

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Lissandra Waltrich

**Fermentados acéticos de frutas:** uma revisão sobre parâmetros de produção, características físico-químicas e potencial bioativo

Florianópolis

2021

Lissandra Waltrich

**Fermentados acéticos de frutas: uma revisão sobre parâmetros de produção, características físico-químicas e potencial bioativo**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carlise Beddin Fritzen Freire

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Waltrich, Lissandra

Fermentados acéticos de frutas : uma revisão sobre parâmetros de produção, características físico-químicas e potencial bioativo / Lissandra Waltrich ; orientadora, Carlise Beddin Fritzen Freire, 2021.

49 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2. Fermentado acético. 3. Fermentação. 4. Frutas. 5. Compostos bioativos. I. Freire, Carlise Beddin Fritzen. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

Lissandra Waltrich

**Fermentados acéticos de frutas: uma revisão sobre parâmetros de produção, características físico-químicas e potencial bioativo**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Florianópolis, 13 de setembro de 2021.

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Carolina de Oliveira Costa  
Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carlise Beddin Fritzen Freire  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Renata Dias de Mello Castanho Amboni  
Avaliadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vívian Maria Burin  
Avaliadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial aos meus pais que são meus maiores exemplos, que sempre me estimularam a buscar o conhecimento e me ensinaram que o esforço é o caminho para tudo na vida. Sou grata a todo apoio recebido desde a escolha do curso, por acreditarem em mim, por me incentivarem a nunca desistir e pelo amor que recebi que me fortaleceu a cada instante.

À Universidade Federal de Santa Catarina, por proporcionar uma estrutura e ensino de qualidade, aos professores e laboratórios de pesquisa e extensão, que colaboraram imensamente para o meu desenvolvimento pessoal e profissional. À Caltech e ao Movimento Empresa Júnior por todo aprendizado, capacitação constante e união.

À minha orientadora que aceitou me acompanhar durante essa etapa importante e que sempre foi muito atenciosa e paciente.

Aos meus colegas de graduação e aos amigos que fiz, em especial a Alana que caminhou junto comigo nessa trajetória, que tanto me aconselhou e me ensinou grandes valores.

Ao meu namorado e sua família que sempre estiveram ao meu lado me apoiando.

À Ciência Logosófica que me ofereceu um amparo nos momentos difíceis e que vem me ensinando a viver cada momento com mais consciência.

Agradeço a todos que indiretamente contribuíram para que eu chegasse até aqui!

Eterna gratidão!

## RESUMO

O fermentado acético é uma bebida fermentada consumida desde a antiguidade e produzida a partir de diferentes matérias-primas como cereais, frutas, vegetais e mel. As frutas são consideradas boas fontes de substrato para a fermentação, além de conterem compostos bioativos, sendo aplicadas em processos fermentativos para fornecer produtos com maior valor agregado. Para a elaboração dos fermentados acéticos são necessárias duas etapas sucessivas, correspondentes à fermentação alcoólica pela ação das leveduras originando etanol e metabólitos secundários; e a fermentação acética realizada pelas bactérias acéticas formando principalmente o ácido acético. A produção de fermentados acéticos pode ser realizada através do método em superfície (lento) ou submerso (rápido), apresentando parâmetros distintos que geram vinagres diferenciados. A qualidade do produto é determinada principalmente pela sua composição físico-química e bioativa e depende das condições dos processos fermentativos e de maturação. Assim, este trabalho de conclusão de curso apresenta uma revisão da literatura que teve como objetivo coletar informações sobre os parâmetros e métodos de produção de fermentados acéticos de frutas, com enfoque nas frutas não convencionais, assim como sobre os tópicos relacionados à sua composição físico-química e potencial bioativo, além dos desafios e tendências de mercado.

**Palavras-chave:** Fermentado acético; frutas; fermentação alcoólica; fermentação acética; compostos bioativos.

## ABSTRACT

Acetic fermented is a fermented beverage consumed since ancient times and produced based on different raw materials such as cereals, fruits, vegetables, and honey. Fruits represent valuable matrices rich in bioactive compounds that can be applied in fermentation processes to provide products with greater added value. For the preparation of acetic fermented, two successive steps are necessary, corresponding to alcoholic fermentation by the action of yeasts, originating ethanol and secondary metabolites; and acetic fermentation carried out by acetic bacteria forming acetic acid. The production of acetic fermented products can be carried out through the surface (slow) or submerged (fast) method, with distinct parameters that generate differentiated vinegars. The quality of the product is mainly determined by its physicochemical and bioactive composition and depends on the conditions of the fermentation and maturation processes. Thus, this course conclusion work presents a literature review that aimed to collect information on the parameters and methods of production of acetic fermented fruit, focusing on unconventional fruits, as well as on topics related to their physical chemical composition. and bioactive potential, in addition to challenges and market trends.

**Keywords:** Acetic fermented; fruits; alcoholic fermentation; acetic fermentation; bioactive compounds.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas do processo de elaboração de vinagre de frutas .....	20
Figura 2 – Via metabólica simplificada da fermentação alcoólica.....	22
Figura 3 – Esquema de oxidação do etanol a ácido acético .....	25
Figura 4 – Fermentador utilizado para produção de vinagre pelo processo em superfície .....	26
Figura 5 – Acetificador <i>Frings</i> utilizado para produção de vinagre pelo processo submerso.	28
Figura 6 – Estruturas dos principais compostos fenólicos em vinagres de frutas .....	36

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação e denominação dos fermentados acéticos no Brasil .....	17
Quadro 2 – Variedades de vinagre produzidos em diferentes países .....	19
Quadro 3 – Comparação de parâmetros entre processos de acetificação .....	30
Quadro 4 - Principais compostos fenólicos em diferentes vinagres de frutas.....	34

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Propriedades fisiológicas e características das bactérias acéticas .....	24
Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos dos fermentados acéticos de frutas .....	33

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	OBJETIVOS.....	13
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
3.1	HISTÓRICO DOS FERMENTADOS ACÉTICOS.....	15
3.2	DEFINIÇÃO E TIPOS DE VINAGRE.....	15
3.3	MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE FERMENTADOS ACÉTICOS.....	19
<b>3.3.1</b>	<b>Fermentação alcoólica.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Fermentação acética.....</b>	<b>23</b>
3.3.2.1	<i>Processo em superfície.....</i>	25
3.3.2.2	<i>Processo submerso.....</i>	27
3.4	PROCESSAMENTO FINAL.....	30
3.5	CARACTERÍSTICAS DOS FERMENTADOS ACÉTICOS DE FRUTAS.....	31
<b>3.5.1</b>	<b>Características físico-químicas.....</b>	<b>32</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Composição bioativa .....</b>	<b>33</b>
3.5.2.1	<i>Propriedades fisiológicas.....</i>	36
3.6	DESAFIOS E TENDÊNCIAS DE MERCADO .....	37
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O fermentado acético é definido como o produto obtido da fermentação acética do fermentado alcoólico do mosto de frutas, cereais, de outros vegetais, mel, da mistura de vegetais ou de uma mistura hidroalcoólica (BRASIL, 2009). Ele pode apresentar diversas classificações de acordo com a origem do substrato e sistema de produção, sendo designado fermentado acético ou vinagre seguido do nome da matéria-prima de origem (CALLEJÓN *et al.*, 2019; MARQUES *et al.*, 2010).

O vinagre é feito a partir de várias fontes de carboidratos ou alimentos que contêm açúcares fermentescíveis e, dependendo da sua matéria-prima de origem, apresenta diferentes composições, nutrientes e sabores (ZILIOLI, 2011). A produção do vinagre ocorre por dois processos bioquímicos distintos, ambos resultantes da ação de microrganismos: a fermentação alcoólica pela ação de leveduras, seguida da fermentação acética pela ação de bactérias acéticas (CHEN *et al.*, 2017). As formas de elaboração podem variar de métodos tradicionais a métodos mais modernos. Os métodos tradicionais são realizados empregando barris de madeira e cultura em superfície, enquanto os métodos mais modernos utilizam fermentadores industriais e cultura submersa (MARQUES *et al.*, 2010). Muitos dispositivos técnicos e tipos de fermentadores foram desenvolvidos para melhorar a produção industrial de vinagre analisando parâmetros significativos do processo, como tempo, temperatura, pH e oxigenação do meio (JANNAH *et al.*, 2020).

Na indústria alimentícia, os vinagres são utilizados principalmente como acidulantes, aromatizantes e conservantes. Este produto apresenta inúmeras formas de uso, incluindo vinagres comerciais utilizados como condimento, molhos para saladas, maionese, vegetais em conserva, enlatados e marinados, fornecendo sabor e aroma aos alimentos aos quais é adicionado (BORTOLINI; SANT'ANNA; TORRES, 2001; FERNANDES *et al.*, 2019; SIEPMANN; CANAN; COLLA, 2015). Além disso, pode ser considerado um complemento à dieta humana, evidenciando efeitos fisiológicos positivos como ação antioxidante (BAKIR *et al.*, 2016), respostas antidiabéticas (JOHNSTON; KIM; BULLER, 2004), antitumorais (FAN *et al.*, 2009) e redutoras do colesterol (ALI *et al.*, 2019; MOON *et al.*, 2010).

Neste sentido, a comercialização e o consumo de vinagres de frutas têm aumentado principalmente pela preocupação dos consumidores em adquirir produtos alimentares saudáveis, uma vez que as frutas contêm diferentes compostos que podem estar relacionadas

com a prevenção de doenças (BOONSUPA, 2019; COELHO *et al.*, 2017). Os vinagres de frutas também são considerados superiores em relação à qualidade nutritiva e sensorial, quando comparados a outros tipos de vinagres, apresentando características como sabor e aroma próprios, vitaminas, ácidos orgânicos, proteínas e aminoácidos provenientes da própria fruta e outros compostos formados nos processos fermentativos (TESSARO *et al.*, 2010).

Além da uva e da maçã, que são frutas convencionalmente utilizadas para a elaboração de vinagres, outras frutas, não convencionais, também podem ser empregadas para a produção de fermentados acético, como a amora-preta (LIMA, 2014), a romã (ORDOUDI *et al.*, 2014), a cereja (ÖZEN *et al.*, 2020), o morango (UBEDA *et al.*, 2013), o kiwi (REN *et al.*, 2017), o abacaxi (RODA *et al.*, 2017), entre outras, que representam matérias-primas predominantes em determinadas regiões do mundo. É importante salientar que, segundo a FAO (2019), 21,6% das frutas produzidas no mundo são desperdiçadas, desde a pós-colheita até a sua distribuição, tendo como consequência problemas ecológicos e econômicos. Assim, o emprego de diferentes frutas como matéria-prima principal para a conversão em outros produtos, como o vinagre, é uma alternativa interessante para aproveitar esse excedente de safra e, assim, reduzir o desperdício (LUZÓN-QUINTANA; CASTRO; DURÁN-GUERRERO, 2021).

Nesse contexto, tendo em vista o crescente interesse em desenvolver estratégias para a elaboração de vinagres de frutas diferenciadas e a criação de alternativas que promovam a agregação de valor e o fortalecimento da cadeia produtiva de frutas, vários pesquisadores têm realizado estudos nos últimos anos em busca do aprofundamento sobre o assunto. Desta forma, este trabalho de revisão bibliográfica buscou contribuir com o conhecimento na área, realizando uma compilação de dados publicados na literatura sobre os parâmetros e métodos de produção de fermentados acéticos de frutas, com enfoque nas frutas não convencionais, assim como os tópicos relacionados à sua composição físico-química e potencial bioativo, além dos desafios e tendências de mercado.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre fermentados acéticos de frutas, com destaque para os produtos elaborados com frutas não convencionais, evidenciando os parâmetros de produção, além das características físico-químicas, o seu potencial bioativo, bem como os desafios e as tendências do mercado.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar o histórico, definição e tipos de fermentados acéticos;
- Descrever as etapas envolvidas na elaboração dos fermentados acéticos de frutas com ênfase no processo fermentativo;
- Abordar as características físico-químicas e o potencial bioativo dos fermentados acéticos de frutas;
- Explorar os desafios e as potencialidades de mercado dos fermentados acéticos de frutas.

## 2 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido através de uma revisão bibliográfica da literatura nacional e internacional, realizada entre os meses de fevereiro a agosto de 2021. Para as buscas não foram estabelecidos limites quanto ao período ou ano de publicação. As bases de dados empregadas para a pesquisa de livros, artigos científicos, teses, dissertações e legislações foram: Portal de periódicos CAPES, *Science direct*, *Scielo*, *Scopus*, Catálogo de teses e dissertações CAPES, além dos sites da BU/UFSC, EMBRAPA, entre outros. As seguintes palavras-chave isoladas ou em combinação, nos idiomas português e inglês, foram utilizadas nas buscas simples: “vinagre”, “frutas”, “fermentado acético”, “fermentação”, “orleans”, “frings”, “*vinegar*”, “*fruits*”, “*fermented acetic*”, “*fermentation*”.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 HISTÓRICO DOS FERMENTADOS ACÉTICOS

O vinagre é um produto conhecido desde a antiguidade, sendo que as primeiras referências datam de 8.000 anos a.C. A palavra vinagre em quase todas as línguas ocidentais, exceto o italiano (*aceto*, do latim *acetum*) e o alemão (*essig*), provém do francês *vinaigre*, que significa vinho azedo (TESFAYE *et al.*, 2002). Originalmente, ele era obtido não apenas de vinho, mas de outras bebidas fermentadas e mostos de frutas deixados ao ar, formando-se um produto por fermentação espontânea (BARBOSA, 2014).

O homem utiliza o vinagre há milhares de anos como condimento muito aproveitado devido às propriedades benéficas ao organismo humano e à sua importância na alimentação. Hipócrates considerava o vinagre medicamentoso, utilizando-o para tratar disfunções respiratórias, feridas e úlceras, devido às suas propriedades desinfetantes e anti-inflamatórias (PEREIRA, 2015). Nas guerras, o vinagre era recomendado aos soldados, principalmente quando atuavam em ambientes úmidos, fazendo parte da alimentação diária para prevenir possíveis contaminações microbiológicas e favorecendo a higienização dos alimentos (RIZZON; MENEGUZZO, 2001).

Diversos estudiosos se interessaram pelo estudo do vinagre, sendo que Backer na segunda metade do século XVII foi o primeiro a constatar que o ar era imprescindível para a obtenção do vinagre. Já em 1837, Kutzing, um botânico alemão, verificou a ação de microrganismos na formação de ácido acético e relatou suas experiências sobre a “mãe do vinagre”. Berzéliu, químico prestigiado do século XVIII, afirmou em 1839 que a transformação de etanol a ácido acético não passava de um processo exclusivamente químico de ordem catalítica. No entanto, Pasteur, entre 1864 e 1868 demonstrou, com detalhes em sua obra sobre o vinagre, a necessidade da presença de um ser vivo, segundo ele, *Mycoderma aceti* para a ocorrência da acetificação (PEREIRA, 2015).

#### 3.2 DEFINIÇÃO E TIPOS DE FERMENTADOS ACÉTICOS

Fermentado acético é definido como o produto com acidez volátil mínima de quatro gramas por cem mililitros expressa em ácido acético, obtido por meio de processo tecnológico

adequado que assegure a sua apresentação e conservação até o momento do consumo (BRASIL, 2009; BRASIL, 2012). A palavra vinagre é utilizada para se referir aos produtos elaborados somente a partir do vinho, isto é, da fermentação alcoólica da uva madura e fresca (AQUARONE; LIMA; BORZANI, 1983). Dessa forma, o produto resultante da fermentação acética de outros substratos alcoólicos é denominado vinagre seguido do nome da matéria-prima de origem (BRASIL, 2009).

O vinagre também pode ser definido como líquido próprio para o consumo humano, produzido a partir de diferentes matérias-primas contendo amido, açúcares, isolados ou em conjunto, submetidos à dois processos consecutivos de fermentação, alcoólica e acética, contendo ao final da produção um conteúdo específico de ácido acético em sua composição química (BAENA-RUANO *et al.*, 2006; TEFAYE *et al.*, 2002). O vinagre pode ser adicionado de ingredientes opcionais tais como suco, aroma natural, condimentos, extrato vegetal aromático, vegetais e partes de vegetais, ou a mistura de um ou mais produtos citados anteriormente (BRASIL, 2009). Além disso, alguns aditivos alimentares são permitidos e incluem antioxidantes, corantes, aromatizantes e intensificadores de sabor especificados, estabilizantes e auxiliares de processamento como nutrientes e agentes de clarificação (ADEBAYO-OYETORO *et al.*, 2017).

A Instrução Normativa MAPA nº 6, de 3 de abril de 2012, estabelece os padrões de identidade e qualidade e a classificação dos fermentados acéticos (BRASIL, 2012b). Segundo esta legislação, o ácido acético do fermentado acético deverá provir exclusivamente da fermentação acética da matéria-prima vegetal ou do mel que lhe deram origem. Além disso, é vedada a adição de qualquer substância ou ingrediente que altere as características sensoriais naturais do produto, com exceção dos previstos na legislação. Excluem-se deste regulamento o vinagre derivado da uva, que é regido pelo decreto nº 8.198, de 20 de fevereiro de 2014 (BRASIL, 2014). O vinagre pode ser produzido a partir de uma ampla variedade de matérias-primas e sua classificação ocorre de acordo com o substrato utilizado no processo (SIEPMANN; CANAN; COLLA, 2015). O Quadro 1 apresenta a classificação dos vinagres de acordo com a matéria-prima e sua denominação.

Quadro 1 – Classificação e denominação dos fermentados acéticos no Brasil.

Composição ou forma de obtenção	Classificação	Denominação	
		Fermentado Acético	Vinagre
Fermentação acética do fermentado alcoólico de mistura hidro alcoólica originária do álcool etílico potável de origem agrícola	de álcool	Fermentado Acético de Álcool	Vinagre de Álcool
Fermentação acética do fermentado alcoólico de uma ou mais frutas	de fruta	Fermentado Acético de Fruta	Vinagre de Fruta
Fermentação acética do fermentado alcoólico de um ou mais cereais	de cereal	Fermentado Acético de Cereal	Vinagre de Cereal
Fermentação acética do fermentado alcoólico de um ou mais vegetais	de vegetal	Fermentado Acético de Vegetal	Vinagre de Vegetal
Fermentação acética do fermentado alcoólico de duas ou mais das seguintes matérias-primas: fruta, cereal e vegetal	misto	Fermentado Acético Misto de Vegetais	Vinagre Misto de Vegetais
Fermentação acética do fermentado alcoólico de mel de abelha	de mel	Fermentado Acético de Mel	Vinagre de Mel
Fermentado acético adicionado de suco de fruta ou suco vegetal ou de mel de abelha, em conjunto ou separadamente	Composto	Fermentado Acético de (nome genérico) Composto	Vinagre de (nome genérico) Composto
Fermentado acético adicionado de condimento	Condimentado	Fermentado Acético de (nome genérico) Condimentado	Vinagre de (nome genérico) Condimentado
Fermentado acético de fermentado alcoólico com acidez volátil superior a oito gramas de ácido acético por cem mililitros do produto	duplo	Fermentado Acético Duplo	Vinagre Duplo
Fermentado acético de fermentado alcoólico com acidez volátil superior a doze gramas de ácido acético por cem mililitros do produto	triplo	Fermentado Acético Triplo	Vinagre Triplo

Fonte: Brasil (2012b).

Uma variedade de matérias-primas pode ser usada na produção de vinagre, desde subprodutos e excedentes agrícolas até substratos de alta qualidade para os vinagres mais

exclusivos e valorizados (FERNANDES *et al.*, 2019). Embora muitos dos vinagres produzidos em todo o mundo sejam feitos de substratos comuns como uva e maçã, outros são produzidos a partir de vinhos *premium*, cuidadosamente envelhecidos e valorizados com base em seus atributos organolépticos únicos (HUTKINS, 2006).

Os vinagres de ervas consistem em vinagres de vinho que podem ser temperados com alho, manjeriço, estragão, canela, cravo ou noz-moscada (SIEPMANN; CANAN; COLLA, 2015). Nos países europeus, além do vinagre de vinho branco e tinto, existem produtos especiais como o vinagre de vinho da região de Jerez, no sul da Espanha, também conhecido como vinagre de xerez; e o aceto balsâmico tradicionalmente elaborado em uma região específica da Itália (Modena) fabricado a partir de suco de uva tipo *Trebbiano*, colhidas de forma tardia, sendo fermentado lentamente e envelhecido em barricas de madeiras diversas (BUDAK, Nilgün H. *et al.*, 2014; SIEPMANN; CANAN; COLLA, 2015; TESFAYE *et al.*, 2002). Os acetos balsâmicos tradicionais são alimentos artesanais, com uma longa história e procedimentos bem desenvolvidos para a sua produção (HO *et al.*, 2017). Na Inglaterra o vinagre de malte é bem difundido e tem um sabor forte, sendo produzido a partir de cevada e grãos (BUDAK, Nilgün H. *et al.*, 2014). Na Áustria, os vinagres de fruta são fabricados principalmente a partir de vinho adoçado com frutas ou sucos de fruta, a fim de produzir um sabor agridoce característico (SIEPMANN; CANAN; COLLA, 2015).

Nos países asiáticos, a maioria dos tipos de vinagre, incluindo vinagre de Kurozu, vinagre envelhecido de Shanxi, vinagre aromático de Zhenjiang e vinagre de Baoning, são produzidos utilizando cereais como sorgo, farelo de trigo, feijão, arroz e casca de arroz (XIA *et al.*, 2020).

Em alguns países americanos, como nos Estados Unidos, o vinagre é produzido principalmente a partir da sidra, que é o fermentado alcoólico da maçã. No Brasil, há uma grande produção de vinagres a partir do álcool de cana-de-açúcar, do vinho e do fermentado de maçã (BUDAK, Nilgün H. *et al.*, 2014).

Algumas das variedades de vinagre são representadas no Quadro 2 e classificadas de acordo com os principais países produtores.

Quadro 2 – Variedades de vinagre produzidos em diferentes países.

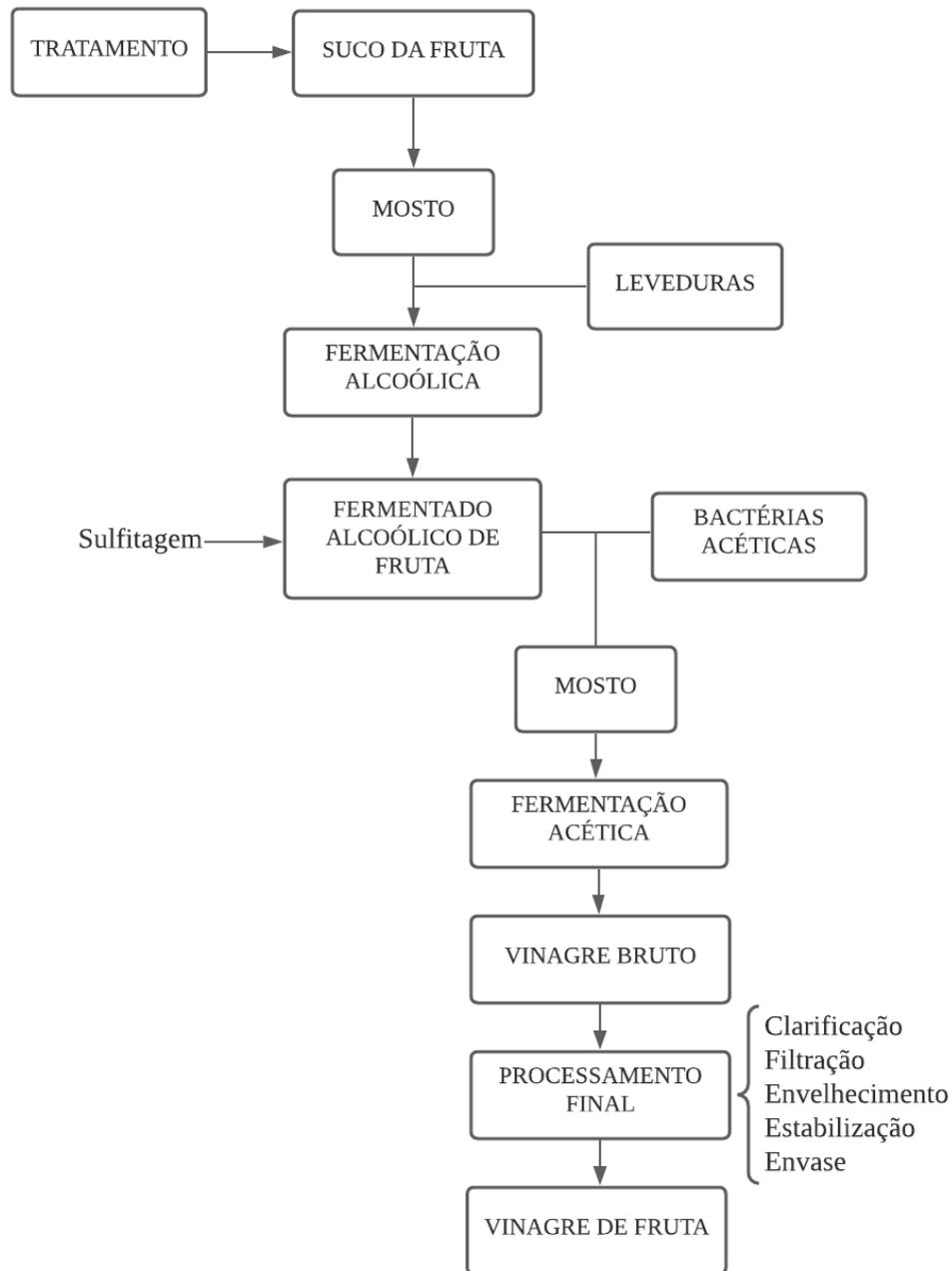
<b>Variedades de vinagre</b>	<b>Maiores países produtores</b>
Vinagre de sidra	Mundo todo
Aceto balsâmico	Itália
Vinagre de cerveja	Alemanha
Vinagre de cana	Filipinas
Vinagre de champagne	França e EUA
Vinagre de coco	Sudeste asiático
Vinagre de fruta	Áustria
Vinagre de kombuchá	Japão
Vinagre de malte	Inglaterra
Vinagre de batata	Japão
Vinagre de vinho tinto	Mundo todo
Vinagre de cereja	Espanha
Vinagre de vinho branco	Peru e Itália

Fonte: Adaptado de Budak *et al.* (2014).

### 3.3 MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE FERMENTADOS ACÉTICOS

A produção de vinagre envolve dois processos bioquímicos sucessivos: a fermentação alcoólica, que é a conversão anaeróbia dos açúcares fermentescíveis em etanol pelas leveduras; e a fermentação acética, que é a oxidação aeróbia do etanol em ácido acético pelas bactérias acéticas (CHEN *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2007). A Figura 1 apresenta o processo geral de elaboração de vinagre de frutas.

Figura 1 – Etapas do processo de elaboração de vinagre de frutas.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

### 3.3.1 Fermentação alcoólica

A fermentação alcoólica é uma etapa importante para produção dos vinagres, podendo ser utilizadas como matérias-primas a cana de açúcar, beterraba, mel, melaço, frutas ou outros alimentos que contêm amido, como raízes, tubérculos, grãos, entre outros (CHEN *et al.*, 2017; LIMA, 2014). A extração do mosto é realizada através do corte ou esmagamento da matérias-

primas, seguido de prensagem, sendo que o grau de maturação influencia o rendimento do processo (BOUATENIN *et al.*, 2021; MAS *et al.*, 2015). As matérias-primas concentradas podem ser diluídas com água potável para possibilitar a formação do mosto a ser fermentado (BRASIL, 2012a). Outra possibilidade é o uso de enzimas para a obtenção mosto, destacando o estudo de Barbosa (2014) que relatou que o tratamento enzimático da polpa de manga com o uso de pectinases diminuiu a viscosidade da polpa e aumentou o rendimento em etanol na fermentação alcoólica, por degradar os polissacarídeos da parede celular liberando compostos solúveis fermentescíveis.

O teor de açúcares totais da fruta determina o teor de etanol do fermentado alcoólico, que servirá de substrato para a fermentação acética. Assim, uma elevada concentração de açúcares aumenta a velocidade de fermentação e a produtividade até certos limites, sendo que teores extremos acarretam um estresse osmótico para levedura (LIMA *et al.*, 2001; LUZÓN-QUINTANA; CASTRO; DURÁN-GUERRERO, 2021). Neves *et al.* (2021) trabalharam com um teor de sólidos solúveis totais (SST) de 22 °Brix na fermentação de vinagre de caju, enquanto Dias *et al.* (2016) utilizaram um valor de 16 °Brix na produção de vinagre de jabuticaba. Vale destacar que, a Instrução Normativa nº 16, de 19 de março de 2020 do MAPA, estabelece a proibição da adição de açúcar na elaboração de fermentado de fruta que sirva de matéria-prima para a produção de fermentado acético de fruta (BRASIL, 2020).

Alguns processos podem ser realizados nos substratos obtidos antes de serem transferidos aos recipientes de fermentação. A sulfitagem é uma etapa comumente realizada com objetivo de proporcionar ao mosto ação antioxidante e bactericida. A concentração de sulfito, contudo, deve ser controlada, pois teores acima do limite acarretam um estresse osmótico para levedura (LIMA, 2014). No estudo realizado por Ordoudi *et al.* (2014), foi adicionado metabissulfito de sódio ( $50 \text{ mg L}^{-1}$ ) de suco de romã. Já Cejudo-Bastante *et al.* (2018) adicionaram dióxido de enxofre ( $60 \text{ mg L}^{-1}$ ) para prevenir o crescimento de microrganismos indesejáveis na fermentação de suco de laranja *in natura*.

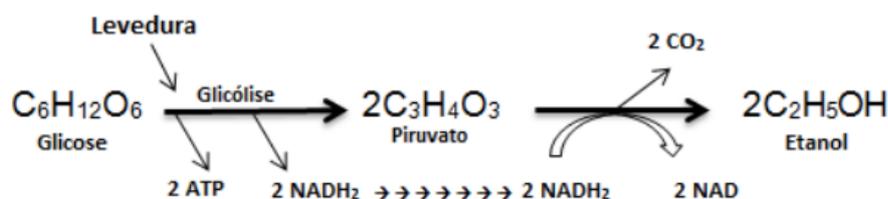
Na atualidade a maioria dos processos de produção de fermentados alcoólicos utilizam culturas puras da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, definida como microrganismo unicelular, eucarioto, heterotrófico e aeróbio facultativo (LIMA, 2014; LIMA *et al.*, 2001). A utilização de *S. cerevisiae* como agente de fermentação se baseia na sua característica de otimizar o processo, possibilitando fermentações mais rápidas e confiáveis, evitar contaminações microbianas e

intensificar a qualidade da matéria-prima gerando um produto de melhor qualidade e boa aceitabilidade (LIMA, 2014; BARBOSA, 2014).

A fermentação alcoólica pode ocorrer de duas formas distintas: a espontânea, que ocorre pela ação das leveduras presentes no substrato e no meio; ou pela adição controlada de uma cultura inicial contendo um elevado número de microrganismos viáveis, que é adaptada ao substrato para acelerar o processo fermentativo (LUZÓN-QUINTANA; CASTRO; DURÁN-GUERRERO, 2021; SIEPMANN; CANAN; COLLA, 2015). O processo é conduzido geralmente em fermentadores, construídos de aço-carbono, cilíndricos com fundo cônico e o controle da temperatura na faixa de 25 °C a 36 °C é efetuado através de serpentinas, cintas duplas ou trocador de calor (LIMA *et al.*, 2001; MAS *et al.*, 2015).

Durante a fermentação alcoólica as leveduras em anaerobiose utilizam os açúcares como glicose, frutose e sacarose presentes no meio fermentativo, convertendo-os em etanol pela via glicolítica através da atuação de enzimas que agem de forma específica (LIMA, 2014; SIEPMANN; CANAN; COLLA, 2015). O processo pode ser dividido em três etapas: fase preliminar (fase *lag*), correspondente ao período de adaptação da levedura ao meio, pequena elevação da temperatura e pequeno desprendimento de CO<sub>2</sub>; fase intermediária ou tumultuosa, caracterizada pelo desprendimento volumoso de CO<sub>2</sub>, aumento rápido da temperatura e produção de etanol; e fase complementar, onde é identificada uma diminuição abrupta da fermentação, com redução da intensidade do desprendimento de CO<sub>2</sub> uma vez que praticamente todo o substrato já foi convertido (BARBOSA, 2014; LIMA *et al.*, 2001). O progresso da fermentação pode ser monitorado visualmente, observando a taxa de evolução do CO<sub>2</sub>, mas de forma mais confiável determinando o etanol (SOLIERI; GIUDICI, 2009). A Figura 2 apresenta a via metabólica simplificada do processo de fermentação alcoólica.

Figura 2 – Via metabólica simplificada da fermentação alcoólica.



Fonte: Barbosa (2014).

Alguns parâmetros são importantes para a produção de fermentados alcoólicos de qualidade em conformidade com a legislação, como o pH do meio, oxigenação, nutrientes, espécie e linhagem da levedura utilizada, tempo e temperatura de condução do processo (BRASIL, 2012a). Geralmente, o tempo de fermentação depende da fruta utilizada, do seu teor de açúcar e o estado físico em que se apresenta (sumo, esmagado, picado etc.) (LUZÓN-QUINTANA; CASTRO; DURÁN-GUERRERO, 2021). Diferentes tempos de fermentação foram descritos na literatura científica para mostos de diferentes matérias-primas. Fonseca *et al.* (2018) obtiveram um tempo de fermentação alcoólica de suco de *cranberry* de 5 dias, porém tempos mais longos também têm sido descritos, como no caso relatado por López, Leiva e Carrasco (2016) que produziram fermentado alcoólico de mirtilo utilizando um período de fermentação de 35 dias. Diferentes parâmetros de processo podem afetar o desempenho de uma fermentação alcoólica, incluindo a temperatura de fermentação, concentração e composição do substrato, capacidade fermentativa e tolerância ao álcool da levedura empregada no processo (XAVIER; IVANOV; ANDRADE, 2011).

A temperatura é um dos parâmetros mais importantes na fermentação alcoólica, sendo recomendadas temperaturas entre 25 °C a 36 °C (LIMA, 2014). A elevação da temperatura permite que a velocidade de fermentação aumente até certo limite, mas pode causar perda de etanol por evaporação (LIMA *et al.*, 2001). Ordoudi *et al.* (2014) e Roda *et al.* (2017) utilizaram temperatura de 25 °C para fermentação alcoólica de suco de romã e suco de abacaxi, respectivamente. O pH do meio também é um parâmetro importante que afeta o crescimento celular e a eficiência da fermentação. As fermentações se desenvolvem numa ampla faixa de valores de pH, sendo adequada entre 3 e 5 (LIMA *et al.*, 2001; LIMA, 2014).

### **3.3.2 Fermentação acética**

A fermentação acética inicia após a fermentação alcoólica e corresponde ao processo aeróbio realizado pelas bactérias acéticas envolvendo a oxidação do etanol e formação de ácido acético com consumo de oxigênio (LIMA, 2014; ZILIOLI, 2011). Durante a fermentação outros processos químicos e bioquímicos ocorrem simultaneamente permitindo a formação de compostos específicos que contribuem para as características finais dos vinagres produzidos (SIEPMANN; CANAN; COLLA, 2015).

As principais bactérias acéticas pertencem aos gêneros: *Acetobacter*, *Gluconobacter* e *Gluconoacetobacter* (HUTKINS, 2006). *Acetobacter* spp. são as mais utilizadas desde os primórdios para a produção de vinagre (ARAÚJO, 2012; ZILIOLI, 2011). Já as bactérias do gênero *Gluconoacetobacter* spp. podem aparecer nos estágios finais da fermentação devido à capacidade de algumas espécies desse gênero desenvolverem mecanismos que suportam os teores de ácido acético do meio (FERNANDES *et al.*, 2019; HIDALGO *et al.*, 2013).

Normalmente utiliza-se uma microbiota mista de *Acetobacter* spp. contendo diferentes espécies ou variedades dessa bactéria, consideradas mais eficientes para o processo e conferindo gosto característico ao vinagre (ARAÚJO, 2012; LIMA, 2014; ZILIOLI, 2011). Os critérios usados para designar as espécies para utilização na produção de vinagre podem ser baseados nas propriedades fisiológicas e características mais relevantes para a fermentação acética (HUTKINS, 2006), conforme representado na Tabela 1. As bactérias acéticas consideradas ideais para a produção industrial são as que resistem à elevada concentração alcoólica e acética, possuem pouca exigência nutritiva, produzem altas concentrações de ácido acético, não formam material viscoso, não têm capacidade de completar a oxidação até CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, possuem tolerância a concentrações razoáveis de ácido acético e trabalham em temperaturas entre 25°C e 30°C (ARAÚJO, 2012; SIEPMANN; CANAN; COLLA, 2015). A faixa ótima de pH para o crescimento das bactérias acéticas é de 5,5 a 6,5. No entanto, vários estudos descobriram que elas ainda podem sobreviver em pH 3,0 e algumas cepas foram isoladas de meios aerados com um pH 2,0 (HO *et al.*, 2017; LIMA, 2014).

Tabela 1 – Propriedades fisiológicas e características das bactérias acéticas.

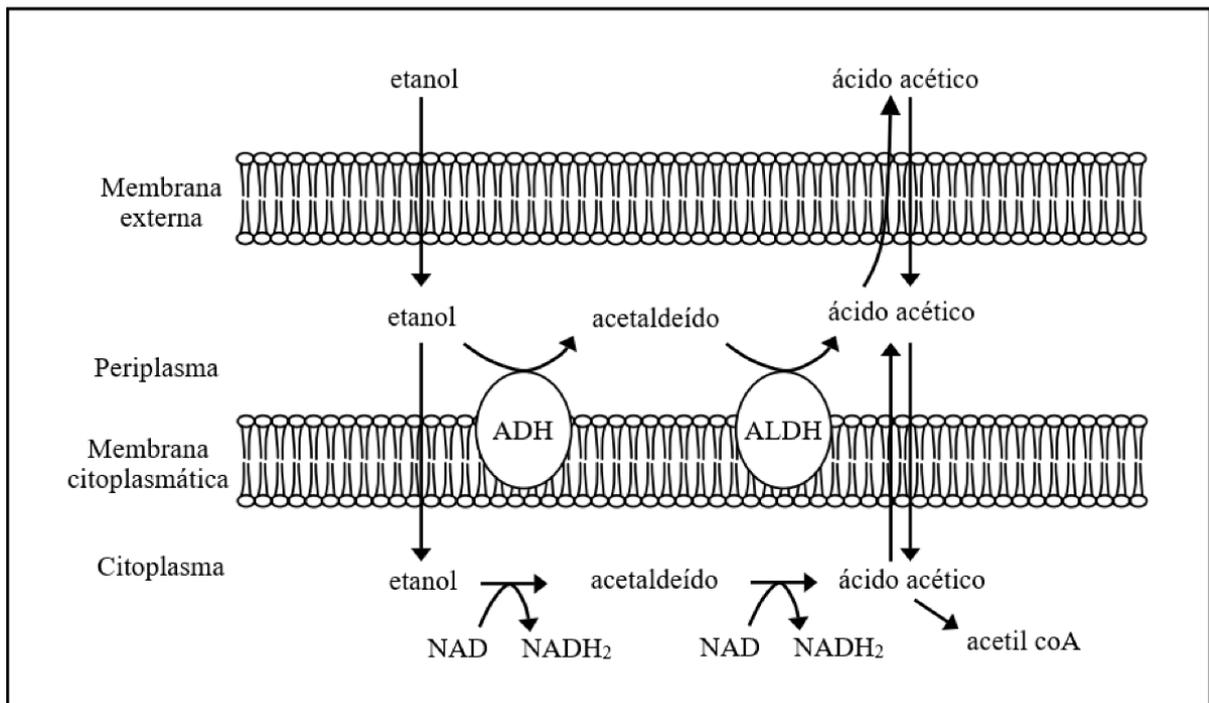
<b>Propriedade</b>	<i>Acetobacter</i>	<i>Gluconobacter</i>	<i>Gluconoacetobacter</i>
Temperatura ótima (°C)	25-30	25-30	25-30
pH ótimo	5,4-6,3	5,5-6,0	5,4-6,3
Oxidação do ácido acético	+	—	+/-

Fonte: Adaptado de Hutkins (2006).

Na fermentação acética, o etanol é oxidado por duas reações sequenciais catalisadas por enzimas presentes na membrana das células bacterianas: álcool desidrogenase (ADH) e aldeído desidrogenase (ALDH) (HUTKINS, 2006; SANTOS JUNIOR, 2009). Durante a conversão, a ADH oxida o etanol em acetaldeído que é então convertido em ácido acético pela

ALDH e liberado no meio. O ácido acético produzido pela oxidação parcial do etanol pode ser posteriormente oxidado no citoplasma por um conjunto de  $\text{NAD(P)}^+$  - desidrogenases solúveis dependentes (ADH e ALDH), resultando na oxidação do acetato (superoxidação) (GULLO; VERZELLONI; CANONICO, 2014). A Figura 3 apresenta o esquema de oxidação do etanol a ácido acético.

Figura 3 – Esquema de oxidação do etanol a ácido acético.



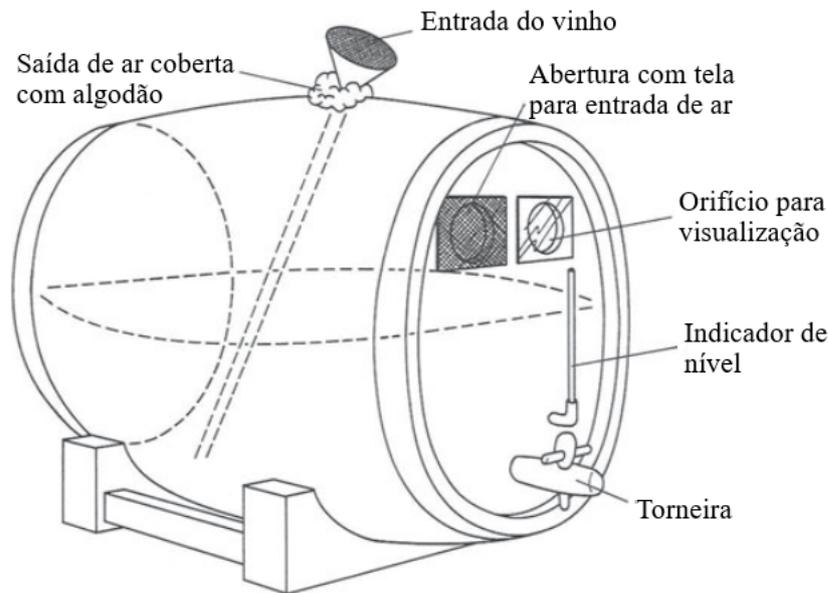
Fonte: Adaptado de Hutkins (2006).

### 3.3.2.1 Processo em superfície

O processo em superfície, também conhecido como Orleans ou lento, surgiu na França e é considerado o método mais antigo e conhecido para produção de vinagre, empregando tradicionalmente vinhos como substrato (HAILU; ADMASSU; JHA, 2015). Neste processo, o fermentado alcoólico é colocado para acetificar em barril de carvalho ou outra madeira que não confira propriedades estranhas ao produto, adaptado e designado acetificador ou vinagreira. O recipiente é provido de aberturas laterais para entrada de ar e protegido com telas finas para evitar contaminação por insetos, além de possuir um tubo em forma de J para adição de vinho

e uma torneira na parte inferior para retirada de vinagre (Figura 4) (AQUARONE; LIMA; BORZANI, 1983).

Figura 4 – Fermentador utilizado para produção de vinagre pelo processo em superfície.



Fonte: Adaptado de Mas *et al.* (2015).

O vinagre é produzido lentamente através do contato do substrato alcoólico com a película formada na interface ar-líquido em contato direto com o ar atmosférico ( $O_2$ ), constituída principalmente por polímeros de  $\alpha$ -celulose produzidos pelas bactérias acéticas a partir dos resíduos de açúcares presentes no fermentado alcoólico. Essa película é denominada zoogleia ou “mãe do vinagre” e sua espessura aumenta com o tempo, podendo submergir no meio e atrasar o processo de acetificação (BARBOSA, 2014; PEREIRA, 2015). Para evitar isso, um pedaço de madeira apropriada pode ser colocado na superfície do mosto para sustentar as bactérias oxidativas que ficam na superfície (ARAÚJO, 2012). A adição de vinho através do tubo J também tem a finalidade de evitar a ruptura dessa película ou a ressuspensão de partículas já decantadas. Depois que a fermentação é concluída, o substrato é renovado retirando-se o vinagre com 4 a 5% de ácido acético e substituindo por novo substrato, a fim de que o processo opere em modo contínuo (AQUARONE; LIMA; BORZANI, 1983).

Este método é empregado para a produção de vinagres tradicionais e selecionados, com a aplicação de baixos insumos tecnológicos e sendo necessário um período muito longo para se obter um grau acético satisfatório (TESFAYE *et al.*, 2002). Tempos de fermentação de até 144 dias foram relatados por Song, Cho e Baik (2016) para produção de vinagre de framboesa preta, embora períodos mais curtos também tenham sido relatados, como 45 dias para vinagre de ameixa (ZHAO *et al.*, 2017), 30 dias para vinagre de cereja (ÖZEN *et al.*, 2020) e 25 dias para vinagre de cacau (GANDA-PUTRA; WARTINI; DARMAYANTI, 2019).

Quando cuidadosamente conduzido, o processo descrito produz um vinagre de boa qualidade, considerado superior aos demais processos, praticamente límpido e dispensando clarificações e filtrações (AQUARONE; LIMA; BORZANI, 1983). É um processo conhecido por ser uma boa alternativa para conservar as características das frutas e obter um produto com qualidades sensoriais elevadas (HIDALGO *et al.*, 2013). Entre os principais aspectos negativos do processo estão o baixo rendimento da transformação do etanol em ácido acético, tempo elevado de processo e conseqüentemente custo elevado de produção (ARAÚJO, 2012; SIEPMANN; CANAN; COLLA, 2015).

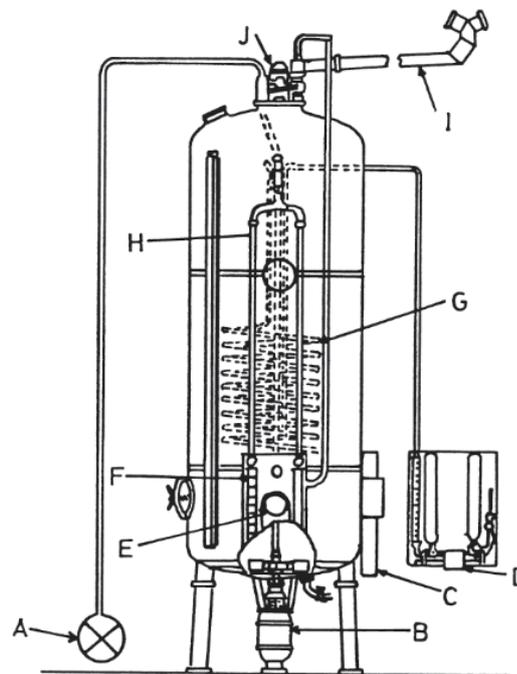
### 3.3.2.2 Processo submerso

Avanços na biotecnologia e, em particular, na indústria de fermentação, levaram ao desenvolvimento de fermentadores industriais modernos, capazes de realizar processos de bioconversão rápidos e de alto rendimento (HUTKINS, 2006). O processo submerso envolve a utilização de sistemas tecnologicamente avançados com o uso de aspersores, resfriadores, fermentadores de aço inoxidável e sistemas de controle automatizados (HUTCHINSON *et al.*, 2019). Nesse processo, as bactérias acéticas encontram-se submersas no líquido a fermentar, multiplicando-se e retirando energia da reação de oxidação do etanol para formar ácido acético (ZILIOLI, 2011). A operação semi-contínua é relatada como a mais vantajosa para a produção de vinagre, pois reduz o risco de inibição do substrato, permite a obtenção de produtos com ampla faixa de concentração de ácido acético e etanol e possibilita o reaproveitamento da cultura de acetificação no ciclo seguinte (GULLO; VERZELLONI; CANONICO, 2014).

O biorreator mais comumente usado no processo submerso foi projetado por Heinrich Frings na década de 50 e denominado acetificador *Frings* (Figura 5). O equipamento possibilita atingir altos rendimentos de produto (95%) (HO *et al.*, 2017). Possui um recipiente de grande

capacidade, geralmente tanques de aço inoxidável de 10.000 a 40.000 L, turbina de ar na parte inferior e, por ser um processo exotérmico, contém camisas por onde circula a água que funciona automaticamente para o controle da temperatura (ARAÚJO, 2012). O projeto e as configurações de um biorreator desempenham um papel importante no processo de produção do vinagre, que incluem a razão da altura em relação ao diâmetro, a razão da área de superfície em relação ao volume, forma, características do aço inoxidável, configurações do impulsor (tamanho, número de pás, localização), turbinas e entradas e saídas de gás (HO *et al.*, 2017).

Figura 5 – Acetificador *Frings* utilizado para produção de vinagre pelo processo submerso.



A, Bomba; B, Arejador e motor; C, Alcoógrafo; D, Válvula de água de resfriamento; E, Controle do termostato; F, Rotâmetro; G, Bobina de resfriamento; H, Linha de ar; I, Linha de exaustão; J, Antiespumante.

Fonte: Mas *et al.* (2015).

O substrato alcoólico é colocado no fermentador e inoculado com vinagre forte (obtido de uma fermentação anterior e não pasteurizado) ou com uma suspensão de bactérias acéticas ativas (ARAÚJO, 2012). Para catalisar o processo fermentativo, as bactérias acéticas necessitam de uma forte aeração para assegurar a demanda de oxigênio (SANTOS JUNIOR, 2009). A quantidade de oxigênio, contudo, não deve ser inserida de forma excessiva no meio pois pode gerar problemas como perda de etanol por evaporação, perda das substâncias aromáticas e voláteis e formação excessiva de espuma. Por esse motivo, o sistema de agitação

e aeração favorece a dispersão do ar de forma homogênea em todo o substrato alcoólico e facilita a ruptura de bolhas grandes em bolhas menores (AQUARONE; LIMA; BORZANI, 1983; GULLO; VERZELLONI; CANONICO, 2014). A espuma resultante da presença de biomoléculas surfactantes constitui um problema nas fermentações aeróbias submersas, podendo causar perdas de líquidos, bloqueio das saídas de ar e diminuição das taxas de transferência de oxigênio. A formação de espuma pode ser controlada pela adição de produtos químicos antiespumantes, como os silicões (MAS *et al.*, 2015).

Quando o fermentado alcançar aproximadamente 0,2% v/v de álcool, são retirados aproximadamente 40% a 45% de vinagre em relação ao volume do fermentador e se adiciona outra carga de substrato utilizando como inóculo parte da batelada anterior que permaneceu no tanque para iniciar um novo ciclo de fermentação (AQUARONE; LIMA; BORZANI, 1983; PEREIRA, 2015). Alguns acetificadores são totalmente automatizados, contendo um alcoógrafo responsável pelo registro contínuo do teor alcoólico do meio, uma vez que níveis baixos de etanol podem inibir a produção de ácido acético (ARAÚJO, 2012; SIEPMANN; CANAN; COLLA, 2015). Suman (2012) relata que tanto a acidez como o teor alcoólico afetam muito o desenvolvimento das bactérias ou a qualidade do vinagre. Tempos de processo foram relatados por Tessaro *et al.* (2010) que produziram vinagre de laranja em 2 dias e Ordoudi *et al.* (2014) que trabalharam na produção de vinagre de romã em 6 dias.

O processo submerso é empregado para elaboração de vinagres comerciais de maior consumo e não apresenta a mesma qualidade observada em vinagres produzidos por processo lento em barris de madeira (LIMA, 2014). O alto fluxo de ar leva à separação significativa dos componentes voláteis do substrato original, produzindo um produto mais limitado sensorialmente (LYNCH *et al.*, 2019). No final da produção, obtêm-se um vinagre bruto bastante turvo, devido à suspensão das bactérias acéticas e das substâncias sólidas, necessitando da adição de agentes clarificantes, filtração especial e pasteurização antes do seu armazenamento (ARAÚJO, 2012). No entanto, esse método se destaca pela alta produtividade, com velocidade de oxidação do etanol muito superior aos demais processos e, portanto, adequado aos moldes industriais modernos para elaboração de vinagres em larga escala. As vantagens de se utilizar este processo também incluem a maior eficiência de ativação do microrganismo, uniformidade do produto, automação e manuseio facilitado (AQUARONE; LIMA; BORZANI, 1983; ARAÚJO, 2012; TESFAYE *et al.*, 2002). Sua desvantagem está na oxigenação, que deve ser contínua e adequada em todos os pontos do tanque, pois pequenas

interrupções, principalmente nas fases finais de fermentação, podem retardar o processo ou tornar a bactéria acética inviável. Além disso, há um alto custo de investimento inicial e necessidade de técnicos especializados para a manutenção (ARAÚJO, 2012; HO *et al.*, 2017).

Assim, o processo de acetificação desempenha um papel importante na qualidade final dos fermentados acéticos (CEJUDO-BASTANTE *et al.*, 2018). O Quadro 3 apresenta a comparação de alguns parâmetros entre os processos de acetificação lento e submerso.

Quadro 3 – Comparação de parâmetros entre processos de acetificação.

Parâmetros	Tipo de processo	
	Em superfície	Submerso
Localização das bactérias	Superfície	Submersa
Equipamento	Barrica de madeira	Acetificador
Oxigenação forçada	Não	Sim
Temperatura média	25-30°C	25-30°C
Tempo médio	25-45 dias	2-6 dias
Produtividade	Baixa	Alta
Aparência do vinagre	Límpido	Turvo

Fonte: Elaborado pela autora a partir de Araújo (2012), Ordoudi *et al.* (2014), Özen *et al.* (2020) e Zhao *et al.* (2017).

### 3.4 PROCESSAMENTO FINAL

Antes da comercialização, o vinagre deve receber alguns tratamentos que objetivam melhorar as características sensoriais e a estabilidade do produto. Isto pode incluir o armazenamento após a fermentação, processos de filtração, clarificação, envelhecimento, estabilização e envase (SIEPMANN; CANAN; COLLA, 2015). Vale destacar que a legislação brasileira permite a adição de água potável ao fermentado acético, a fim de reduzir a acidez volátil de vinagres duplos (com acidez volátil superior a oito gramas de ácido acético por cem mililitros do produto) ou triplos (com acidez volátil superior a oito gramas de ácido acético por cem mililitros do produto), respeitando os parâmetros previstos nesta legislação (BRASIL, 2012b).

Ao término da fermentação, o vinagre deve ser retirado da vinagreira e acondicionado em recipientes apropriados sem a presença do ar para que as bactérias acéticas possam ser inibidas, uma vez que os processos de oxidação promovem uma série de reações químicas e enzimáticas que alteram a qualidade do vinagre (KANG; HA; LEE, 2020; SUMAN, 2012). A filtração constitui o tratamento pós-fermentativo mais importante para garantir a estabilidade e segurança do produto acabado, reduzindo a população bacteriana e os resíduos celulares presentes em suspensão (SOLIERI; GIUDICI, 2009). Fernandes *et al.* (2019) realizaram a filtração dos vinagres de pitaya vermelha e de *physalis* através de filtros de terra diatomácea e celulose. A clarificação tem a função de eliminar substâncias que causam turbidez ou adstringência, que influenciam negativamente no sabor e na aparência (AQUARONE; LIMA; BORZANI, 1983; ARAÚJO, 2012). Solieri e Giudici (2009) adicionaram agentes clarificantes como caseína, gelatina, bentonita e alginato de sódio no vinagre de caju e a mistura foi deixada em repouso até obter um vinagre transparente.

A estabilização serve para manter as características físico-químicas e sensoriais durante a comercialização, sendo empregados métodos como pasteurização e a ultra filtração. Na pasteurização, o vinagre é submetido à tratamento térmico, destruindo as bactérias e inativando as enzimas que são predominantemente a causa mais importante das alterações do vinagre (LIMA *et al.*, 2001). Os vinagres podem ser submetidos à maturação em madeira que pode variar de dois meses a três anos, originando produtos com propriedades sensoriais distintas (ARAÚJO, 2012; LIMA, 2014). O envelhecimento permite a evolução química do produto, transformando resíduos de acetaldeído, etanol, ácido acético e outros, em ésteres e hemi-acetais de sabores e odores mais agradáveis (ZILIOLI, 2011). De acordo com Ubeda *et al.* (2016), o uso de barris feitos de diferentes tipos de madeira (carvalho, castanheiro, amora ou zimbro) produz diferenças na composição aromática do vinagre. Esse fato está relacionado à diferente porosidade da madeira, bem como à sua composição química peculiar. Esses autores estudaram a influência do tipo de recipiente na produção de vinagres de frutas e relatam que o vinagre de morango produzido em fermentadores de vidro apresentou menor complexidade aromática do que os produzidos em tonéis de madeira. Cerezo *et al.* (2010) observaram sensorialmente que os vinagres envelhecidos em pipas de carvalho apresentavam maiores pontuações para a presença de compostos doces e de baunilha.

### 3.5 CARACTERÍSTICAS DOS FERMENTADOS ACÉTICOS DE FRUTAS

A elaboração de vinagres de frutas tem um grande potencial para a indústria, uma vez que permite a valorização das matérias-primas, muitas vezes sub-exploradas através da transformação em produtos com vida útil prolongada e possibilitando a melhoria das propriedades sensoriais (BOUATENIN, K. M. J. *et al.*, 2021; CEJUDO-BASTANTE *et al.*, 2018).

Os vinagres obtidos de frutas apresentam uma composição química mais complexa, em comparação com outros tipos de vinagre, pois retêm as substâncias do material de origem ou que se formaram durante os processos fermentativos, dando sabor, aroma e cor característicos ao produto (ARAÚJO, 2012; MINNAAR *et al.*, 2021). As frutas são ricas em vitaminas, minerais, fitoquímicos e contêm compostos bioativos que podem ser aplicados a bioprocessos a fim de gerar produtos com maior valor agregado (COELHO *et al.*, 2017; LUZÓN-QUINTANA; CASTRO; DURÁN-GUERRERO, 2021; RODA *et al.*, 2017). A fermentação pode aumentar a bioacessibilidade dos compostos fenólicos por sua liberação da matriz vegetal, conferindo ao vinagre de frutas uma significativa capacidade antioxidante, que pode ser relacionada a inúmeras propriedades fisiológicas (HORNEDO-ORTEGA *et al.*, 2017; PERESTRELO *et al.*, 2018).

### 3.5.1 Características físico-químicas

A avaliação da qualidade dos vinagres de frutas pode ser realizada a partir do acompanhamento de diferentes parâmetros, como acidez volátil, açúcares redutores e grau alcoólico. O teor de açúcar nas frutas empregadas como matéria-prima para a elaboração dos vinagres é um parâmetro que está diretamente relacionado com a concentração de álcool alcançada na fermentação alcoólica e, conseqüentemente, com a acidez do produto após a fermentação acética (LUZÓN-QUINTANA; CASTRO; DURÁN-GUERRERO, 2021).

O teor alcoólico de um vinagre deve ser baixo (máx. 1% v/v), uma vez que praticamente todo o etanol pré-existente deve converter-se em ácido acético mediante a fermentação acética (KANG; HA; LEE, 2020; MARQUES *et al.*, 2010). A presença de pequenas quantidades de álcool residual confere ao vinagre um aroma e sabor especial devido à formação de ésteres e outros compostos voláteis, reduzindo o sabor picante próprio dos vinagres recém produzidos e tornando o líquido mais suave e mais agradável (ARAÚJO, 2012;

TESFAYE *et al.*, 2002; ZILIOLI, 2011). Roda *et al.* (2017) relataram a presença de 3-metilbutanol e isômeros do 2,3-butanodiol, responsáveis por dois dos aromas alcoólicos mais importantes no vinagre de abacaxi.

O principal critério de qualidade do vinagre é o teor de ácido acético, representado pela acidez volátil (MAS *et al.*, 2015). Esse parâmetro exerce grande influência na aceitação sensorial do produto, sendo o percentual de ácido acético dos vinagres diretamente proporcional à acidez percebida sensorialmente (GRANANDA *et al.*, 2000; TEFAYE *et al.*, 2002). O grau de acidez aumenta com o avanço do processo fermentativo, delineando uma relação inversa entre a evolução do ácido acético e o pH durante a produção do vinagre (RODA *et al.*, 2017). A legislação brasileira exige um mínimo de 4,00% de acidez volátil em ácido acético (g/100mL) em vinagres de frutas (BRASIL, 2012b). Neves *et al.* (2021) utilizaram o processo submerso para elaboração de vinagre de caju, atingindo valor de acidez volátil de 6,6%.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros físico-químicos dos fermentados acéticos de frutas e seus respectivos limites, conforme estabelecido pela Instrução Normativa MAPA nº 6, de 3 de abril de 2012 (BRASIL, 2012b).

Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos dos fermentados acéticos de frutas.

Parâmetro	Valor	
	Mínimo	Máximo
Acidez volátil em ácido acético (g/100mL)	4,00	-
Álcool (%v/v) a 20 ° C	-	1,00
Cinzas (g/L)	1,00	5,00
Extrato seco reduzido (g/L)	6,00	-
Sulfatos (g/L de sulfato de potássio)	-	1,00
Aspecto	Ausência de elementos estranhos à sua natureza e composição	
Cheiro	Característico	
Sabor	Ácido	
Cor	De acordo com a matéria-prima de origem e composição	

Fonte: Brasil (2012b).

### 3.5.2 Composição bioativa

Os vinagres de frutas contêm várias classes de compostos bioativos, incluindo carotenoides, ácidos orgânicos, fitoesteróis e compostos fenólicos, representados principalmente pelos flavonóides, taninos, antocianinas e ácidos fenólicos (HO *et al.*, 2017; XIA *et al.*, 2020). A matéria-prima utilizada desempenha um papel importante nas características finais do produto desenvolvido, podendo haver diferenças significativas nos compostos dependendo da fruta utilizada (LUZÓN-QUINTANA; CASTRO; DURÁN-GUERRERO, 2021). Resultados positivos para a saúde do consumo de vinagre de frutas podem estar associados às transformações que ocorrem durante a fermentação, que levam a um aumento no conteúdo dos seus compostos biologicamente ativos e permitem a síntese de materiais funcionais e de sabor (KAWA-RYGIELSKA *et al.*, 2018; RODA *et al.*, 2017; SONG; CHO; BAIK, 2016).

Os ácidos orgânicos são os principais componentes que contribuem para as qualidades sensoriais e propriedades fisiológicas dos vinagres de frutas (LIU *et al.*, 2019). Alguns estudos indicaram que os vinagres de frutas possuem ácidos orgânicos abundantes com composições diferentes e complexas, como ácido tartárico em vinagre de ameixa (LIU; HE, 2009), ácido propanodioico em vinagre de kiwi (REN *et al.*, 2017), ácido málico em vinagre de cereja e banana (COELHO *et al.*, 2017) e ácido cítrico em vinagre de physalis (FERNANDES *et al.*, 2019). Os carotenoides também constituem um importante grupo de pigmentos que, além de serem precursores da vitamina A, desempenham um papel importante na capacidade antioxidante (DAVIES *et al.*, 2017).

Os compostos fenólicos constituem um dos parâmetros de qualidade mais significativos do vinagre porque afetam muito a qualidade sensorial, principalmente a cor, o sabor, a adstringência e o amargor. Eles têm particular importância devido aos seus efeitos benéficos na promoção da saúde relacionados às suas propriedades anti-inflamatórias e antioxidantes (MEINHART *et al.*, 2019; REN *et al.*, 2017). O Quadro 4 apresenta os principais compostos fenólicos identificados em diferentes vinagres de frutas.

Quadro 4 – Principais compostos fenólicos em diferentes vinagres de frutas.

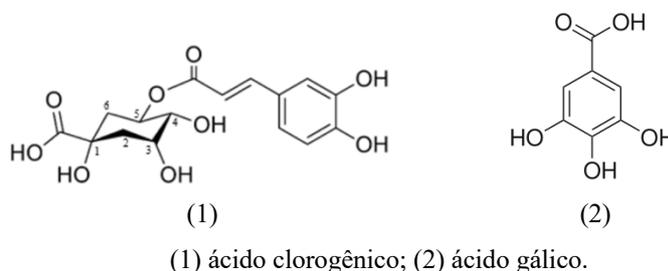
<b>Tipo de vinagre</b>	<b>Principais compostos fenólicos</b>	<b>Referência</b>
Vinagre de caqui	Ácido gálico Epigalocatequina Ácido vanílico Ácido <i>p</i> -cumárico	Zou <i>et al.</i> (2017)
Vinagre de kiwi	Ácido gálico Ácido clorogênico Ácido vanílico	Ren <i>et al.</i> (2017)
Vinagre de romã	Ácido protocatecuico Ácido gálico Taninos hidrolisáveis Antocianinas	Ordoudi <i>et al.</i> (2014) Kharchoufi <i>et al.</i> (2018)
Vinagre de morango	Ácido elágico Ácido gálico Ácido clorogênico	Ubeda <i>et al.</i> (2013) Gokirmakli <i>et al.</i> (2019)
Vinagre de abacaxi	Ácido gálico Catequina Ácido <i>m</i> -cumárico	Roda <i>et al.</i> (2017)
Vinagre de limão	Derivado do ácido cafeico Tirosol	Leonés <i>et al.</i> (2019)
Vinagre de cereja	Ácido gálico Ácido clorogênico Ácido <i>p</i> -cumárico Ácido cafeico Ácido siríngico	Özen <i>et al.</i> (2020) Ho <i>et al.</i> (2017)
Vinagre de bergamota	Naringina Brutieridina Melitidina	Giuffrè <i>et al.</i> (2019) Donna <i>et al.</i> (2020)
Vinagre de coco	Catequina Ácido benzoico Ácido salicílico Ácido gálico	Soltan e Shehata (2012)

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Pesquisas científicas têm relatado que diferentes vinagres de frutas variam em sua composição fenólica, devido às diferenças entre as matérias-primas e processos de fabricação.

Os compostos fenólicos mais identificados nos vinagres de frutas correspondem ao ácido gálico e ácido clorogênico (Figura 6) que apresentam vários benefícios para a saúde humana (MEINHART *et al.*, 2019). O ácido gálico possui propriedades antifúngicas e antivirais e o ácido clorogênico exibe um papel reconhecido no controle de condições de estresse inflamatório (GIUFFRÈ *et al.*, 2019; REN *et al.*, 2017). Outros estudos verificaram que o ácido clorogênico também pode diminuir a esteatose hepática, melhorar o perfil lipídico e a absorção da glicose do músculo esquelético (MEINHART *et al.*, 2019; SANTANA-GÁLVEZ; CISNEROS-ZEVALLOS; JACOBO-VELÁZQUEZ, 2017).

Figura 6 – Estruturas dos compostos fenólicos majoritários em vinagres de frutas.



Fonte: Cizmarova *et al.* (2020); Santana-Gálvez; Cisneros-Zevallos; Jacobo-Velásquez (2017).

Fatores como cepas de leveduras e bactérias acéticas podem afetar os perfis fenólicos de vinagres de frutas, promovendo a produção de componentes diferenciados (LIU *et al.*, 2019; LUZÓN-QUINTANA; CASTRO; DURÁN-GUERRERO, 2021). Zou *et al.* (2017) relataram que o ácido vanílico, epigallocatequina e ácido *p*-cumárico foram produzidos pelos processos fermentativos na produção de vinagre de caqui e Roda *et al.* (2017) identificaram um aumento da concentração de ácido gálico e catequina no vinagre de abacaxi. Por outro lado, em estudo realizado por Su e Silva (2006), o processo de acetificação resultou em reduções significativas no teor de fenólicos totais no vinagre de mirtilo. De acordo com Sengun, Kilic e Ozturk (2020), a modificação da concentração de compostos fenólicos em processos fermentativos tem relação direta com a matéria-prima empregada e com as características do mosto como acidez total, pH e teor de açúcares.

### 3.5.2.1 Propriedades fisiológicas

Estudos sugeriram que os compostos bioativos em alimentos podem reduzir a incidência de doenças degenerativas ao fornecer um efeito antioxidante, protegendo moléculas como DNA ou paredes celulares de danos causados por estresse oxidativo induzido por radicais livres (BAKIR *et al.*, 2016). Experimentos com animais mostraram que os polifenóis em vinagres podem diminuir os níveis de lipídios no sangue (BUDAK *et al.*, 2011), exibir atividade anti-hiperglicêmica (YUSOFF *et al.*, 2015), capacidade antitrombótica e antitumoral (FAN *et al.*, 2009).

Evidências científicas crescentes sugerem que o vinagre pode ser usado para prevenir ou tratar a obesidade e/ou doenças metabólicas relacionadas à obesidade. Bounihi *et al.* (2017) demonstraram o papel defensivo dos vinagres de romã, figo da Índia e maçã contra inflamação, hipertrofia e fibrose em lesões cardíacas induzidas por obesidade. Soltan e Shehata (2012) constataram que a incorporação de vinagres de frutas (maçã, uva, coco e palma) na alimentação de ratos por 6 semanas resultou na diminuição significativa no ganho de peso corporal. Johnston, Kim e Buller (2004) verificaram que a sensibilidade à insulina foi melhorada com a administração de vinagre de maçã em 19% dos indivíduos com diabetes tipo 2 e 34% dos indivíduos com pré-diabetes. Ali *et al.* (2019) encontraram evidências de que o consumo regular de vinagre de tâmara (30 mL/dia) durante um período de 8 semanas pode reduzir significativamente o colesterol total, LDL e apolipoproteína B séricos em indivíduos com hipercolesterolemia leve e elevada concentração de HDL. Moon *et al.* (2010) relataram achados semelhantes em vinagre de caqui que diminuiu a concentração de colesterol total no soro em camundongos.

### 3.6 DESAFIOS E TENDÊNCIAS DE MERCADO

A influência da industrialização criou um aumento acentuado na produtividade e no consumo de vinagres comerciais com baixo valor agregado. Na última década, contudo, o cenário competitivo levou grande parte das empresas a introduzir novos produtos que se diferenciam do convencional pela matéria-prima, acidez e teor de compostos bioativos (CALLEJÓN *et al.*, 2019; DI DONNA *et al.*, 2020; HORNEDO-ORTEGA *et al.*, 2017; JANG *et al.*, 2015). Técnicas aprimoradas têm sido desenvolvidas para reduzir o período de envelhecimento em madeira, fornecendo ésteres aromáticos e conferindo robustez ao vinagre (SPINOSA *et al.*, 2015; TESFAYE *et al.*, 2002).

Além disso, o desafio por melhores taxas de produção e rendimentos tem sido superado com o avanço tecnológico. No entanto, as perdas por evaporação ainda representam um problema na indústria vinagreira, uma vez que alguns sistemas patenteados têm dificuldades para funcionar com eficiência em escala industrial (LUZÓN-QUINTANA; CASTRO; DURÁN-GUERRERO, 2021; TESFAYE *et al.*, 2002).

Por outro lado, os vinagres de frutas, produzidos principalmente com frutas não convencionais, tanto por métodos em superfície, quanto submerso, estão se tornando cada vez mais populares em todo o mundo. A maioria dos vinagres de frutas é produzida na Europa, onde há um mercado crescente para vinagres de alto preço feitos exclusivamente de frutas específicas. Diversas variedades, entretanto, também são produzidas na Ásia. O vinagre de jujuba e o vinagre de *wolfberry* são produzidos na China. O vinagre de caqui, chamado *gam sikcho*, é popular na Coreia do Sul. *Jamun Sirka* é o vinagre produzido a partir da fruta Jamun (ou maçã rosa) na Índia (HAILU; ADMASSU; JHA, 2015). O vinagre de coco é comum nas Filipinas e o vinagre de tâmara é popular no Oriente Médio. O vinagre de ameixa japonesa é usado para a produção de um chá de flor de ameixa salgada conhecido como Sakura-cha, frequentemente servido em celebrações (BUDAK, Nilgün H. *et al.*, 2014; SOLTAN; SHEHATA, 2012).

Dessa forma, produção de vinagres partir de espécies de frutas nativas brasileiras constitui uma alternativa para o aproveitamento dos excedentes de safra e matérias-primas subutilizadas, reduzindo o impacto econômico e ambiental gerado pela fruticultura e contribuindo com a indústria alimentar na elaboração de um produto com potencial bioativo promissor.

#### 4 CONCLUSÃO

O vinagre pode ser elaborado a partir de uma ampla variedade de matérias-primas usando diferentes metodologias de produção.

Pesquisas demonstraram a viabilidade da utilização de frutas não convencionais para produção de vinagres empregando processos fermentativos, contribuindo para o aproveitamento de excedentes de colheita e possibilitando a agregação de valor da cadeia produtiva. Assim, verifica-se a necessidade de mais estudos para determinar as condições ideais para a elaboração de vinagres de fruta, além da otimização dos processos para permitir um maior rendimento do produto.

Dessa forma, essa revisão bibliográfica pode motivar outros pesquisadores a realizar novas investigações relacionadas aos vinagres de frutas, com o intuito de elaborar produtos inovadores e com potenciais benefícios à saúde humana.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, M. R. Vinegar. In: MAS, A. *et al.* **Microbiology of Fermented Foods**. 2 ed. Glasgow: Blackie Academic and Professional, 2015. v. 1, p. 1-37.
- ADEBAYO-OYETORO, A. O. *et al.* Production and quality evaluation of vinegar from mango. **Cogent Food & Agriculture**, v. 3, n. 1, p. 1278193, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1278193>. Acesso em: 05 mai. 2021.
- ALI, Z. *et al.* Daily date vinegar consumption improves hyperlipidemia,  $\beta$ -carotenoid and inflammatory biomarkers in mildly hypercholesterolemic adults. **Journal of Herbal Medicine**, v. 17–18, n. February 2018, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2019.100265>. Acesso em: 08 abr. 2021.
- AQUARONE, E.; ZANCANARO JUNIOR, O. Vinagres. In: AQUARONE, E.; LIMA, U. A.; BORZANI, W. **Alimentos e bebidas produzidos por fermentação**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 1983. v.5, p. 104-122.
- ARAÚJO, L. T. **Estudo da produção e do envelhecimento do vinagre de laranja lima**. 2012. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012. Disponível em: [http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1183/1/Estudo da produção e do envelhecimento do vinagre de laranja lima.pdf](http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1183/1/Estudo%20da%20produção%20e%20do%20envelhecimento%20do%20vinagre%20de%20laranja%20lima.pdf). Acesso em: 16 fev. 2021.
- BAENA-RUANO, S. *et al.* Rapid method for total, viable and non-viable acetic acid bacteria determination during acetification process. **Process Biochemistry**, v. 41, n. 5, p. 1160–1164, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.12.016>. Acesso em: 12 abr. 2021.
- BAKIR, S. *et al.* Fruit antioxidants during vinegar processing: Changes in content and in vitro bio-accessibility. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, n. 10, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms17101658>. Acesso em: 09 jul. 2021.
- BARBOSA, C. D. **Obtenção e caracterização de vinho e vinagre de manga (Mangifera indica L.):** Parâmetros cinéticos das fermentações alcoólica e acética. 2014. 129 f. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: [https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=1940156#](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=1940156#). Acesso em: 16 fev. 2021.
- BOONSUPA, W. Chemical properties, antioxidant activities and sensory evaluation of berry vinegar. **Walailak Journal of Science and Technology**, v. 16, n. 11, p. 887–896, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.48048/wjst.2019.4562>. Acesso em: 18 mar. 2021.
- BORTOLINI, F.; SANT’ANNA, E. S.; TORRES, R. C. Comportamento das fermentações alcoólica e acética de sucos de kiwi (*Actinidia deliciosa*): Composição dos mostos e métodos de fermentação acética. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p. 236–243, 2001.

Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612001000200020>. Acesso em: 23 fev. 2021.

BOUATENIN, K. M. J. *et al.* Organic production of vinegar from mango and papaya. **Food Science and Nutrition**, v. 9, n. 1, p. 190–196, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/fsn3.1981>. Acesso em: 05 mai. 2021.

BOUNIHI, A. *et al.* Fruit vinegars attenuate cardiac injury via anti-inflammatory and anti-adiposity actions in high-fat diet-induced obese rats. **Pharmaceutical Biology**, v. 55, n. 1, p. 43–52, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13880209.2016.1226369>. Acesso em: 14 jul. 2021.

BRASIL. **Decreto nº 6.871, 04 jun. 2009**. Regulamenta a padronização, a classificação, o registro, a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de bebidas. Brasília, DF, 04 jun. 2009. Seção VI. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/decreto-no-6-871-de-4-de-junho-de-2009.pdf/view>. Acesso em: 04 mai. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 06, 13 abr. 2012**. Estabelece os padrões de identidade e qualidade e a classificação dos fermentados acéticos. Brasília, DF, 13 abr. 2012b. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/instrucao-normativa-no-6-de-3-de-abril-de-2012.pdf/view>. Acesso em: 23 abr. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 34, 29 nov. 2012**. Estabelece a complementação dos padrões de identidade e qualidade para bebidas fermentadas. Brasília, DF, 29 nov. 2012a. Disponível em: <https://alimentosconsultoria.com.br/wp-content/uploads/2018/04/IN-No-34-de-29-de-novembro-de-2012.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2021.

BRASIL. **Decreto nº 8.198, 20 fev. 2014**. Regulamenta a lei nº 7.678, de 8 de novembro de 1988, que dispõe sobre a produção, circulação e comercialização do vinho e derivados da uva e do vinho. Brasília, DF, 20 fev. 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/decreto-no-8-198-de-20-de-fevereiro-de-2014.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 16, 19 mar. 2020**. Estabelece a proibição de utilização de açúcar na elaboração do fermentado de fruta que sirva de matéria prima para a produção de fermentado acético de fruta. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 mar. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-no-16-de-19-de-marco-de-2020-249311176>. Acesso em: 05 jul. 2021.

BUDAK, N. H. *et al.* Effects of apple cider vinegars produced with different techniques on blood lipids in high-cholesterol-fed rats. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 12, p. 6638–6644, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf104912h>. Acesso em: 18 ago. 2021.

BUDAK, N. H. *et al.* Functional Properties of Vinegar. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 5, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12434>. Acesso em: 18 mar. 2021.

CALLEJÓN, R. M. *et al.* Food Integrity Handbook. **Eurofins Analytics France**, 2019.

CEJUDO-BASTANTE, C. *et al.* Chemical and sensory characteristics of orange based vinegar. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 8, p. 3147–3156, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2288-7>. Acesso em: 19 jun. 2021.

CEJUDO-BASTANTE, C. *et al.* Comparative study of submerged and surface culture acetification process for orange vinegar. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 3, p. 1052–1060, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8554>. Acesso em: 19 jun. 2021.

CHEN, Y. *et al.* Effects of mixed cultures of *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum* in alcoholic fermentation on the physicochemical and sensory properties of citrus vinegar. **Lwt**, v. 84, p. 753–763, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.032>. Acesso em: 19 jun. 2021.

CIZMAROVA, B. *et al.* Caffeic acid: a brief overview of its presence, metabolism, and bioactivity. **Bioactive Compounds in Health and Disease**, v. 3, n. 4, p. 74, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.31989/bchd.v3i4.692>. Acesso em: 09 jul. 2021.

COELHO, E. *et al.* Vinegar production from fruit concentrates: effect on volatile composition and antioxidant activity. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 12, p. 4112–4122, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2783-5>. Acesso em: 08 abr. 2021.

DAVIES, C. V. *et al.* Bioactive compounds and antioxidant activity analysis during orange vinegar production. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 3, p. 449–455, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-457x.20816>. Acesso em: 24 jun. 2021.

DI DONNA, L. *et al.* Vinegar production from Citrus bergamia by-products and preservation of bioactive compounds. **European Food Research and Technology**, v. 246, n. 10, p. 1981–1990, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03549-1>. Acesso em: 08 mar. 2021.

DIAS, D. R. *et al.* Vinegar production from jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) fruit using immobilized acetic acid bacteria. **Food Technology and Biotechnology**, v. 54, n. 3, p. 351–359, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.17113/ftb.54.03.16.4416>. Acesso em: 08 mar. 2021.

FAN, J. *et al.* Antithrombotic and fibrinolytic activities of methanolic extract of aged sorghum vinegar. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 18, p. 8683–8687, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf901680y>. Acesso em: 18 ago. 2021.

FERNANDES, A. C. F. *et al.* Sensorial, antioxidant and antimicrobial evaluation of vinegars

from surpluses of physalis (*Physalis pubescens* L.) and red pitahaya (*Hylocereus monacanthus*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 5, p. 2267–2274, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9422>. Acesso em: 14 jul. 2021.

FONSECA, M. S. *et al.* Blueberry and honey vinegar: Successive batch production, antioxidant potential and antimicrobial ability. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.10117>. Acesso em: 05 mai. 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization. The State of Food and Agriculture 2019: Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction; Food and Agriculture Organization: Rome, Italy, 2019.

GARCÍA-GARCÍA, I. *et al.* Vinegar Engineering. In: SOLIERI, L.; GIUDICI, P. **Vinegars of the World**, 2009. p. 97-119. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-88-470-0866-3.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2021.

GIUFFRÈ, A.M. *et al.* Vinegar production to valorise Citrus bergamia by-products. **European Food Research and Technology**, v. 245, n. 3, p. 667–675, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3189-y>. Acesso em: 19 jun. 2021.

GOKIRMAKLI, Ç. *et al.* Antioxidant Properties of Strawberry Vinegar. **International Journal of Food Engineering**, v. 5, n. 3, p. 171–174, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.18178/ijfe.5.3.171-174>. Acesso em: 09 jul. 2021.

GRANANDA, G. G. *et al.* Vinagres de folhas de videira: aspectos sensoriais. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 18, n. 1, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/cep.v18i1.1124>. Acesso em: 12 abr. 2021.

GULLO, M.; VERZELLONI, E.; CANONICO, M. Aerobic submerged fermentation by acetic acid bacteria for vinegar production: Process and biotechnological aspects. **Process Biochemistry**, v. 49, n. 10, p. 1571–1579, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.07.003>. Acesso em: 19 mar. 2021.

HAILU, S.; ADMASSU, S.; JHA, Y. K. Vinegar Production Technology – An Overview. **Beverage & Food World**, n. August, p. 1–5, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/280722745\\_Vinegar\\_Production\\_Technology\\_-\\_An\\_Overview](https://www.researchgate.net/publication/280722745_Vinegar_Production_Technology_-_An_Overview). Acesso em: 11 jul. 2021.

HIDALGO, C. *et al.* Effect of inoculation on strawberry fermentation and acetification processes using native strains of yeast and acetic acid bacteria. **Food Microbiology**, v. 34, n. 1, p. 88–94, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.11.019>. Acesso em: 19 jun. 2021.

HO, C. W. *et al.* Varieties, production, composition and health benefits of vinegars: A review. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1621–1630, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.128>. Acesso em: 19 mar. 2021.

HORNEDO-ORTEGA, R. *et al.* Influence of Fermentation Process on the Anthocyanin Composition of Wine and Vinegar Elaborated from Strawberry. **Journal of Food Science**, v. 82, n. 2, p. 364–372, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13624>. Acesso em: 24 jun. 2021.

HUTCHINSON, U. F. *et al.* Vinegar Engineering: a Bioprocess Perspective. **Food Engineering Reviews**, v. 11, n. 4, p. 290–305, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09196-x>. Acesso em: 18 mar. 2021.

HUTKINS, R. W. Vinegar Fermentation. In: HUTKINS, R.W. **Microbiology and Technology of Fermented Foods**. 1 ed. Victoria: Blackwell, 2006. p. 397-416.

IGBINADOLOR, R. O. Other Tropical Fruit Vinegars. In: SOLIERI, L.; GIUDICI, P. **Vinegars of the World**, 2009. p. 261-270. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-88-470-0866-3.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2021.

JANG, Y. K. *et al.* Comparison of traditional and commercial vinegars based on metabolite profiling and antioxidant activity. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 25, n. 2, p. 217–226, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4014/jmb.1408.08021>. Acesso em: 05 ago. 2021.

JANNAH, S. N. *et al.* Production of coco-vinegar in a bubble biofermentor. **Journal of Physics: Conference Series**, Central Java, Indonesia, v. 1524, n. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1524/1/012066>. Acesso em: 18 mar. 2021.

JOHNSTON, C. S.; KIM, C. M.; BULLER, A. J. Vinegar improves insulin sensitivity to a high-carbohydrate meal in subjects with insulin resistance or type 2 diabetes, 2004. Disponível em: <https://care.diabetesjournals.org/content/diacare/27/1/281.full.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2021.

KANG, M.; HA, J. H.; LEE, Y. Physicochemical properties, antioxidant activities and sensory characteristics of commercial gape vinegars during long-term storage. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 4, p. 909–916, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/fst.25119>. Acesso em: 11 jul. 2021.

KAWA-RYGIELSKA, J. *et al.* Bioactive compounds in cornelian cherry vinegars. **Molecules**, v. 23, n. 2, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules23020379>. Acesso em: 27 jul. 2021.

KHARCHOUFI, S. *et al.* Benchmarking laboratory-scale pomegranate vinegar against commercial wine vinegars: antioxidant activity and chemical composition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 12, p. 4749–4758, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9011>. Acesso em: 27 jul. 2021.

LEONÉS, A. *et al.* Development of vinegar obtained from lemon juice: Optimization and chemical characterization of the process. **Lwt**, v. 100, n. June 2018, p. 314–321, 2019.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.096>. Acesso em: 08 abr. 2021.

LIMA, K. P. **Produção de vinagre como estratégia de aproveitamento tecnológico da amora-preta**: Avaliação do processo submerso e do processo lento. 2014. 115 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014. Disponível em: [http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/865/1/PB\\_PPGTP\\_M\\_Lima%2CKelyPriscila\\_de\\_2014.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/865/1/PB_PPGTP_M_Lima%2CKelyPriscila_de_2014.pdf). Acesso em: 16 fev. 2021.

LIMA, U. A.; BASSO, L.C.; AMORIM, H. V. *et al.* Produção de etanol. In: LIMA, U.A. *et al.* **Biotecnologia Industrial**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2001. v. 3, p. 1-40.

LIU, Q. *et al.* Antioxidant activities, phenolic profiles, and organic acid contents of fruit vinegars. **Antioxidants**, v. 8, n. 4, p. 1–12, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/antiox8040078>. Acesso em: 19 jun. 2021.

LIU, F; HE, Y. Application of successive projections algorithm for variable selection to determine organic acids of plum vinegar. **Food Chemistry**, v. 115, n. 4, p. 1430–1436, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.073>. Acesso em: 27 jul. 2021.

LÓPEZ, N. E. L.; LEIVA, V. U.; CARRASCO, C. A. Development of a distilled-like alcoholic drink from blueberry (*Vaccinium corymbosum*) cv. Brigitta, and sensory analysis, v. 65, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v65n1/v65n1a01.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2021.

LUZÓN-QUINTANA, L. M; CASTRO, R.; DURÁN-GUERRERO, E. Biotechnological Processes in Fruit Vinegar Production. **Foods**, v. 10, n. 5, p. 945, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods10050945>. Acesso em: 05 mai. 2021.

LYNCH, K. M. *et al.* Physiology of Acetic Acid Bacteria and Their Role in Vinegar and Fermented Beverages. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 3, p. 587–625, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12440>. Acesso em: 18 mar. 2021.

MARQUES, F. P. P. *et al.* Padrões de identidade e qualidade de fermentados acéticos comerciais de frutas e vegetais. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 119–126, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0101-20612010000500019>. Acesso em: 14 abr. 2021.

MEINHART, A. D. *et al.* Chlorogenic and caffeic acids in 64 fruits consumed in Brazil. **Food Chemistry**, v. 286, n. February, p. 51–63, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.004>. Acesso em: 09 jul. 2021.

MINNAAR, P. *et al.* Effect of alcoholic and acetous fermentations on the phenolic acids of Kei-apple (*Dovyalis caffra* L.) fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 10, p. 4315–4320, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.11071>. Acesso em: 19 jun. 2021.

MOON, Y. *et al.* Effects of persimmon-vinegar on lipid and carnitine profiles in mice. **Food**

**Science and Biotechnology**, v. 19, n. 2, p. 343–348, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0049-3>. Acesso em: 14 jul. 2021.

NEVES, G. A. R. *et al.* Vinegar from *Anacardium othonianum* Rizzini using submerged fermentation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 7, p. 2855–2862, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.10916>. Acesso em: 19 jun. 2021.

ORDOUDI, S. A. *et al.* Pomegranate juice functional constituents after alcoholic and acetic acid fermentation. **Journal of Functional Foods**, v. 8, n. 1, p. 161–168, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.03.015>. Acesso em: 24 jun. 2021.

ÖZEN, M. *et al.* Sour cherry (*Prunus cerasus* L.) vinegars produced from fresh fruit or juice concentrate: Bioactive compounds, volatile aroma compounds and antioxidant capacities. **Food Chemistry**, v. 309, n. June 2019, p. 125664, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125664>. Acesso em: 08 abr. 2021.

PEREIRA, F. S. G. **Vinagres - Produção e controle de qualidade**. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29484.05761>. Acesso em: 23 abr. 2021.

PERESTRELO, R. *et al.* Establishment of the volatile signature of wine-based aromatic vinegars subjected to maceration. **Molecules**, v. 23, n. 2, p. 1–18, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules23020499>. Acesso em: 19 jun. 2021.

REN, M. *et al.* Characterization of Organic Acids and Phenolic Compounds of Cereal Vinegars and Fruit Vinegars in China. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 3, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpp.12937>. Acesso em: 14 jul. 2021.

RIZZON, L. A.; MENEGUZZO, J. **Elaboração de vinagre**. Embrapa Uva e Vinho (Documentos). Bento Gonçalves, 2002. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/26037/1/Doc36.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2021.

RODA, A. *et al.* Metabolite profiling and volatiles of pineapple wine and vinegar obtained from pineapple waste. **Food Chemistry**, v. 229, p. 734–742, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.111>. Acesso em: 19 jun. 2021.

SANTANA-GÁLVEZ, J.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A. Chlorogenic Acid: Recent advances on its dual role as a food additive and a nutraceutical against metabolic syndrome. **Molecules**, v. 22, n. 3, p. 7–9, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules22030358>. Acesso em: 09 jul. 2021.

SANTOS JUNIOR, Vitório. **Estudo das necessidades nutricionais de bactérias acéticas para a produção de ácido acético**. 2009. 96 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009. Disponível em: [http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/256618/1/SantosJunior\\_Vitoriodos\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/256618/1/SantosJunior_Vitoriodos_D.pdf). Acesso em: 16 fev. 2021.

SENGUN, I. Y.; KILIC, G.; OZTURK, B. Screening physicochemical, microbiological and

bioactive properties of fruit vinegars produced from various raw materials. **Food Science and Biotechnology**, v. 29, n. 3, p. 401–408, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00678-6>. Acesso em: 28 jul. 2021.

SIEPMANN, F. B.; CANAN, C.; COLLA, E. Processos e substratos para produção de vinagres: uma revisão. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v. 2, n. 12, p. 12-22, 2015. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/recit/article/view/4338>. Acesso em: 06 mai. 2021.

SILVA, M. E. *et al.* Cashew wine vinegar production: Alcoholic and acetic fermentation. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 24, n. 2, p. 163–169, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-66322007000200001>. Acesso em: 23 fev. 2021.

SOLTAN, S. S. A.; SHEHATA, M. M. E. M. Antidiabetic and Hypocholesterolemic effect of Different Types of Vinegar in Rats Life. **Science Journal**, 2012. Disponível em: [http://www.lifesciencesite.com/ljsj/life0904/319\\_12252life0904\\_2141\\_2151.pdf](http://www.lifesciencesite.com/ljsj/life0904/319_12252life0904_2141_2151.pdf). Acesso em: 14 jul. 2021.

SONG, N. E.; CHO, S. H.; BAIK, S. H. Microbial community, and biochemical and physiological properties of Korean traditional black raspberry (*Robus coreanus Miquel*) vinegar. **Journal of the science of food and agriculture**, v. 96, n. 11, p. 3723–3730, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7560>. Acesso em: 24 jun. 2021.

SPINOSA, W.A. *et al.* Vinegar rice (*Oryza sativa* L.) produced by a submerged fermentation process from alcoholic fermented rice. **Food Science and Technology**, v. 35, n. 1, p. 196–201, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6605>. Acesso em: 19 jun. 2021.

SU, M. S.; SILVA, J. L. Antioxidant activity, anthocyanins, and phenolics of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*) by-products as affected by fermentation. **Food Chemistry**, v. 97, n. 3, p. 447–451, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.023>. Acesso em: 27 jul. 2021.

SUMAN, P. A. **Processo de obtenção de vinagre de gengibre**. 2012. 97f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, São Paulo, 2012. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90532/suman\\_pa\\_me\\_botfca.pdf?sequenc e=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90532/suman_pa_me_botfca.pdf?sequenc e=1&isAllowed=y). Acesso em: 24 jun. 2021. Acesso em: 24 jun. 2021.

TESFAYE, W. *et al.* Wine vinegar: Technology, authenticity and quality evaluation. **Trends in Food Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 12–21, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00023-7). Acesso em: 12 abr. 2021.

TESSARO, D. *et al.* Avaliação das fermentações alcoólica e acética para produção de vinagre a partir de suco de laranja. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 32, n. 2, p. 201–205, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v32i2.4275>. Acesso em: 24 jun. 2021.

UBEDA, C. *et al.* Employment of different processes for the production of strawberry

vinegars: Effects on antioxidant activity, total phenols and monomeric anthocyanins. **LWT - Food Science and Technology**, v. 52, n. 2, p. 139–145, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.04.021>. Acesso em: 19 jun. 2021.

UBEDA, C. *et al.* A comparative study on aromatic profiles of strawberry vinegars obtained using different conditions in the production process. **Food Chemistry**, v. 192, p. 1051–1059, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.091>. Acesso em: 08 abr. 2021.

XAVIER, D.; IVANOV, R. C.; ANDRADE, E. Produção e caracterização de vinagre de físalis. p. 27–32, 2011. Acesso em: 21 set. 2021.

XIA, T. *et al.* Nutrients and bioactive components from vinegar: A fermented and functional food. **Journal of Functional Foods**, v. 64, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103681>. Acesso em: 11 mar. 2021.

YUSOFF, N. A. *et al.* Antidiabetic and antioxidant activities of *Nypa fruticans* Wurmb. vinegar sample from Malaysia. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, v. 8, n. 8, p. 595–605, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2015.07.015>. Acesso em: 18 ago. 2021.

ZHAO, H. *et al.* Two types of new natural materials for fruit vinegar in *Prunus* plants. **MATEC Web of Conferences**, v. 100, p. 0–4, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710004006>. Acesso em: 24 jun. 2021.

ZILIOLI, E. **Composição química e propriedades funcionais no processamento de vinagres**. 98 f. 2011. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011. Disponível em: [http://www.repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/256617/1/Zilioli\\_Estevao\\_D.pdf](http://www.repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/256617/1/Zilioli_Estevao_D.pdf). Acesso em: 23 fev. 2021.

ZOU, B. *et al.* Evolution of the antioxidant capacity and phenolic contents of persimmon during fermentation. **Food Science and Biotechnology**, v. 26, n. 3, p. 563–571, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0099-x>. Acesso em: 24 jun. 2021.