e vegetais apresentam as maiores perdas devido à sua natureza altamente perecível, uma vez que mais de 20% das frutas e vegetais produzidos em todo o mundo são perdidos desde a pós-colheita até, mas excluindo, o nível de varejo (FAO, 2019).

### **2.2.1 Aproveitamento integral de frutas**

Frutas e vegetais geram muitos subprodutos durante o processamento e armazenamento pós-colheita (COMAN *et al.*, 2020; SHARMA *et al.*, 2021). Cerca de 50% dos subprodutos gerados a partir do processamento de frutas e hortaliças são constituídos de cascas, caroços e bagaços (PADAYACHEE *et al.*, 2017). Estes subprodutos contêm altos níveis de compostos bioativos, fibra alimentar e proteínas vegetais (BAYRAM *et al.*, 2021; LI *et al.*, 2020; MOHAMMADI *et al.*, 2022; URBINA; ECELZA; GABLLONDO, 2019). Portanto, por ser um produto rico nutricionalmente, tornou-se um aspecto importante da cadeia de processamento (RODA; LAMBRI, 2019).

Os subprodutos são resíduos obtidos da utilização de matérias-primas na indústria; ou seja, são o resultado do processamento de alimentos por uma variedade de fontes, principalmente frutas, vegetais, laticínios, frutos do mar e alimentos processados derivados de animais. Esses produtos têm impactos ambientais, sociais e econômicos em todo o mundo (OLIVEIRA *et al.*, 2022).

Durante muito tempo, os subprodutos foram tratados apenas como um problema ambiental, pois geralmente esses resíduos são lançados em aterros sanitários ou queimados para produção de energia. No entanto, recentemente os subprodutos têm sido valorizados pela comunidade científica devido ao seu potencial uso em alimentos como fontes naturais novas e baratas de fibra dietética, pectina, antioxidantes, enzimas, compostos fenólicos, aditivos alimentares e suplemento nutricional, para elaboração de novos produtos funcionais e nutracêuticos (Quadro 1).

Quadro 1 – Subprodutos de frutas: composição, aplicação e principais efeitos no produto final

Subproduto	Produto desenvolvido	Principais resultados	Referência
Subproduto de maracujá	Leite de cabra fermentado	Modulação da microbiota intestinal, aumento de bactérias benéficas	Casarotti et al., 2020
Semente de uva	Iogurte	Inibição do crescimento de <i>Escherichia coli</i> e <i>Staphylococcus aureus</i> , capacidade antioxidante semelhante a antioxidantes sintéticos	Ferreira e Santos, 2022
Casca de uva	Massa (tagliatelle)	Aumento do teor de fibras em (3%), compostos fenólicos retidos após a cozedura da massa (6,21 mg/100 g)	Balli et al., 2021
Casca de abacate	Maionese	Capacidade antioxidante e antibacteriana, conteúdo fenólico total (197,42 mg/100g) superior ao encontrado na literatura	Ferreira e Santos, 2022
Subproduto de acerola e goiaba	Fermentado	Aumento da contagem de células viáveis de lactobacilos probióticos, aumento de ácido ascórbico, flavonóides, fenólicos totais e antioxidantes.	Oliveira et al., 2020
Semente de goiaba	Óleo essencial	Vanilina e ácido vanílico foram os principais compostos fenólicos, o $\beta$ -sitosterol foi o fitosterol mais abundante, o $\gamma$ -tocoferol foi o principal tocoferol, aumento da proporção de ácido linoléico.	Narváez-Cuenca, 2020
Subproduto de acerola	Microencapsulado	Aumento da concentração de compostos bioativos e boa atividade antioxidante.	Rezende, Nogueira, Narain, 2018
Casca de manga	Extrato	Aumento do teor de compostos bioativos	Sánchez-Mesa et al., 2020

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os resultados obtidos nestes estudos comprovam que a utilização de subprodutos de frutas como suplemento, óleo essencial ou extrato são eficientes para o aumento da quantidade de compostos bioativos e da atividade antioxidante.

### 2.2.2 Farinha de subproduto de frutas

Embora os subprodutos de frutas sejam produzidos em grande quantidade em todo e

mundo, tenham chamado a atenção da comunidade em geral e sejam identificados e caracterizados como potenciais ingredientes alimentares, fontes de fibras alimentares e compostos bioativos, eles também são explorados de forma pouco lucrativa.

Sendo assim, é importante agregar valor a esses subprodutos de frutas, enfatizando sua utilização para elaboração de ingredientes alimentares que possam ser consumidos diariamente. As farinhas produzidas a partir de subprodutos de frutas são um ingrediente que pode ser adicionado a diversos produtos alimentícios, melhorando o valor nutricional e as propriedades dos alimentos processados (RESENDE; FRANCA; OLIVEIRA, 2019).

As farinhas obtidas dos subprodutos de frutas são ricas em fibras alimentares, compostos bioativos, como ácidos fenólicos e carotenoides (ACOSTA-ESTRADA; GUTIÉRREZ-URIBE; SERNA-SALDÍVAR, 2014, SANTOS; da SILVA; PINTADO, 2022). As fibras alimentares podem influenciar as propriedades de hidratação, solubilidade e viscosidade dos alimentos. Além disso, contribuem para retardar a absorção de glicose, diminuir o colesterol total e o colesterol LDL, estimular a fermentação intestinal e a produção de ácidos graxos de cadeia curta, entre outras funções (DHINGRA *et al.*, 2012).

As farinhas de subprodutos de frutas e hortaliças, obtida de resíduos gerados a partir do processamento de frutas e hortaliças, apresentou alta fração de fibras insolúveis (39%) e solúveis (9,6%), além de um teor de carboidratos disponíveis de 26% e teor de proteína de 9,5% (ANDRADE; FERREIRA; GONÇALVES, 2016, FERREIRA *et al.*, 2015).

Além de ser fonte de fibras alimentares, as farinhas de subprodutos de frutas também se destacam pelo seu alto conteúdo de compostos bioativos e potencial antioxidante (GONÇALVES *et al.*, 2018, SANTOS *et al.*, 2020). Sendo assim, as fibras alimentares provenientes de subprodutos de frutas ricas em antioxidantes geralmente apresentam altos teores de polifenóis e carotenóides, combinando assim os efeitos benéficos tanto da fibra alimentar quanto dos antioxidantes, sendo portanto uma fibra alimentar antioxidante (LEÃO *et al.*, 2017).

Resende, Franca e Oliveira (2019) avaliaram o teor de fibras alimentares, compostos bioativos e potencial antioxidante de farinhas obtidas a partir do subproduto do processamento industrial de frutas de buriti e observaram que essa farinha pode ser classificada como um ingrediente funcional de alto teor de fibras alimentares, carotenoides e antioxidantes naturais.

As farinhas de subprodutos de frutas também chamam atenção devido seu potencial prebiótico. de Andrade *et al* (2020) avaliaram o potencial efeito prebiótico de farinhas de subprodutos de frutas (FVBP) e vegetais utilizando digestão gastrointestinal *in vitro* e observaram que essa farinha apresentou efeito positivo no crescimento

de *Bifidobacterium* e *Lactobacillus*, destacando que a farinha de FVBP apresentou maior efeito prebiótico que o frutooligossacarídeos (FOS) no aumento do crescimento de *Lactobacillus* após 48h de fermentação e efeito bifidogênico semelhante ao FOS no crescimento de *Bifidobacterium* em 12, 24 e 48 h de fermentação.

Um outro estudo realizado por de Melo *et al.* (2022) avaliou o potencial antioxidante de farinha de subproduto agroindustrial do bacupari em diferentes estágios de maturação e constataram que essa farinha é fonte potencial de compostos fenólicos e atividade antioxidante, especialmente a farinha da casca verde, apresentando alto teor de quinina, ácido p-cumárico, ácido m-cumárico e formononetina.

Além desses, outras farinhas de subprodutos do processamento industrial de frutas foram exploradas quanto a sua capacidade bioativa, antioxidante e teor de fibras alimentares, como por exemplo, farinhas de subprodutos de seriguela (CANGUSSU *et al.*, 2024), farinha de semente de jaca (XIAN; MAMAT; AZIZ, 2024), farinha de subproduto de abacaxi (CAMPOS *et al.*, 2020) e farinha de subproduto de manga (MARTINEZ-OLIVE *et al.*, 2023).

Estes estudos mostram que as farinhas de subprodutos do processamento de frutas podem ser utilizadas como ingrediente funcional que pode agregar valor à alimentação, uma vez que possuem efeito antioxidante comprovado, o que está relacionado a sua composição bioativa, por ser fonte de compostos fenólicos, carotenoides, ácidos orgânicos, fenólicos, flavonoides e fibras dietéticas.

### 2.3 FERMENTAÇÃO: INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS EM FRUTAS E SUPRODUTOS

Um sistema de fermentação é composto fundamentalmente por três elementos, os microorganismos, o substrato e as condições ambientais. Os microrganismos utilizados para a fermentação são muito diversos. Eles incluem bactérias, leveduras e bolores. A fermentação baseia-se na sua ação sobre o substrato que lhes fornece nutrientes para a multiplicação e fins energéticos. Podem ocorrer vários tipos de fermentação (lática, alcoólica, propiônica, malolática, butírica e etc.) que partilham a mesma característica básica de ser um catabolismo anaeróbico de compostos orgânicos cujo rendimento é inferior ao da cadeia respiratória em termos de produção de energia (SEPTEMBRE-MALATERRE; REMIZE; POUCHERET, 2018).

A fermentação é tradicionalmente iniciada por etapas simples de processamento, como adição de sal ou condição anaeróbica, que levam a um desequilíbrio da microbiota natural. A fermentação foi implementada em todo o mundo empiricamente com métodos semelhantes e resultou em uma diversidade muito grande de produtos alimentícios com sabores diferentes (FRANZ *et al.*, 2014, NURANDA, 2015, SAGDIC *et al.*, 2014, SINGH; LEE; LEE, 2017). As frutas e hortaliças fazem parte dos grupos de alimentos que são submetidos à fermentação, abrigando um ecossistema multiespécies de bactérias ácido lácticas (BAL) e leveduras (SEPTEMBRE-MALATERRE; REMIZE; POUCHERET, 2018).

As BAL são microrganismos Gram-positivos não formadores de esporos, que podem apresentar morfologia de cocos ou bacilos (KLAENHAMMER *et al.*, 2002). São oxidase e catalase negativos, não atuam na redução de nitratos a nitritos. São bactérias que se multiplicam em temperaturas que variam de 5 a 45 °C com condições ótimas de pH entre 5,5 e 6,5 (VODNAR; PAUCEAN; DULF, 2010). São anaeróbias ou anaeróbias facultativas (CARR; CHILL; MAIDA, 2002).

As principais BAL encontradas em frutas são: *Lactiplantibacillus plantarum*, *Levilactobacillus brevis*, *Lactiplantibacillus pentosus*, *Limosilactobacillus fermentum*, *Lacticaseibacillus casei*, *Lacticaseibacillus paracasei* e *Lactobacillus acidophilus*. Estas bactérias representam uma grande porção de micróbios autóctones nestes alimentos (SEPTEMBRE-MALATERRE; REMIZE; POUCHERET, 2018). Podem ser utilizadas nos processos de fermentação de alimentos vegetais, produtos lácteos e cárneos (HLADÍKOVÁ *et al.*, 2012; NIETO-LOZANO *et al.*, 2010).

Os processos de fermentação alimentar apresentam várias vantagens, uma vez que preservam e melhoram a segurança alimentar, principalmente pela formação de ácidos orgânicos (lático, acético, fórmico, propiónico, etc.), etanol e compostos antimicrobianos; além de melhorar o valor nutricional e manter a qualidade organoléptica dos produtos (RODRÍGUEZ *et al.*, 2021). A biopreservação pela fermentação do ácido lático ocorre principalmente através da síntese de uma ampla variedade de metabólitos antagonistas, como ácidos orgânicos, dióxido de carbono, etanol, diacetil e peróxido de hidrogênio, compostos antifúngicos (ácidos graxos, ácido fenil-lático) e bacteriocinas (BOURDICHON *et al.*, 2012; DI CAGNO *et al.*, 2013).

No processo de fermentação os compostos bioativos são obtidos como metabólitos secundários produzidos por microrganismos, seja por fermentação submersa, baseada no cultivo de microrganismos em meio líquido, ou por fermentação em estado sólido, com a multiplicação microbiana e formação de produto em meio sólido (DEY *et al.*, 2016). As BAL

são capazes de produzir, liberar e/ou aumentar a concentração de compostos bioativos específicos em alimentos fermentados, (LEBLANC *et al.*, 2017) tais como vitaminas, peptídeos e lipídios bioativos e enzimas (SOUZA *et al.*, 2012).

A biodisponibilidade dos polifenóis pode ser influenciada positivamente pela glucosidase, durante a fermentação, aumentando assim o potencial de eliminação de radicais *in situ*, bem como a estimulação putativa das defesas antioxidantes naturais do corpo (ESCUADERO-LÓPEZ *et al.*, 2014; MICHLMAYR; KNEIFEL, 2014). Os peptídeos bioativos são gerados durante o processo de fermentação através da proteólise enzimática, realizada por proteases únicas ou múltiplas, específicas ou inespecíficas, de moléculas proteicas maiores, geralmente sem nenhuma bioatividade (HUMISKI; ALUKO, 2007).

Levando-se em consideração as propriedades tecnológicas das BAL, há um crescente interesse na utilização dessas bactérias na fermentação de subprodutos agroindustriais do processamento de frutas, podendo estes ser direcionados para o desenvolvimento de novos produtos atrativos com propriedades bioativas.

### **2.3.1 Fermentação espontânea em frutas e subprodutos de frutas**

Durante os últimos três séculos, com a melhoria do conhecimento e das ferramentas científicas, a fermentação evoluiu de um processo tradicional centrado na comunidade em pequena escala para um processo de mercado industrializado e controlado em grande escala com restrições associadas, principalmente de segurança e qualidade. O processo de fermentação é bem controlado e as culturas starters são cada vez mais utilizadas (CORSETTI *et al.*, 2012; SEPTEMBRE-MALATERRE; REMIZE; POUCHERET, 2018). No entanto, 90% dos alimentos fermentados em todo o mundo ainda são produzidos com flora autóctone natural (TAMANG *et al.*, 2016).

A fermentação de frutas e seus subprodutos pode ser realizada “espontaneamente” pela microbiota autóctone láctica presente na matéria-prima, ou seja, *Lactobacillus* spp., *Leuconostoc* spp., *Pediococcus* spp., *Weissella* spp., *Fructobacillus* spp. e *Enterococcus* spp. sob condições favoráveis de anaerobiose, atividade de água, concentração de sal e temperatura (RODRÍGUEZ *et al.*, 2021).

Durante o processo de fermentação espontânea ocorre a multiplicação de leveduras e multiplicação de BAL, transformando os açúcares fermentáveis em etanol e ácido láctico,

resultando no aumento do lactato e na diminuição dos açúcares redutores, como resposta da via metabólica das bactérias lácticas e leveduras (CHAGAS JUNIOR *et al.*, 2021; DEUS *et al.*, 2021; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ; PÉREZ, 2021).

A fermentação provoca mudanças consideráveis que afetam as propriedades organolépticas (sabor, textura e em menor extensão a cor), o valor nutricional e a segurança microbiana dos alimentos. Logo, o interesse na fermentação se dá devido a quatro vantagens potenciais para os alimentos, como a extensão da vida de prateleira e segurança microbiológica, propriedades de saúde nutricional melhoradas, modificação organoléptica e produção de princípios ativos de interesse (HUSSAIN *et al.*, 2016; SEPTEMBRE-MALATERRE; REMIZE; POUCHERET, 2018).

Abbasi-Parizad *et al.* (2022) obtiveram resultados positivos ao avaliarem o efeito da fermentação espontânea em subprodutos de tomate e uva, o que resultou na melhora da atividade antioxidante, além de melhorar e preservar a atividade anti-inflamatória dos extratos e elevar o teor de alguns estilbenos, ácidos fenólicos e flavonoides. Chen *et al.* (2022) avaliaram o perfil de compostos voláteis em vinho Petit Verdot quando este foi submetido à fermentação espontânea e inoculada, relatando que o vinho submetido à fermentação espontânea resultou em vinhos com características mais aromáticas e regionais devido ao teor significativamente maior e variado de álcoois superiores e ésteres de acetato, o quê, segundo a análise de correlação, ocorreu devido à ação fermentativa das bactérias presentes espontaneamente no vinho (*Bacillus*, *Leuconostoc*, *Paenibacillus* e *Ralstonia*).

Embora ainda seja escasso na literatura o efeito da fermentação espontânea em frutas e subprodutos de frutas, os relatos (HUSSAIN *et al.*, 2016; SEPTEMBRE-MALATERRE; REMIZE; POUCHERET, 2018) comprovam que a fermentação espontânea pode ser eficiente no aumento da quantidade de compostos bioativos e atividade antioxidante de alimentos fermentados. Novos direcionamentos para os subprodutos de frutas são necessários para a indústria, sendo a fermentação espontânea uma tecnologia que merece destaque, uma vez que através desta pode-se proporcionar um substrato com alto teor de compostos bioativos, atividade antioxidante, presença de bactérias benéficas e apelo funcional, criando novas oportunidades para a produção de alimentos funcionais e/ou suplementos alimentares.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA E LOCAL DE EXECUÇÃO

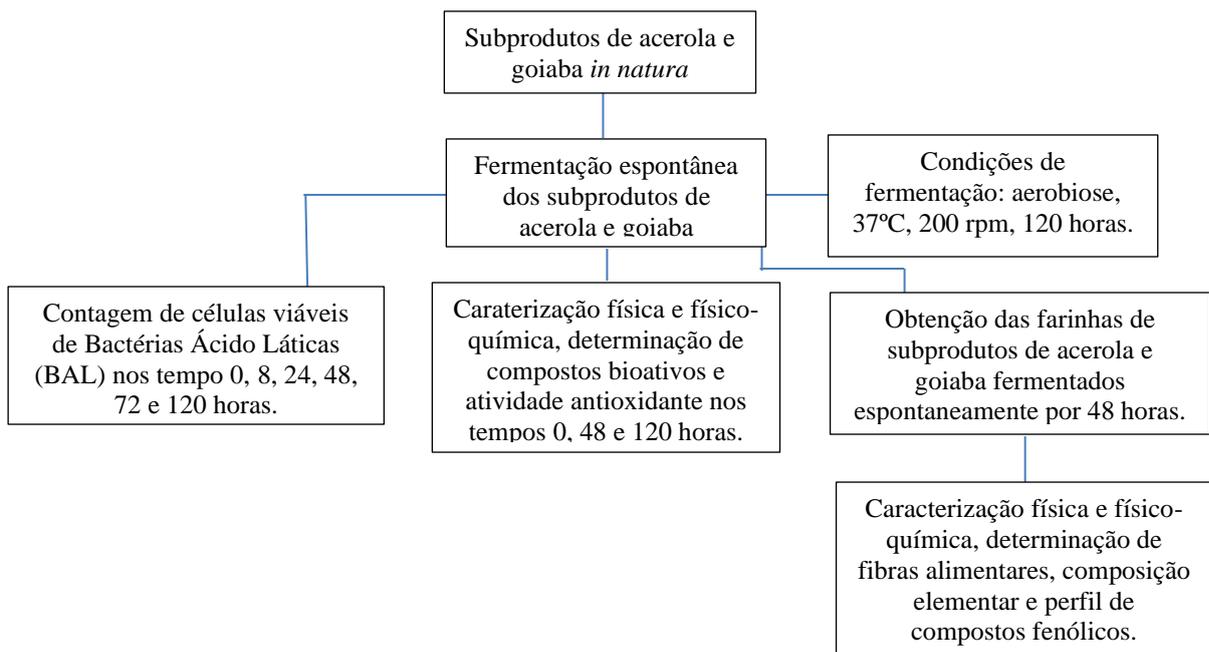
Os subprodutos de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) e goiaba (*Psidium guajava* L.) foram obtidos de empresas de processamento de polpas de fruta localizadas nas cidades de Lavras da Mangabeira – CE e João Pessoa - PB. As amostras (aproximadamente 500 g cada) foram coletadas de quatro lotes de processamento de frutas, agrupados por um total de, aproximadamente, seis kg para cada espécie de fruta. Cada tipo de subproduto foi embalado separadamente em sacos de polietileno herméticos, colocados em caixas isotérmicas com gelo e transportadas para o Laboratório de Bromatologia (LB/CCS/UFPB) da Universidade Federal da Paraíba, *Campus* I, João Pessoa - PB, onde foram armazenados a  $-18 \pm 2$  °C, até a realização dos ensaios.

A fermentação dos subprodutos do processamento de acerola e goiaba, bem como a produção das farinhas obtidas destes subprodutos, foi realizada no Laboratório de Bromatologia (LB/CCS/UFPB). As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia e Bioquímica de Alimentos (LMBA/CCS/UFPB), as análises físicas e físico-químicas (acidez, pH, sólidos solúveis totais, umidade, cinzas, atividade de água e decolorimetria) foram realizadas no Laboratório de Bromatologia (LB/CCS/UFPB), pertencentes ao Departamento de Nutrição, Centro de Ciências da Saúde (CCS) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), *Campus* I, João Pessoa - PB; a determinação de compostos fenólicos e flavonóides totais, carotenóides e da atividade antioxidante foi realizada no Laboratório de Bromatologia (LABROM), Unidade Acadêmica de Saúde (UAS), Centro de Educação e Saúde (CES), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), *Campus* de Cuité - PB; o teor de ácido ascórbico foi analisado no Laboratório de Processamento de Alimentos (LPA), Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR), UFPB, João Pessoa - PB; a determinação de fibras dietéticas totais, insolúveis e solúveis foram realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos (LANALI), no Centro Universitário Uniesp, João Pessoa - PB; o perfil de compostos fenólicos, bem como a determinação de açúcares e ácidos orgânicos foi realizada no Laboratório Experimental de Alimentos (LEA), Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Petrolina - PE; a análise de macrominerais e oligoelementos foi desenvolvida no Núcleo de Pesquisa e Extensão de Combustível e de

Materiais (LACOM), no Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN), da UFPB, *Campus I*, João Pessoa - PB.

Na Figura 5 está apresentado, de forma resumida, um fluxograma abrangendo o desenho experimental que compõe esse trabalho. Todos os ensaios foram realizados em triplicata, em dois experimentos diferentes.

Figura 5 - Desenho experimental do estudo



Fonte: Autores, 2020.

### 3.2 FERMENTAÇÃO ESPÔNTANEA DOS SUBPRODUTOS DE FRUTAS

Para preparação dos fermentados, os subprodutos de acerola e goiaba foram diluídos em água destilada esterilizada numa proporção de 1:5 (p:v) incorporados diretamente em frasco de vidro estéril com tampa e levados à fermentação sob aerobiose em agitador orbital (Tecnal, Piracicaba, São Paulo, Brasil) a uma temperatura controlada de 37 °C, com agitação de 200 rpm (Rotação por Minuto) durante 120 horas ininterruptas. Durante os intervalos dos tempos zero (Figura 6), 8, 24, 48, 72 e 120 horas de fermentação, foi realizada a contagem de células viáveis dos subprodutos fermentados.

Figura 6. Subprodutos de acerola (a) e goiaba (b) no tempo 0 da fermentação.



Fonte: Acervo pessoal, 2023.

### 3.2.1 Contagem de células viáveis durante 120 horas de fermentação

A viabilidade celular das bactérias lácticas totais (BAL) dos subprodutos levados à fermentação espontânea foi avaliada nos intervalos de tempo de 0, 8, 24, 48, 72 e 120 horas.

Para a contagem de células viáveis nos subprodutos fermentados, uma amostra de cada tratamento foi diluída em água peptonada estéril (HiMedia, Mumbai, Índia) (0,1 g 100/mL), e, em seguida, homogeneizada e diluída em série (1:9,  $10^{-1}$  a  $10^{-6}$ ) com o mesmo diluente. Uma amostra de 10  $\mu$ L de cada diluição foi inoculada em placas de ágar MRS, usando a técnica de inoculação por microgota (HERIGSTAD; HAMILTON; HEERSINK, 2001) e incubadas durante 48 horas a 37 °C sob anaerobiose (Anaerogen System Anaerogen, Oxoid). Os resultados foram expressos em log UFC/mL.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS COMPOSTOS BIOATIVOS E DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS SUBPRODUTO FERMENTADOS ESPÔNTANEAMENTE

Os subprodutos *in natura* e fermentados, foram caracterizados de acordo com os seguintes parâmetros: cor, pH, acidez titulável e sólidos solúveis totais (°Brix). Foram determinados os compostos bioativos (perfil e total de compostos fenólicos, flavonoides totais, carotenoides totais e vitamina C) e a atividade antioxidante (ABTS e FRAP), segundo metodologias descritas a seguir. Todas as análises descritas abaixo foram realizadas tanto nos subprodutos de frutas fermentado, como nos subprodutos *in natura*.

### 3.3.1 Determinação das características físico-químicas

A cor dos subprodutos foi analisada pelo sistema CIELab: L\* (0: escuro, 100: branco), a\* (valor negativo: verde, valor positivo: vermelho) e b\* (valor negativo: azul, valor positivo: amarelo) de acordo com a Comissão Internacional de Iluminação (CIE, 1986). O cálculo do ângulo Hue (°Hue) e croma (C) foi desenvolvido, segundo Liu et al. (2010), por meio da equação 1.

$$^{\circ}\text{Hue} = \arctan (b^* /a^*) \text{ e } C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \text{ (Eq. 1)}$$

Os valores de pH foram estipulados utilizando 10 g da amostra homogeneizada e um potenciômetro com eletrodo de vidro combinado, calibrado com solução tampão pH 7,0 e 4,0 (AOAC, 2016). A acidez titulável (AT) foi estabelecido por titulometria com NaOH 0,1 M na usando fenolftaleína como indicador. Para o cálculo, utilizou-se a Equação 2.

$$\text{AT (\%)} = V \times f \times 100 / P \times c \text{ (Eq. 2)}$$

Onde ‘V’ é número de mL da solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 M gasto na titulação, ‘f’ é o fator de correção da solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 M, ‘P’ é o número de g da amostra usado na titulação e ‘c’ é a correção para solução de NaOH 1 M (10 para solução NaOH 0,1 M e 100 para solução NaOH 0,01 M) (AOAC, 2016). Os resultados foram expressos em g/100 g da amostra.

Sólidos solúveis totais (°Brix): Amostras de cinco gramas dos subprodutos foram homogeneizadas com um processador de alimentos e determinadas utilizando um refratômetro digital. Os resultados foram apresentados como g de SST/100 g da amostra (GUERRA *et al.*, 2016).

### 3.3.2 Determinação do conteúdo de ácido ascórbico e carotenoides totais

O conteúdo de ácido ascórbico foi estipulado segundo o método de Tillman's. Após a padronização da solução Tillman's, titulou-se as amostras a partir de uma alíquota de 10 mL da solução contendo os subprodutos de fruta, tanto *in natura* como fermentados, que foram previamente filtradas em papel filtro qualitativo (125mm), e solução ácida de 2,6 diclorofenol na proporção 1:1 em erlenmayer de 250 mL. Em seguida, realizou-se a titulação das amostras agitando constantemente até aparecimento de coloração ligeiramente rosada, permanente por cerca de 15 segundos. Anotou-se o volume de solução de Tillman's gasto que reagiu com a solução. Repetiu-se três vezes este mesmo procedimento para cada amostra de subproduto de fruta fermentado e *in natura*, conforme descrito no método usando a solução de corante 2,6-diclorofenol-indofenol. O conteúdo total de ácido ascórbico foi expresso em mg por 100 g da amostra (mg/100g) (AOAC, 2016).

Para análise de carotenoides totais, utilizou-se a metodologia empregada por Lichtenthaler e Buschmann (2001). Para tal, pesou-se 1 grama da amostra em tubos de ensaio envoltos com papel alumínio, em seguida, 10 mL de acetona foi adicionada em cada tubo, agitada por 30 segundos em agitador de tubos e filtrado em papel filtro qualitativo (125mm). A amostra foi lida em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 470 nm, 645 nm e 662 nm, contra o branco constituído de acetona. O conteúdo total de carotenoides foi apresentado em mg por 100 g da amostra (mg/100).

### 3.3.3 Determinação do conteúdo total de fenólicos e flavonoides

Para a determinação do conteúdo total de fenólicos e flavonoides preparou-se previamente um extrato das amostras. Para tal, 2 g dos subprodutos foram homogeneizados em 10 mL de metanol a 80% por 10 min usando um mini-Turrax; após homogeneização, os extratos ficaram em descanso por 24 horas e, posteriormente, filtrados com um papel de filtro de 125 mm.

O conteúdo de fenólicos totais foi estipulado utilizando o método de Folin-Ciocalteu. Para tal, 250  $\mu$ L de cada extrato será misturado em tubo de ensaio com 1250  $\mu$ L do reagente

Folin-Ciocalteu a 10%. As soluções foram agitadas em Vortex e armazenadas em temperatura ambiente ( $25 \pm 0,5$  °C) na ausência da luz por 6 min. Após, adicionou-se 1 mL da solução de carbonato de sódio a 7,5%. A mistura foi levada ao banho maria a uma temperatura de  $50 \pm 0,5$  °C durante 5 min. Após, a absorbância foi mensurada a 765 nm utilizando espectrofotômetro. Também foi realizado um branco com a ausência dos extratos para zerar o espectrofotômetro. O conteúdo de compostos fenólicos totais das amostras foi definido utilizando uma curva padrão preparada com ácido gálico. Os resultados foram determinados em mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 gramas de amostra (mg EAG/100 g) (LIU *et al.*, 2002).

A indicação do teor total de flavonoides foi realizada segundo metodologia descrita por Guevara-Figueroa *et al.* (2010). Uma alíquota de 0,5 mL dos extratos fenólicos foi adicionada à 2 mL de água destilada em um tubo de ensaio. Em seguida, adicionou-se 150 µL de nitrito de sódio a 5%. Após 5 min, 150 µL de cloreto de alumínio a 10% foram adicionados e, após 6 min, 1 mL de hidróxido de sódio a 1 M, seguido pela adição de 1,2 mL de água destilada. A absorbância da amostra foi medida a 510 nm usando um espectrofotômetro contra um branco na ausência dos extratos. O teor de flavonoides totais foi mensurado usando uma curva padrão de equivalentes de catequina (EC). Os resultados foram expressos em mg equivalentes de catequina (EC) por 100 gramas de amostra (mg EC/100 g).

### 3.3.4 Determinação do perfil dos compostos fenólicos

Para preparo do extrato para análise de compostos fenólicos, 5g dos subprodutos foram homogeneizados em aparelho mini-Turrax (Tecnal) com 5 mL de metanol 80% (Sigma-Aldrich), em seguida, os extratos foram centrifugados ( $9000 \times g$ , 15 min, 4°C) (NT – 815, Tecnal) e filtrados em filtros de polipropileno com membranas de 0,45 µm (Millex Millipore, Barueri, SP, Brasil).

Os compostos fenólicos individuais foram determinados com cromatógrafo líquido de alta eficiência, com adaptações de gradiente e tempo de execução para quantificar diferentes classes fenólicas usando um cromatógrafo líquido Agilent 1260 Infinity System LC (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA) acoplado a um detector de arranjo de diodos (DAD) (G1315D). A coluna foi uma Zorbax Eclipse Plus RP-C18 ( $100 \times 4.6$  mm, 3.5 µm) e a pré-coluna foi uma Zorbax C18 ( $12.6 \times 4.6$  mm, 5 µm) (Agilent Technologies). A temperatura do forno foi de 35°C e o volume de injeção foi de 20 µL diluído na fase A e filtrado com filtro de 0,45 µm (Millex Millipore). O fluxo de solvente foi de 0.8 mL/min; novo gradiente utilizado

na separação foi de zero a 5 min: 5% B; 5–14 min: 23% B; 14–30 min: 50% B; 30–33 min: 80% B, onde o solvente A foi uma solução de ácido fosfórico (0.1 M, pH = 2.0) e o solvente B metanol acidificado com 0.5% de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Os dados foram processados com o software OpenLAB CDS ChemStation Edition (Agilent Technologies). A detecção de fenólicos foi feita em 220, 280, 320, 360 e 520 nm. A identificação e quantificação foram feitas por comparação com padrões externos (Sigma-Aldrich). Os resultados foram expressos em mg de fenólico para 100 g de amostra (mg/100g) (PADILHA *et al.*, 2017).

### 3.3.5 Atividade Antioxidante

Métodos distintos foram utilizados para avaliar a atividade antioxidante dos subprodutos de frutas fermentados e *in natura*, os quais: ABTS (2,2-azino-bis (3-etilbenzo-tiazoline)-6-sulfonic acid) e FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma).

Previamente, foi preparado um extrato de cada subproduto. Para isso, 2 g da amostra foi homogeneizada em 10 mL de metanol a 80% por 10 min usando um mini-Turrax, após homogeneização, os extratos foram mantidos em descanso por 24 horas, seguindo-se por filtração em papel filtro qualitativo 125 mm.

Capacidade Redutora de Ferro – FRAP: a capacidade dos extratos em reduzir o íon férrico (Fe<sup>3+</sup>) a íon ferroso (Fe<sup>2+</sup>) foram mensuradas pelo método FRAP, adaptado segundo Rockenbach *et al.* (2011). Inicialmente, foi preparado o reagente FRAP com solução tampão acetato de sódio anidro 0,3 M (pH 3,6), TPTZ (2,4,6-tris (2-pyridyl)-s-triazine) a 10 mM/L em uma solução de HCl a 40 mM e cloreto férrico (FeCl<sub>3</sub>) a 20 mM. Em uma alíquota de 200 µL do extrato foram adicionados 1800 µL da solução FRAP. Em sequência, os tubos contendo o extrato e a solução FRAP foram agitados e levados ao banho-maria a 37 °C por 30 min. A absorbância foi mensurada a 593 nm em espectrofotômetro. A curva padrão foi obtida com Trolox 1 mM e os resultados apresentados em µM Trolox por g da amostra (µM Trolox/g).

Capacidade antioxidante equivalente a Trolox – ABTS<sup>•+</sup>: a capacidade dos extratos em capturar o cátion ABTS<sup>•+</sup> (2,2-azino-bis (3-etilbenzo-tiazoline)-6-sulfonic acid), foi obtida pelo método ABTS<sup>•+</sup>. Inicialmente, foi preparado o reagente ABTS<sup>•+</sup>, que é obtido pela reação de 5 mL de ABTS a 7 mM com 88 µL de persulfato de potássio a 140 mM (concentração final de 2,45 mM), segundo método de Sariburun *et al.* (2010). Posteriormente, essa solução foi mantida em repouso, a temperatura ambiente de 12 a 16 horas em ausência de luz, para

formação do ABTS•+. Uma vez formado, o mesmo foi diluído com água destilada até obter valor de absorvância de 0,800 – 0,900 a 734 nm. A leitura da absorvância foi feita a 734 nm em espectrofotômetro, com a mistura de reação (600 µL) contendo 100 µL da amostra e 500 µL de solução ABTS•+. Também foi feita uma solução “controle” que consiste em uma alíquota de 100 µL do solvente extrator dos extratos adicionada de 500 µL do radical ABTS•+. A solução “branca” é o solvente extrator de cada extrato, utilizada para zerar o espectrofotômetro. Como referência, utilizou-se o Trolox e os resultados foram expressos em µM trolox por g da amostra (µmol Trolox/g).

#### 3.4 ELABORAÇÃO DAS FARINHAS OBTIDAS DOS SUBPRODUTOS DE ACEROLA E GOIABA FERMENTADOS ESPONTANEAMENTE

As farinha foram obtidas dos subprodutos fermentados espontaneamente por 48 horas seguindo as condições descritas no tópico 3.2 e dos subprodutos de acerola e goiaba *in natura*. O tempo de fermentação selecionado para produção das farinhas foi escolhido de acordo com os dados observados na primeira parte do estudo, onde os subprodutos de acerola e goiaba fermentados por 48 horas apresentaram melhor contagem de BAL e resposta favorável em relação ao conteúdo de compostos bioativos e atividade antioxidante, quando comparado aos outros tempos de fermentação. Para obtenção das farinhas os subprodutos *in natura* e os fermentados foram submetidos à liofilização a  $-55 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , com pressão de vácuo de  $<138 \mu\text{HG}$  e uma taxa de liofilização de 1 mm/h, por aproximadamente 24 h usando um liofilizador de bancada (LIOTOPfi, Modelo L-101, São Carlos-SP, Brasil). Em seguida foram moídos em moinho multiuso (modelo TE 631/2, Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) e peneirados em peneira de malha 40 (425 µm). As farinhas de subprodutos de acerola e goiaba *in natura* (ACE e GUA, respectivamente) e fermentadas (ACES e GUAS) (Figura 7) resultante foram armazenadas em sacos de polietileno de baixa densidade com 140 µm de espessura, envoltas em papel laminado e congeladas a  $-20^{\circ}\text{C}$  para análises posteriores.

Figura 7. Farinhas de subprodutos de acerola e goiaba *in natura* e fermentadas.



Fonte: Acervo pessoal, 2023.

### 3.5 CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS COMPOSTOS BIOATIVOS DAS FARINHAS *in natura* E FERMENTADAS ESPONTANEAMENTE

#### 3.5.1 Determinação da cor instrumental e das características físico-químicas

A determinação da cor instrumental foi realizada em colorímetro (Konica Minolta®, CR 400, Osaka, Japan), utilizando o sistema CIELAB (CIE, 1986). No espaço colorimétrico CIELAB, definido por  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , a coordenada  $L^*$  corresponde à luminosidade,  $a^*$  e  $b^*$  referem-se às coordenadas de cromaticidade verde(-)/vermelho(+) e azul(-)/amarelo(+), respectivamente.

As avaliações físico-químicas das farinhas envolveram a determinação do pH, acidez titulável (AT), atividade de água ( $A_w$ ), umidade e cinzas, que foram determinados usando procedimentos padrão (AOAC, 2019). Os valores de pH foram medidos usando um potenciômetro com eletrodo de vidro combinado (Q400AS, Diadema, SP, Brasil), a AT foi medida titulando amostras com NaOH 0,1 N, a atividade de água a  $25^\circ\text{C} \pm 1$  foi determinada por leitura direta com equipamento Aqualab (Meter®, AquaLab Série 4TEV, São José dos Campos, SP, Brasil); o teor de umidade foi determinado por secagem em estufa estabilizada a  $105^\circ\text{C}$  até obtenção de massa constante e o teor de cinzas (resíduo mineral fixo – RMF) foi quantificado por carbonização seguida de incineração em forno mufla (Jung®, modelo 0612,

Blumenau, SC, Brasil) estabilizado a 550 °C. Os conteúdos de fibras totais, insolúvel e solúvel foram determinados usando um método enzimático-gravimétrico (HORWITZ *et al.*, 2005; PROSKY *et al.*, 1988).

### 3.5.2 Determinação de macroelementos (K e Mg) e oligoelementos (Mn, Fe e Zn)

Para determinação de minerais, realizou-se a digestão ácida das amostras assistida por micro-ondas (Berghof Speedwave Entry EQ-118, Rio de Janeiro, RJ, Brasil). Aproximadamente 400 mg de cada amostra de farinha foi pesada com precisão e transferida para frascos de Teflon®, seguido da adição de 12,0 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado. A seguinte rampa de aquecimento foi utilizada: aquecimento a 170°C por 5 min, aquecimento a 190°C e mantido a essa temperatura por 15 min, em seguida a temperatura foi reduzida a 50 °C e mantida por 10 min. Durante todo o programa de aquecimento, a pressão esteve entre 80 e 90 Pa. Em seguida, as amostras foram dissolvidas em água ultrapura e transferidas para balões volumétricos de 10,0 mL.

A determinação dos minerais foi realizada segundo metodologia descrita por Dutra *et al.* (2019). Para tal, utilizou-se um espectrômetro de absorção atômica por chama, modelo AA-500 (Shimadzu AA-6300, Barueri, São Paulo, Brasil) equipado com atomizador de chama (F-AAS), forno de grafite (GF-AAS) e injetor automático de amostras. A detecção dos metais estudados foi feita em chama composta por ar sintético e gás acetileno, com acetileno de alta pureza (99,0% v/v) com vazões de 15,0 L min<sup>-1</sup> e 2,0 L min<sup>-1</sup>, respectivamente. Os comprimentos de onda das lâmpadas foram de 324,8 (K), 285,2 (Mg), 279,5 (Mn), 248,3 (Fe) e 212,9 (Zn). Soluções monoelementares de referência (Vetec®, Duque de Caxias, RJ, Brasil) foram utilizadas para construir as curvas analíticas, por meio de diluições sucessivas das soluções estoque de 1000 mgL<sup>-1</sup> de K, Mg, Mn, Fe e Zn.

### 3.5.3 Determinação do perfil de açúcares e ácidos orgânicos

Para determinar os teores de açúcares e ácidos orgânicos, foi preparado o extrato aquoso das farinhas. Assim, 2 g de amostra foram homogeneizados com 10 mL de água ultrapurificada (Milli-Q ® Integral Water Purification System, EMD Millipore, Billerica, MA, EUA) por 10

min em triturador/homogeneizador Turratec (TE-102-Tecnal®, Piracicaba, SP, Brasil). A suspensão foi centrifugada (4000×g, 15 min, a 4°C) e o sobrenadante foi filtrado em filtro de 0,45 µm (Millex Millipore, Barueri, SP, Brasil).

Posteriormente, foi realizada uma injeção do extrato em sistema de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), com um sistema LC 1260 Infinity (Agilent Technologies, Santa Clara, Califórnia, EUA) equipado com uma bomba de solvente quaternário (modelo G1311C), desgaseificador, compartimento de coluna termostato (modelo G1316A) e amostrador automático (modelo G1329B) acoplado a um detector de matriz de diodo (DAD) (modelo G1315D) e detector de índice de refração (RID) (modelo G1362A). Durante a análise, a coluna Agilent Hi-Plex H (300 x 7.7 mm) com tamanho de partícula de 8,0 µm e coluna de guarda PL Hi-Plex H (5 x 3 mm) (Agilent Technologies) foram mantidas a 50°C, o volume de injeção foi de 10 µL, vazão de 0,5 mL/min, fase móvel H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 4,0 mM em água ultrapura e corrida de 20 min. Os dados obtidos foram processados usando OpenLAB CDS ChemStation Edition™ (Agilent Technologies). Os picos e as áreas médias de pico foram utilizados para quantificação de amostras de CLAE comparando seus tempos de retenção com os padrões de ácidos orgânicos e açúcares (COELHO *et al.*, 2018, PADILHA *et al.*, 2017, BATISTA *et al.*, 2018, LIMA *et al.*, 2019). Os resultados de açúcares e ácidos orgânicos foram expressos como g por 100g de amostra (g/100g).

### 3.5.4 Determinação do perfil dos compostos fenólicos

A determinação do perfil dos compostos fenólicos seguiu a metodologia descrita no tópico 3.3.4.

## 3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os experimentos foram realizados em triplicata com réplicas independentes e os resultados expressos como a média dos testes. As análises estatísticas serão realizadas para determinar diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os resultados usando o teste t de Student ou análise de variância (ANOVA) seguido pelo teste de Tukey. Essas análises foram realizadas no software computacional GraphPad Prism 6.0 (GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA).

A análise de componentes principais (ACP), foi aplicada para avaliar a correlação da matriz entre contagens de células viáveis de BAL, carotenóides totais, flavonóides totais, ácido ascórbico, fenólicos totais, perfil fenólico e atividade antioxidante durante a fermentação. Além disso, a ACP também foi utilizada para avaliar a matriz de correlação entre o perfil fenólico e o perfil de açúcares e ácidos orgânicos nas amostras de farinha. Para realizar a ACP, utilizou-se os programa XLSTAT versão 2019.2.2.59614 (Addinsoft 2019; solução estatística e análise de dados XLSTAT. Boston, MA, EUA) e o software RStudio versão 4.3.1 (Copyright<sup>(C)</sup> 2023; R Foundation for Statistical Computing).

## REFERÊNCIAS

- ABBASI-PARIZAD, P. *et al.* Polyphenol bioactivity evolution during the spontaneous fermentation of vegetal by-products. **Food Chem.**, Barking, v. 374, p. 131791, 2022.
- ACOSTA-ESTRADA, B. A.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A.; SERNA-SALDÍVAR, S. O. Bound phenolics in foods, a review. **Food Chem.**, Barking, v. 152, p. 46-55, 2014.
- ALVAREZ-SUAREZ, J. M. *et al.* Guava (*Psidium guajava* L. cv. Red Suprema) Crude Extract Protect Human Dermal Fibroblasts against Cytotoxic Damage Mediated by Oxidative Stress. **Plant Foods Hum Nutr.**, Netherlands, v. 73, p. 18-24, 2018.
- ALVES, J. E.; FREITAS, B. M. Requerimentos de polinização da goiabeira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 5, p. 1281-1286, 2007.
- ANDRADE, R. M. S. *et al.* Potential prebiotic effect of fruit and vegetable byproducts flour using in vitro gastrointestinal digestion. **Food Research International**, v. 137, p. 109354, 2020.
- ANDRADE, R. M. S.; FERREIRA, M. S. L.; GONÇALVES, É. C. B. A. Development and characterization of edible films based on fruit and vegetable residues. **Journal of Food Science**, v. 81, n. 2, p. E412-E418, 2016.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. 21. ed. Washington: AOAC International, 2019.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis of AOAC international**. 20. ed. Washington: AOAC International, 2016, 3100 p.
- APARICIO-GARCÍA, N. *et al.* Changes in protein profile, bioactive potential and enzymatic activities of gluten-free flours obtained from hulled and dehulled oat varieties as affected by germination conditions. **LWT**, [s. l.], v. 134, n. 109955, 2020.
- ARAÚJO, C. M., *et al.* Protective Effects of Tropical Fruit Processing Coproducts on Probiotic *Lactobacillus* Strains during Freeze-Drying and Storage. **Microorganisms**, Basel, v. 8, n.1, p. 96, 2020.
- BALLI, D. *et al.* Food by-products valorisation: Grape pomace and olive pomace (pâté) as sources of phenolic compounds and fiber for enrichment of tagliatelle pasta. **Food Chem.**, Barking, v. 355, p. 129642, 2021.
- BARROS, B. R. S. *et al.* Phytochemical analysis, nutritional profile and immunostimulatory activity of aqueous extract from *Malpighia emarginata* DC leaves. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Atlanta, v. 23, n. 101442, 2020.
- BATAGLION, G. A. *et al.* Determination of the phenolic composition from Brazilian tropical fruits by UHPLC-MS/MS. **Food Chem.**, Barking, v. 180, p. 280-287, 2015.

BATISTA, K. S. *et al.* Beneficial effects of consumption of acerola, cashew or guava processing by-products on intestinal health and lipid metabolism in dyslipidaemic female Wistar rats. **British Journal Nutrition**, v. 119, p. 30-41, 2018.

BAYRAM, B. *et al.* Valorization and application of fruit and vegetable wastes and by-products for food packaging materials. **Molecules**, Basel, v. 26, n. 13, p. 4031, 2021.

BELWAL, T. *et al.* Phytopharmacology of Acerola (*Malpighia* sp.) and its potential as functional food. **Trends in Food Science & Technology**, Netherlands, v. 74, p. 99-106, 2018.

BORGES, O. M. A. *et al.* Integrated green-based methods to recover bioactive compounds from by-product of acerola processing **LWT**, [s. l.], v. 151, n. 112104, 2021.

BOURDICHON, F. *et al.* Food fermentations: Microorganisms with technological beneficial use. **Int J Food Microbiol.**, Amsterdam, v. 154, n. 3, p. 87-97, 2012.

CAETANO, A. C. S. *et al.* Evaluation of antioxidant activity of agro-industrial waste of acerola (*Malpighia emarginata* D. C.) fruit extracts. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 3, p. 769-775, 2011.

CAMPOS, D. A. *et al.* Management of fruit industrial by-products – A case study on circular economy approach. **Molecules**, Basel, v. 25, n. 2, p. 320, 2020.

CAMPOS, D. A. *et al.* Impact of functional flours from pineapple by-products on human intestinal microbiota. **Journal of Functional Foods**, v. 67, p. 103830, 2020.

CANGUSSU, L. B.; COSTA, A. L. R.; FRANCA, A. S.; de OLIVEIRA, L. S. Chemical characterization and the bioaccessibility of bioactive compounds from seriguela (*Spondias purpurea* L.) pulp and by-products flours. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 31, p. 100404, 2024.

CARR, F. J.; CHILL, D.; MAIDA, N. The Lactic Acid Bacteria: A Literature Survey. **Crit Rev Microbiol**, Boca Raton, v. 28, p. 281-370, 2002.

CARVALHO, A. V. *et al.* Chemical composition and antioxidant capacity of açai (*Euterpe oleracea*) genotypes and commercial pulps. **J. Sci Food Agric.**, London, v. 97, n. 5, p. 1467-1474, 2017.

CASAROTTI, S. N. *et al.* Probiotic low-fat fermented goat milk with passion fruit by-product: In vitro effect on obese individuals' microbiota and on metabolites production. **Food Res Int.**, Ottawa, v. 136, p. 109453, 2020.

CAVICHOLI, J. C. *et al.* Reaction in barbados cherry (*Malpighia emarginata* D.C.) to *Meloidogyne enterolobii*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, p. 156-160, 2014.

CHAGAS JUNIOR, G. C. A. *et al.* Chemical implications and time reduction of on-farm

cocoa fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia kudriavzevii*. **Food Chem.**, Barking, v. 338, p. 127834, 2021.

CHEN, H. *et al.* Effects of spontaneous fermentation on microbial succession and its correlation with volatile compounds during fermentation of Petit Verdot wine. **LWT**, [s. l.], v. 168, p. 113890, 2022.

CIE - Commission Internationale de l'Éclairage, 1986. Colourimetry, second ed. CIE Publication, Vienna

COELHO, E. M. *et al.* 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.

COMAN, V. *et al.* Bioactive potential of fruit and vegetable wastes. **Advances in Food and Nutrition Research**, Netherlands, v. 91, p. 157-225, 2020.

CORSETTI, G. *et al.* Application of starter cultures to table olive fermentation: An overview on the experimental studies. **Front Microbiol.**, Lausanne, v. 3, p. 248, 2012.

COSTA, L. C. *et al.* Viabilidade de Sementes de Acerola (*Malpighia emarginata* D. C.): Avaliação da Vitalidade dos Tecidos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 16, p. 532-534, 2003.

de MELO, A. M. *et al.* Valorization of the agro-industrial by-products of bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)) through production of flour with bioactive properties. **Food Bioscience**, v. 45, p. 101343, 2022.

DEUS, V. L. *et al.* Understanding amino acids and bioactive amines changes during on-farm cocoa fermentation. **Journal of Food Composition and Analysis**, [s. l.], v., 97, n. 103776, 2021.

DEY, T. B. *et al.* Antioxidant phenolics and their microbial production by submerged and solid state fermentation process: A review. **Trends in Food Science & Technology**, Netherlands, v. 53, p. 60-74, 2016.

DHINGRA, D.; MICHAEL, M.; RAJPUT, H.; PATIL, R. T. Dietary fibre in foods: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 49, p. 255-266, 2012.

DI CAGNO, R. *et al.* Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation. **Food Microbiol.**, London, v. 33, n. 1, p. 1-10, 2013.

DOLABELLA, R. (coord.). Centro de Estudos e Debates Estratégicos. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. **Perdas e desperdício de alimentos** – estratégias para redução. Série de cadernos de trabalhos e debates 3. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2018. *E-book* (269 p.).

DUTRA, J. C. V. *et al.* Fruiting increases total content of flavonoids and antiproliferative

effects of *Cereus jamacaru* D.C cladodes in sarcoma 180 cells *in vitro*. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 9, p. 66, 2019.

ESCUADERO-LÓPEZ, B. *et al.* Absorption, metabolism, and excretion of fermented orange juice (poly)phenols in rats. **BioFactors**, Amsterdam, v. 40, n. 3, p. 327-335, 2014.

FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, M.; PÉREZ, A. I. B. Wild yeasts involved in the natural fermentation of 'Almagro' eggplants fruits. **LWT**, [s. l.], v. 150, p. 112070, 2021.

FERREIRA, S. M.; SANTOS, L. From by-product to functional ingredient: Incorporation of avocado peel extract as an antioxidant and antibacterial agent. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, Netherlands, v. 80, p. 103116, 2022.

FERREIRA, S. M.; SANTOS, L. Incorporation of phenolic extracts from different by-products in yoghurts to create fortified and sustainable foods. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 51, p. 102293, 2022.

FERREIRA, M. S. *et al.* Formulation and characterization of functional foods based on fruit and vegetable residue flour. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, p. 822-830, 2015.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA). Generally Recognized as Safe (GRAS) Notifications. **FDA**, Maryland, 2010. Disponível em: <https://www.fda.gov/animal-veterinary/animal-food-feeds/generally-recognized-safe-gras-notification>. Acesso em: 22 jan. 2023.

FRANZ, C. M. A. P. *et al.* African fermented foods and probiotics. **In J Food Mucribiol**, Amsterdam, v. 190, p. 84-96, 2014.

GARCIA, E. F. *et al.* Identification of lactic acid bacteria in fruit pulp processing byproducts and potential probiotic properties of selected *Lactobacillus* strains. **Front Microbiol.**, Lausanne, v. 7, p. 1371, 2016.

GÓMEZ, M.; MARTINEZ, M. M. Fruit and vegetable by-products as novel ingredients to improve the nutritional quality of baked goods. **Crit Rev Food Sci Nutr.**, Boca Raton, v. 58, n. 13, p. 2119-2135, 2018.

GONÇALVES, E. C. B. A. *et al.* Byproduct generated during the elaboration process of isotonic beverage as a natural source of bioactive compounds. **Journal of Food Science**, v. 83, n. 10, p. 2478-2488, 2018.

GUERRA, I. C. D. *et al.* The effects of composite coatings containing chitosan and *Mentha (piperita* L. or *x villosa* Huds) essential oil on postharvest mold occurrence and quality of table grape cv. Isabella. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 34, p. 112–121, 2016.

GUEVARA-FIGUEROA, T. *et al.* Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.). **Journal of Food Composition**

**and Analysis**, v. 23, p. 525-532, 2010.

HERIGSTAD, B., HAMILTON, M., HEERSINK, J. How to optimize the drop plate method for enumerating bacteria. **Journal Microbiology Methods**, 44, 121–129, 2001.

HLADÍKOVÁ, Z. *et al.* Antimicrobial activity of selected lactic acid cocci and production of organic acids. **Acta Chimica Slovaca**, Bratislava, v. 5, p. 80-85, 2012.

HORWITZ, W; LATIMER J. R; GEORGE, W. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 18th ed. Gaithersburg, Maryland: AOAC. 2005.

HUMISKI, L. M.; ALUKO, R. E. Physicochemical and bitterness properties of enzymatic pea protein hydrolysates. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 72, n. 8, p. S605-S611, 2007.

HUSSAIN, A. *et a.* Fermentation, a feasible strategy for enhancing bioactivity of herbal medicines. **Food Research International**, v. 81, p. 1-16, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS (IBRAF). Frutas brasileiras em ascensão. **IBRAF**, São Paulo, 2015. Disponível em:  
[http://www.ibraf.org.br/imprensa/0901\\_FrutasBrasileirasAscensao.asp](http://www.ibraf.org.br/imprensa/0901_FrutasBrasileirasAscensao.asp). Acesso em: 17 jan. 2023.

IQBAL, A.; SCHULZ, P.; RIZVI, S. S. Valorization of bioactive compounds in fruit pomace from agro-fruit industries: Present Insights and future challenges. **Food Bioscience**, [*s. l.*], v. 44, p. 101384, 2021.

IRSHAD, Z. *et al.* **Medicinal Plants of South Asia: Novel Sources for Drug Discovery**. Amsterdam: Elsevier, 2019. p. 341–354.

JAESCHKE, D. P.; MARCZAK, L. D. F.; MERCALI, G. D. Evaluation of non-thermal effects of electricity on ascorbic acid and carotenoid degradation in acerola pulp during ohmic heating. **Food Chem.**, Barking, v. 199, p. 128–134, 2016.

JIMÉNEZ-MORENO, N. *et al.* Valorization of selected fruit and vegetable wastes as bioactive compounds: Opportunities and challenges. **Crit Rev Environ Sci Technol.**, United Kingdom, v. 50, n. 20, p. 2061-2108, 2020.

KIM, S. B.; KIM, H.; KANG, S. *In vitro* anti-bacterial and anti-inflammatory activities of lactic acid bacteria-biotransformed mulberry (*Morus alba* Linnaeus) fruit extract against *Salmonella* Typhimurium. **Food Control**, [*s. l.*], v. 106, p. 106758, 2019.

KLAENHAMMER, T. *et al.* Discovering lactic acid bacteria by genomics. **Antonie Van Leeuwenhoek**, Netherlands, v. 82, p. 29-58, 2002.

KUMAR, M. *et al.* Guava (*Psidium guajava* L.) seed: A low-volume, high-value byproduct

for human health and the food industry. **Food Chem.**, Barking, v. 386, p. 132694, 2022.

LEÃO, D. P. *et al.* Physicochemical characterization, antioxidant capacity, total phenolic and proanthocyanidin content of flours prepared from pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*) fruit by-products. **Food Chemistry**, v. 225, p. 146-153, 2017.

LEBLANC, J. G. *et al.* Beneficial effects on host energy metabolism of short-chain fatty acids and vitamins produced by commensal and probiotic bacteria. **Microb Cell Fact.**, London, v. 16, p. 01–10, 2017.

LEFFA, D. D. *et al.* Acerola (*Malpighia emarginata* DC.) juice intake protects against oxidative damage in mice fed by cafeteria diet. **Food Research International**, [s. l.], v. 77, p. 649-656, 2015.

LEITE, A. V. *et al.* Antioxidant Potential of Rat Plasma by Administration of Freeze-dried Jaboticaba Peel (*Myrciaria jaboticaba* Vell Berg). **J Agric Food Chem.**, Washington, v. 59, n. 6, p. 2277–2283, 2011.

LEONARD, W. *et al.* Fermentation transforms the phenolic profiles and bioactivities of plant-based foods. **Biotechnol Adv.**, Oxford, v. 49, 1-16, 2021.

LI, W. *et al.* Analysis of polyphenols in apple pomace: A comparative study of different extraction and hydrolysis procedures. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 147, n. 112250, 2020.

LICHTENTHALER, H. K., BUSCHMANN, C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, v. 1, p. F4. 3.1-F4. 3.8, 2001.

LING, C. X.; CHANG, Y. P. Valorizing guava (*Psidium guajava* L.) seeds through germination-induced carbohydrate changes. **J Food Sci Technol.**, Mysore, v. 54, n. 7, p. 2041-2049, 2017.

LIMA, R. S. *et al.* May the superfruit red guava and its processing waste be a potential ingredient in functional foods? **Food Research International**, v. 115, p. 451-459, 2019.

LIU, M. *et al.* Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 2926–2930, 2002

MALEGORI, C. *et al.* Comparing the analytical performances of Micro-NIR and FT-NIR spectrometers in the evaluation of acerola fruit quality, using PLS and SVM regression algorithms. **Talanta**, Amsterdam, v. 165, p. 112-116, 2017.

MANGARAJ, S.; GOSWAMI, T. K. Measurement and modeling of respiration rate of guava (cv. Baraipur) for modified atmosphere packaging. **International Journal of Food Properties**, London, v. 14, n. 3, p. 609-628, 2011.

- MARQUES, T. R. A. D. *et al.* Chemical components and functional properties of acerola (*Malpighia emarginata* DC.) residue flour. **Food Sci Technol.**, Campinas, v. 33, n. 3, p. 526-531, 2013.
- MARTÍNEZ-OLIVO, A. O. *et al.* Formulation of double emulsions of mango seed extract (*Mangifera indica* L.) 'Ataulfo' incorporated into a mango by-product flour drink: Release kinetics, antioxidant capacity, and inhibition of cyclooxygenases. **Food Hydrocolloids for Health**, v. 3, p. 100120, 2023.
- MICHLMAYR, H.; KNEIFEL, W.  $\beta$ -Glucosidase activities of lactic acid bacteria: Mechanisms, impact on fermented food and human health. **FEMS Microbiol Lett.**, Oxford, v. 352, n. 1, p. 1-10, 2014.
- MISKINIS, R. de A. S.; NASCIMENTO, L. D. do; COLUSSI, R. Bioactive Compounds from Acerola Pomace: A review. **Food Chem.**, Barking, p. 134613, 2022.
- MOHAMMADI, K. *et al.* Recent progress in the application of plant-based colloidal drug delivery systems in the pharmaceutical sciences. **Adv Colloid Interface Sci.**, Amsterdam, v. 307, p. 102734, 2022.
- MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R., *et al.* Bioactive compounds and antioxidant activity three fruit species from the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 41, p. 1–8, 2019.
- MURMU, S. B.; MISHRA, H. N. The effect of edible coating based on Arabic gum, sodium caseinate and essential oil of cinnamon and lemon grass on guava. **Food Chem.**, Barking, 245, p. 820-828, 2018.
- NARVÁEZ-CUENCA, C. E. *et al.* The phenolic compounds, tocopherols, and phytosterols in the edible oil of guava (*Psidium guava*) seeds obtained by supercritical CO<sub>2</sub> extraction. **Journal of Food Composition and Analysis**, [s. l.], v. 89, n. 103467, 2020.
- NIETO-LOZANO, J. C. *et al.* The effect of the pediocin Pa-1 produced by *Pediococcus acidilactici* against *Listeria monocytogenes* and *Clostridium perfringens* in Spanish dry-fermented sausages and frankfurters. **Food Control**, Netherlands, v. 21, n. 5, p. 679-685, 2010.
- NURANDA, L. A review: Health promoting lactic acid bacteria in traditional Indonesian fermented foods. **Food Science and Human Wellness**, [s. l.], v. 4, p. 47-55, 2015.
- OLIVEIRA, F. L. de *et al.* Fruit by-products as potential prebiotics and promising functional ingredients to produce fermented milk. **Food Res Int.**, Ottawa, v. 161, p. 111841, 2022.
- OLIVEIRA, S. D. *et al.* Improvement in physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata* DC) and guava (*Psidium guajava* L.) fruit by-products fermented with potentially probiotic lactobacilli. **LWT**, [s. l.], v. 134, p. 110200, 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). **O Estado da Segurança alimentar e nutrição do mundo**. Roma: FAO, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). **The State of Food and Agriculture 2019** – moving forward on food loss and waste reduction. Rome: FAO, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). **Global initiative on food loss and waste reduction**. Rome: FAO, 2015.

OSORIO, L. L. D. R.; FLÓREZ-LÓPEZ, E.; GRANDE-TOVAR, C. D. The potential of selected agri-food loss and waste to contribute to a circular economy: Applications in the food, cosmetic and pharmaceutical industries. **Molecules**, Basel, v. 26, n. 2, p. 515, 2021.

PADAYACHEE, A. *et al.* Complexity and health functionality of plant cell wall fibers from fruits and vegetables. **Crit Rev Food Sci Nutr.**, Philadelphia, v. 57, n. 1, p. 59-81, 2017.

PADILHA, C. V. *et al.* 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.

PAZ, M. *et al.* Brazilian fruit pulps as functional foods and additives: 508 Evaluation of bioactive compounds. **Food Chem.**, Barking, v. 172, p. 462-468, 2015.

PENG, M. Z. *et al.* Effectiveness of probiotics, prebiotics, and prebiotic-like components in common functional foods. **Compr Rev Food Sci Food Saf.**, Chicago, v. 19, n. 4, p. 1908-1933, 2020.

POLETTI, P. *et al.* Recovery of ascorbic acid, phenolic compounds and carotenoids from acerola by-products: An opportunity for their valorization. **LWT**, [s. l.], v. 146, p. 111654, 2021.

PRAKASH, A.; BASKARAN, R. Acerola, an untapped functional superfruit: A review on latest frontiers. **J Food Sci Technol.**, India, v. 55, n. 9, p. 3373-3384, 2018.

PROSKY, L. *et al.* Determination of insoluble and soluble dietary fibers in foods and food products. **Journal - Association of Official Analytical Chemists**, v. 2, p. 360-367, 1988.

RESENDE, L. M.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. B. (*Mauritia flexuosa* L. f.) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. **Food Chemistry**, v. 270, p. 53-60, 2019.

REZENDE, Y. R. R. S. NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Comparison and optimization of conventional and ultrasound assisted extraction for bioactive compounds and antioxidant activity from agro-industrial acerola (*Malpighia emarginata* DC) residue *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*. **Food Sci Technol.**, Campinas, v. 85, p. 158-169, 2017.

- REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chem.**, Barking, v. 254, p. 281-291, 2018.
- RIBEIRO, B. S.; FREITAS, S. T. de. Maturity stage at harvest and storage temperature to maintain postharvest quality of acerola fruit. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 260, n. 108901, 2020.
- RODA, A.; LAMBRI, M. Food uses of pineapple waste and by-products: A review. **Int J Food Sci Technol.**, New York, v. 54, n. 4, p. 1009-1017, 2019.
- RODRÍGUEZ, L. G. R. *et al.* Diversity and functional properties of lactic acid bacteria isolated from wild fruits and flowers present in Northern Argentina. **Front Microbiol.**, Lausanne, v. 10, p. 1091, 2019.
- RODRÍGUEZ, L. G. R. *et al.* Fruits and fruit by-products as sources of bioactive compounds. Benefits and trends of lactic acid fermentation in the development of novel fruit-based functional beverages. **Food Res Int.**, Ottawa, v. 140, p. 109854, 2021.
- ROCKENBACH, I. I. *et al.* Phenolic compounds content and antioxidant activity in pomace from selected red grapes (*Vitis vinifera* L. and *Vitis labrusca* L.) widely produced in Brazil. **Food Chemistry**, v. 127, p. 174-179, 2011.
- SAGAR, N. A. *et al.* Fruit and vegetable waste: Bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. **Compr Rev Food Sci Food Saf.**, Chicago, v. 17, p. 512-531, 2018.
- SAGDIC, O. *et al.* Diversity and probiotic potentials of lactic acid bacteria isolated from gilaburu, a traditional Turkish fermented European cranberrybush (*Viburnum opulus* L.) fruit drink. **Food Res Int.**, Ottawa, 64, p. 537-545, 2014.
- SÁNCHEZ-MESA, N. *et al.* Bioactive compounds from mango peel (*Mangifera indica* L. var. Tommy Atkins) obtained by supercritical fluids and pressurized liquids extraction. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, México, v. 19, n. 2, p. 755-766, 2020.
- SANTOS, D.; SILVA, J A. L. da.; PINTADO, M. Fruit and vegetable by-products' flours as ingredients: A review on production process, health benefits and technological functionalities. **LWT**, [s. l.], v. 154, p. 112707, 2022.
- SANTOS, I. L. *et al.* Evaluation of extruded corn breakfast cereal enriched with whole peach palm (*Bactris gasipaes*, Kunth) Flour. **Food Science and Technology**, v. 40, p. 458-464, 2020.
- SARIBURUN, E. *et al.* Phenolic content and antioxidant activity of raspberry cultivars. **Journal Food Science**, v. 5, n. 4, p. 328-335, 2010.
- SEPTEMBRE-MALATERRE, A.; REMIZE, F.; POUCHERET, P. Fruits and vegetables, as a source of nutritional compounds and phytochemicals: Changes in bioactive compounds

during lactic fermentation. **Food Res Int.**, Ottawa, v. 104, p. 86-99, 2018.

SHARMA, M. *et al.* Valorization of fruits and vegetable wastes and by-products to produce natural pigments **Crit Rev Biotechnol.**, London, v. 41, n. 4, p. 535-563, 2021.

SILVA, E. N.; FARINAS, L. O.; CADORE, S. The total concentration and bioaccessible fraction of nutrients in purées, instant cereals and infant formulas by ICP OES: a study of dietary recommended intakes and the importance of using a standardized *in vitro* digestion method. **J Food Composit Anal.**, [s. l.], v. 68, p. 65-72, 2018.

SILVA, L. M. R. *et al.* Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food Chem.**, Barking, v. 143, p. 398-404, 2014.

SINGH, D.; LEE, S.; LEE, C. H. Metabolomics for empirical delineation of the traditional Korean fermented foods and beverages. **Trends in Food Science & Technology**, Netherlands, v. 61, p. 103-115, 2017.

SOUZA, V. R. *et al.* Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian fruits of Cerrado. **Food Chem.**, Barking, v. 134, p. 381 – 386, 2012.

TAMANG, J. P. *et al.* Functional properties of microorganisms in fermented foods. **Front Microbiol.**, Lausanne, v. 7, p. 578, 2016.

TAMANG, J. P.; WATANABE, K; HOLZAPFEL, W. H. Review: Diversity of Microorganisms in Global Fermented Foods and Beverages. **Front Microbiol.**, Lausanne, v. 7, p. 377, 2016.

TREICHEL, M. *et al.* **Anuário Brasileiro da Fruticultura 2016**. Santa Cruz Do Sul: Editora Gazeta, 2016.

TRIGO, J. P. *et al.* High value-added compounds from fruit and vegetable by-products - Characterization, bioactivities, and application in the development of novel food products. **Crit Rev Food Sci Nutr.**, Philadelphia, v. 60, n. 8, p. 1388-1416, 2020.

URBINA, L.; ECELZA, A.; GABLLONDO, N. Retegi Valorization of apple waste for active packaging: Multicomponent polyhydroxyalkanoate coated nanopapers with improved hydrophobicity and antioxidant capacity. **Food Packaging and Shelf Life**, Netherlands, v. 21, n. 100356, 2019.

VODNAR, D. C.; PAUCEAN, A.; DULF, F. V. *et al.* characterization of lactic acid formation and FTIR fingerprint of probiotic bacteria during fermentation processes. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, România, v. 38, p. 109-113, 2010.

XIAN, G. S.; MAMAT, H.; AZIZ, A. H. A. Valorization of agriculture by-product: Development of gluten-free biscuit made from blends of okara and jackfruit seed flour, **Waste Management Bulletin**, 2024.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão produzidos durante o desenvolvimento da tese estão expostos em formato de artigos científicos, submetidos em revistas científicas indexadas na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos e formatados de acordo com as normas dos periódicos.

- 4.1 ARTIGO 1 - Spontaneous fermentation improves the physicochemical characteristics, bioactive compounds, and antioxidant activity of acerola (*Malpighia Emarginata* D.C.) and guava (*Psidium Guajava* L.) fruit processing by-products.  
(Artigo aceito no periódico 3 Biotech, Fator de Impacto 3,1)
- 4.2 ARTIGO 2 - Effect of spontaneous fermentation on the nutritional and bioactive properties and elemental composition of flours from by-products of acerola (*Malpighia Emarginata* D.C.) and guava (*Psidium Guajava* L.) Processing.  
(Artigo submetido no periódico 3 Biotech, Fator de Impacto 3,1)

## ARTIGO 1

Artigo publicado pela primeira vez na *3 Biotech*, v. 13, 2023. doi da Springer Nature.  
<https://doi.org/10.1007/s13205-023-03738-1>.

3 Biotech (2023) 13:315  
<https://doi.org/10.1007/s13205-023-03738-1>

ORIGINAL ARTICLE



## Spontaneous fermentation improves the physicochemical characteristics, bioactive compounds, and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) and guava (*Psidium guajava* L.) fruit processing by-products

Sabrina Duarte de Oliveira<sup>1</sup> · Evandro Leite de Souza<sup>2</sup> · Caroliny Mesquita Araújo<sup>3</sup> · Ana Cristina Silveira Martins<sup>1</sup> · Graciele da Silva Campelo Borges<sup>1</sup> · Marcos dos Santos Lima<sup>4</sup> · Vanessa Bordin Viera<sup>5</sup> · Estefânia Fernandes Garcia<sup>6</sup> · Maria Lúcia da Conceição<sup>2</sup> · Antônia Lúcia de Souza<sup>1</sup> · Maria Elieidy Gomes de Oliveira<sup>7</sup>

Received: 17 April 2023 / Accepted: 6 August 2023  
 © King Abdulaziz City for Science and Technology 2023

### Abstract

This study aimed to investigate the effects of spontaneous fermentation on physicochemical characteristics, bioactive compounds, and antioxidant activity of acerola and guava fruit industrial by-products. Viable cell counts of lactic acid bacterial (LAB) in acerola and guava by-products were  $\geq 5.0$  log CFU/mL from 24 h up to 120 h of fermentation. Fermented acerola and guava by-products had increased luminosity and decreased contrast. Contents of total soluble solids and pH decreased, and titrable acidity increased in acerola and guava by-products during fermentation. Ascorbic acid contents decreased in acerola by-product and increased in guava by-product during fermentation. Different phenolic compounds were found in acerola and guava by-products during fermentation. Fermented acerola and guava by-products had increased contents of total flavonoids, total phenolics, and antioxidant activity. The contents of total flavonoids and total phenolics positively correlated with antioxidant activity in fermented acerola and guava by-products. These results indicate that spontaneous fermentation could be a strategy to improve the contents of bioactive compounds and the antioxidant activity of acerola and guava by-products, adding value and functionalities to these agro-industrial residues.

**Keywords** Fruit by-products · Spontaneous fermentation · Phenolic compounds · Antioxidant properties

### Introduction

Acerola (*Malpighia glabra* L.) and guava (*Psidium guajava* L.) are fruit rich in phenolic compounds, vitamins, minerals, and fiber, and their consumption has been associated with

several health-promoting effects (Alvarez-Suarez et al. 2018; Jaeschke et al. 2016; Paz et al. 2015). A significant part of the acerola and guava production is directed to agro-industrial processing, with the production of large amounts of by-products commonly discarded in the environment (Araújo

✉ Maria Elieidy Gomes de Oliveira  
 mego@academico.ufpb.br

<sup>1</sup> Post-Graduate Program in Food Science and Technology, Department of Food Engineering, Federal University of Paraíba, João Pessoa 58051-900, Brazil

<sup>2</sup> Laboratory of Food Microbiology, Department of Nutrition, Federal University of Paraíba, João Pessoa 58051-900, Brazil

<sup>3</sup> Post-Graduate Program in Nutrition Sciences, Department of Nutrition, Federal University of Paraíba, João Pessoa 58051-900, Brazil

<sup>4</sup> Department of Food Technology, Federal Institute of Sertão Pernambucano, Petrolina 56302-100, Brazil

<sup>5</sup> Laboratory of Bromatology, Center of Education and Health, Federal University of Campina Grande, Cuité 58175-000, Brazil

<sup>6</sup> Department of Gastronomy, Center for Technology and Regional Development, Federal University of Paraíba, João Pessoa 58058-600, Brazil

<sup>7</sup> Laboratory of Bromatology, Department of Nutrition, Center of Health Sciences, Federal University of Paraíba, Campus I, Cidade Universitária, João Pessoa, Paraíba 58051-900, Brazil

Published online: 24 August 2023



## ARTIGO 2

---

### **Efeito da fermentação espontânea nas propriedades nutricionais, bioativas e composição elementar de farinhas de subprodutos do processamento de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) e goiaba (*Psidium guajava* L.)**

**Título resumido:** Farinha de subprodutos de frutas fermentados espontaneamente

#### **Resumo**

Este estudo teve como objetivo investigar os efeitos da fermentação espontânea no perfil nutricional de farinhas dos subprodutos do processamento de acerola e goiaba. Para isso, foram avaliados os efeitos de uma fermentação espontânea por 48 horas nas características físico-químicas e teores de diferentes compostos bioativos de farinhas obtidas do subproduto do processamento de acerola e goiaba. Houve uma redução do pH e aumento da acidez nas farinhas fermentadas, o teor de umidade, de cinzas e da atividade de água estiveram de acordo com o esperado. A farinha de subproduto de acerola fermentada teve um aumento de luminosidade, enquanto que a farinha de goiaba fermentada teve um aumento no contraste. O teor de fibras insolúveis foi superior ao de fibras solúveis nas farinhas fermentadas, no entanto, estão de acordo com o esperado para suplementos de fibras. O potássio foi o mineral predominante encontrado em todas as farinhas, seguido do magnésio e manganês, o conteúdo de ferro e zinco aumentaram após a fermentação. As concentrações de frutose e glicose diminuíram nas farinhas fermentadas ao mesmo tempo em que houve aumento dos ácidos orgânicos. O ácido gálico foi o composto fenólico encontrado em maior quantidade nas farinhas de acerola e a hesperidina foi a flavona encontrada em maior quantidade nas farinhas de goiaba. Estes resultados indicam que a produção de farinhas derivadas de subprodutos fermentados de acerola e goiaba são uma alternativa valiosa para agregar valor a esses subprodutos agroindustriais, contribuindo com a promoção da saúde.

**Palavras-chaves:** Fruit by-products; spontaneous fermentation; minerals; dietary fiber; phenolic compounds.

#### **1. Introdução**

O crescimento da população mundial nos últimos anos levou a um aumento substancial na produção de alimentos e conseqüentemente de formação de resíduos sólidos causadores de impactos ambientais negativos, sendo motivo de grande preocupação por parte das indústrias e dos órgãos de proteção ambiental. Anualmente são gerados milhares de milhões de toneladas de subprodutos provenientes da agricultura e da transformação alimentar, o que provoca graves problemas, não só para o meio ambiente, mas também para a saúde humana e economia, como também para a segurança alimentar (Lai et al., 2017; Mattsson, Williams e Berghel, 2018).

A acerola (*Malpighia emarginata* DC) e a goiaba (*Psidium guajava* L.) são frutas tropicais conhecidas por seu alto valor nutricional e teor de compostos bioativos associados a diversas propriedades promotoras de saúde (Alvarez-Suarez, 2018; Silva, Duarte e Barrozo, 2016). Porém,

parte significativa da produção de acerola e goiaba tem sido destinada ao processamento agroindustrial com geração de grandes quantidades de subprodutos, que comumente são descartados no meio ambiente (Araújo et al., 2020; Duarte et al., 2017). Estudos demonstraram que estes subprodutos alimentares são excelentes fontes de fibras alimentares; ácidos graxos poliinsaturados e outros lipídios; compostos bioativos antioxidantes; e outros compostos com propriedades funcionais e nutracêuticas, que podem ser empregados em alimentos funcionais de maior valor agregado (Silva et al., 2014; Araújo et al., 2020; Leite et al., 2011).

Além de serem utilizados como fonte de constituintes naturais, os subprodutos de frutas podem ser explorados em bioprocessos para potencializar suas propriedades bioativas, sendo um possível destino de valor agregado para esses materiais (Sagar et al., 2018). A fermentação espontânea é um bioprocessos simples tem sido aplicada há milhares de anos para a produção de alimentos (Jin, Zhu e Xu, 2017). Além de contribuir com as características sensoriais do produto, o processo de fermentação também altera a composição nutricional dos alimentos, o que se deve principalmente à atividade das enzimas microbianas, que atuam por meio da conversão de macronutrientes e da liberação de peptídeos antioxidantes e compostos fenólicos (Nascimento et al., 2023; Yan et al., 2019). Portanto, a fermentação espontânea pode ser utilizada para agregar valor nutricional e funcional a alimentos ou suplementos alimentares oriundos de subprodutos de frutas.

Até o presente momento, um único estudo foi realizado avaliando os efeitos da fermentação espontânea em subprodutos de acerola e goiaba (de Oliveira et al., 2023), no entanto, nenhum estudo desenvolveu um produto alimentício de subprodutos de frutas fermentados espontaneamente, embora possa haver uma gama de alimentos que possam ser desenvolvidos, em especial a farinha, que é um produto muito utilizado na indústria de alimentos, como por exemplo para a elaboração de produtos de panificação, além de ser uma alternativa interessante para substituição da farinha de trigo, contribuindo com a diversidade nas possibilidades de alimentos para intolerantes a glúten.

Este estudo levantou a hipótese de que a fermentação espontânea impacta positivamente no perfil nutricional de farinhas dos subprodutos do processamento de acerola e goiaba. Para testar esta hipótese, foram avaliados os efeitos de uma fermentação espontânea por 48 horas nas características físico-químicas e teores de diferentes compostos bioativos de farinhas obtidas do subprodutos do processamento de acerola e goiaba.

## **2. Material e métodos**

### *2.1 Preparação dos subprodutos de acerola e goiaba*

Os subprodutos do processamento dos frutos de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) e goiaba (*Pisidium guayaba* L.) foram obtidos de uma empresa processadora de polpa de frutas (Lavras da Mangabeira, CE, Brasil). Amostras (aproximadamente 500 g) de seis diferentes lotes de processamento foram agrupadas (totalizando aproximadamente três kg para cada subproduto), acondicionadas em sacos plásticos estéreis e armazenadas ( $-18 \pm 2$  °C). Subprodutos de acerola e goiaba foram utilizados separadamente nos experimentos.

## 2.2 Fermentação espontânea

Subprodutos de acerola e goiaba foram incorporados diretamente (1:5, p/v) em frasco de vidro estéril com tampa e submetidos à fermentação sob aerobiose em agitador orbital (Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) sob agitação (200 rpm) a  $37 \pm 1$  °C durante 48 horas. O volume final do meio de fermentação foi de 500 mL. Um prévio estudo publicado pelo grupo mostrou que o tempo de 48 horas de fermentação espontânea é o ideal para proporcionar melhoria nas propriedades físico-química, técnicas e nutricionais nos subprodutos de acerola e goiaba, sendo, portanto, escolhido na realização deste trabalho (de Oliveira et al., 2023).

## 2.3 Preparação das farinhas de acerola e goiaba

Os subprodutos de acerola e goiaba *in natura* e fermentados foram submetidos à liofilização a  $-55 \pm 2$  °C, com pressão de vácuo de  $<138$  µHG e uma taxa de liofilização de 1 mm/h, por aproximadamente 24 h usando um liofilizador de bancada (LIOTOPfi, Modelo L-101, São Carlos-SP, Brasil). Em seguida foram moídos em moinho multiuso (modelo TE 631/2, Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) e peneirados em peneira de malha 40 (425 µm). As farinhas de subprodutos de acerola e goiaba *in natura* (ACE e GUA, respectivamente) e fermentadas (ACES e GUAS) resultante foram armazenadas em sacos de polietileno de baixa densidade com 140 µm de espessura, envoltas em papel laminado e congeladas a -20 °C para análises posteriores.

## 2.4 Determinação das características físico-químicas, cor instrumental, fibras alimentares e conteúdo mineral das farinhas de subprodutos de acerola e goiaba *in natura* e fermentadas espontaneamente

A cor (L, croma e matiz<sup>o</sup>) foi determinada de acordo com McLaren (1976), enquanto o pH, acidez titulável (AT), atividade de água (Aw), umidade e cinzas, foram determinados usando procedimentos padrão (AOAC, 2019). Os valores de pH foram medidos usando um potenciômetro com eletrodo de vidro combinado (Q400AS, Diadema, SP, Brasil), a AT foi medida titulando amostras com NaOH 0.1 N, a atividade de água a  $25 \pm 1$  °C foi determinada por leitura direta com

equipamento Aqualab (Meter®, AquaLab Série 4TEV, São José dos Campos, SP, Brasil); o teor de umidade foi determinado por secagem em estufa estabilizada a 105 °C até obtenção de massa constante e o teor de cinzas (resíduo mineral fixo – RMF) foi quantificado por carbonização seguida de incineração em forno mufla (Jung®, modelo 0612, Blumenau, SC, Brasil) estabilizado a 550 °C. Os conteúdos de fibras totais, insolúvel e solúvel foram determinados usando um método enzimático-gravimétrico (HORWITZ et al., 2005; PROSKY et al., 1995).

Para determinação de minerais, realizou-se a digestão ácida das amostras assistida por micro-ondas (Berghof Speedwave Entry EQ-118, Rio de Janeiro, RJ, Brasil). Aproximadamente 400 mg de amostra seca foram pesados com precisão e transferidos para frascos de Teflon®, seguido da adição de 12,0 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado. A seguinte rampa de aquecimento foi utilizada: aquecimento a 170 °C por 5 min, aquecimento a 190 °C e mantido a essa temperatura por 15 min, em seguida a temperatura foi reduzida a 50 °C e mantida por 10 min. Durante todo o programa de aquecimento, a pressão esteve entre 80 e 90 Pa. Em seguida, as amostras foram dissolvidas em água ultrapura e transferidas para balões volumétricos de 10,0 mL. Em seguida, foi utilizado um espectrômetro de absorção atômica de chama (FAAS) (Shimadzu AA-6300, Barueri, São Paulo, Brasil) equipado com lâmpadas de cátodo oco (Shimadzu, Barueri, São Paulo, Brasil). Os comprimentos de onda em nm utilizados foram: 248.3 (Fe), 324.8 (Cu), 212.9 (Zn), 279.5 (Mn), 422.7 (Ca) e 285.2 (Mg). A chama era composta por uma mistura de ar e acetileno (99,9%) com vazões de 15.0 L min<sup>-1</sup> e 2.0 L min<sup>-1</sup>, respectivamente. Soluções monoelementares de referência (Vetec®, Duque de Caxias, RJ, Brasil) foram utilizadas para construir as curvas analíticas, por meio de diluições sucessivas das soluções estoque de 1000 mgL<sup>-1</sup> de K, Mg, Mn, Fe e Zn.

### *2.5 Perfil de açúcares e ácidos orgânicos das farinhas de acerola e goiaba in natura e fermentadas espontaneamente*

Para determinar os teores de açúcares e ácidos orgânicos, foi preparado o extrato aquoso das farinhas. Assim, 2 g de amostra foram homogeneizados com 10 mL de água ultrapurificada (Milli-Q® Integral Water Purification System, EMD Millipore, Billerica, MA, EUA) por 10 min em triturador/homogeneizador Turrtec (TE-102-Tecnal®, Piracicaba, SP, Brasil). A suspensão foi centrifugada (4000×g, 15 min, a 4°C) e o sobrenadante foi filtrado em filtro de 0.45 µm (Millex Millipore, Barueri, SP, Brasil).

Posteriormente, foi realizada uma injeção do extrato em sistema de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), com um sistema LC 1260 Infinity (Agilent Technologies, Santa Clara, Califórnia, EUA) equipado com uma bomba de solvente quaternário (modelo G1311C),

desgaseificador, compartimento de coluna termostato (modelo G1316A) e amostrador automático (modelo G1329B) acoplado a um detector de matriz de diodo (DAD) (modelo G1315D) e detector de índice de refração (RID) (modelo G1362A). Durante a análise, a coluna Agilent Hi-Plex H (300 x 7.7 mm) com tamanho de partícula de 8.0  $\mu\text{m}$  e coluna de guarda PL Hi-Plex H (5 x 3 mm) (Agilent Technologies) foram mantidas a 50 °C, o volume de injeção foi de 10  $\mu\text{L}$ , vazão de 0.5 mL/min, fase móvel H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 4.0 mM em água ultrapura e corrida de 20 min. Os dados obtidos foram processados usando OpenLAB CDS ChemStation Edition™ (Agilent Technologies). Os picos e as áreas médias de pico foram utilizados para quantificação de amostras de CLAE comparando seus tempos de retenção com os padrões de ácidos orgânicos e açúcares (COELHO et al., 2018; PADILHA et al., 2017; BATISTA et al., 2018; LIMA et al., 2019). Os resultados de açúcares e ácidos orgânicos foram expressos como g por 100g de amostra (g/100g).

## *2.6 Compostos fenólicos das farinhas de acerola e goiaba in natura e fermentadas espontaneamente*

Para preparo do extrato para análise de compostos fenólicos, 5 g das farinhas foram homogeneizados em aparelho mini-Turrax (Tecnal) com 5 mL de metanol 80% (Sigma-Aldrich), em seguida, os extratos foram centrifugados (9000 $\times$  g, 15 min, 4 °C) (NT-815, Tecnal) e filtrado com filtro de 0.45  $\mu\text{m}$  (Millex Millipore, Barueri, SP, Brasil).

Os compostos fenólicos individuais foram determinados com cromatógrafo líquido de alta eficiência, com adaptações de gradiente e tempo de execução para quantificar diferentes classes fenólicas usando um cromatógrafo líquido Agilent 1260 Infinity System LC (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA) acoplado a um detector de arranjo de diodos (DAD) (G1315D). A coluna foi uma Zorbax Eclipse Plus RP-C18 (100  $\times$  4.6 mm, 3.5  $\mu\text{m}$ ) e a pré-coluna foi uma Zorbax C18 (12.6  $\times$  4.6 mm, 5  $\mu\text{m}$ ) (Agilent Technologies). A temperatura do forno foi de 35°C e o volume de injeção foi de 20  $\mu\text{L}$  diluído na fase A e filtrado com filtro de 0,45  $\mu\text{m}$  (Millex Millipore). O fluxo de solvente foi de 0.8 mL/min; novo gradiente utilizado na separação foi de zero a 5 min: 5% B; 5–14 min: 23% B; 14–30 min: 50% B; 30–33 min: 80% B, onde o solvente A foi uma solução de ácido fosfórico (0.1 M, pH = 2.0) e o solvente B metanol acidificado com 0.5% de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Os dados foram processados com o software OpenLAB CDS ChemStation Edition (Agilent Technologies). A detecção de fenólicos foi feita em 220, 280, 320, 360 e 520 nm. A identificação e quantificação foram feitas por comparação com padrões externos (Sigma-Aldrich). Os resultados foram expressos em mg de fenólico para 100 g de amostra (mg/100g) (Dutra et al., 2018; Padilha et al., 2017).

## 2.7 Análises estatísticas

Os experimentos foram realizados em triplicata em três ocasiões independentes. Os resultados foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão. O teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov foi executado para verificar a distribuição normal dos dados. Os dados foram submetidos ao teste t de Student ou análise de variância (ANOVA) seguido do teste de Tukey considerando valor de  $p \leq 0.05$  para significância. Uma análise de componentes principais (PCA) foi realizada utilizando o software RStudio versão 4.3.1 (Copyright<sup>(C)</sup> 2023; R Foundation for Statistical Computing) para avaliar a matriz de correlação entre o perfil fenólico e o perfil de açúcar e ácidos orgânicos nas amostras de farinha.

## 3. Resultados e discussão

### 3.1 Características físico-químicas e cor instrumental das farinhas

O processo de fermentação espontânea levou a uma redução do pH ( $3.47 \pm 0.03$  para  $3.14 \pm 0.01$  e  $4.79 \pm 0.03$  para  $4.35 \pm 0.01$ ) e aumento da acidez ( $2.72 \pm 0.07$  para  $3.82 \pm 0.07$  e  $1.67 \pm 0.10$  para  $2.21 \pm 0.08$ ) em ambas as farinhas (ACE e GUA) (Tabela 1). A redução do pH com concomitante aumento da acidez é esperada em alimentos que foram submetidos a processos fermentativos (Aparicio-García et al., 2021), pois durante a fermentação ocorre a sintetização de ácidos orgânicos que diminuem o pH e, conseqüentemente, aumenta a acidez, contribuindo com a inibição do crescimento de microrganismos desfavoráveis (Zhang et al., 2024).

O teor de umidade encontrado nas farinhas do presente estudo está bem abaixo do limite de 15% estabelecido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (Brasil, 2005), sendo que ACE e ACES apresentaram maior teor de umidade ( $0.06 \pm 0.01$  e  $0.05 \pm 0.01$ , respectivamente) em comparação à GUA e GUAS. O baixo teor de umidade contribui para uma melhor conservação do produto, pois reduz a água disponível para a proliferação de microrganismos e reações químicas, impactando diretamente a vida útil, evitando a deterioração de produtos alimentícios a curto prazo (Martins et al., 2022; Leão et al., 2017).

Com respeito a atividade de água, todas as amostras apresentaram valores abaixo do limite considerado seguro para o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis. De acordo com a literatura valores de atividade de água inferiores a 0,7 contribuem para a inibição da multiplicação microbiana (Bourdoux et al., 2016), tornando a matriz microbiologicamente segura, com baixo risco de alterações físico-químicas e boa estabilidade (Martins et al., 2022; Chahdoura et al., 2018). Resultados similares foram observados no estudo de Jofre, Campderrós e Rinaldoni (2024), onde obtiveram 0.20 Aw em bagaço de uva liofilizado.

O teor de cinzas não variou significativamente entre as amostras, sendo ligeiramente baixo em comparação com outras farinhas de frutas ou vegetais (2.34 – 4.24 g/100g) (de Melo et al., 2022; Martins et al., 2022; Leão et al., 2017). Segundo Marshall (2010), o teor de cinzas nas farinhas (grãos integrais, cereais e vegetais) varia de 0.3 a 1.4 g/100g.

Com relação aos aspectos de cor, foi observado que o processo de fermentação levou a um aumento no valor de L para ACES ( $27.21 \pm 1.12$ ) em relação a ACE ( $19.67 \pm 0.16$ ), não havendo diferença estatística entre GUA e GUAS ( $p \geq 0,05$ ). Esses resultados indicam que a fermentação espontânea deixou a farinha ACES mais brilhante em relação a ACE. Quanto ao valor de croma, não houve diferença entre ACE e ACES, por outro lado, GUAS apresentou valor de croma maior do que GUA. Quando ao valor de °Hue, as amostras GUA e GUAS foram iguais e ACE e ACES diferiram entre si. Por não haver diferença no valor de L e valor de °Hue entre GUA e GUAS, a coloração das amostras não diferiu muito, exceto pelo aumento do contraste entre as duas amostras, deixando a amostra GUAS com uma coloração amarelo alaranjada, enquanto que GUA apresentou uma cor amarelada.

Os carotenoides são pigmentos naturais presentes nos alimentos, principalmente em frutas e vegetais de cor amarela, laranja e vermelha, no entanto, esses pigmentos são instáveis e sensíveis à luz, ao oxigênio e à oxidação (Nabi et al., 2023). Sendo assim, aumento no valor de L e alterações nos valores de croma e °Hue podem ser explicados por uma possível oxidação dos carotenoides durante o processo de fermentação. Além disso, os carotenoides são sensíveis ao pH ácido e ao calor, podendo sofrer isomerização com perda de cor (Amorim et al., 2022; Rodriguez-Amaya, 2015), o que pode estar relacionado as alterações nos parâmetros instrumentais de cor encontrados nesse estudo.

As fibras dietéticas são compostas de fibras solúveis (um componente da parede celular do cereal) e polissacarídeos não celulósicos insolúveis (Zhang et al., 2018). Neste estudo, como esperado, o processo de secagem por liofilização concentrou o teor de fibras nas amostras (Ramadã, Mostafa e Ied, 2018), principalmente de fibras insolúveis. Os valores de fibra insolúvel (FDI) variaram de  $24.77 \pm 0.13$  a  $69.50 \pm 0.06$  g/100g, enquanto que para fibras solúveis (FDS) esse valor esteve entre  $15.71 \pm 0.20$  e  $24.40 \pm 0.16$  g/100g (Tabela 2). O mesmo foi observado no estudo de Resende, Franca e Oliveira (2019), que avaliou o conteúdo de fibras alimentares em farinha de subproduto de frutos de buriti e observou que o teor de fibras insolúveis foi superior ao de fibras solúveis.

O teor total de fibras dietéticas (TDF) encontrado nas farinhas de subprodutos de acerola e goiaba antes e após o processo de fermentação foi similar aos relatados em outros tipos de farinhas derivadas de subprodutos de frutas, como na farinha de subproduto de buriti (87.39 g/100g), maçã

(42.2 g/100g) e framboesa (52.51 g/100g) (Resende, Franca e Oliveira, 2019; Zlatanović et al., 2019; Šarić et al., 2019). As farinhas obtidas nesse estudo atendem aos requisitos para alimentos ricos em fibras definidos pela Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar (EFSA) e pela ANVISA, que estabelece como limite mínimo para um suplemento de fibras a quantidade de 5.7g de fibras da recomendação diária de consumo (Brazil, 2018; Agostoni et al., 2010).

Com relação aos macrominerais avaliados, o potássio foi o macromineral predominante encontrado em todas as farinhas, com valores que variaram de  $142.66 \pm 0.25$  a  $278.27 \pm 0.20$  g/100g, seguido de magnésio ( $4.81 \pm 0.07$  a  $7.06 \pm 0.02$  g/100g) e manganês ( $0.05 \pm 0.01$  a  $0.37 \pm 0.01$  g/100g). Resultados semelhantes foram relatados no estudo feito por Millena et al. (2023) em grãos de cacau fermentado, com valores de potássio variaram de 12.707 a 6.865 mg/kg, e de 4.566 a 2.256 mg/kg para o magnésio. No trabalho de Dick et al. (2020) avaliando a farinha do cladódio do cacto (*Opuntia monacantha*), o potássio também foi o mineral mais abundante.

O potássio é um macromineral essencial exigido pelo organismo para manter a homeostase celular, o metabolismo, a função cardíaca e desempenha um papel fundamental na contração do músculo esquelético e liso, sendo indispensável para a função digestiva e muscular (Farag et al., 2023). Apesar das suas funções essenciais, o potássio é frequentemente consumido em níveis abaixo do ideal. A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda uma ingestão de potássio de 3.5g/dia (Leonberg-Yoo et al., 2017). O processo de fermentação espontânea favoreceu o conteúdo de potássio em ACES e GUAS, principalmente em GUAS, onde houve um aumento de 135.61 mg/100g de farinha em comparação com GUA.

Em relação aos oligoelementos, não houve diferença estatística ( $p \geq 0,05$ ) para o teor de zinco encontrado nas amostras, por outro lado, o conteúdo de ferro foi maior em GUA e GUAS ( $10.55 \pm 0.13$  e  $17.54 \pm 0,13$  g/100g, respectivamente). O conteúdo de ferro e zinco aumentou após a fermentação de sementes de tamarindo (Olagunju et al., 2018).

O processo de fermentação influenciou positivamente no conteúdo de macrominerais e oligoelementos das farinhas dos subprodutos de acerola e goiaba fermentados espontaneamente. O aumento de macrominerais e oligoelementos em alimentos fermentados ocorre porque durante a fermentação, algumas enzimas microbianas, como as fitases, podem atuar sobre compostos quelantes de minerais, por exemplo o ácido fítico, causando um aumento na disponibilidade e/ou estabilidade de alguns minerais (Sade, 2009). Devido ao seu alto teor de fibras (fração insolúvel e solúvel) e importantes minerais, as farinhas obtidas de subprodutos de fruta de acerola e goiaba podem ser utilizada para melhorar a qualidade nutricional de produtos de panificação, pois estes são frequentemente feitos de farinha refinada e/ou amido.

### 3.2 Perfil de açúcares e ácidos orgânicos

Enzimas extracelulares e ácidos orgânicos produzidos a partir de diferentes espécies microbianas e diferentes mecanismos de fermentação podem potencializar a hidrólise de macromoléculas, como os carboidratos (Osório et al., 2023). As concentrações de frutose e glicose diminuíram em ACES e GUAS, ao mesmo tempo, existe um acúmulo substancial de ácidos orgânicos nessas amostras, incluindo ácido málico, succínico, fórmico e cítrico (Tabela 2). Isto implica que durante a fermentação o perfil de ácidos orgânicos em subprodutos de acerola e goiaba é modificado. Além disso, este processo metabólico pode contribuir potencialmente para o pH mais baixo e a acidez elevada observados. A diminuição do teor de glicose e frutose nas farinhas fermentadas pode estar relacionado ao fato de que estes açúcares podem ter sido utilizados como fontes de carbono durante o processo de fermentação, estando também intimamente relacionada ao crescimento e metabolismo dos microrganismos presentes (El-Sayed et al., 2022).

Os ácidos orgânicos são responsáveis por aspectos sensoriais de sabor e atividade antimicrobiana em matrizes alimentares (Pham et al., 2022). Neste estudo, foram detectados ácido málico, succínico e fórmico em ACE, ACES, GUA e GUAS e ácido cítrico em GUA e GUAS. O teor de ácidos orgânicos foi maior nas amostras fermentadas ACES e GUAS, exceto para o ácido málico, que foi maior em ACE ( $1.35 \pm 0.01$  mg/100g) quando comparado a ACES ( $1.21 \pm 0.01$  mg/100g). O ácido málico foi o principal ácido orgânico encontrado em ACE e ACES, já em GUA e GUAS foi encontrado principalmente o ácido succínico e cítrico. O ácido málico atua na síntese de ATP, respiração mitocondrial e fosforilação oxidativa para permitir processos de liberação de energia (Ferreira, Ortigoza e Moore, 2019). O ácido cítrico atua como um importante acidulador ajustador de pH, além de ser um importante antioxidante utilizado pela indústria alimentícia (Adeyi, Ikhu-Omoregbe e Jideani, 2019). O ácido succínico pode ser produzido por microrganismos dos gêneros *Bacillus spp.*, *Lactobacillus* heterofermentativos e leveduras, o que explica seu conteúdo aumentado nas amostras fermentadas (Ribeiro et al., 2020).

### 3.3 Perfil de compostos fenólicos

Resíduos agroindustriais foram extensivamente investigados por meio de diversas estratégias de fermentação microbiana destinadas à fabricação de diversos compostos fenólicos (Saeed et al., 2021). Estudos anteriores relataram aumento no teor de compostos fenólicos em sucos de maçã, laranja e sabugueiro submetidos à fermentação láctica (Multari et al., 2020; Ricci et al., 2019). Em um prévio estudo do grupo, subprodutos de acerola e goiaba quando submetidos a fermentação espontânea também apresentaram um aumento no teor de vários compostos bioativos, bem como aumentaram a atividade antioxidante (Oliveira et al., 2023).

Os compostos fenólicos hesperidina, naringenina, catequina, kaempferol, miricetina, quercitina, isorhamnetina, ácido gálico e cis-resveratrol foram encontrados em ACE, ACES, GUA e/ou GUAS (Tabela 3). O ácido gálico foi o polifenol encontrado em maior quantidade em ACE e ACES, enquanto que hesperidina foi a flavonona encontrada em maior quantidade em GUA e GUAS. Compostos fenólicos como hesperidina, kaempferol, miricetina e quercetina, foram encontrados anteriormente em um estudo que avaliou os efeitos da fermentação espontânea em subprodutos de acerola e goiaba (Oliveira et al., 2023). Outros compostos fenólicos como hesperidina, catequina, naringenina, ácido caféico, ácido caftárico e ácido clorogênico, foram encontrados anteriormente em subprodutos *in natura* de acerola e goiaba (Araújo et al., 2020).

Os alimentos fermentados são reconhecidos como fonte de diversas substâncias bioativas com atividade promotora da saúde, como os compostos fenólicos, que podem ser produzidas devido à atividade metabólica de microrganismos envolvidos na fermentação (Melini et al., 2019). O teor de hesperidina, catequina, ácido caféico, ácido p-cumárico, ácido gálico, epicatequina, procianidina A2 e petunidina 3-glu foi maior em ACES quando comparado a ACE, por outro lado, hesperidina, naringenin, kaempferol, miricetina, rutina, ácido siríngico, ácido gálico, cis-resveratrol, epicatequina e malvidina 3-glu foi maior em GUAS quando comparado a GUA, o que pode ser explicado pela metabolização de compostos fenólicos por microrganismos durante a fermentação, aumentando seus níveis. Da mesma forma, de Oliveira et al. (2020) mostraram que subprodutos de acerola e goiaba fermentados por *L. casei* L-26, *L. fermentum* 56, *L. paracasei* 106 e *L. plantarum* 53 apresentaram teores aumentados de compostos fenólicos. Num outro estudo, o bagaço de mirtilo fermentado melhorou a atividade antioxidante, que foi positivamente correlacionada com o conteúdo de polifenóis totais. Análises adicionais de UPLC-MS revelaram quarenta e seis compostos fenólicos em bagaço fermentado, enquanto apenas trinta e oito foram detectados em bagaço de mirtilo não fermentado (Cheng et al., 2020).

Há um crescente interesse no consumo de alimentos que contenham resveratrol devido às suas muitas propriedades interessantes de promoção da saúde, como efeitos anticancerígenos, antiinflamatórios, antienvhecimento, antioxidantes e antiaterogênicos (Błaszczuk et al., 2019; Swamy, Akhtar e Sinniah, 2019; Tyunin et al., 2018). Desta forma, pode-se destacar a presença de *trans*-resveratrol em ACE e ACES ( $1.06 \pm 0.01$  e  $0.96 \pm 0.01$  mg/100g, respectivamente) e de *cis*-resveratrol em todas as amostras, com valores variando de  $0.24 \pm 0.02$  a  $5.56 \pm 0.38$  mg/100g. A composição fenólica do vinho é bem reconhecida (Palade et al. 2021; Versari et al. 2014), porém, Dantas e colaboradores (2023), observaram que o conteúdo de *trans*-resveratrol variou de 0.49 a 1.57 mg/L em vinhos tintos brasileiros, 0.43 a 1.67 mg/L em vinhos tintos espanhóis, 0.71 a 2.06 mg/L em vinhos tintos chilenos e 0.79 a 1.63 mg/L em vinhos tintos africanos, valores que foram

inferiores ao encontrado no nosso estudo para todas as farinhas.

A PCA demonstrou as diferenças e semelhanças entre ACE, ACES, GUA e GUAS em relação ao perfil de compostos fenólicos, açúcares e ácidos orgânicos (Figura 1). No gráfico é possível observar que a correlação negativa mais forte com PC3 foi encontrada para GUA, enquanto que a correlação positiva mais forte para PC3 foi encontrada para GUAS. Por outro lado, a correlação negativa mais forte com PC2 foi encontrada para ACE e a correlação positiva mais forte com PC2 foi encontrada para ACES. Como pode ser observado na PCA os compostos fenólicos estão aumentando em ACES e GUAS e diminuindo em ACE e GUA, ao mesmo tempo em que os açúcares orgânicos estão diminuindo em ACE e GUA e aumentando em ACES e GUAS, o que já é esperado, tendo em vista que os microrganismos naturalmente presentes no substrato desenvolvem sua atividade fermentativa, provocando uma transformação no material inicial e modificando sua composição bioquímica. Essas mudanças são responsáveis por causar uma série de transformação nas farinhas fermentadas, além de favorecer as suas propriedades nutricionais e contribuir com a segurança microbiológica, também conferem aspectos sensoriais característicos. Além disso, a fermentação também pode melhorar a bioacessibilidade dos compostos bioativos e, conseqüentemente, aumentar as suas propriedades relacionadas à saúde (de Oliveira et al., 2022). Dentre os processos biotecnológicos que podem agregar valor aos alimentos obtidos de subprodutos de frutas, a fermentação espontânea é uma biotecnologia simples, de baixo custo, que pode corroborar com o perfil nutricional das farinhas de subprodutos de acerola e goiaba, principalmente no que se diz respeito ao seu perfil de compostos fenólicos, de minerais e fibras alimentares. Ademais, os resultados obtidos apontam as farinhas de subprodutos de acerola e goiaba fermentadas espontaneamente como um alimento potencialmente funcional, que pode ser utilizado como suplemento alimentar ou ingrediente funcional.

#### **4. Conclusões**

Os resultados mostram que as farinhas obtidas dos subprodutos do processamento de acerola e goiaba tanto *in natura* como fermentadas espontaneamente por 48 horas possuem um excelente teor de compostos fenólicos, macrominerais e oligoelementos, fibras alimentares e ácidos orgânicos. Notou-se que ACES e GUAS apresentaram um aumento no teor de compostos fenólicos em comparação a ACE e GUA, o que se pode confirmar com a PCA. Além disso, o teor macrominerais e oligoelementos foi maior em ACES e GUAS. Por fim, estes resultados indicam que a produção de farinhas obtidas do processamento de acerola e goiaba tanto *in natura* como fermentadas espontaneamente é uma boa alternativa para agregar valor a esses subprodutos que são

fontes de compostos bioativos, potencializando sua inserção no mercado de alimentos e contribuindo com a promoção de saúde dos consumidores.

## Referências

Adeyi, O., Ikhu-Omoregbe, D. I. O., & Jideani, V. (2019). Effect of citric acid on physical stability of sunflower oil-in-water emulsion stabilized by gelatinized bambara groundnut flour. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, *10*, 2260-2273. ISSN: 0976-6308.

Agostoni, C., Bresson, J., Fairweather-Tait, S., Flynn, A., Golly, I., Korhonen, H., Lagiou, P., Løvik, M., Marchelli, R., Martin, A., Moseley, B., Berthold, M. N., Przyrembel, H., Salminen, S., Sanz, Y., Strain, S., Strobel, S., Tetens, I., Tomé, D., van Loveren, H., & Verhagen, H. (2010). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre. *EFSA Journal*, *8*, 1462. <https://dx.doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1462>

Akhtar, M. S., Swamy, M. K., & Sinniah, U. R. (2019). Natural bio-active compounds. *Production and applications*, *1*, 608. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-7154-7>

Alvarez-Suarez, J. M., Giampieri, F., Gasparini, M., Mazzoni, L., Forbes-Hernández, T. Y., Afrin, S., & Battino, M. (2018). Guava (*Psidium guajava* L. cv. Red Suprema) crude extract protect human dermal fibroblasts against cytotoxic damage mediated by oxidative stress. *Plant foods for human nutrition*, *73*, 18-24. <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0657-2>

Amorim, I. S., Almeida, M. C. S., Chaves, R. P. F., & Chiste, R. C. (2022). Technological applications and color stability of carotenoids extracted from selected Amazonian fruits. *Food Science and Technology*, *42*, 1-12. <https://doi.org/10.1590/fst.01922>

Aparicio-García, N., Martínez-Villaluenga, C., Frias, J., & Peñas, E. (2021). Production and characterization of a novel gluten-free fermented beverage based on sprouted oat flour. *Foods*, *10*, 139. <https://doi.org/10.3390/foods10010139>

Araújo, C. M., Sampaio, K. B., Menezes, F. N. D. D., Almeida, E. T. D. C., Lima, M. D. S., Viera, V. B., Garcia, E. F., Gómez-Zavaglia, A., Souza, E. L., & Oliveira, M. E. G. (2020).

Protective effects of tropical fruit processing by-products on probiotic *Lactobacillus* strains during freeze-drying and storage. *Microorganisms*, 8, 96. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8010096>

Błaszczuk, A., Sady, S., Sielicka, M. (2019). The stilbene profile in edible berries. *Phytochemistry Reviews*, 18, 7-67. <https://doi.org/10.1007/s11101-018-9580-2>

Bourdoux, S., Li, D., Rajkovic, A., Devlieghere, F., & Uyttendaele, M. (2016). Performance of drying technologies to ensure microbial safety of dried fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15, 1056-1066. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12224>

Brazil. (2018). Report analyzing the contributions of CP n° 457/2017: General Food Management - GGALI. Internet: <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3898888/Relat%C3%B3rio+de+An%C3%A1lise+de+Contribui%C3%A7%C3%B5es++CP+457-2017/1de3eb36-b152-4d3d-9411-5d2b5ac68290>. (accessed January 28, 2024).

Brazil. (2005). Technical Regulation for Cereal, Starch, Flour and Bran Products. RDC No. 263, of September 22, 2005. Internet: [http://www.puntofocal.gov.ar/notific\\_otros\\_miembros/bra170a1\\_t.pdf](http://www.puntofocal.gov.ar/notific_otros_miembros/bra170a1_t.pdf). (accessed January 22, 2024).

Chahdoura, H., Chaouch, M. A., Chouchéne, W., Chahed, A., Achour, S., Adouni, K., Mosbah, H., Majdoub, H., Flamini, G., & Achour, L. (2018). Incorporation of *Opuntia macrorhiza* Engelm. in cake-making: Physical and sensory characteristics. *LWT - Food Science and Technology*, 90, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.001>

Cheng, Y., Wu, T., Chu, X., Tang, S., Cao, W., Liang, F., Yajing, F., Siyi, P. & Xu, X. (2020). Fermented blueberry pomace with antioxidant properties improves fecal microbiota community structure and short chain fatty acids production in an in vitro mode. *LWT – Food Science and Technology*, 125, 109260. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109260>

Da Silva, L. M. R., De Figueiredo, E. A. T., Ricardo, N. M. P. S., Vieira, I. G. P., De Figueiredo,

R. W., Brasil, I. M., & Gomes, C. L. (2014). Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. *Food chemistry*, *143*, 398-404. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.001>

Dantas, D. L. L., Pereira, G. E., de Souza, A. L., & Lima, M. S. (2023). Chemometric analysis for authentication of 'Syrah' and 'Tempranillo' red wines of San Francisco Valley-Brazil compared to wines from other world regions by the molecular profile in HPLC. *Journal of Food Science and Technology*, *60*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05739-7>

Darzé, B. C., Lima, I. C., Luna, A. S., & Pinto, L. (2023). Chemometrics web app's part 2: Dimensionality reduction and exploratory analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, *237*, 104810. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2023.104810>

de Melo, A. M., Barbi, R. C. T., Costa, B. P., Ikeda, M., Carpiné, D., & Ribani, R. H. (2022). Valorization of the agro-industrial by-products of bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)) through production of flour with bioactive properties. *Food Bioscience*, *45*, 101343. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101343>

de Oliveira, F. L., Arruda, T. Y. P., Morzelle, M. C., Pereira, A. P. A., & Casarotti, S. N. (2022). Fruit by-products as potential prebiotics and promising functional ingredients to produce fermented milk. *Food Research International*, *161*, 111841. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111841>

de Oliveira, S. D., de Souza, E. L., Araújo, C. M., Martins, A. C. S., Borges, G. D. S. C., Lima, M. D. S., Vieira, V. B., Garcia, E. F., da Conceição, M. L., de Souza, A. L. & de Oliveira, M. E. G. (2023). Spontaneous fermentation improves the physicochemical characteristics, bioactive compounds, and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata* D.C) and guava (*Psidium guajava* L.) fruit processing by-products. *3 Biotech*, *13*, 315. <https://doi.org/10.1007/s13205-023-03738-1>

de Oliveira, S. D., Araujo, C. M., Borges, G. D. S. C., dos Santos Lima, M., Viera, V. B., Garcia, E. F., de Souza, E. L. & de Oliveira, M. E. G. (2020). Improvement in physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata*

DC) and guava (*Psidium guajava* L.) fruit by-products fermented with potentially probiotic lactobacilli. *LWT – Food Science and Technology*, 134, 110200. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110200>

Dick, M., Limberger, C., Thys, R. C. S., Rios, A. O., & Flôres, S. H. (2020). Mucilage and cladode flour from cactus (*Opuntia monacantha*) as alternative ingredients in gluten-free crackers. *Food Chemistry*, 314, 126178. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126178>

Duarte, F. N. D., Rodrigues, J. B., da Costa Lima, M., Lima, M. D. S., Pacheco, M. T. B., Pintado, M. M. E., Aquino, J. S., & de Souza, E. L. (2017). Potential prebiotic properties of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) agro-industrial byproduct on *Lactobacillus* species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 3712-3719. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8232>

El-Sayed, A. I., El-Borai, A. M., Akl, S. H., El-Aassar, S. A., & Abdel-Latif, M. S. (2022). Identification of *Lactobacillus* strains from human mother milk and cottage cheese revealed potential probiotic properties with enzymatic activity. *Scientific Reports*, 12, 22522. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-27003-2>

Farag, M. A., Abib, B., Qin, Z., Ze, X., & Ali, S. E. (2023). Dietary macrominerals: Updated review of their role and orchestration in human nutrition throughout the life cycle with sex differences. *Current Research in Food Science*, 6, 100450. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100450>

Ferreira, I., Ortigoza, Á., Moore, P. (2019). Magnesium and malic acid supplement for fibromyalgia. *Medwave*, 19, e7633. <https://doi.org/10.5867/medwave.2019.04.7632>

Greffeuille, V., Kayodé, A. P., Icard-Vernière, C., Gnimadi, M., Rochette, I., & Mouquet-Rivier, C. (2011). Changes in iron, zinc and chelating agents during traditional African processing of maize: effect of iron contamination on bioaccessibility. *Food chemistry*, 126, 1800-1807. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.087>

Jin, G., Zhu, Y., & Xu, Y. (2017). Mystery behind Chinese liquor fermentation. *Trends in Food Science & Technology*, 63, 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.016>

Jofre, C. M., Campderrós, M. E., & Rinaldoni, A. N. (2024). Integral use of grape: Clarified juice production by microfiltration and pomace flour by freeze-drying. Development of gluten-free filled cookies. *Food Chemistry Advances*, 4, 100583. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100583>

Lai, W. T., Khong, N. M., Lim, S. S., Hee, Y. Y., Sim, B. I., Lau, K. Y., & Lai, O. M. (2017). A review: Modified agricultural by-products for the development and fortification of food products and nutraceuticals. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 148-160. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.014>

Leão, D. P., Franca, A. S., Oliveira, L. S., Bastos, R., & Coimbra, M. A. (2017). Physicochemical characterization, antioxidant capacity, total phenolic and proanthocyanidin content of flours prepared from pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*) fruit by-products. *Food Chemistry*, 225, 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.027>

Leite, A. V., Malta, L. G., Riccio, M. F., Eberlin, M. N., Pastore, G. M., & Marostica Junior, M. R. (2011). Antioxidant potential of rat plasma by administration of freeze-dried jaboticaba peel (*Myrciaria jaboticaba* Vell Berg). *Journal of agricultural and food chemistry*, 59, 2277-2283. <https://doi.org/10.1021/jf103181x>

Leonberg-Yoo, A. K., Tighiouart, H., Levey, A. S., Beck, G. J., & Sarnak, M. J. (2017). Urine potassium excretion, kidney failure, and mortality in CKD. *American Journal of Kidney Diseases*, 69, 341-349.

Marshall, M. R. (2010). Ash analysis. *Food analysis*, 4, 105-116. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_16)

Martins, A. C. S., Medeiros, G. K. V. V., da Silva, J. Y. P., Vieira, V. B., Barros, P. S., Lima, M. S., da Silva, M. S., Tavares, J. F., do Nascimento, Y. M., da Silva, E. F., Soares, J. K. B., de Souza, E. L., & de Oliveira, M. E. G. (2022). Physical, Nutritional, and Bioactive Properties of Mandacaru Cladode Flour (*Cereus jamacaru* D.C.): An Unconventional Food Plant from the Semi-Arid Brazilian Northeast. *Foods*, 11, 3814. <https://doi.org/10.3390/foods11233814>

Mattsson, L., Williams, H., & Berghel, J. (2018). Waste of fresh fruit and vegetables at retailers in Sweden—Measuring and calculation of mass, economic cost and climate impact. *Resources, Conservation and Recycling*, *130*, 118-126. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.037>

Meini, M. R., Cabezudo, I., Boschetti, C. E., & Romanini, D. (2019). Recovery of phenolic antioxidants from Syrah grape pomace through the optimization of an enzymatic extraction process. *Food Chemistry*, *283*, 257-264. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.037>

Millena, C. G., Balonzo, A. R. R., Rentoy, J. R., Ruivivar, S. S., & Bobiles, S. C. (2023). Effect of fermentation stages on the nutritional and mineral bioavailability of cacao beans (*Theobroma cacao* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, *115*, 104886. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104886>

Multari, S., Carafa, I., Barp, L., Caruso, M., Licciardello, C., Larcher, R., Tuohy, K., & Martens, S. (2020). Effects of *Lactobacillus* spp. on the phytochemical composition of juices from two varieties of *Citrus sinensis* L. Osbeck: ‘Tarocco’ and ‘Washington navel’. *LWT - Food Science and Technology*, *125*, Article 109205. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109205>

Nabi, B. G., Mukhtar, M., Ahmed, W., Manzoor, M. F., Ranjha, M. M. A. N., Kieliszek, M., Bhat, Z. F., & Aadil, R. M. (2023). Natural pigments: Anthocyanins, carotenoids, chlorophylls, and betalains as food colorants in food products. *Food Bioscience*, *52*, 102403. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102403>

Nascimento, A. L. A. A., de Souza, M. S. D. S., Borges, L. L. R., Eller, M. R., de Barros, F. A. R., Mendonça, A. C., Azevedo, L., do Carmo, M. A. V., Lima, A. S., Cruz, L. S., Castro, G. A. D., Fernandes, S. A., & Stringheta, P. C. (2023). Influence of spontaneous and inoculated fermentation of açai on simulated digestion, antioxidant capacity and cytotoxic activity. *Food Research International*, *173*, 113222. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113222>

Olagunju, O. F., Ezekiel, O. O., Ogunshe, A. O., Oyeyinka, S. A., & Ijabadeniyi, O. A. (2018). Effects of fermentation on proximate composition, mineral profile and antinutrients of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed in the production of daddawa-type condiment. *LWT - Food Science and Technology*, *90*, 455-459. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.064>

Osorio, V., Medina, R., Acuña, J. R., Pabón, J., Álvarez, C. I., Matallana, L. G., & Fernández-Alduenda, M. R. (2023). Transformation of organic acids and sugars in the mucilage and coffee beans during prolonged fermentation. *Journal of Food Composition and Analysis*, *123*, 105551. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105551>

Palade LM, Croitoru C, Albu C, Radu GL, Popa ME (2021) Identification of tentative traceability markers with direct implications in polyphenol fingerprinting of red wines: application of LC-MS and chemometrics methods. *Separations* 8(12):233. <https://doi.org/10.3390/separations8120233>

Pham, V. H., Abbas, W., Huang, J., He, Q., Zhen, W., Guo, Y., & Wang, Z. (2022). Effect of blending encapsulated essential oils and organic acids as an antibiotic growth promoter alternative on growth performance and intestinal health in broilers with necrotic enteritis. *Poultry Science*, *101*, 101563. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101563>

Ramadan, B., Mostafa, T., & Ied, Walaa. (2018). Effect of drying methods on chemical composition, mineral and antioxidants of saidy date (*Phoenix dactylifera* L.) fruits eesidue. *Journal of Food and Dairy Sciences*, *9*, 127-132. <https://doi.org/10.21608/jfds.2018.35430>

Resende, L. M., Franca, A. S., & Oliveira, L. S. (2019). Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. *Food Chemistry*, *270*, 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.079>

Ribeiro, L. S., da Cruz Pedrozo Miguel, M. G., Martinez, S. J., Bressani, A. P. P., Evangelista, S. R., Silva e Batista, C. F., & Schwan, R. F. (2020). The use of mesophilic and lactic acid bacteria strains as starter cultures for improvement of coffee beans wet fermentation. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *36*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02963-7>

Rodriguez-Amaya, D. B. (2015). *Food carotenoids: Chemistry, biology and technology*. John Wiley & Sons. ISBN: 978-1-118-73330-1.

Sade, F. O. (2009). Proximate, antinutritional factors and functional properties of processed

- pearl millet (*Pennisetum glaucum*). *Journal of Food Technology*, 7, 92-97. ISSN: 1684-8462.
- Saeed, S., Baig, U. U. R., Tayyab, M., Altaf, I., Irfan, M., Raza, S. Q., Nadeem, F., & Mehmood, T. (2021). Valorization of banana peels waste into biovanillin and optimization of process parameters using submerged fermentation. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 36, 102154. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102154>
- Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., & Lobo, M. G. (2018). Fruit and vegetable waste: Bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17, 512-531. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12330>
- Šarić, B., Dapčević-Hadnađev, T., Hadnađev, M., Sakač, M., Mandić, A., Mišan, A., & Škrobot, D. (2019). Fiber concentrates from raspberry and blueberry pomace in gluten-free cookie formulation: Effect on dough rheology and cookie baking properties. *Journal of texture studies*, 50, 124-130. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12374>
- Silva, P. B., Duarte, C. R., & Barrozo, M. A. (2016). Dehydration of acerola (*Malpighia emarginata* DC) residue in a new designed rotary dryer: Effect of process variables on main bioactive compounds. *Food and Bioproducts Processing*, 98, 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.12.008>
- Tyunin, A. P., Nityagovsky, N. N., Grigorchuk, V. P., & Kiselev, K. V. (2018). Stilbene content and expression of stilbene synthase genes in cell cultures of *Vitis amurensis* treated with cinnamic and caffeic acids. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 65, 150-155. <https://doi.org/10.1002/bab.1564>
- Versari, A., Laurie, V. F., Ricci, A., Laghi, L., & Parpinello, G. P. (2014). Progress in authentication, typification and traceability of grapes and wines by chemometric approaches. *Food Research International*, 60, 2-18. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.007>
- Yan, Y., Zhang, F., Chai, Z., Liu, M., Battino, M., & Meng, X. (2019). Mixed fermentation of blueberry pomace with *L. rhamnosus* GG and *L. plantarum*-1: Enhance the active ingredient, antioxidant activity and health-promoting benefits. *Food and Chemical Toxicology*, 131, 110541. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.05.049>

Zhang, H., Wang, H., Cao, X., & Wang, J. (2018) Preparation and modification of high dietary fiber flour: A review. *Food Research International*, 113, 24-35. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.068>

Zhang, T., Hong, S., Zhang, J., Liu, P., Li., S. Y., Wen, Z., Xiaoc, J., Zhang, G., Habimana, O., Nagendra, X. P., Zhongquan, S., & Corke, H. (2024). The effect of lactic acid bacteria fermentation on physicochemical properties of starch from fermented proso millet flour. *Food Chemistry*, 437, 137764. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137764>

Zlatanović, S., Kalušević, A., Micić, D., Laličić-Petronijević, J., Tomić, N., Ostojić, S., & Gorjanović, S. (2019). Functionality and storability of cookies fortified at the industrial scale with up to 75% of apple pomace flour produced by dehydration. *Foods*, 11, 561. <https://doi.org/10.3390/foods8110561>

## Figuras

**Figure 1.** Análise de componentes principais (PCA) dos compostos fenólicos, açúcares e ácidos orgânicos das farinhas de acerola (n = 3) e goiaba (n = 3) *in natura* e fermentadas espontaneamente. ACE: farinha de subproduto de acerola *in natura*; ACES: farinha de subprodutos de acerola fermentada espontaneamente; GUA: farinha de subproduto de goiaba *in natura*; GUAS: farinha de subproduto de goiaba fermentada espontaneamente.

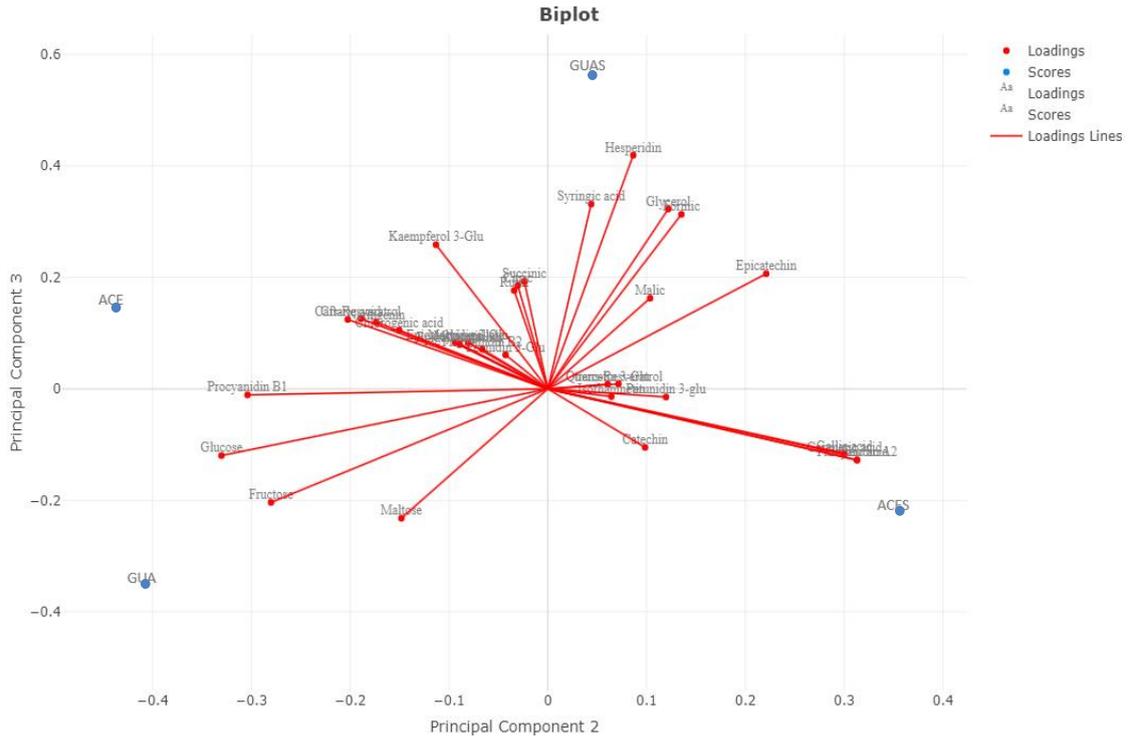


Fig. 1

Tabela 1. Composição físico-química, cor instrumental, teor de fibra alimentar e conteúdo

mineral (média  $\pm$  desvio padrão) das farinhas de acerola e goiaba *in natura* e fermentadas espontaneamente.

Parâmetros	Farinhas			
	ACE	ACES	GUA	GUAS
pH	3.47 $\pm$ 0.03 <sup>C</sup>	3.14 $\pm$ 0,01 <sup>D</sup>	4.79 $\pm$ 0,03 <sup>A</sup>	4.35 $\pm$ 0.01 <sup>B</sup>
Acidez (g/100g)	2.72 $\pm$ 0.07 <sup>B</sup>	3.82 $\pm$ 0,07 <sup>A</sup>	1.67 $\pm$ 0,10 <sup>D</sup>	2.21 $\pm$ 0.08 <sup>C</sup>
Umidade (g/100g)	0.06 $\pm$ 0,01 <sup>A</sup>	0,05 $\pm$ 0,01 <sup>B</sup>	0,04 $\pm$ 0,01 <sup>C</sup>	0,04 $\pm$ 0,01 <sup>C</sup>
Cinzas (g/100g)	0.50 $\pm$ 0,01 <sup>A</sup>	0,50 $\pm$ 0,01 <sup>A</sup>	0,53 $\pm$ 0,02 <sup>A</sup>	0,53 $\pm$ 0,02 <sup>A</sup>
Atividade de água	0.29 $\pm$ 0,01 <sup>B</sup>	0,28 $\pm$ 0,01 <sup>B</sup>	0,31 $\pm$ 0,01 <sup>A</sup>	0,29 $\pm$ 0,01 <sup>B</sup>
<b>Cor</b>	.			
Valor de L	19,67 $\pm$ 0,16 <sup>C</sup>	27,21 $\pm$ 1,12 <sup>A</sup>	23,46 $\pm$ 0,02 <sup>B</sup>	23,91 $\pm$ 0,39 <sup>B</sup>
Valor Cromo	11,65 $\pm$ 0,04 <sup>A</sup>	11,65 $\pm$ 0,34 <sup>A</sup>	6,62 $\pm$ 0,02 <sup>C</sup>	8,08 $\pm$ 0,10 <sup>B</sup>
Valor de °Hue	8,01 $\pm$ 0,10 <sup>C</sup>	14,92 $\pm$ 0,68 <sup>B</sup>	16,78 $\pm$ 0,01 <sup>A</sup>	15,81 $\pm$ 0,15 <sup>AB</sup>
<b>Fibra alimentar (g/100g)</b>				
FDI <sup>1</sup>	28,27 $\pm$ 0,19 <sup>B</sup>	24,77 $\pm$ 0,13 <sup>C</sup>	69,50 $\pm$ 0,06 <sup>A</sup>	43,71 $\pm$ 0,32 <sup>A</sup>
FDS <sup>2</sup>	19,88 $\pm$ 0,13 <sup>B</sup>	17,71 $\pm$ 0,32 <sup>C</sup>	15,71 $\pm$ 0,20 <sup>D</sup>	24,40 $\pm$ 0,16 <sup>C</sup>
FDT <sup>3</sup>	43,66 $\pm$ 0,38 <sup>C</sup>	42,77 $\pm$ 0,04 <sup>D</sup>	85,06 $\pm$ 0,04 <sup>A</sup>	68,27 $\pm$ 0,04 <sup>B</sup>
<b>Macrominerais e oligoelementos (mg/100g)</b>				
Potássio	185,22 $\pm$ 0,31 <sup>C</sup>	263,12 $\pm$ 0,01 <sup>B</sup>	142,66 $\pm$ 0,25 <sup>D</sup>	278,27 $\pm$ 0,20 <sup>A</sup>
Magnésio	6,70 $\pm$ 0,07 <sup>B</sup>	6,86 $\pm$ 0,07 <sup>A</sup>	4,81 $\pm$ 0,07 <sup>C</sup>	7,06 $\pm$ 0,02 <sup>A</sup>
Manganês	0,09 $\pm$ 0,01 <sup>C</sup>	0,05 $\pm$ 0,01 <sup>D</sup>	0,14 $\pm$ 0,01 <sup>B</sup>	0,37 $\pm$ 0,01 <sup>A</sup>
Ferro	5,49 $\pm$ 0,32 <sup>D</sup>	8,07 $\pm$ 0,01 <sup>C</sup>	10,55 $\pm$ 0,13 <sup>B</sup>	17,54 $\pm$ 0,63 <sup>A</sup>
Zinco	2,33 $\pm$ 0,13 <sup>A</sup>	2,71 $\pm$ 0,32 <sup>A</sup>	2,44 $\pm$ 0,25 <sup>A</sup>	2,71 $\pm$ 0,06 <sup>A</sup>

FDI<sup>1</sup>

– Fibra dietética insolúvel; FDS<sup>2</sup> - Fibra dietética solúvel; FDT<sup>3</sup> – Fibra dietética total.

Os resultados são expressos como média (n = 3)  $\pm$  desvio padrão.

A-D: Média  $\pm$  desvio padrão com diferentes letras maiúsculas na mesma linha diferem (p  $\leq$  0,05) entre os tempos de fermentação, com base no teste de Tukey.

**Tabela 2.** Perfil de açúcares e ácidos orgânicos (média  $\pm$  desvio padrão) das farinhas de acerola e goiaba *in natura* e fermentadas espontaneamente.

Parâmetros	Farinhas			
	ACE	ACES	GUA	GUAS
<b>Simple sugars (mg/100 g)</b>				
Fructose	3,35 $\pm$ 0,01 <sup>Aa</sup>	1,26 $\pm$ 0,07 <sup>Ba</sup>	3,19 $\pm$ 0,01 <sup>Aa</sup>	0,85 $\pm$ 0,07 <sup>Ca</sup>
Glucose	2,19 $\pm$ 0,01 <sup>Ab</sup>	<LOD	2,04 $\pm$ 0,01 <sup>Bb</sup>	0,38 $\pm$ 0,01 <sup>Cb</sup>
Maltose	<LOD	<LOD	0,13 $\pm$ 0,01 <sup>Ac</sup>	0,04 $\pm$ 0,01 <sup>Bc</sup>
Ramnose	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
<b>Organic acids (mg/100 g)</b>				
Malic	1,35 $\pm$ 0,01 <sup>Aa</sup>	1,21 $\pm$ 0,01 <sup>Ba</sup>	<LOD	0,61 $\pm$ 0,06 <sup>Cc</sup>
Succinic	0,09 $\pm$ 0,01 <sup>Db</sup>	0,12 $\pm$ 0,01 <sup>Cb</sup>	0,96 $\pm$ 0,01 <sup>Ba</sup>	2,01 $\pm$ 0,01 <sup>Aa</sup>
Formic	0,05 $\pm$ 0,01 <sup>Cb</sup>	0,14 $\pm$ 0,03 <sup>Bb</sup>	0,05 $\pm$ 0,01 <sup>Cc</sup>	0,45 $\pm$ 0,01 <sup>Ad</sup>
Citric	<LOD	<LOD	0,43 $\pm$ 0,01 <sup>Bb</sup>	0,93 $\pm$ 0,02 <sup>Ab</sup>
Tartaric	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Lactic	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Acetic	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Propionic	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

Os resultados são expressos como média (n = 3)  $\pm$  desvio padrão.

A-D: Média  $\pm$  desvio padrão com diferentes letras maiúsculas na mesma linha diferem ( $p \leq 0,05$ ) entre os tempos de fermentação, com base no teste de Tukey.

a-d: Média  $\pm$  desvio padrão com diferentes letras minúsculas na mesma coluna diferem ( $p \leq 0,05$ ) entre subprodutos fermentados do processamento de frutas, com base no teste t de Student.

**Tabela 3.** Compostos fenólicos (média  $\pm$  desvio padrão) identificados nas farinhas de acerola e goiaba *in natura* e fermentadas espontaneamente.

Parameters	Fruit by-product flours			
	ACE	ACES	GUA	GUAS
<b>Phenolic compounds (mg/100 g)</b>				
<i>Flavonones</i>				
Hesperidin	2,41 $\pm$ 0,32 <sup>Bb</sup>	2,56 $\pm$ 0,25 <sup>ABCa</sup>	1,72 $\pm$ 0,32 <sup>Ca</sup>	3,44 $\pm$ 0,25 <sup>Aa</sup>
Naringenin	8,78 $\pm$ 0,12 <sup>Aa</sup>	1,61 $\pm$ 0,19 <sup>Bb</sup>	0,61 $\pm$ 0,06 <sup>Cb</sup>	0,82 $\pm$ 0,20 <sup>Cb</sup>
<i>Flavanol</i>				
Catechin	3,09 $\pm$ 0,01 <sup>B</sup>	3,51 $\pm$ 0,06 <sup>A</sup>	1,15 $\pm$ 0,07 <sup>C</sup>	0,41 $\pm$ 0,06 <sup>D</sup>
<i>Flavonol</i>				
Kaempferol	0,93 $\pm$ 0,04 <sup>Ac</sup>	0,40 $\pm$ 0,08 <sup>Bc</sup>	0,18 $\pm$ 0,08 <sup>Cc</sup>	0,45 $\pm$ 0,03 <sup>Bc</sup>
Myricetin	54,27 $\pm$ 0,06 <sup>Aa</sup>	20,94 $\pm$ 0,06 <sup>Ba</sup>	0,72 $\pm$ 0,20 <sup>Ca</sup>	0,90 $\pm$ 0,01 <sup>Cb</sup>
Quercitin	6,34 $\pm$ 0,13 <sup>Ab</sup>	5,71 $\pm$ 0,18 <sup>Bb</sup>	0,38 $\pm$ 0,01 <sup>Cb</sup>	0,27 $\pm$ 0,01 <sup>C</sup>
Rutin	<LOD	<LOD	0,71 $\pm$ 0,05 <sup>Ba</sup>	1,41 $\pm$ 0,07 <sup>Aa</sup>
Isorhamnetin	6,20 $\pm$ 0,01 <sup>Ab</sup>	5,65 $\pm$ 0,04 <sup>Bb</sup>	0,68 $\pm$ 0,01 <sup>Ca</sup>	0,24 $\pm$ 0,01 <sup>Dd</sup>
<i>Hydroxybenzoic acids</i>				
Syringic acid	<LOD	<LOD	<LOD	0,05 $\pm$ 0,01 <sup>A</sup>
<i>Hydroxynamic acids</i>				
Caffeic Acid	<LOD	0,53 $\pm$ 0,01 <sup>Aab</sup>	<LOD	<LOD
p-Coumaric acid	0,05 $\pm$ 0,01 <sup>Bc</sup>	0,61 $\pm$ 0,01 <sup>Aa</sup>	<LOD	<LOD
Caftaric Acid	0,32 $\pm$ 0,01 <sup>Ab</sup>	<LOD	<LOD	<LOD
Chlorogenic Acid	2,00 $\pm$ 0,01 <sup>Aa</sup>	0,41 $\pm$ 0,01 <sup>Bb</sup>	<LOD	<LOD
<i>Polyphenols</i>				
Acid gallic	15,88 $\pm$ 0,13 <sup>Ba</sup>	134,55 $\pm$ 0,13 <sup>Aa</sup>	0,38 $\pm$ 0,06 <sup>Da</sup>	1,01 $\pm$ 0,01 <sup>Ca</sup>
Trans-resveratrol	1,06 $\pm$ 0,01 <sup>Ac</sup>	0,96 $\pm$ 0,01 <sup>Bb</sup>	<LOD	<LOD
Cis-resveratrol	5,56 $\pm$ 0,38 <sup>Ab</sup>	0,72 $\pm$ 0,32 <sup>Bc</sup>	0,24 $\pm$ 0,02 <sup>Ca</sup>	0,34 $\pm$ 0,04 <sup>Cb</sup>
Epcatechin	0,42 $\pm$ 0,01 <sup>Bd</sup>	0,56 $\pm$ 0,01 <sup>Ad</sup>	<LOD	0,35 $\pm$ 0,01 <sup>Cb</sup>
Epcatechin gallate	1,05 $\pm$ 0,01 <sup>Ac</sup>	0,36 $\pm$ 0,03 <sup>Be</sup>	<LOD	<LOD
Epigallocatechin	0,72 $\pm$ 0,20 <sup>Ad</sup>	0,23 $\pm$ 0,01 <sup>Be</sup>	0,01 $\pm$ 0,01 <sup>Cb</sup>	<LOD
<i>Anthocyanins</i>				
Procyanidin B1	0,21 $\pm$ 0,01 <sup>Bd</sup>	<LOD	0,33 $\pm$ 0,01 <sup>Aa</sup>	0,23 $\pm$ 0,01 <sup>Bb</sup>
Procyanidin B2	1,02 $\pm$ 0,01 <sup>Ac</sup>	0,51 $\pm$ 0,06 <sup>Be</sup>	<LOD	<LOD
Procyanidin A2	<LOD	0,80 $\pm$ 0,01 <sup>Ad</sup>	<LOD	<LOD
Petunidin 3-glu	1,24 $\pm$ 0,03 <sup>Bc</sup>	1,64 $\pm$ 0,14 <sup>Ac</sup>	<LOD	<LOD
Peonidin 3-glu	11,63 $\pm$ 0,03 <sup>Ab</sup>	6,06 $\pm$ 0,07 <sup>Bb</sup>	<LOD	<LOD
Malvidin 3-Glu	178,31 $\pm$ 31 <sup>Aa</sup>	71,97 $\pm$ 0,03 <sup>Ba</sup>	<LOD	2,54 $\pm$ 0,02 <sup>Ca</sup>

Os resultados são expressos como média (n = 3)  $\pm$  desvio padrão.

A-D: Média  $\pm$  desvio padrão com diferentes letras maiúsculas na mesma linha diferem ( $p \leq 0,05$ ) entre os tempos de fermentação, com base no teste de Tukey.

a-e: Média  $\pm$  desvio padrão com diferentes letras minúsculas na mesma coluna diferem ( $p \leq 0,05$ ) entre subprodutos fermentados do processamento de frutas, com base no teste t de Student.

<LOD: abaixo do limite de detecção.

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

Segundo os resultados obtidos nos experimentos realizados, pode-se concluir que os subprodutos do processamento agroindustrial de acerola e goiaba submetidos a um bioprocessamento de fermentação espontânea apresentaram uma contagem de células viáveis de  $BAL \geq 5 \log$  UFC/mL de 24 h até 120 h de fermentação, o processo fermentativo influenciou de forma positiva suas características nutricionais e bioativas, com um aumento do seu potencial antioxidante e funcional. O subproduto de acerola fermentado apresentou maior concentração de flavonóides e fenólicos totais, o que pode ter contribuído para sua maior atividade antioxidante ao final do experimento.

É importante destacar que a maior contagem de células viáveis aconteceu em 48 horas de fermentação espontânea, por esse motivo, selecionou-se esse período de fermentação para elaboração das farinhas de subprodutos de acerola e goiaba fermentadas. No entanto, tanto as farinhas obtidas dos subprodutos de acerola e goiaba fermentados espontaneamente por 48 horas como as farinhas *in natura* apresentam excelente teor de compostos fenólicos, macrominerais e oligoelementos, fibras alimentares e ácidos orgânicos. Porém, as farinhas fermentadas apresentaram aumento no teor de compostos fenólicos, o que foi confirmado na análise de PCA, bem como o teor de macrominerais e oligoelementos que também foi maior nas farinhas fermentadas.

Por fim, esses resultados indicam que a fermentação espontânea é um bioprocessamento natural que pode ser utilizado para dar um destino favorável e útil aos subprodutos oriundos do processamento industrial de frutas, convertendo estes resíduos agroindustriais em ingredientes sustentáveis, circulares e de valor agregado para o setor da indústria alimentícia, contribuindo para a geração de novos ingredientes e produtos/suplementos alimentares com potencial antioxidante e funcional, potencializando suas propriedades promotoras de saúde.