



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRITO SENSU EM SISTEMAS
AGROINDUSTRIAIS**

LARISSA DA SILVA SANTOS PINHEIRO

**DESENVOLVIMENTO DE CERVEJA ADICIONADA DE EXTRATOS DE
PRÓPOLIS**

Pombal - PB

2023

LARISSA DA SILVA SANTOS PINHEIRO

**DESENVOLVIMENTO DE CERVEJA ADICIONADA DE EXTRATOS DE
PRÓPOLIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Sistemas Agroindustriais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Sistemas Agroindustriais com ênfase em Ciências e tecnologia de alimentos.

Área de Concentração: Sistemas Agroindustriais

Linha de Pesquisa: Ciência e Tecnologia de Alimentos

Orientadores: Prof^a. D.sc. Alfredina Dos Santos Araújo

Prof^o D.sc. Adriano Sant'ana Silva

Pombal - PB

2023

P654d Pinheiro, Larissa da Silva Santos.
Desenvolvimento de cerveja adicionada de extratos de própolis /
Larissa da Silva Santos Pinheiro. – Pombal, 2023.
138 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade
Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia
Agroalimentar, 2023.

“Orientação: Profa. Dra. Alfredina dos Santos Araújo, Prof. Dr.
Adriano Sant’ana Silva”.

Referências.

1. Fermentação alcoólica. 2. Fermentação em estado sólido. 3. Cinética
de secagem. 4. Resíduos cervejeiros. I. Araújo, Alfredina dos Santos. II.
Silva, Adriano Sant’ana. III. Título.

CDU 663.4(043)

DECLARAÇÃO DE AUTENTICIDADE

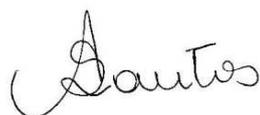
LARISSA DA SILVA SANTOS PINHEIRO

DESENVOLVIMENTO DE CERVEJA ADICIONADA DE EXTRATOS DE PRÓPOLIS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Pombal, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de mestre em Sistemas Agroindustriais.

Aprovado em 03 de março de 2023.

BANCA EXAMINADORA:



Orientadora: Prof^ª. D.Sc. Alfredina dos Santos Araújo/UATA/PPGSA/UFCG



Orientador: Prof. D.Sc. Adriano Sant'Ana Silva/UATA/PPGSA/UFCG



Examinador Interno: Maria do Socorro Araujo Rodrigues / PPGSA/ UFCG



Examinador Externo: Wiaslan Figueiredo Martins/Departamento de Alimentos/Instituto Federal Goiano – Campus Morrinho

Pombal-PB

2023

*“Depositei toda a minha esperança no Senhor; ele se inclinou para mim
e ouviu meu grito de socorro. ”
Salmo 40:1*

A Deus por sempre ter me dado forças para superar os momentos mais difíceis, a minha mãe (Maria José) e ao meu pai (João Pinheiro) por serem minha maior inspiração, ao meu filho (Henry Gabriel) por ser minha força, meu ponto de equilíbrio e meu grande amor, ao meu esposo (José Nildo) pela força e pelo amor incondicional, meu irmão (João Emmanuel) e minha avó (Severina) *in memoriam*. Essa conquista é nossa.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao senhor meu Deus, por sempre está ao meu lado durante toda caminhada, iluminando meu caminho, me dando forças e fortalecendo minha fé para superar os momentos mais difíceis, transformando meu sonho em realidade.

Ao grande amor da minha vida, meu filho Henry Gabriel, que é minha força, meu ponto de equilíbrio, minha paz, a razão de continuar lutando a cada dia. Obrigada meu pequeno pelo amor dedicado, pela paciência, carinho, pelos abraços e beijos mais sinceros em todo instante e momento. Te amo meu filho!

Aos meus pais Maria José e João Pinheiro, por todo amor, força, dedicação, confiança, amizade, palavras de encorajamento, amparo nos momentos difíceis e compreensão. Obrigada minha mãe por dar todo suporte que preciso, e por cuidar do meu filho tão bem na minha ausência. A vocês dedico o meu, mais sincero e puro amor, são vocês meus maiores exemplos de vida.

Ao meu esposo, José Nildo, que sempre esteve ao meu lado nessa trajetória. Obrigada por ser minha base, por todo amor, compreensão, cuidado, cumplicidade, incentivo, ajuda e principalmente por acreditar sempre que sou capaz.

Ao meu irmão, João Emmanuel, pelo amor, carinho, apoio, por sempre acreditar em mim e na minha trajetória de vida. Obrigada pela irmandade e por sempre está presente.

Aos meus familiares, por todo apoio, em especial, minha avó Severina *in memoriam*, a minha tia Luzinete Silva, Sandra Silva, Cida Pinheiro, Fátima Pinheiro, Christian Bruno, Lívia Brunna, Lidjane Fernandes e Roseilton Fernandes, pelo apoio e amor que nunca me deixaram faltar.

Aos meus sogros Maria Diva e Antônio Deodato, bem como Raimunda Formiga e Almir Formiga, pela força e carinho dedicado.

Aos meus orientadores D. Sc. Alfredina dos Santos Araújo e D. Sc. Adriano Sant'ana Silva, por acreditarem no meu potencial, pela amizade, apoio, conselhos valorosos, paciência, ensinamentos, disponibilidade e contribuições, do início ao fim da minha trajetória. Vocês foram essenciais para a realização desse sonho.

Aos professores Dra. Maria do Socorro Araújo rodrigues (Fernanda) e Dr. Wiaslan Figueiredo Martins, pela colaboração, disponibilidade e contribuições repletas de conhecimento.

Agradeço de forma especial a minha amiga Dauany Oliveira, pela amizade

sincera, irmandade, amor, força, ensinamentos, preocupações, palavras motivadoras e ajuda em todos os sentidos. Deus colocou você no meu caminho e eu agradeço a cada dia por essa oportunidade. Você é significado de amor, humildade, compreensão e luz para todos que convivem ao teu lado. Que Deus possa sempre te abençoar.

Aos meus amigos Rosenildo Silva e Alison Oliveira, por toda ajuda, amizade, irmandade, apoio, conselhos, por todas as conversas compartilhadas e ajuda do início ao fim durante toda trajetória. Vocês são incríveis.

Aos meus colegas de pesquisa, Gleyson Batista, Francisco Bruno, Glória Louine, pela colaboração na execução do trabalho, satisfação em fazê-lo.

As minhas colegas de curso Amanda Rodrigues e Ayla Dayane pela boa convivência e conversas compartilhadas durante todo tempo.

Ao Centro Vocacional Tecnológico pelo suporte. Um agradecimento especial a Maria das Graça, Jayanne Rodrigues e Tamires Carvalho pelo apoio, palavras de incentivo e auxílio durante o percurso.

Aos técnicos Joyce, Emmanuel, Vito e Jeanne pela contribuição e disponibilidade pelo uso dos laboratórios, minha gratidão.

À Universidade Federal de Campina Grande, ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, especialmente ao Programa de Pós - Graduação em Sistemas Agroindustriais, pela acolhida;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos.

A todos os familiares e amigos que me ajudaram e que não foram citados, o meu mais sincero e profundo agradecimento. A minha Gratidão!

PINHEIRO, L. S. S. **Desenvolvimento De Cerveja Adicionada De Extratos De Própolis**. 2023. 138 f. Dissertação (Sistemas Agroindustriais) Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2023.

RESUMO

Atualmente a cerveja é uma das bebidas mais consumidas no Brasil e no mundo, e cada vez mais, pequenas e médias cervejarias surgem com receituário diferenciado. No tocante às formulações de cerveja, a busca por produtos mais atrativos e que minimizem a ação negativa do álcool cresce cada vez no mercado. Com a premissa de uma nova cerveja e adicionando a mesma produtos naturais e de fácil obtenção utilizamos a própolis, por ser natural e que pode ser introduzida em diversos pontos da fabricação da cerveja, protegendo-a da oxidação e agregando sabor diferenciado à bebida. Todavia, um grande problema enfrentado pelas médias e pequenas cervejarias, reside no manejo de seus resíduos gerados na produção. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi desenvolver uma cerveja adicionada de dois diferentes extratos de própolis, estudando a cinética de fermentação, fermentação semissólida e a cinética de secagem oriundas da produção de cerveja. Foi realizado a fermentação alcoólica, a fermentação em estado sólido com planejamento experimental 2^2 e; a cinética de secagem, aplicando modelos matemáticos. Na fermentação alcoólica os experimentos C e E com 4% de extrato potencializaram o processo, obtendo melhor cinética, maior consumo de substrato e maior crescimento celular com maiores concentrações de etanol em menos tempo. A utilização do extrato como adjunto mostrou-se eficiente na cerveja, proporcionando maiores concentrações de bioativos, com teor alcóolico de 4,5 % em média. Na fermentação em estado sólido, as maiores temperaturas entre 35 e 40°C e as maiores concentrações de leveduras de 15% e de 20% tiveram maior influência, resultando em teores significativos para as variáveis respostas. O modelo matemático de primeira ordem representou bem as respostas, sendo estatisticamente significativo e preditivo. Para o processo de secagem do resíduo, o modelo de Page foi o que melhor representou o processo, ademais ocorreu aumento dos bioativos no resíduo *pale ale* seco em diferentes temperaturas.

Palavras-chaves: Fermentação Alcoólica; Fermentação em estado sólido; Cinética de secagem; Resíduos Cervejeiros.

PINHEIRO, L. S. S. **Development of Beer Added with Propolis Extracts**. 2023. 138 f. Dissertation (Agroindustrial Systems) Federal University of Campina Grande, Pombal, 2023.

ABSTRACT

Currently, beer is one of the most consumed beverages in Brazil and in the world, and more and more, small, and medium-sized breweries are emerging with different recipes. With regard to beer formulations, the search for more attractive products that minimize the negative effects of alcohol is growing in the market. With the premise of a new beer and adding natural and easily obtainable products to it, we use propolis, as it is natural and can be introduced at various points in the brewing process, protecting it from oxidation and adding a different flavor to the drink. However, a major problem faced by medium and small breweries lies in the management of their waste generated in production. Thus, the objective of this work was to develop a beer added with two different propolis extracts, studying the kinetics of fermentation, semi-solid fermentation and the kinetics of drying resulting from beer production. Alcoholic fermentation, solid state fermentation with experimental design 22 and; the drying kinetics, applying mathematical models. In alcoholic fermentation, experiments C and E with 4% extract potentiated the process, obtaining better kinetics, greater substrate consumption and greater cell growth with higher concentrations of ethanol in less time. The use of the extract as an adjunct proved to be efficient in beer, providing higher concentrations of bioactives, with an alcohol content of 4.5% on average. In solid state fermentation, the highest temperatures between 35 and 40°C and the highest yeast concentrations of 15% and 20% had the greatest influence, resulting in significant levels for the response variables. The first-order mathematical model represented the responses well, being statistically significant and predictive. For the drying process of the residue, Page's model was the one that best represented the process, in addition, there was an increase in the bioactive ingredients in the dry *pale ale* residue at different temperatures.

Keywords: Alcoholic Fermentation; Solid state fermentation; Drying kinetics; Brewery Waste.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ANOVA – Análise de Variância
- AR– Açúcares redutores
- ART – Açúcares Redutores Totais
- BDA– Agar Batata Dextrose
- BJCP– Beer Judge Certification Program, Inc.
- CAR– Carotenoides totais
- CFT– Compostos Fenólicos Totais
- CO₂– Dióxido de carbono
- DIC– Delineamento em blocos inteiramente casualizados
- DNS – Ácido 3,5 Dinitro Salicílico
- DQM – Desvio quadrático médio
- F_{cal}– F calculado
- F_{tab}– F tabelado
- GL– Grau de liberdade
- IAL – Instituto Adolfo Lutz
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
- PB– Proteína bruta
- QM– Quadrado médio
- R² – Coeficiente de determinação
- RU– Razão de umidade
- RX – Razão do teor de água (adimensional)
- RX_{exp} – Razão de teor de água experimental
- RX_{exp} – Razão do teor de água experimental, adimensional

RX_{pred} – Razão de teor de água predita pelo modelo

RX_{pred} – Razão do teor de água predito pelo modelo, adimensional

SQ– Soma dos quadrados

SST – Sólidos Solúveis Totais

TAN– Taninos totais

X – Teor de água, % b.s.

X_e – Teor de água de equilíbrio, % b.s

X_i – Teor de água inicial, % b.s

χ^2 – Qui-quadrado

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Insumos cervejeiros utilizados nos experimentos	40
Tabela 2- Tratamentos e concentrações utilizadas no estudo da fermentação alcoólica do mosto adicionado de extrato de própolis	43
Tabela 3- Níveis reais e codificados das variáveis a serem utilizados na fermentação em estado sólido do resíduo	44
Tabela 4- Matriz do planejamento experimental para a fermentação em estado sólido	44
Tabela 5- Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem.....	47
Tabela 6- Resultados médios das análises Escherichia coli, Estafilococos Coagulase Positiva, Fungos Filamentosos e leveduras e Salmonella / 25 mL dos extratos das própolis vermelha e verde.....	49
Tabela 7- Resultados médios da caracterização físico-química e compostos bioativos dos extratos de própolis vermelha e própolis verde	50
Tabela 8- Resultados médios da análise de cor para os extratos de própolis vermelha e própolis verde	53
Tabela 9- Resultados médios da caracterização físico-química do bagaço de malte e da levedura	55
Tabela 10- Resultados médios dos compostos bioativos do bagaço de malte e da levedura	57
Tabela 11- Resultados médios das análises de Escherichia coli, Contagem total de bactérias aeróbios mesófilos, Fungos Filamentosos e leveduras e Salmonella /25 mL da cerveja produzida com adição dos extratos das própolis vermelha e verde	63
Tabela 12- Resultados médios da caracterização físico-química das cervejas produzidas com adição do extrato da própolis vermelha e verde	64
Tabela 13- Resultados médios dos compostos bioativos das cervejas produzidas com adição dos extratos das própolis vermelha e verde.....	67
Tabela 14- Resultados médios da análise de cor das cervejas produzidas com adição dos extratos das própolis vermelha e verde.....	70
Tabela 15- Matriz do planejamento com os valores reais e os resultados respectivos para as respostas de proteína bruta, carotenoides, compostos fenólicos e taninos.....	72
Tabela 16- Modelos matemáticos validado estatisticamente para as variáveis independentes sobre as respostas de proteína bruta, carotenoides, compostos fenólicos e taninos, sendo representados nas seguintes equações	75
Tabela 17- Análise de variância simplificada para resposta de proteína bruta.....	76

Tabela 18- Análise de variância simplificada para a resposta de Carotenoides	76
Tabela 19- Análise de variância simplificada para a resposta de Compostos fenólicos	76
Tabela 20- Análise de variância simplificada para a resposta de Taninos	77
Tabela 21- Parâmetros dos modelos matemáticos com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) da secagem em estufa do resíduo cervejeiro pale ale	96
Tabela 22- Resultados médios da caracterização físico-química do resíduo pale ale seco em diferentes temperaturas de secagem	99
Tabela 23- Resultados médios dos compostos bioativos do resíduo pale ale seco em diferentes temperaturas de secagem	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma de obtenção da produção de cerveja (Fonte: elaborada pela autora, 2023).....	41
Figura 2. Perfil da variação do pH e acidez total titulável do mosto cervejeiro do processo cinético da fermentação alcoólica. Padrão: não contém os extratos das própolis; Experimento 1: própolis verde (2%); Experimento 2: própolis verde (4%); Experimento 3: própolis vermelha (2%); Experimento 4: própolis vermelha (4%). (Fonte: elaborada pela autora, 2023).	59
Figura 3. Cinética fermentativa referente aos experimentos do processo da fermentação alcoólica. (A) experimento padrão: não contém os extratos das própolis; (B) experimento 1: própolis verde (2%); (C) experimento 2: própolis verde (4%); (D) experimento 3: própolis vermelha (2%); (E) experimento 4: própolis vermelha (4%). (Fonte: elaborada pela autora, 2023).	61
Figura 4. Diagramas de Pareto para os efeitos das variáveis independentes sobre a respostas de (a) proteína bruta, (b) carotenoides, (c) compostos fenólicos e (d) taninos. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).	73
Figura 5. Gráficos da probabilidade normal dos valores obtidos nos experimentos. a) Proteína Bruta; b) Carotenoides; c) Compostos fenólicos totais; d) Taninos. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).....	79
Figura 6. Curvas de contorno obtidas para a) proteína bruta, b) carotenoides, c) compostos fenólicos e d) taninos no processo fermentativo da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).	80
Figura 7. Perfil da variação do pH obtido no processo da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).	82
Figura 8. Perfil da variação da acidez total titulável obtido no processo da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).	84
Figura 9. Perfil de variação da umidade total obtido no processo cinético da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).	85
Figura 10. Cinética fermentativa referente aos experimentos executados no processo da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).	87
Figura 11. Relação de açúcares redutores x proteína bruta da cinética fermentativa referente aos experimentos executados no processo da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).	89

Figura 12. Perfil da variação dos carotenoides totais obtido no processo cinético da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).	91
Figura 13. Perfil da variação dos compostos fenólicos totais obtido no processo cinético da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).....	92
Figura 14. Perfil da variação dos taninos totais obtido no processo cinético da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).	93
Figura 15. Curvas das cinéticas de secagem dos resíduos nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).	95
Figura 16. Curvas das cinéticas de secagem dos resíduos nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, ajustadas pelo modelo de Page. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).....	98

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	21
2.1	OBJETIVO GERAL	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1	PRÓPOLIS	22
3.2	TIPOS DE PRÓPOLIS	23
3.3	USO BIOTECNOLÓGICO DA PRÓPOLIS	25
3.4	CERVEJA	27
3.5	SUBPRODUTOS CERVEJEIROS	30
3.6	SECAGEM	32
3.7	FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO	35
4	MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1	OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	37
4.2	OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS EXTRATOS HIDROALCOÓLICO DA PRÓPOLIS VERMELHA E VERDE	37
4.3	ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	38
4.4	COMPOSTOS BIOATIVOS	39
4.5	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	40
4.6	OBTENÇÃO DO MOSTO CERVEJEIRO E FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA 40	
4.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA	43
4.8	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, QUÍMICA E COMPOSTOS BIOATIVOS	43
4.9	PROCESSO DE FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO DO RESÍDUO DE MALTE	44
4.10	PROCESSO DE SECAGEM	46

4.11	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E COMPOSTOS BIOATIVOS	48
4.12	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1	CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS	49
5.2	PROCESSO CINÉTICO FERMENTATIVO DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA.....	58
5.3	CARACTERIZAÇÃO DA CERVEJA <i>PALE ALE</i> COM ADIÇÃO DOS EXTRATOS DA PRÓPOLIS VERMELHA E VERDE.....	62
5.4	FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO.....	72
5.5	PROCESSO CINÉTICO FERMENTATIVO DOS SUBPRODUTOS DA FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO.....	82
5.6	SECAGEM.....	94
5.7	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E COMPOSTOS BIOATIVOS DO RESÍDUO CERVEJEIRO SECO EM DIFERENTES TEMPERATURAS DE SECAGEM.....	99
6	CONCLUSÃO	104
	REFERÊNCIAS	106

1 INTRODUÇÃO

A cerveja é uma das bebidas alcoólicas mais consumidas no mundo. É produzida via fermentação alcoólica por leveduras que transformam os açúcares presentes no mosto, principalmente, em álcool etílico e dióxido de carbono, além também de em sua formulação, conter lúpulo e, opcionalmente, alguns adjuntos e aditivos (DENBY et al., 2018). O Brasil apresenta um número crescente de cervejarias, registrando em 2017 um total de 679 cervejarias legalmente instaladas (MAPA,2018), sendo um dos maiores produtores mundiais de cervejas.

A principal causa para o aumento do consumo da cerveja artesanal é a busca por autenticidade, novas experiências sensoriais diferenciadas, além de bebidas com apelo em seus atributos funcionais (VALENTIM et al., 2021). Buscando essa implementação, diversos insumos são utilizados na produção da cerveja (SANTOS et al., 2022; BETTENHAUSENET et al., 2018), e, dependendo desses ingredientes utilizados, pode-se ainda ter um aumento na quantidade de compostos bioativos com ação antioxidante (GARAGUSO et al., 2020).

Dentre os vários tipos de insumos, utilizados na produção da cerveja, citam-se o mel de abelha e os demais produtos oriundos da apicultura, na forma bruta ou como extratos em bebidas, os quais permitem conferir propriedades funcionais, estabilidade oxidativa à bebida, como também melhoramento do perfil sensorial (ZAPATA et al., 2019). Assim, produtos naturais têm-se destacados e utilizados com o intuito de agregar valor ao produto, apresentando grande possibilidade de inovação no mercado, entre as quais se destacam os produtos apícolas, como a própolis (RODRIGUES et al., 2022).

Diante disso, o uso da própolis na produção de cerveja é uma proposta a ser considerada, tendo em vista seu perfil funcional com capacidade antioxidante, antimicrobiana, antifúngica e com diversas propriedades biológicas, podendo ser utilizada de forma bruta ou como extrato, sendo utilizada como um insumo no processo produtivo, permitindo assim, prolongar sua conservação, agregar valor às suas características sensoriais, e melhorar o seu perfil nutricional (ARRUDA, 2019). Devido à grande variedade da flora brasileira, a coloração da própolis pode variar de marrom escuro a esverdeado, assim como marrom-avermelhado (DEEGAN., 2018), o que possibilita a elaboração de diversas formulações.

Todavia, a produção de cerveja gera mais de 180 milhões de toneladas de resíduo por ano e a maior parte é descartada ou usada para formulação de ração animal (ROJAS-CHAMORRO et al., 2020). Os principais constituintes desse subproduto são as fibras e

as proteínas, tendo os aminoácidos essenciais apresentando 30% do teor total de proteína, contendo também compostos bioativos com alta capacidade antioxidante, como os compostos fenólicos (KUMAR et al., 2017). As leveduras utilizadas durante o processo fermentativo podem entrar como um subproduto adicional, sendo reutilizada em outros processos, como a via fermentação semissólida, que utiliza leveduras durante o processo fermentativo por meio do enriquecimento proteico para aumentar o conteúdo de proteínas dos subprodutos da agroindústria (SOUSA et al., 2020).

Estes resíduos podem ser utilizados em diferentes aplicações tecnológicas por meio de sua transformação em farinha, a partir da remoção de água através do processo de secagem, que irá facilitar seu transporte, possibilitando seu armazenamento por um longo período, melhora o acesso e o uso do produto seco independentemente da estação e é uma alternativa vantajosa para evitar sua degradação (JAHANBAKHSI et al., 2020; OSAE et al., 2020; WANG, et al., 2020). Pode-se ainda utilizar os dados da cinética de secagem como uma estimativa do tempo necessário para a redução do teor de umidade do produto em diferentes condições de secagem (ARAÚJO et al., 2017).

O melhoramento do bagaço do malte por meio do enriquecimento proteico, com a levedura residual, possibilita o desenvolvimento de um novo produto, que pode ser uma alternativa aos resíduos e oportunidade de negócios para as indústrias cervejeiras. Para as indústrias alimentícias pode ser uma oportunidade de diferenciação de seus produtos, incrementando o valor nutricional dos mesmos, além da utilização de uma matéria prima de baixo custo, tornando-as mais competitivas no mercado (BELTRÃO, 2017).

Diante desses fatores, realizar o aproveitamento do bagaço de malte e da levedura enriquecida resultará em um produto com alto valor nutricional, alto teor de proteína bruta, açúcares residuais, minerais, altos compostos bioativos, podendo ser utilizado de forma industrial inovadora, com grande potencial de enriquecimento para produção de diversos tipos de alimentos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma cerveja adicionada de dois tipos de extratos de própolis, estudando a cinética de fermentação, fermentação em estado sólido e a cinética de secagem oriundos da produção de cerveja.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir e caracterizar os dois tipos de extratos de própolis (vermelha e verde);
- Produzir e caracterizar a cerveja adicionada de dois tipos de extratos de própolis;
- Estudar a cinética de fermentação alcoólica e os efeitos da adição dos dois tipos de extratos de própolis no mosto cervejeiro ;
- Estudar o processo de fermentação em estado sólido do bagaço de malte enriquecido com as leveduras remanescente oriundas da fermentação alcoólica;
- Estudar a cinética de secagem do bagaço de malte e estabelecer um modelo matemático para descrever o comportamento dos dados experimentais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PRÓPOLIS

O Brasil é um dos principais produtores mundiais de própolis, com uma produção aproximada de 50 a 150 toneladas por ano, entretanto 75 % desse total é exportado (SILVA, 2018). A palavra própolis tem origem grega, onde "pró" quer dizer à frente, antes ou defesa e "pólis" significa cidade, dando alusão a defesa da colmeia (APICULTURA, 2018).

A própolis é um produto apícola, nomeada como cola de abelha, sendo elaborado por um produto resinoso e balsâmico recolhido pelas abelhas *Apis mellifera* L. a partir dos ramos, flores, pólen, brotos e exsudados de árvores, nas quais as abelhas acrescentam secreções salivares, cera e pólen para sua elaboração final (CUNHA et al., 2021). Possui um alto poder de aplicação para diversos fins, tendo grande relevância para a saúde e bem-estar da própria colmeia (BORDIM, 2018), como para diversas atividades biológicas (SOUZA et al., 2018; LAVINAS et al., 2019).

O produto resinoso é usado pelas abelhas para vedar e proteger as colmeias da proliferação de agentes microbianos e patogênicos existentes, por exemplo, fungos e bactérias (SOUZA et al., 2021), além de reparar frestas, embalsamar a carcaça de invasores, reduzir as aberturas de acesso, evitando a entrada de predadores e revestir os alvéolos antes da postura da rainha (APICULTURA, 2018).

Em sua composição geral, a própolis apresenta compostos voláteis e compostos fenólicos, pequenas quantidades de aminoácidos, açúcares e polifenóis, contém de 50% a 60% de resina, 30% a 40% de cera, 5% a 10% de pólen, ferro, cobre, alumínio e vitaminas (PFLEGER, 2022). A quantidade de compostos presentes depende da região que ocorre a produção da própolis, tendo influência o clima da região e época do ano, podendo encontrar variações nos compostos bioativos (RODRIGUES et al., 2021).

Extratos de própolis de diferentes espécies apresentam na sua composição alta concentração de flavonoides e compostos fenólicos, obtendo alta atividade antioxidante, devido a sua composição, sendo uma fonte promissora de polifenóis biologicamente ativos (DUARTE, 2020). A utilização do extrato tem grande importância, sendo utilizada com efetividade para inúmeras finalidades, relacionadas à ação antimicrobiana, cicatrizante, antioxidante, anti-inflamatória, anticariogênica, dentre outras, podendo ser utilizado como suplemento alimentar.

A própolis pode ser utilizada de forma bruta como produto puro, apenas retirando a cera, na forma de cápsulas (isolada ou combinada), como extrato (hidroalcoólico ou

glicólico), como antisséptico bucal, como pastilhas para garganta, cremes, em forma de pó e de cosméticos (SOUSA, 2017). Segundo Loiola (2020) pode ocorrer a utilização de forma experimental ou em humanos, pois, não apresenta efeito colateral do extrato.

No setor industrial, o uso da própolis na indústria de alimentos, é largamente utilizada como aditivo antioxidante de produtos de origem animal e vegetal, além do uso como antimicrobiano em ração animal. Tendo um interesse elevado no extrato da própolis, principalmente no contexto internacional de alimentos, gerando aumento do valor agregado do produto (RODRIGUES et al., 2021).

A própolis é caracterizada como um produto natural, devido suas propriedades biológicas (SOUZA et al., 2021) e a composição fitoquímica expressa a grande biodiversidade do Brasil, sendo identificados 13 tipos de própolis, caracterizadas de acordo com suas características físico-químicas (DEEGAN, 2018). Entre as própolis brasileiras, os tipos verde e vermelho são os mais estudados e utilizados na medicina.

3.2 TIPOS DE PRÓPOLIS

A própolis vermelha é produzida no litoral do Nordeste brasileiro, sendo originária do *Dalbergiae ecastaphyllum* L. Taub, conhecida popularmente como rabo-de-bugio, uma espécie de leguminosa originárias dos manguezais, rios e costa do mar dos estados de Alagoas, Bahia, Paraíba, Pernambuco e Sergipe. Produz e exibe seiva de coloração avermelhada, devido seu pigmento ser encontrado em exsudado, tais como retusapurpurina A e B, com isso ficou denominada como própolis vermelha, classificada como o tipo de própolis do grupo 13 (SILVA, 2018; PONTES, 2018) e possui chalconas e isoflavonas como constituintes principais (RUFATTO et al., 2017).

É uma própolis com ação enzimática na saliva das abelhas durante o transporte para a colmeia até ocorrer a sintetização em própolis. Esse produto tem ação de proteção para colmeia contra insetos ou microrganismos que podem contaminar o ambiente existente no interior da colmeia, que levaria a comprometer a estrutura da mesma ou mesmo o processo de oviposição da abelha rainha (CARVALHO, 2019).

A *Dalbergiae ecastaphyllum* L. Taub possui atividades biológicas, atividade antitumoral in vitro, contendo ação anti-inflamatórias, regeneradoras, antioxidante, antimicrobiana, possuem solventes de alta polaridade como compostos fenólicos e compostos de baixa polaridade, como terpenos, n-alcanos, δ -cardinol e transanotol, que são encontrados em quantidade abundante (ABREU et al., 2018).

Compostos de grande importância foram identificadas na própolis vermelha, dentre eles estão os fenóis, triterpenoides, isoflavonas, benzofenonas preniladas e alguns componentes químicos determinados, exclusivamente, nesse tipo de própolis, como a daidzeína, xantocimol, formonometina, neovestitol, vestitol, medicarpin, bioquanina A, liquiritigenina e isoliquiritigenina (BUENO-SILVA et al., 2017; ANDRADE et al., 2017).

A própolis vermelha possui baixo custo, fácil acesso para a sua obtenção e não possui contraindicações terapêuticas, podendo apresentar atividade antimicrobianas (ABREU et al., 2018), que pode ser derivada da presença de uma ampla variedade de compostos bioativos presentes, em particular os isoflavonoides (FERREIRA; NEGRI, 2018).

De acordo com Heimbach et al. (2016) a atividade antimicrobiana presente na própolis, permanece no extrato, e posteriormente, no resíduo da extração da própolis, destacando que os extratos obtidos da própolis vermelha apresentam capacidade de absorção da radiação ultravioleta bem significativo.

A própolis verde se destaca por ser a mais popular, mais estudada cientificamente e aceita no mercado internacional. É produzida no Brasil, principalmente nos estados de Minas Gerais e São Paulo. A principal fonte botânica da própolis verde é a resina extraída da espécie vegetal da planta *Baccharis dracunculifolia* (alecrim-do-campo ou vassourinha), que lhe confere uma coloração esverdeada (NUNES, 2019). E na região do Nordeste a própolis verde pode ser obtida através da Jurema preta no período de floração.

Dentre os componentes naturais, a própolis verde se destaca, por sua gama única e particular de micronutrientes, contendo diversas propriedades biológicas comprovadas, incluído a antifúngica (ZABAIU et al., 2017). O screening fitoquímico da própolis apresenta compostos prenilados, alta concentração de compostos fenólicos com predomínio do ácido cinâmico (artepelin C, ácido p-cumárico e drupanina), flavonoides, ácido benzoico, ácidos alifáticos e ésteres, além de alcanos e terpenoides (SILVA et al., 2017), essa ampla gama de substância confere a esse tipo de própolis inúmeras atividades biológicas (LOIOLA, 2020; SOUSA, 2017).

As propriedades biológicas presente na própolis verde são antimicrobianas, antiviral, anticâncer, anti-inflamatória, antioxidante, neuroprotetora e antifúngica. O artepelin C é o composto com maior concentração, quando se tratando de efeitos biológicos (RODRIGUES, 2022).

A espécie é considerada como um antibiótico natural devido aos seus efeitos comprovados contra diversas linhagens de microrganismos, e contém atividade antimicrobiana de extratos de própolis verde contra *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp. e *Enterococcus* spp (SILVA et al., 2017).

A partir desses relatos citados, a própolis pode ser utilizada como conservante de alimentos devido às suas atividades biológicas, além de apresentar vantagens por ser um composto natural e reconhecida como substância altamente segura e benéfica para a saúde (THAMNOPOULOS et al., 2018).

3.3 USO BIOTECNOLÓGICO DA PRÓPOLIS

A própolis produzida pelas abelhas tem potencial de uso biotecnológico contribuindo em setores farmacológico, antimicrobiano, alimentícios, dentre outros e vem sendo alvo de pesquisa de Bezerra et al. (2021) aos quais avaliaram a atividade antifúngica in vitro da própolis vermelha nas concentrações de 100%, 75%, 50% e 25%, respectivamente, em leveduras vaginais, utilizando o teste de difusão em ágar, a ação antifúngica foi verificada em 81% - 25% das amostras testadas, em seu estudo, concluindo que o extrato de própolis vermelha possui potencial antifúngico para leveduras vaginais.

Santos et al. (2022) relatam que a própolis pode ser utilizada de forma bruta ou como extrato vegetal, contribuindo de forma benéfica para saúde humana. Valcanaia et al. (2022) estudaram o extrato e a própolis bruta e demonstraram o efeito, antimicrobiano contra bactérias Gram-negativas e Gram-positivas e contra leveduras patogênicas.

Esse estudo corrobora com Gomes et al. (2016) que verificaram atividade antibacteriana in vitro da própolis vermelha, por meio da determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM), observando que o extrato alcoólico de própolis apresentou atividade antimicrobiana com CIM variando de 2,25 a 18,9 mg/mL para as bactérias Gram-positivas e de 4,5 a 18,9 mg/mL para as bactérias Gram-negativas, concluindo que a própolis vermelha tem ação bactericida, frente as espécies da bacterianas em estudo.

Matoso (2021) realizou um estudo utilizando a própolis no combate ao COVID-19, obtendo resultado satisfatório na diminuição de sintomas graves, sua ingestão diária serve como terapia profilática e paliativa na perspectiva de atenuar os sintomas, tendo ação antiviral, anti-SARS e anti-COV-2. Um estudo experimental de Maureira et al. (2017) mostrou um grau de inibição no crescimento de cândida oral nas concentrações de própolis de 0,1 µg / mL e 1,6 µg / mL, já Morawiec et al. (2015) observaram em seus estudos com 12% do extrato da própolis verde uma redução de *Candida albicans*.

Segundo Assis (2019) a própolis demonstra potencialidade para uma maior conservação dos alimentos, preservando as características físico-química e microbiológicas. Rodrigues (2019) avaliou os extratos das própolis vermelha e verde, ambas na concentração de 1%, como aditivo na elaboração de hambúrguês bovino, demonstrando eficiência da aplicação como aditivo antimicrobiano, pois houve redução na contaminação da amostra com o uso da própolis. O autor ainda relata aumento nos teores de lipídios, conforme adição dos extratos hidroalcoólico, quando comparadas com a amostra tradicional sem a própolis.

Diniz (2018) destaca a utilização da própolis para aplicação de revestimentos comestíveis, relatando um estudo em goiabas do tipo paluma, em que houve a inibição de microrganismos, fato ocorrido pela atividade antimicrobiana da própolis, precisamente do tipo vermelha. Esse estudo corrobora com a pesquisa de Rodrigues (2019), a qual aplicou um revestimento comestível em hambúrgueres bovinos, a base de extratos da própolis verde e vermelha com 5%, observando redução de *Staphylococcus* spp., como melhor aparência, aspecto de coloração mais intenso e brilhoso.

Cavalaro (2021) utilizou a própolis verde e o alecrim-do-campo para a extração, a microencapsulação e a aplicação de antioxidante em matrizes alimentares, avaliando a eficiência do encapsulado com o extrato da própolis verde como antioxidante, obtendo maior liberação gradual dos compostos, apresentando desempenho similar ao antioxidante sintético TBHQ e reduzindo o processo oxidativo.

Queiroz (2021) avaliou os efeitos *in vitro* e *in vivo* de extratos etanólicos da própolis em diferentes concentrações, de 2,5 a 5mg/mL, e de preparados homeopáticos em altas diluições sobre *Colletotrichum* spp., em frutos de pimentões, os resultados demonstraram que os frutos revestidos com própolis apresentaram menor perda de massa (2,26%), maior retenção de acidez titulável (0,116 g /100g) e menor valor de pH (4,35). Dessa forma, o revestimento à base de própolis é o tratamento mais eficaz na manutenção da qualidade de pimentões durante o armazenamento em temperatura ambiente.

Dangui et al. (2019) ao produzirem fermentado alcoólico de melancia com e sem a adição de própolis na proporção de 700 μ L/L encontraram valores elevados de atividade antioxidante (ABTS) e compostos fenólicos obtendo valores de 36,61 μ mol Trolox/100 ML e 241,12 (mg GAE/100 mL), respectivamente, tendo um aumento significativo quando comparados ao fermentado sem a própolis que foi 34,61 μ mol Trolox/100 ML e 146,40 (mg GAE/100 mL), respectivamente.

Na produção de bebidas alcoólicas, Montijo (2014) utilizou a própolis na produção de cachaça, avaliando o efeito dos extratos de própolis sobre a atividade da levedura *Saccharomyces cerevisiae* CA-11, sobre os compostos secundários e sobre a qualidade do destilado final, e os resultados obtidos comprovaram a eficácia dos antimicrobianos à base de própolis, em processos fermentativos para cachaça, e possivelmente para outras bebidas destiladas por *S. cerevisiae* em substituição aos convencionais.

A fim de estabelecer uma ferramenta mais aprofundada de busca eficaz sobre o estudo, foi realizado uma prospecção no mapeamento prospectivo em patentes depositadas no Banco de dados do Instituto Nacional de Propriedade Indústrias (INPI) do Brasil, utilizando a busca por palavras chaves em relação a bebidas alcoólicas e não alcoólicas utilizando a própolis verde e vermelha no campo resumo.

Na literatura de patentes utilizando o site do INPI é possível encontrar duas patentes relacionadas a produtos lácteos utilizando extratos da própolis vermelha com o referido número BR 10 2020 017748 6, que se refere a extrato da própolis vermelha: aditivo natural na conservação de iogurte e a patente de número BR 10 2015 021165 1, relacionado a iogurtes enriquecidos com extrato de própolis vermelha, processo de obtenção de iogurtes e uso dos mesmos.

Podendo ainda, encontrar a patente número BR 10 2020 022850 1 A2, referente a produção de cerveja ácida de maracujá a partir da fermentação láctica. Todavia, não foram encontrados até o presente momento relatos sobre o desenvolvimento de cerveja e ou outros tipos de bebidas utilizando extratos de própolis vermelha e verde.

3.4 CERVEJA

Segundo a legislação brasileira, cerveja é a bebida obtida da fermentação alcoólica, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, podendo, nesse caso, uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro, para substituir, porém não pode ultrapassar a 45% do extrato primitivo. Adjuntos cervejeiros é a cevada cervejeira e todos os cereais adicionados, aptos para o consumo humano, maltados ou não maltados, como amidos e ou açúcares de origem vegetal (BRASIL, 2019).

Jorge (2018) define que os ingredientes que fazem parte da composição da cerveja são os seguintes insumos: água, malte, lúpulo, fermento e adjuntos. E a produção dar-se pelas etapas de moagem do malte, mosturação ou tratamento enzimático do mosto,

filtração, fervura, tratamento do mosto (remoção do precipitado, resfriamento e aeração), fermentação, maturação, clarificação e envase. Os cervejeiros chamam de brassagem o processo que vai da mosturação à fervura, passando pela filtração.

A moagem tem por objetivo expor a parte amilácea do grão de malte, durante este processo mecânico a casca deve ser preservada cuidadosamente (OLIVER; MENDES, 2020). Em seguida a mosturação vai promover a hidrólise do amido a açúcares fermentescíveis (maltose, glicose e maltotrioses) juntamente com dextrinas de cadeias curtas ou longa. Por conseguinte, vai ocorrer a filtração que é a separação do bagaço de malte do mosto líquido, para que ocorra a máxima obtenção de extrato do malte sacarificado e rapidez de operação (SILVA, 2021).

Na fervura ocorre a formação do *trub*, tendo como objetivo inativar as enzimas, esterilizar o mosto, permitir a coagulação proteica (devendo ser separado do mosto para evitar a formação de turvação), extrair compostos amargos e aromáticos do lúpulo, permitir a formação de substâncias constituintes do aroma e sabor, evaporação de água excedente e de componentes aromáticos indesejáveis ao produto (AZEVEDO et al., 2021).

O processo de fermentação é o mais complexo de toda a produção, pois tem a presença microrganismos vivos, sensíveis à contaminação, qualquer tipo de interferência pode alterar o aroma e sabor desejado na bebida. O objetivo dessa etapa é a conversão dos açúcares presentes no mosto em etanol e dióxido de carbono (VERONEZE, 2019). A etapa posterior é a maturação que consiste no armazenamento da cerveja fermentada a baixa temperatura durante um determinado período proporcionando a clarificação por precipitação de leveduras e proteínas (OLIVEIRA, 2018).

Santiago (2019) afirma que a fase final da produção é uma etapa que requer uma higienização e sanitização dos recipientes com mais cautela, podendo ser utilizados vários métodos e produtos, como esterilizações por calor ou utilizando ácidos ou qualquer outro sanitizante. O envase pode ser feito mecanicamente ou manualmente, sendo o primeiro mais seguro.

Em um contexto geral, a cerveja é uma bebida com uma gama de história, entretanto as etapas e operações básicas utilizadas na produção permanecem inalteradas, devido ao desenvolvimento tecnológico. Portanto, parâmetros importantes em cada etapa de produção são controlados com eficácia para que qualidade da matéria-prima utilizada e a qualidade do produto seja excepcional (MUXEL, 2022).

A diversificação nas variedades de cervejas vem crescendo a partir do surgimento das pequenas microcervejarias no setor industrial brasileiro e mundial, estando relacionado com a crescente demanda dos consumidores por produtos com características peculiares e único, ou seja, com aromas e sabores de qualidade diferenciadas, das cervejas tradicionais (TSCHÁ, 2018). As microcervejarias têm por objetivo produzir cervejas com alto valor agregado, utilizando processo de fabricação e/ou ingredientes diferenciados das cervejarias de larga escala (SANTA et al., 2020).

As cervejas artesanais também vêm ganhando destaque nos últimos anos, pois são bebidas que utilizam uma grande diversidade de matérias-primas cervejeiras e contam com diversidade variada para atender um público seletivo. A produção em pequena escala possibilita produtos diferenciados aos consumidores, mais exigentes com o cuidado na seleção da matéria-prima e levando uma tendência da valorização de matérias-primas regionais. (SALES, et al., 2021).

Existem cervejas especiais elaboradas com uma variedade de frutos e vegetais (TOZETTO et al., 2019), bem como, com produtos de origem animal (VENTURINI FILHO, 2016). Tendo em vista, a oferta de cervejas especiais vem aumentando cada vez mais, com características sensoriais peculiares e sofisticadas, que depende de alterações no processo de produção ou pela utilização de novos ingredientes, principalmente os naturais, contribuindo para a saúde. Essas cervejas geralmente possuem diferenças quanto ao amargor e ao teor alcoólico comparada as demais (SANTA et al., 2020).

Recentemente há muitos estudos com potencial biotecnológico para produção de cerveja utilizando diferentes adjuntos cervejeiro. Oliveira et al., (2021), realizaram um estudo com elaboração de cerveja artesanal, utilizando farinha de abóbora, batata-doce e flores de laranjeira, resultando em maiores teores alcoólicos variando de 6,23 a 7,27(°GL), quando comparada a cerveja sem adjuntos com 5,82 (°GL) e maiores concentrações de compostos fenólicos totais de 111,35 mg L⁻¹, sendo a controle com valor de (110,36 mg L⁻¹).

Melo et al. (2019) produziram uma cerveja utilizando maracujá do mato como adjunto do malte, substituindo em 29% do malte de cevada, observando maior concentração de etanol (7,69% (v/v)), com consumo de 37,66g/L de extrato aparente e 20,45mg/mL de açúcares redutores, apresentando maior fermentabilidade cerca de 80,4%, quando comparada às cervejas tradicionais.

Bianchesi et al. (2023), avaliaram a adição de blueberry (*Vaccinium myrtillus*) na forma de pó, desidratada e sem adição do fruto para elaboração de cerveja artesanal,

constatando que para a cerveja elaborada com adição de blueberry, apresentaram valores superiores de compostos fenólicos (639,12 mgGAE/g e 569, 35 mgGAE/g), quando comparadas com as elaboradas sem blueberry (443, 21 mgGAE/g), apresentaram ainda, maior preferência para os consumidores, com média superior a 7,46.

3.5 SUBPRODUTOS CERVEJEIROS

A indústria alimentícia acarreta grande quantidade de resíduos, devido ao desperdício no uso de matérias-primas, perdas entre a produção e o consumo, e separação de materiais que não possuem valor econômico preciso, podendo causar danos financeiro e ambiental. Devido ao alto potencial de reaproveitamento desses resíduos em outros sistemas, vários estudos apontam alternativas positivas para o destino desses materiais, principalmente no setor alimentício (KOEFEENDER, 2020).

O Brasil é o terceiro produtor mundial de cerveja, com uma produção média de 14 bilhões de litros de cerveja anual (BOFF, 2018). Durante a produção, três resíduos sólidos de grande importância são gerados: o bagaço de malte (resulta em 85% de compostos solúveis), o *trub* quente, que são as proteínas coaguladas, e a levedura, que é a biomassa de microrganismos fermentadores (CHIMINI et al., 2020).

Dentro desse contexto, as cervejarias estão entre as maiores produtoras de resíduos agroindustriais anual, pela alta quantidade de bagaço de malte e de levedura residual cervejeira. Por ser um produto com uma demanda crescente, por alta disponibilidade de matéria-prima, os resíduos gerados são destinados para alimentação animal, gerando perdas econômicas. A composição química desses resíduos é caracterizada por possuir altos teores de proteínas e fibras, as quais têm grande interesse na produção de alimentos destinados à dieta humana (GONÇALVES, 2021).

O bagaço de malte é predominantemente fibroso (70% massa seca) e proteico (15 a 25% massa seca), apresentando em sua composição lipídios, minerais, vitaminas, aminoácidos e compostos fenólicos. Esses teores são influenciados pela origem do grão de cevada, pelo processo, tipo de cerveja produzida e adição ou não de adjuntos. Devido a sua composição nutricional, sua utilização na alimentação humana é uma boa alternativa para o melhoramento e enriquecimento de produtos, visando a parte econômica, ambiental e nutricional (COUTO, 2019).

A levedura cervejeira é o bioagente responsável pela conversão do mosto em cerveja, são classificadas de acordo com o processo de fermentação, podendo ocorrer alta ou baixa fermentação. As leveduras de fermentação alta são as que sobem e ficam na

superfície do mosto durante o processo, enquanto as leveduras de baixa fermentação, decantam no fundo do fermentador no final do processo (RECH; ZORZAN, 2017).

A levedura deve produzir cerveja de sabor e odor agradável. Para isso, o seu crescimento deve ser adequado e com floculação, para que obtenha uma cerveja de boa qualidade. Essas características são controladas por meio da fisiologia celular, disponibilidade nutricional, condições físicas e principalmente características genéticas (MENEZES, 2018).

A levedura residual contém um teor proteico entre 35% e 60% da massa seca, com elevado valor nutritivo, além de presença de aminoácidos essenciais em sua estrutura e de vitaminas do complexo B, carboidratos, minerais, lipídios, enzimas e RNA. O maior destino da levedura residual cervejeira, atualmente, é para a formulação de ração animal (SVIERCOSKI, 2019).

Os desperdícios dos resíduos cervejeiros podem ocasionar potenciais problemas ambientais, de matérias-primas e energia (FILHO, 2022). Entretanto, é necessário buscar alternativas de reutilizar esses resíduos que contém compostos químicos importantes, na alimentação humana, como forma de enriquecer nutricionalmente os alimentos e agregar valor ao subproduto (KHAN et al., 2019). Aumentar a vida útil de um produto é um papel crucial no processamento de alimentos, pois reduz as perdas dos alimentos e principalmente dos resíduos descartados (ASIOLI et al., 2017).

O enriquecimento nutricional do bagaço do malte e o enriquecimento proteico da levedura residual pode beneficiar a saúde do consumidor, pois é um produto com potenciais bioativos elevado, como os ácidos fenólicos, alto teor de fibras e proteínas (BIELI et al., 2015). Além disso, há um crescente interesse em consumir alimentos saudáveis ou funcionais, que fornecem benefícios para a saúde do consumidor (OLIVEIRA, 2019).

Devido os resíduos cervejeiros serem altamente exploráveis e aplicados em diferentes produtos e formulações, apresentando uma rica composição em compostos orgânicos e nutricional, além de visar maior valor agregado e a destinação para fins mais nobres, a busca pela utilização de novos processos alimentícios e alimentos saudáveis buscando o reaproveitamento de resíduos tem aumentado, afim de possíveis aplicações na alimentação animal e humana gerando subprodutos saudáveis rico em fibras, vitaminas, minerais e proteínas (BARREIRA, 2022).

Nesse contexto, a associação por alimentos saudáveis e práticos para alimentação humana é crucial, estudos quanto à sua inserção de formulações de barras de cereais,

cupcakes, produtos de panificações podem ser realizados neste panorama, sendo uma tendência inovadora no mercado, além de valorizar o produto, sendo tipos de alimentos de fácil consumo e que requer pouco preparo (SANTOS et al., 2022).

O bagaço do malte e a levedura é um tipo de resíduo de grande potencial quando aplicado em novos produtos alimentícios. De acordo com Monteiro (2019), ao se utilizar a farinha do resíduo do malte de cevada nas formulações de 25%, 50% e, 100%, para elaboração de bolo de chocolate, observou-se maiores teores de proteínas e valores superiores de fibras para a formulação de 100% do resíduo, concluindo que a farinha do resíduo pode ser adicionada a alimentação humana, como ingrediente adicional agregando valor ao produto.

Capecozzo et al. (2020) elaboraram uma barra de cereal adicionando na formulação 30% do resíduo cervejeiro tipo pilsen, oriundos do processo de produção de cerveja, observando que as barras de cereais com a adição do bagaço, apresentaram altos teor de proteínas (6,60%) e carboidratos (54,89%), quando comparado com barras comerciais. Nesse contexto, Onofre et al., (2018) afirmaram que podem ser considerados teores elevados de proteína os valores variando entre 4,89% e 26,89% para o bagaço de malte.

Gluger e Gurak (2020), em seus estudos com biscoitos salgados do tipo aperitivo com aplicações de 0%, 25% e 50% em substituição à farinha de trigo, observaram proteínas 9,82%, 10,89% e 12,62%, respectivamente, que aumentaram com o aumento da porcentagem de farinha de bagaço de malte nas formulações, demonstrando, assim melhor composição nutricional.

3.6 SECAGEM

A secagem é um procedimento que implica na transferência simultânea de calor e de massa entre a amostra úmida e o ar, que geralmente se encontra aquecido, ou seja, ocorre a passagem da água presente no sólido para a fase gasosa não saturada, ajudando na preservação dos materiais e na redução de seu volume, facilitando o transporte e armazenamento (PINTO, 2020).

A secagem dos produtos alimentícios tem por finalidade reduzir a umidade da matriz alimentar para aumentar a conservação e evitar a deterioração dos alimentos, bem como o tempo de armazenamento, e alterações na qualidade do produto (MORADI et al., 2020). Existe diferentes métodos de secagem, com temperaturas diferenciadas e intensidade de secagem diferentes, resultando em produtos com menores teores de água,

sendo muito utilizadas nas indústrias alimentícias, elas diferenciam pela forma que o calor é transferido ao alimento e na sua forma de transmissão para o meio (SILVA et al., 2018).

Desse modo, temos a secagem ao uso de secadores que pode ser de forma natural, com a exposição do alimento ao sol e ao vento, dependendo de fatores incontroláveis e imprevisíveis como clima, insetos e roedores ao sol, sendo um processo lento. Por conseguinte, temos a secagem artificial, que são utilizados meios mecânicos ou elétricos, ocorrendo a desidratação dos alimentos, na qual o calor é produzido artificialmente em estufas, sendo um processo mais rápido e com controle de condições de secagem (ROCHA et al., 2019).

Com isso, um dos métodos mais comuns na secagem de alimentos é a secagem por estufa com circulação de ar, ou também chamada de secagem convectiva de ar quente. Esse método tem como princípio a remoção de água do alimento por convecção de calor, ou seja, a movimentação de ar quente, que ocasiona a saída de água na forma de vapor, sendo realizado através do calor produzido artificialmente em condições controladas de corrente de ar, umidade e temperatura. Esse método é o mais utilizado, possuindo custos relativamente mais baixos (SILVA et al., 2022).

O estudo da cinética de secagem tem estimulado vários pesquisadores para uma diversidade de produtos, pois é possível obter curvas de secagem que é realizada com os dados experimentais obtidos da própria secagem. Para a descrição do método de secagem, é utilizado modelos matemáticos que permitem compreender o comportamento dos alimentos, prever resultados, auxiliar na qualidade da cinética do processo de forma simples e estimar o tempo necessário para reduzir o teor de umidade do produto em diferentes condições de secagem (CAVALCANTE, et al., 2020).

Na literatura estão disponíveis diversos modelos matemáticos que podem ser ajustados à curva de secagem em camada fina com diferentes produtos, com o objetivo de distribuir a amostra uniformemente. No entanto, para minimizar erros, recomenda-se que todos os modelos sejam testados para condições específicas de secagem. Os modelos de Page, Henderson e Pabis, Newton, Midilli e os modelos exponenciais são mais comumente usados para ajustar as curvas de secagem de alimentos em geral (ROBERTO, et al., 2020).

Dentre os vários produtos que podem ser aplicados o processo de secagem, destaca-se o bagaço de malte. A sua secagem é uma alternativa para reduzir os resíduos agroindustriais gerados na produção de bebidas alcoólicas, bem como para o processamento de novos produtos além da ração animal. Com isso, as indústrias podem

reduzir os custos com transporte, evitar problemas com o descarte ao meio ambiente, além de agregar valor aos produtos obtidos após a transformação. (BATISTA, et al., 2018).

Este processo de secagem abre uma ampla gama de aplicações, sendo evidenciado por muitos trabalhos publicados com foco em pesquisas para sua aplicabilidade, principalmente na área de biotecnologia (CECCATO, 2019). Alves et al. (2018) realizaram um estudo da cinética de secagem, comparando o resíduo do bagaço de malte e do resíduo de abacaxi, avaliando qual o modelo matemático melhor se ajustou as curvas. Os autores verificaram que o modelo de Wang e Sing apresentou os melhores resultados quanto ao R^2 , com valor superior a 0,99.

Foram verificados por Andrade (2021), que as taxas de remoção de água das sementes de girassol são diretamente proporcionais ao aumento da temperatura de secagem, sendo necessárias nessas condições, tempo de secagem menor. O autor estudou a cinética de secagem em sementes de girassol, em diferentes temperaturas de 40, 50,60,70 e 80 °C, sendo o modelo de Midilli (0,99) o melhor para descrever as curvas de secagem, visto que, apresentou o melhor coeficiente estatístico para a maior parte das temperaturas em estudo e devido sua simplicidade de aplicação.

No estudo com grãos da algaroba Cavalcante et al. (2020) observaram que dentre as equações utilizadas, as de Cavalcanti Mata, Midilli e Page apresentaram os melhores R^2 , que foram acima de 99% para a secagem de grãos de algaroba nas temperaturas 50, 60 e 70 °C e os menores valores do Desvios Quadráticos Médios (DQM) variando de 0,0070 a 0,0295, os autores afirmaram que quanto menor o valor do DQM melhor é a representação do modelo empregado.

Morosini et al. (2018) analisaram a secagem do bagaço do malte seco em estufa de circulação de ar e micro-ondas, obtendo bons resultados pelo método da estufa na temperatura de 70 °C, com umidade entre 12% e 15% na faixa de 8 h a 9 h de secagem. Os autores observaram, ainda, um aumento no teor de compostos fenólicos (0,68mg/100g) e maior atividade antioxidante (0,70 a 15,45 $\mu\text{mol ET/g}$) na farinha, quando comparada com o bagaço controle, sendo a secagem um método que possibilita a sua utilização na indústria alimentícia, tornando-o mais atrativo e contribuindo para o aumento do teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante.

3.7 FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO

Decorrente do grande crescimento e impulsionamento da produção de resíduos agrícolas e da produção das indústrias de alimentos no decorrer dos anos, tem-se como consequência um grande aumento no volume de resíduos, sendo eles sólidos que necessitam tratá-los e destiná-los para deposição final devido ao grande volume ocupado e que representam recursos possíveis e utilizáveis como subprodutos, com síntese de alto valor agregado. Uma alternativa mais nobre para o aproveitamento desses resíduos é a sua utilização como fonte de carbono na produção de enzimas através da fermentação semissólida, na qual desempenha função essencial do aproveitamento desses resíduos, que são na maioria das vezes subutilizados ou não utilizados (SILVA et al., 2017).

Fermentação em estado sólido é uma tecnologia alternativa e atrativa para a substituição da fermentação submersa em diversas aplicações tecnológicas, sendo, um processo fermentativo que apresentam a propriedade de absorver ou de conter água, com ou sem nutrientes solúveis, onde o processo de crescimento microbiano e a formação de produtos se desenvolve na superfície de substratos sólidos (SOUSA et al., 2021).

Uma das principais aplicações é para o enriquecimento proteico na produção de alimentos, em que são utilizados materiais e ou substratos viáveis para metabolização, como os resíduos ou subprodutos da agroindústria, com valor nutricional diversificado e elevado como os farelos, cascas, sementes, bagaços e outros, de forma que microrganismos são utilizados para aumentar o teor proteico do material e então, destiná-los para alimentação (ARAUJO et. al., 2017).

Dentre os diversos produtos naturais por bioprocessos usados no enriquecimento proteico por fermentação microbiana em estado sólido, destacam-se as leveduras, que têm sido amplamente utilizadas para o enriquecimento de vários resíduos agroindustriais devido à sua eficiência na biotransformação de produtos de baixo valor nutritivo para alto valor nutricional, considerados como fonte de proteína de alto valor e grande reserva natural de vitaminas do complexo B, além da capacidade de suportar condições ambientais mais adversas (BELUSSO, 2018).

Ressalta-se que, para obtenção de um bom desempenho durante a fermentação em um substrato sólido, com conversão proteica e enriquecimento por leveduras é necessário controlar algumas variáveis, como a temperatura de propagação, parâmetro este que afeta diretamente o crescimento, o metabolismo e a disponibilidade de nutrientes, que é a capacidade fermentativa do microrganismo, sendo necessário ter controle do pH (DIAS, et. al., 2019).

Neste contexto Silva et al. (2020), estudou o processo de enriquecimento proteico do maxixe-bravo com leveduras por fermentação semissólida, visando à produção de suplemento proteico para ração animal, utilizando diferentes concentrações de leveduras de 0%, 1%, 3%, 5% e 15% da massa inicial do substrato. Foi observado aumento proteico e teor de proteína bruta de 226,97% e 8,73%, respectivamente, na concentração de 3%, com 48 horas de fermentação.

Sousa et al. (2020) ao analisarem o enriquecimento proteico dos resíduos de jaca por fermentação semissólida para obtenção de produto destinado à ração animal, observaram que ao utilizar 100% de casca de jaca e 3% de concentração de levedura obtiveram maior aumento proteico, após 72 horas de processo a uma temperatura de 35°C, o teor máximo de proteína bruta e de aumento proteico alcançados foram de 13% e 105%, respectivamente. Dessa forma constatando que o maior ganho proteico encontrado no substrato cultivado foi de aproximadamente 2 vezes, quando comparado ao valor de proteína bruta do substrato in natura, assim podendo ser utilizado como uma alternativa na alimentação de ruminantes.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido nos laboratórios de Operações Unitárias e Fenômenos de Transporte (LOUFT), Laboratórios do Centro Vocacional Tecnológico (CVT), pertencentes a Unidade Acadêmica de Tecnologia de Alimentos (UATA) do Centro de Ciências e Tecnologia agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Pombal, Paraíba.

4.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Nesta pesquisa foram utilizados dois tipos de própolis (vermelha e verde) para obtenção dos extratos hidroalcoólico, adquiridos através de um apiário da cidade de João Pessoa - PB e São Bentinho - PB. Os insumos para a elaboração da cerveja, foram adquiridos em comércio especializado no fornecimento de produtos cervejeiros no município de João Pessoa - PB.

A levedura residual foi coletada diretamente dos biorreatores de polipropileno de grau alimentício de fermentação e o bagaço do malte de cevada foram coletados após o processo de mosturação da obtenção do mosto cervejeiro.

Para o desenvolvimento do mosto cervejeiro foi utilizada água potável, proveniente da rede pública de abastecimento, triplamente filtrada em filtros de carvão ativado, retenção de cloro C-III e partículas P-III (≥ 5 a $< 15 \mu\text{m}$) e filtro de polipropileno atóxico, retenção de partículas P-II (> 1 a $< 5 \mu\text{m}$).

4.2 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS EXTRATOS HIDROALCOÓLICO DA PRÓPOLIS VERMELHA E VERDE

A extração da própolis bruta (vermelha e verde) iniciou-se com o congelamento por 24 h a $-16 \text{ }^\circ\text{C}$, em seguida, as amostras foram trituradas em um liquidificador industrial, a fim de obter um pó. Após a trituração as amostras foram pesadas em balança analítica.

Na obtenção dos extratos hidroalcoólicos foi utilizado a metodologia de Parekh e Chanda (2007), com as própolis vermelha e verde nas proporções de 1:10 (p/p), utilizando como solvente de extração o álcool etílico PA. As amostras das própolis brutas ficaram em maceração por 48 h em fracos âmbar a $4 \text{ }^\circ\text{C}$, posteriormente o conteúdo foi filtrado a vácuo com o auxílio de um funil de Bücher e papel filtro.

Em seguida, o sobrenadante foi encaminhado para rotaevaporação, com temperatura constante de $45 \text{ }^\circ\text{C}$ em banho maria e vácuo de 450-500 mmHg por 4 horas seguidas em evaporador rotativo (New Lab) para que ocorra a evaporação de todo

solvente existente, resultando na concentração do extrato hidroalcolóico da própolis bruta. Os extratos rotaevaporados foram armazenados sobre refrigeração adequada, seguindo para as análises posteriores.

4.3 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

Para a detecção e quantificação dos parâmetros microbiológicos dos extratos da própolis e da cerveja final foram analisadas *Escherichia coli*/mL, Estafilococos Coagulase positiva/mL, Contagem total de bactérias aeróbios mesófilos/mL, Fungos Filamentosos e Leveduras/mL e *Salmonella*/25mL.

Foi realizado o teste presuntivo utilizando a técnica de tubos múltiplos, no qual utilizou-se o meio caldo lauril triptose (KASVI), com período de incubação a 35 °C por 24 h, conforme a metodologia descrita por Silva (2017). Esse teste não é confirmatório, mas permite uma estimativa preliminar da densidade do grupo bacteriano baseada no enriquecimento em meio minimamente restrito.

Para detecção do parâmetro de *Escherichia coli* foi utilizado o meio de Caldo Verde Bile Brilhante 2% (KASVI) com período de incubação a 35 °C por 24 h, seguido do meio caldo *Escherichia coli*, incubando a 45 °C por 48 h, segundo a metodologia descrita por Silva (2017).

Para a determinação de Estafilococos coagulase positiva foi utilizado o método em superfície no meio de cultura Ágar Baid-Parker suplementado com solução de gema de ovo a 50% e telurito de potássio a 3,5%. As placas foram incubadas a 35 °C por 48 h, segundo a metodologia recomendada (SILVA, 2017).

Na contagem de fungos Filamentosos e leveduras foi utilizado o método de plaqueamento direto em superfície, em meio Agar Batata Dextrose (BDA) (KASVI), adicionado de ácido tartárico a 10%, sendo incubadas a 22 °C por 5 dias, segundo a metodologia recomendada (SILVA, 2017).

Na contagem total de Bactérias aeróbios mesófilos foi utilizado o método de plaqueamento direto em superfície, em meio Agar nutriente (HIMEDIA), incubadas a 35 °C por 48 horas, segundo a metodologia recomendada (SILVA, 2017), esta análise foi feita apenas para cerveja final.

Na determinação de *Salmonella*/25mL foi utilizado o método em superfície no meio de cultura Salmonella Diferencial Ágar HIMEDIA® incubando-se a temperatura de 35 °C por 48 h, segundo a metodologia recomendada (SILVA, 2017).

4.4 COMPOSTOS BIOATIVOS

Na caracterização dos compostos bioativos foram realizadas as análises de compostos fenólicos totais (mg/100 g), taninos totais (mg/100g), flavonoides (mg/100 g), antocianinas (mg/100 g) e carotenoides ($\mu\text{g}/100\text{ g}$) dos extratos obtidos.

O teor de compostos fenólicos totais e taninos totais foram obtidos respectivamente, segundo a metodologia descrita por Waterhouse (2006), e Swain e Hill (1959) modificada, em que, inicialmente, a amostra foi pesada, posteriormente macerada e homogeneizada em um balão volumétrico de 50 mL de água destilada. A mistura resultante permaneceu em repouso por 30 min para ser filtrada. Das soluções produzidas foram retiradas uma alíquota e colocadas em um tubo de ensaio juntamente com água destilada e o reagente de Folin-Ciocateou, ficando em repouso durante cinco minutos.

Em seguida, acrescentou-se carbonato de sódio (20%), seguido de agitação e banho Maria a 40 °C por 30 min. Logo após esse tratamento a absorvância da mistura resfriada foi lida em espectrofotômetro a 765 nm e o teor de fenólicos totais e taninos totais foram calculados através da equação da reta da curva padrão respectivamente, em ácido gálico (0,1 g/L) e ácido tânico (0,1 g/L), e expressos em mg/100 g.

Os flavonoides e antocianinas presentes nas amostras foram determinados através do método desenvolvido por Francis (1982), em que mediu aproximadamente 0,5 mL da amostra, e em seguida, adicionou-se cerca de 10 mL de solução etanol 95%: HCl a 1,5 N na proporção de 85:15. As amostras foram homogeneizadas e maceradas por 1 min, sendo posteriormente transferidas para um tubo envolto em papel alumínio, ficando em repouso por 24 horas. Transcorrido o tempo, o material foi centrifugado a 5°C por 5 min e 3000 rpm em centrífuga compacta QUIMIS. A absorvância da solução final produzida foi obtida em espectrofotômetro a 374 nm para flavonoides e 535nm para antocianinas, ambos os resultados expressos em mg/100 g da amostra.

A determinação de carotenoides foi realizada seguindo a metodologia proposta por Lichtenthaler (1987). Aproximadamente 0,5 mL de extrato foram colocados em um almofariz e macerado com 5 mL de acetona 80% e 0,2 g de carbonato de cálcio. Em seguida o conteúdo foi centrifugado por 10 min a 10 °C e 3000 rpm, em centrífuga compacta QUIMIS e procedeu-se as leituras em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 470 nm, sendo os resultados expressos em $\mu\text{g}/100\text{ g}$ da amostra.

4.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Na caracterização físico-química dos extratos foram realizadas as análises de sólidos solúveis totais (°Brix), potencial hidrogeniônico (pH), acidez total titulável e cor.

Para determinação de sólidos solúveis totais (°Brix) foi utilizado um refratômetro de bancada ABBE, com escala de 0° Brix a 95° Brix, devidamente calibrado com água destilada. Algumas gotas da amostra foram colocadas sobre o prisma do aparelho, obtendo a leitura direta dos graus Brix indicado pelo aparelho.

A determinação do pH foi realizada pelo método potenciométrico, utilizando-se 3 mL da amostra em 47 mL de água. A medição foi realizada em um pHmetro de bancada (Quimis, precisão 0,01) devidamente calibrado com soluções-tampão de pH 4,0 e 7,0 (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

Para determinação de acidez total titulável foi titulado 10mL de amostra com NaOH 0,1N padronizado, até pH 8,1. Procedimento descrito em Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos (CECCHI, 2001).

A cor foi medida por meio de análise direta em um colorímetro, seguindo a escala de cores internacional (CIE- Commissione Internationale em Illuminationne) que utiliza as coordenadas: L* que representa a luminosidade (capacidade de refletir a luz), variando de 0 a 100; a* que representa a 26 transição da cor verde (-a*) para vermelha (+a*); b* que representa a transição da cor azul (-b*) para a cor amarela (+b*).

4.6 OBTENÇÃO DO MOSTO CERVEJEIRO E FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA

Para a obtenção do mosto cervejeiro, foram utilizados malte do tipo *pale ale* (70%), floco de milho (30%), água potável filtrada, lúpulo citra (11,6% Ac. Alfa) e levedura cervejeira (Nottingham HP). Para a produção de 20 L de malte cervejeiro, as quantidades de insumos utilizados encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Insumos cervejeiros utilizados nos experimentos

Insumos	Quantidades
Malte <i>pale ale</i>	3012,7 g
Floco de milho	1223,2 g
Lúpulo	13,4 g
Água	31,2 L

O processo de elaboração do mosto cervejeiro será realizado conforme o fluxograma apresentado na Figura 1.

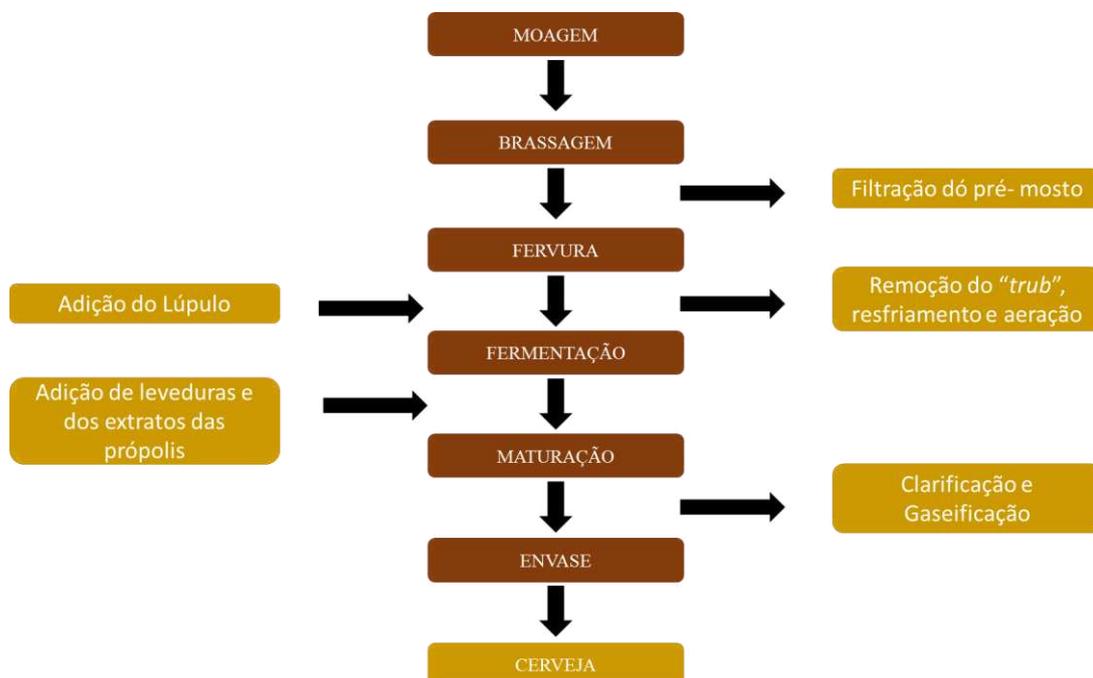


Figura 1. Fluxograma de obtenção da produção de cerveja (Fonte: elaborada pela autora, 2023).

O processo de obtenção do mosto cervejeiro consiste nas etapas de moagem, brasagem, fervura, fermentação, maturação e envase. A moagem do malte *pale ale* e do floco de milho foi realizada em moinho de grãos manual marca Hércules, de forma a se obter granulometria entre 30 e 80 Mesh, facilitando a despolimerização dos grãos, em frações menores. Para o processo de brassagem, foi utilizado o método por infusão direta dos grãos em meio aquoso, na qual ocorre a solubilização, por ação de enzimas hidolíticas, dos polímeros do malte, os quais servirão de substrato para as leveduras (EATON, 2006).

O sistema grão:água foi disposto em panela de aço inox e posteriormente foi submetido ao aquecimento (1 °C/min) em fogão de alta pressão, até a temperatura de 40 °C por 10 minutos para iniciar o processo de brasagem. Para o controle do processo de mosturação, foi adotado a seguinte rampa de aquecimento, a qual utiliza o seguinte binômio tempo X temperatura: 62 °C / 60 min.; 72 °C / 20 min.; e 78 °C / 10min. Para este processo o pH da água foi corrigido com ácido láctico 1 mols/L para que o mesmo esteja entre 5,4 e 5,8.

Transcorrida a etapa da mosturação, a fase líquida da mistura malte: água foi separada por filtração, e o bagaço do malte foi lavado com água aquecida a 70°C para completa extração dos açúcares residuais. O bagaço proveniente da mosturação foi embalado em sacos de polipropileno de alta densidade, para posteriormente ser congelado em freezer a -30 °C.

Logo em seguida a fase líquida foi encaminhada para a etapa da fervura a 102 °C por 60 minutos. Ao iniciar a fervura foi adicionado metade do lúpulo citra (11,6% de alfa ácido(aa)) e a outra parte foi adicionado a fase líquida ao término do processo. Ao término da fervura o mosto foi resfriado a temperatura de 20 °C e logo em seguida filtrado, para remoção de proteínas coaguladas e resíduos de lúpulo. Resfriado o mosto, este foi encaminhado para a etapa de fermentação, onde ocorre a transformação dos açúcares fermentescíveis em álcool.

Para a implantação da etapa de fermentação, foram utilizados biorreatores confeccionados em polipropileno opaco de grau alimentício de volume útil de 5 L, sendo o volume operacional de 3,5 L para cada experimento e o processo foi realizado em câmara de fermentação a 20 °C, utilizando a cepa comercial da levedura cervejeira Lallemand Nottingham HP, na concentração de 1 g/ L.

Antecedendo o processo de fermentação, houve a propagação das leveduras Nottingham HP liofilizadas em meio complexo para ativação das células, na qual foi realizada mediante a dispersão de 2,0 g de levedura em Erlenmeyer de 1000 mL com 400 mL do mosto cervejeiro esterilizado e 400 mL de água potável, na proporção de 1:1, resultando em sólidos solúveis totais (SST) de 6 °Brix a 20 °C, por 24 horas e sob aeração.

Transcorrida a etapa de propagação, foram retiradas alíquotas do material propagado, em uma concentração de células de 1×10^9 células / L, as quais foram inoculadas em cada biorreator contendo 3,5 L de mosto. Antes e após cada etapa de propagação houve a contagem de células por microscopia óptica com auxílio de câmara de Neubauer (WHITE, 2010). Com a levedura inoculada, os extratos da própolis verde e vermelha foram adicionados na proporção de 2% e 4%, respectivamente. Após a inoculação, alíquotas de 100 mL foram coletadas em frascos tipo PET nos tempos 0, 12, 24, 48, 72, 96 e 120 horas, para as análises posteriores. Cada experimento foi conduzido de forma aleatória em câmara de fermentação a 20 °C.

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para o estudo do processo de fermentação alcoólica do mosto cervejeiro foi utilizado o software ASSISTAT, versão 7.2 beta. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo delineamento em blocos inteiramente casualizados (DIC) e os resultados foram avaliados por ANOVA, seguido por teste de Tukey. Os resultados foram apresentados como média \pm desvio padrão, e uma probabilidade $p \leq 0,05$ foi considerada significativa (SILVA; AZEVEDO, 2002).

Como variáveis qualitativas tem-se os tipos de extrato (verde e vermelha) e as Concentrações dos extratos (v/v). Visando avaliar os efeitos do tipo de própolis e sua concentração, foram utilizados como respostas a Concentração de células (g/L), Formação de produto (g/L), Consumo de substrato (g/L), respectivamente. Foi utilizado o software OriginPro v. 9.0 para obtenção dos gráficos conforme analisados os parâmetros cinéticos fermentativos (pH, Acidez total titulável, açúcares redutores totais e concentração celular).

Na Tabela 2 encontram-se, respectivamente, os tratamentos e as concentrações utilizadas na fermentação alcoólica do mosto cervejeiro adicionado de extrato de própolis.

Tabela 2- Tratamentos e concentrações utilizadas no estudo da fermentação alcoólica do mosto adicionado de extrato de própolis

Tratamento	Concentração (%)
Padrão	-
Trat. 1 (VD)	2
Trat. 2 (VD)	4
Trat. 3 (VM)	2
Trat. 4 (VM)	4

Trat.1 (VD): Tratamento 1 própolis verde; Trat.2 (VD): Tratamento 2 própolis verde; Trat.3 (VM): Tratamento 3 própolis vermelha; Trat.4 (VD): Tratamento 4 própolis vermelha.

4.8 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, QUÍMICA E COMPOSTOS BIOATIVOS

As amostras dos fermentados coletadas nos tempos pré-estabelecidos, bem como para cerveja final foram caracterizadas quanto acidez total titulável, potencial hidrogeniônico (pH), conforme descrito no manual de métodos analíticos do Instituto Adolfo Lutz (2008). Ademais, foram realizadas a análise de açúcares redutores totais (ART), pelo método descrito por Vasconcelos, Pinto e Aragão (2013), que trata da

redução da glicose pelo composto ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) e cor medida por meio de análise direta em um colorímetro para a cerveja final.

Na caracterização química dos fermentados coletados foram realizadas a concentração celular (biomassa) do fermentado sendo determinado conforme metodologia descrita por White (2010), a qual utiliza câmara de Neubauer para contagem de célula (células/L) e o teor alcoólico foi determinado por ebulliometria conforme descrito por Jacobson (2006).

Na caracterização dos compostos bioativos da cerveja final foram realizadas as análises de compostos fenólicos totais (mg/100 g) pelo método de Folin & Ciocalteu (WATERHOUSE, 2006), flavonoides (mg/100 g) e antocianinas (mg/100 g) conforme método descrito por Francis (1982), carotenoides ($\mu\text{g}/100\text{ g}$) proposta por Lichtenthaler (1987) e taninos totais pelo método de Swain e Hill (1959).

4.9 PROCESSO DE FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO DO RESÍDUO DE MALTE

Para a fermentação em estado sólido do resíduo da mosturação foi empregue um planejamento experimental 2^2 composto por 3 pontos centrais. Como variáveis de entrada tem-se a concentração de leveduras (m/m) e temperatura de processo, conforme descrito na Tabela 3 e Tabela 4. Em relação aos efeitos da variável como resposta ter-se-á o teor de proteína bruta e os compostos bioativos (compostos fenólicos totais, taninos totais e carotenoides totais).

Tabela 3- Níveis reais e codificados das variáveis a serem utilizados na fermentação em estado sólido do resíduo

Variáveis	Níveis reais e codificados		
	-1	0	+1
Temperatura (°C)	30	35	40
Concentração de levedura (%)	10	15	20

Tabela 4- Matriz do planejamento experimental para a fermentação em estado sólido

Experimentos	Temperatura (°C)	Concentração de células (%)
1	30	10
2	30	20
3	40	10
4	40	20

5	35	15
6	35	15
7	35	15

O bagaço do malte utilizado para o processo de fermentação em estado sólido foi proveniente da mosturação e a levedura utilizada para o enriquecimento do resíduo foi oriundo do processo de fermentação alcoólica. Para o uso das leveduras, estas foram recolhidas ao término da fermentação alcoólica. O fermentado foi trasfegado para outro fermentador e as células foram recolhidas em recipiente de plástico, para serem armazenadas em câmara de refrigeração a 0 °C.

O processo de fermentação em estado sólido foi conduzido em estufa de circulação de ar de marca Marlabor nas condições experimentais especificadas. Para a execução do processo foram utilizados biorreatores tipo bandeija em inox com fundo vasado (20 × 30 × 2,5 cm), com malha de 25 e 35 mesh.

Para cada experimento, foram utilizados 500 g de bagaço de malte em biorreatores de inox com as respectivas concentrações de células estabelecidas. Uma vez a massa do resíduo exposta nos biorreatores, o sistema foi levado para a estufa de circulação de ar para início do processo. Cada experimento foi executado por 72 h nos tempos 0, 12, 24, 48 e 72 h, sendo coletados a cada tempo alíquotas de 50 g de forma aleatória e sendo a coleta realizada da parte superior até o fundo do biorreator, em seguida, as amostras foram acondicionadas em recipiente de plástico e congeladas para as análises posteriores.

As amostras foram submetidas às determinações de proteína bruta, acidez total titulável, potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis totais (°Brix), teor de água, conforme Instituto Adolfo Lutz (2008). Ademais, foram realizadas a análise de açúcares redutores (AR), pelo método descrito por Vasconcelos, Pinto e Aragão (2013).

Na caracterização química foi realizado a concentração celular (biomassa) sendo determinado conforme metodologia descrita por White (2010) e na caracterização dos compostos bioativos foram realizadas as análises de compostos fenólicos totais (mg/100 g) pelo método de Folin & Ciocalteu (WATERHOUSE, 2006), flavonoides (mg/100 g) e antocianinas (mg/100 g) conforme método descrito por Francis (1982), carotenoides (µg/100 g) proposta por Lichtenthaler (1987) e taninos totais pelo método de Swain e Hill (1959).

Para a análise dos efeitos das variáveis sobre a resposta foi utilizado o software Statistica v. 5.0 (STATSOFT, 1997), o qual permitiu a obtenção do gráfico de Pareto, o

modelo matemático para a representação dos dados experimentais e otimização do processo, a análise de variância (ANOVA), geração dos gráficos de probabilidade, e as curvas de contorno (RODRIGUES; IEMMA, 2005).

Foi utilizado o software OriginPro v. 9.0 para obtenção dos gráficos conforme analisados os parâmetros fermentativos (pH, acidez total titulável, umidade, açúcares redutores totais, concentração celular e proteína bruta).

4.10 PROCESSO DE SECAGEM

Para o processo da cinética de secagem foi utilizado o resíduo cervejeiro do tipo *pale ale* proveniente da mosturação do processo de obtenção do mosto cervejeiro, com o objetivo de conservar o bagaço do malte e verificar maiores concentrações de compostos bioativos e proteína bruta como resposta.

A secagem foi conduzida em estufa de circulação de ar de marca Marlabor nas condições experimentais especificadas. Para a execução do processo foram utilizadas bandejas em inox arredondada, em que as amostras foram distribuídas com camadas em espessura fina de 0,5 cm, com 100 g de material em cada bandeja, e conduzidas à secagem em estufa nas seguintes temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C.

Para a secagem do bagaço, a estufa foi ligada por cerca de 1 hora para aquecimento prévio. Ao longo do processo as amostras foram retiradas para verificação de pesagens e/ou perda de água com a periodicidade de 20 min, 30 min e 1 h, respectivamente. O término do processo foi constatado quando as massas das amostras permaneceram constante em três pesagens, indicando o equilíbrio higroscópico. Desta maneira, determinando a cinética de secagem, em triplicata. Ao final da secagem, foram determinados as massas secas e os teores de umidade. E ao final de todo o processo foram determinadas as análises físico-química e os compostos bioativos de todas as temperaturas determinadas.

Para os dados cinéticos foram aplicados aos modelos matemáticos especificados, para verificar qual o melhor modelo descreveu o processo de secagem. Com os dados experimentais, sendo registrado a perda de massa, bem como o teor de água final do produto foram mensurados os valores da razão do teor de água, descrito na (Eq. 1).

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

Em que:

RX - razão do teor de água (adimensional);

- X - teor de água, % b.s.;
- X_i - teor de água inicial, % b.s.;
- X_e - teor de água de equilíbrio, % b.s.

Os dados das cinéticas de secagem dos produtos, representados pela razão do teor de água em função do tempo de secagem, foram obtidos e os modelos matemáticos descrito na Tabela 5 foram ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem, através do programa computacional estatístico Statistica 7.0, por meio de análise de regressão não linear, utilizando o método de estimação Quasi-Newton, visando identificar o melhor modelo para representar o processo.

Tabela 5- Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem

Modelo	Equação
Newton	$RX = \exp(-kt)$ (2)
Page	$RX = \exp(-kt^n)$ (3)
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-kt)$ (4)
Aproximação da difusão	$RX = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$ (5)
Logarítmico	$RX = a \exp(-kt) + c$ (6)
Wang e Singh	$RX = 1 + at + bt^2$ (7)
Midilli et al	$RX = a \exp(-kt^n) + bt$ (8)

Em que, RX é a razão do teor de água, k constante de secagem, a , b , c e n são parâmetros dos modelos e t é o tempo do processo. Foram utilizados para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), o desvio quadrático médio (DQM) (Equação 9) e o qui-quadrado (χ^2) (Equação 10).

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RX_{pred} - RX_{exp})^2}{n}} \quad (9)$$

Em que:

- DQM - desvio quadrático médio;
- RX_{pred} - razão do teor de água predito pelo modelo, adimensional;
- RX_{exp} - razão do teor de água experimental, adimensional;
- n - número de observações.

$$\chi^2 = \frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^N (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2 \quad (10)$$

Em que:

χ^2 – qui-quadrado;

RX_{pred} – razão de teor de água predita pelo modelo;

RX_{exp} – razão de teor de água experimental;

N – número de observações; n – número de constantes do modelo.

4.11 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E COMPOSTOS BIOATIVOS

Após a secagem as amostras foram avaliadas do ponto de vista físico-químico quanto a acidez total titulável, pH, proteína bruta e sólidos solúveis totais por refratometria, ademais seguirão metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

Na caracterização dos compostos bioativos foram realizadas as análises de compostos fenólicos totais (mg/100 g) pelo método de Folin & Ciocalteu (WATERHOUSE, 2006), flavonoides (mg/100 g) e antocianinas (mg/100 g) conforme método descrito por Francis (1982), carotenoides ($\mu\text{g}/100$ g) proposta por Lichtenthaler (1987) e taninos totais pelo método de Swain e Hill (1959).

4.12 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à Análise de Variância pelo Delineamento Inteiramente Casualizado e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa ASSISTAT, versão 7.2 betas (SILVA; AZEVEDO, 2002).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS

Os resultados das análises microbiológicas dos extratos elaborados a partir da própolis bruta indicam que o produto foi processado utilizando boas práticas de manipulação, apresentando qualidade microbiológica satisfatória, estando estas dentro dos padrões estabelecidos pela Instrução Normativa nº 161, de 01º de julho de 2022 (BRASIL, 2022). A Tabela 6 apresenta os resultados médios das análises microbiológicas realizadas dos extratos das própolis vermelha e verde.

Analisando os dados da Tabela 6, os extratos de própolis verde e vermelha não apresentaram contagens de *Escherichia coli*/mL, Estafilococos coagulase positiva/mL, Fungos filamentosos e leveduras e *Salmonella*/25mL, indicando a ausência de contaminação microbiana.

Tabela 6- Resultados médios das análises *Escherichia coli*, Estafilococos Coagulase Positiva, Fungos Filamentosos e leveduras e *Salmonella* / 25 mL dos extratos das própolis vermelha e verde

Parâmetros	Extratos das Própolis	
	Vermelha	Verde
<i>Escherichia coli</i> /mL	Ausente	Ausente
Estafilococos coagulase positiva/mL	Ausente	Ausente
Fungos filamentosos e leveduras/mL	Ausente	Ausente
<i>Salmonella</i> / 25 mL	Ausente	Ausente

A elaboração de extratos hidroalcóolicos favorecem a ausência de contaminação microbiana, por ser um produto proveniente da extração dos componentes solúveis da própolis em álcool etanoico, utilizando processos biotecnológicos, que contribuem para evitar a contaminação por microrganismos. Adicionalmente, foi utilizado uma temperatura de 45°C durante o processo de rotaevaporação dos extratos, sendo outro fator determinante para a diminuição no crescimento microbiano ou inibição desses contaminantes, visto que, alguns microrganismos não possuem resistência a tratamentos térmicos.

A literatura científica evidencia que as própolis têm propriedades antimicrobianas eficazes contra vários tipos de microrganismos. No estudo de Assis et al. (2020), as própolis vermelhas e verdes demonstraram maior atividade antimicrobiana contra muitos microrganismos como bactérias e fungos, por possuírem maiores concentrações de

compostos fenólicos e flavonoides que são os responsáveis por inibir a atividade bacteriana.

Na Tabela 7, encontram-se os resultados médios e desvio padrão da caracterização físico-química e dos compostos bioativos dos extratos da própolis vermelha e verde.

Diante dos resultados obtidos, os valores médios de pH foram de 3,8 e 3,5 para os extratos da própolis vermelha e verde, respectivamente, apresentando diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), demonstrando que eles estão na faixa de pH inferior a 4,5, em que ocorre a susceptibilidade dos extratos em relação ao crescimento microbiano, como a bactéria patogênica do clostridium botulinum, impedindo que ocorra a proliferação de microrganismos deteriorantes.

Tabela 7- Resultados médios da caracterização físico-química e compostos bioativos dos extratos de própolis vermelha e própolis verde

Parâmetros	Extrato de própolis vermelha	Extrato de própolis verde
pH	3,80 ^a ±0,00*	3,50 ^b ±0,03
Acidez total titulável (%)	0,08 ^b ±0,00	0,23 ^a ±0,05
SST (°Brix)	10,32 ^b ±0,00	11,75 ^a ±0,00
Compostos Fenólicos (mg/100 g)	149,33 ^b ±0,00	1908,07 ^a ±0,00
Taninos totais (mg/100 g)	154,26 ^b ±0,00	2302,23 ^a ±0,00
Carotenoides (µg/100 g)	163,82 ^b ±0,00	222,66 ^a ±0,00
Flavonoides (µg/100 g)	19,66 ^a ±0,00	6,52 ^b ±0,00
Antocianinas (µg/100 g)	1,59 ^a ±0,00	1,17 ^b ±0,00

*Média ± desvio padrão. SST: sólidos solúveis totais.

Médias com letras iguais, na mesma linha, não diferem significativamente entre ao nível de 5% de confiança ($P \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

De acordo com Santos (2020) extratos hidroalcoólico e alcoólico de própolis tendem a ser ligeiramente ácidos, com valores de pH variando de 3,0 a 5,7, portanto os valores encontrados para os extratos da própolis vermelha e verde estão de acordo com a literatura. Os resultados relatados nos estudos de Santos (2020) obtiveram valores semelhantes do presente estudo com pH variando de 4,21 a 4,81 nas amostras de extratos hidroalcoólico. Por outro lado, Lins (2018) encontrou pH de 3,12 em extrato da própolis

vermelha do litoral paraibano, corroborando com o índice de pH encontrado nesta pesquisa.

Para a análise da acidez total titulável, observa-se que o valor do extrato da própolis verde foi superior (0,23 %) ao extrato da própolis vermelha (0,08%), diferindo significativamente entre elas.

Essa diferença de resultados obtidas dos extratos estudados no presente trabalho podem ser justificadas por alterações climáticas das diferentes regiões e o período de realização da coleta, visto que as própolis foram coletadas em diferentes regiões do Semiárido nordestino (própolis verde) e litoral paraibano (própolis vermelha), sendo o semiárido uma região que apresenta baixo índice pluviométricos com chuvas irregulares e predominância de clima seco com solo pedregoso, assim, teores de umidade presente no solo e nos vegetais sofrem influência na sua composição físico-química.

Os teores de sólidos solúveis totais (Tabela 7) foram de 10,32 e 11,75 °Brix para os extratos da própolis vermelha e verde, respectivamente. Os valores preconizados pelo MAPA sob normativa n°. 3 de 19 de janeiro de 2001 (BRASIL,2001), preconiza conter no mínimo 33% de °Brix, portanto, os extratos das própolis não estão de acordo com a legislação vigente, indicando uma baixa concentração de açúcares e ácidos combinados, resultando em extratos mais suaves.

No estudo de Soares et al. (2017) foram analisadas oito amostras de extratos comerciais de própolis brasileiras, apresentando valores superiores ao presente estudo, com °Brix variando de 26,50 a 41,50, corroborando com o resultado encontrado por Vendruscolo (2021), que avaliou própolis marrom e encontrou valor de 21,75 °Brix.

Prado (2019) analisou extratos de própolis verde com valores de 12,22 a 13,36 °Brix, resultados semelhantes foram encontrados por Nascimento et al. (2018) em extratos de própolis vermelha, com valor de 13,69° Brix. Os autores relataram que esses percentuais baixos podem estar relacionados a porcentagens de extrato seco, que estabelece no mínimo 11%, de acordo com o regulamento técnico para identidade e qualidade dos extratos de própolis.

O extrato da própolis verde apresentou maior teor de compostos fenólicos (1908,07 mg/100 g) quando comparada ao extrato da própolis vermelha, que apresentou valor de com 149,33 mg/100 g), diferindo estatisticamente entre si. Esse mesmo comportamento pode ser observado na concentração de taninos totais, com valor de 2302,23 mg/100 g para o extrato da própolis verde e 154, 26 mg/100 g para o extrato de própolis vermelha.

A presença de etanol como solvente melhora o processo de extração dos compostos bioativos presentes na própolis verde, pois, além do aumento da polaridade do solvente, o etanol pode melhorar a área da superfície de extração em uma matriz sólida devido à expansão do material gerado pelas interações entre sólidos e solventes e à afinidade entre o solvente líquido e os compostos associativos na matéria-prima, proporcionando uma maior eficiência de extração, com isso pode-se justificar os teores elevados de compostos fenólicos e taninos totais do extrato da própolis verde.

Segundo Ferreira et al. (2017) os compostos fenólicos e taninos fazem parte da composição química das própolis e estão relacionadas diretamente nas propriedades biológicas, destacando as atividades antimicrobianas e antioxidantes, sendo que a quantidade desses compostos vai depender da origem botânica, do local e da época da coleta da própolis. Com isso, neste estudo pode-se supor que a atividade biológica da própolis vermelha é menor em comparação com a própolis verde, o que pode estar ligada à baixa diversidade de compostos fenólicos e taninos totais.

Os carotenoides são terpenos encontrados em uma grande variedade de espécies vegetais, sendo responsável pela coloração do amarelo ao vermelho. Com relação aos teores de carotenoides totais, percebe-se que houve uma variação maior para o extrato da própolis verde, com valor de 222,66 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ quando comparado ao extrato da própolis vermelha, que foi de 163,82 $\mu\text{g}/100\text{g}$. Em decorrência de poucas pesquisas científicas, não foram encontrados estudos comprobatórios na literatura para uma discussão aprofundada desse parâmetro.

Os flavonoides são os compostos mais analisados da própolis, sendo considerados um índice importante na qualidade da própolis, devido as suas atividades biológicas sendo o mais abundante e efetivo antioxidante. Os resultados para flavonoides totais foram de 19,66 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ para o extrato da própolis vermelha e de 6,52 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ para o extrato da própolis verde, diferindo significativamente entre os extratos.

Como pode ser observado nos resultados, a própolis vermelha contém maior teor de flavonoides. De acordo com Neto et al. (2017), os flavonoides representam mais de 60% da composição da própolis vermelha brasileira, como: flavonas, flavanonas, isoflavonas e flavonóis. De acordo com o MAPA (BRASIL,2001), a quantidade mínima de flavonoides para extratos hidroalcoólico de própolis é de no mínimo 0,25%, no entanto pode-se observar que todas as amostras apresentam valores superiores, possuindo a qualidade exigida no quesito de teor de flavonoides.

Santos et al. (2020) avaliaram o conteúdo de flavonoides totais em cinco tipos de extratos hidroalcoólico da própolis vermelha, obtendo valores variando de 27,1 a 118,2 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, valores esses superiores aos encontrados no presente estudo.

Os valores médios de antocianinas obtidos neste trabalho foram de 1,59 $\mu\text{g}/100\text{g}$ para extrato de própolis vermelha e de 1,17 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ para extrato de própolis verde, resultados considerados baixos, porém esperados, visto que os teores obtidos de flavonoides não foram muito elevados, e são parâmetros proporcionais. Assim, há pouca discrepância de resultados entre os dois extratos, podendo ser justificado pelas diferenças de espécies estudadas. Além disso, ressalta-se que as antocianinas são pigmentos relativamente instáveis, podendo ser degradados por diversos fatores externos, em particular a luz. Wang et al. (2019) corroboram que as antocianinas são pigmentos naturais solúveis em água e instáveis ao calor, sendo responsáveis pela coloração que variam do vermelho-alaranjado ao roxo/azul ou amarelo.

Na Tabela 8, estão expressos os valores para a análise de cor dos extratos obtidos das própolis vermelha e própolis verde. No teste de cor, a coordenada L indica a luminosidade do produto, em que os valores variam do preto ao branco (0-100), o parâmetro de cromaticidade a^* varia do vermelho (positivo) ao verde (negativo), enquanto a cromaticidade b^* varia do amarelo (positivo) ao azul (negativo) de acordo com Braz et al. (2022).

Tabela 8- Resultados médios da análise de cor para os extratos de própolis vermelha e própolis verde

Parâmetros	Extrato da própolis	Extrato da própolis
	vermelha	Verde
a^*	4,85 ^a ±0,40*	5,37 ^a ±0,46
b^*	20,15 ^b ±0,39	25,20 ^a ±0,33
Luminosidade L	31,77 ^a ±0,38	32,20 ^a ±0,70

*Média \pm desvio padrão.

Médias com letras iguais, na mesma linha, não diferem significativamente entre ao nível de 5% de confiança ($P \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

A partir dos resultados observados na Tabela 8, é possível verificar que o parâmetro a^* foi de 4,85 para o extrato da própolis vermelha e de 5,37 para o extrato da própolis verde, não diferindo estatisticamente. Para esse parâmetro, os valores foram positivos, indicando a coloração avermelhada, mudando apenas a tonalidade, sendo o

extrato da própolis vermelha com uma cor tendendo ao vermelho mais claro, enquanto ao extrato da própolis verde tende para o vermelho mais forte.

Para a cromaticidade b^* , é possível perceber que os valores diferiram entre os dois tipos de extratos da própolis vermelha e verde, com valores de 20,15 e 25,20, respectivamente, com coloração mais amarelada, principalmente no extrato da própolis verde, com valor superior. Esses resultados podem ser justificados pela força de carreamento dos compostos bioativos das própolis que conferem a cor aos extratos, sendo capazes de extrair uma maior coloração da própolis bruta.

De acordo, com a Instrução normativa Nº 574 de 8 de dezembro de 1998, (BRASIL, 1998) que estabelece a identidade e qualidade de extratos de própolis, a cor deve ser variada entre tons de âmbar, avermelhada ou esverdeada, a depender da origem botânica e da concentração. No entanto, considerando esses requisitos, os extratos de própolis elaborados neste estudo, encontram-se dentro do padrão estabelecido pelo regulamento.

Com relação a luminosidade foi possível observar que o extrato da própolis verde apresentou um valor de 32,20, sendo superior ao extrato da própolis vermelha, com valor de 31,77, indicando uma coloração mais clara para a própolis verde. Essa luminosidade é influenciada pela concentração dos compostos bioativos que conferem a cor e o brilho dos extratos, que são eliminados pelo processo de extração com elevada temperatura, bem como a exposição a luminosidade externas que oxidam os pigmentos fotossensíveis, deixando as amostras mais foscas e densas.

Silva et al. (2021) utilizaram o extrato da própolis verde em biofilmes de fécula de mandioca em três concentrações (1,2%, 1,5%, 1,8%), observando que a incorporação do extrato influenciou diretamente na opacidade dos biofilmes, fazendo com que os valores das coordenadas a^* e b^* aumentassem, tornando-se positivos, tendendo ao vermelho (entre 0,03 e 0,83) e ao amarelo (11,93 e 16,5), respectivamente, a opacidade aumentou (variando entre 3,8 e 6,78) e o valor de L^* tendeu a diminuir (variando entre 61,16 e 63,23).

Na Tabela 9 estão dispostos os resultados médios da caracterização físico-química do bagaço de malte e da levedura utilizada no processo da fermentação alcoólica.

Diante dos resultados obtidos, os valores médios de pH para o bagaço do malte foi de 4,63 e para levedura foi de 4,72, ambos obtiveram valores semelhantes e susceptíveis para o crescimento microbiano, podendo ser justificado pela composição das amostras, visto que o resíduo ainda úmido passou pelo processo de mosturação, com isso ocorre a interação da água com o bagaço, fazendo com que as moléculas presentes no

meio reagem, alterando o pH. Ademais, temos a levedura residual que passou pelo processo da fermentação alcoólica e a quantidades de substâncias e compostos presentes nas amostras.

Tabela 9- Resultados médios da caracterização físico-química do bagaço de malte e da levedura

Parâmetros	Bagaço de malte	Levedura
pH	4,63±0,03*	4,72±0,03
Acidez total (%)	0,10±0,00	1,39±0,19
SST** (°Brix)	7,5±0,00	6,07±0,06
ART*** (%)	52,8±0,00	29,40±0,10
Umidade (%)	77,97±0,46	88,70±0,16
Cinzas (%)	0,60±0,01	0,96±0,03
Proteína (%)	4,34±0,00	3,37±0,02

*Média ± desvio padrão. **Sólidos solúveis totais; ***ART: Açúcares redutores totais.

Silva et al. (2020) encontraram valor semelhante para caracterização da levedura *Saccharomyces cerevisiae* com pH de 4,57, ressaltando que a cepa de levedura utilizada neste estudo foi a Nottingham. Por outro lado, Monteiro (2019), avaliou o pH do resíduo do malte de cevada, apresentando valor médio de 6,15, valor superior ao encontrado nesta pesquisa.

Com relação a acidez total titulável, foram encontrados valores de 0,10% e 1,39 % para o bagaço de malte e levedura, respectivamente. Como pode ser observado, tem-se um teor mais elevado de acidez para a levedura residual, quando comparado com o bagaço de malte. Essa acidez é proveniente de resquícios da fermentação alcoólica durante a fabricação das cervejas, ao qual ocorre o consumo do substrato pelas leveduras, ocorrendo o aumento da acidez pela sua absorção, enquanto o resíduo apenas filtra o líquido do mosto cervejeiro.

Alcarde et al. (2012) reportaram que a utilização de leveduras acelera o início do processo fermentativo, diminui a contaminação por microrganismos, reduz a concentração de açúcares residuais, aumenta a produtividade do processo e melhora a padronização da fermentação, contribuindo para a qualidade da bebida, principalmente em relação aos teores de acidez, que pode conter teores elevados ou baixos, a depender de todo o processo utilizado.

Quando analisamos o teor de sólidos solúveis totais e açúcares redutores totais apresentados na Tabela 9, percebe-se que houve um aumento considerável do bagaço de malte com 7,5 °Brix e 52,8% de ART, quando comparado com a levedura, que foi de 6,07 °Brix e 29,40 % de ART. Esses resultados eram esperados, visto que, temos matérias primas que diferem em suas composições, além de serem obtidas por processos distintos.

Primeiramente, o bagaço de malte passa por processos, como a moagem, na qual ocorre a quebra do amido e liberação dos açúcares do grão, permitindo o acesso das enzimas aos substratos presentes nos grãos malteados ou não, facilitando a despolimerização em frações menores. Seguido da brasagem, ao qual ocorre a solubilização por ação de enzimas hidrolíticas, como o amido, proteínas, os açúcares e nutrientes os quais servirão de substrato para as leveduras, com isso temos maiores concentrações de açúcares e conseqüentemente os sólidos solúveis aumentam.

Em contrapartida, temos o processo de fermentação alcoólica utilizando as leveduras, em que ocorre a transformação dos açúcares fermentescíveis em álcool mediante a metabolização destes carboidratos por parte das leveduras, ou seja, as leveduras consomem os açúcares fermentescíveis presentes no mosto, que são transformados em gás carbônico, energia e etanol. Dessa forma, através do teor de sólidos solúveis (°Brix), ocorrendo uma diminuição no teor de ART e sólidos solúveis.

A quantidade de umidade total reportada para o bagaço de malte e levedura foi de 77,97% e 88,70%, respectivamente, sendo considerado um alto teor de umidade, facilitando o crescimento microbiano, não favorecendo a sua conservação e carecendo de armazenamento sob refrigeração.

O elevado teor de umidade no bagaço de malte é decorrente da adição de grandes quantidades de água no processo produtivo de cervejas. Sendo assim, o resíduo absorve a umidade adquirida no processo. Com isso, tem-se a importância do uso de tratamentos térmicos para diminuir a carga microbiana do bagaço cervejeiro, para posterior utilização.

Ferreira et al. (2020) encontraram 83 % de umidade no bagaço de malte, corroborando com Zorzan et al. (2017) que obtiveram valor de umidade de 87,47% para o bagaço do malte e 86,5% para a levedura residual. Pereira et al. (2018) encontraram valores semelhantes ao presente estudo na caracterização do resíduo cervejeiro (78,57 %) e da levedura residual (85,46%).

Nascimento (2014) reportou que elevados teores umidade ocasionam perdas na estabilidade química, nas alterações fisiológicas, na deterioração microbiológica e, na qualidade geral do produto.

Os resultados médios de cinzas, expressam as quantidades de minerais totais e sua importância em um determinado produto, pois valores elevados indicam maiores teores de outros componentes minerais. Para esse parâmetro foi encontrado valor médio de 0,60 % para o bagaço de malte e 0,96 % para a levedura.

De acordo com Cecchi (2003) a quantificação de cinzas é usada como índice de refração e grandes quantidades em alimentos se torna prejudicial na extração de alguns nutrientes. Com isso, suas quantidades podem variar de 0,3% a 3,3%. Diante dessas informações, o resíduo e a levedura estão dentro do padrão exigido pela literatura.

Nos estudos de Barbosa (2016) foram encontrados teores de cinzas de 0,86% para o bagaço úmido do malte, valor próximo com o resultado encontrado nesta pesquisa. Ademais, foram encontrados valores superiores de 2,86% e 2,22% para o bagaço seco e o malte, respectivamente.

Filho (2019) avaliou a composição centesimal de 4 tipos de leveduras residuais, apresentando teores de cinzas de 4,1% a 7,39%. Nesse contexto, observa-se uma maior quantidade de minerais, quando comparadas ao presente estudo, podendo ser justificado pelas diferenças de cepas de leveduras estudadas, pois foram utilizados diferentes tipos, bem como diferentes condições de processos.

A quantidade de proteína bruta reportada para o bagaço de malte 4,34% foi superior ao da levedura com 3,37%, sendo o bagaço considerado um material lignocelulósico, rico em proteínas. Medeiros et al, (2018), relataram um teor mais elevado de 6,0 % do resíduo cervejeiro, em contrapartida, Cordeiro et al. (2018), encontraram resultado inferior para o resíduo úmido de 3,79% e teor elevado de 5,79 % para levedura.

Na Tabela 10, encontram-se os resultados médios dos compostos bioativos do bagaço de malte e da levedura. Observando os resultados obtidos dos compostos bioativos do bagaço de malte e levedura é notável que os parâmetros em destaque para as duas matérias primas, foram os carotenoides totais obtendo maiores médias em relação aos demais parâmetros analisados, sendo 117,53 e 121,19 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ para o bagaço e levedura, respectivamente, seguido dos compostos fenólicos com médias de 25,62 e 85,18 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ e taninos totais com 24,30 e 83,39 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, respectivamente.

Tabela 10- Resultados médios dos compostos bioativos do bagaço de malte e da levedura

Parâmetros	Bagaço de malte	Levedura
Compostos Fenólicos (mg/100g)	25,62±0,00*	85,18±0,00

Taninos totais (mg/100g)	24,30±0,00	83,39±0,00
Carotenoides (µg/100g)	117,53±0,00	121,19±0,00
Flavonoides (mg/100g)	2,28±0,00	13,90±0,00
Antocianinas (mg/100g)	0,86±0,00	2,80±0,00

*Média ± desvio padrão.

Os valores mais baixos foram encontrados nos parâmetros de flavonoides com as médias de 2,28 e 13,90 µg/100 g e antocianinas com 0,86 e 20,80 µg/100 g para o bagaço de malte e as leveduras.

As leveduras possuem um alto teor de carreamento de substâncias presentes no meio, no entanto, em decorrência da adição dos extratos de própolis utilizado no processo de fermentação alcoólica, ocorreu uma absorção e ou carreamento dos compostos bioativos existentes, em que houve um enriquecimento e potencialização na fermentação, afetando diretamente em maiores concentrações de bioativos na levedura residual.

Os valores inferiores dos compostos bioativos do resíduo quando comparado com as leveduras, justifica-se pela utilização de vários processos que podem influenciar no conteúdo desses compostos, visto que, ocorre a adição de uma quantidade de água significativa para produção da cerveja, passando pelo processo de brassagem e filtração, em que ocorre a lavagem de todo o conteúdo, seguido da separação do malte moído e a parte líquida, assim parte dos compostos presente no resíduo, são eliminados nesta etapa.

As informações nas literaturas científicas a respeito dos compostos bioativos no bagaço de malte e na levedura residual, ainda são reduzidas, portanto não foi possível uma discussão mais aprofundada com outros estudos, visto que, os resultados encontrados estavam em base seca com uma discrepância quando comparada ao estudo, sendo o respectivo trabalho elaborado com resíduo em base úmida.

5.2 PROCESSO CINÉTICO FERMENTATIVO DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA

Na Figura 2 estão dispostos os perfis de variação do pH e acidez total titulável do mosto cervejeiro do processo cinético da fermentação alcoólica. É possível perceber um comportamento uniforme do pH e acidez total de todos os experimentos quando comparados ao padrão. O pH dos experimentos 2 e 4 com 4% das própolis utilizadas mostram um decréscimo menor durante as primeiras 24 horas quando comparadas aos experimentos 1 e 3 com 2% das própolis, que teve uma redução inicial de 5,2 a 4,2. Ademais, todos os experimentos mantiveram uma diminuição no pH durante as 120 horas sendo mais acentuada nos experimentos 2 e 4.

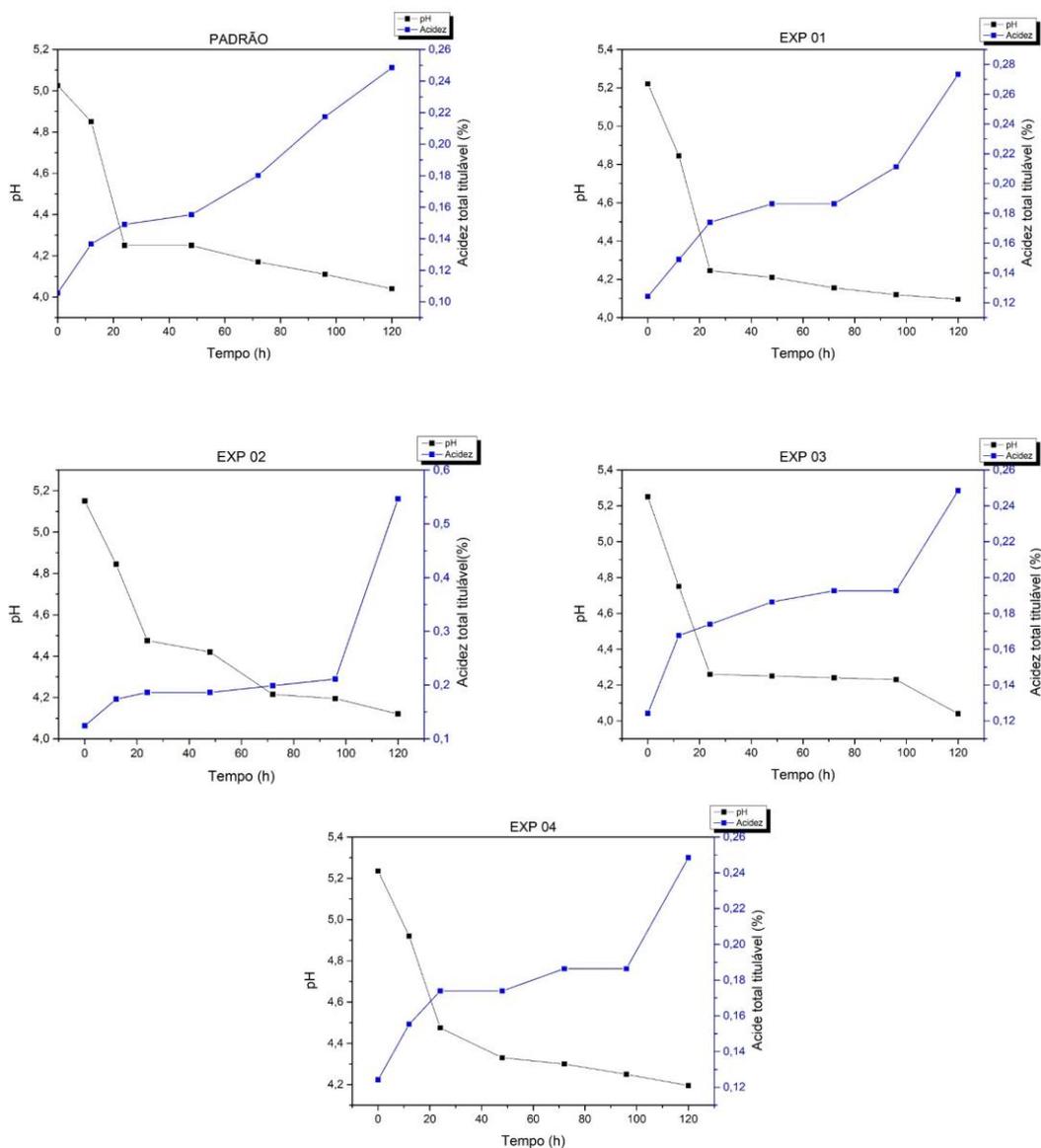


Figura 2. Perfil da variação do pH e acidez total titulável do mosto cervejeiro do processo cinético da fermentação alcoólica. Padrão: não contém os extratos das própolis; Experimento 1: própolis verde (2%); Experimento 2: própolis verde (4%); Experimento 3: própolis vermelha (2%); Experimento 4: própolis vermelha (4%). (Fonte: elaborada pela autora, 2023).

O decréscimo desse parâmetro é influenciado pela formação de ácidos orgânicos a partir do metabolismo das leveduras e bactérias presentes, além do mais pode ter ocorrido adsorção do CO_2 . Segundo Barbosa et al. (2022) este parâmetro atua na estabilidade da bebida, visto que em seus estudos, ocorreu a inibição do crescimento e desenvolvimento de bactérias patogênicas ou deteriorantes, influenciando também no frescor das bebidas.

Galvão et al. (2019) realizaram uma cinética de fermentação em cervejas tipo *pale ale* utilizando mandioca como adjunto cervejeiro, encontrando um valor de pH de 4,41 para a cerveja formulada com mandioca e 4,27 para a cerveja puro malte. Valores próximos foram encontrados por Souza et al. (2022) estudando a produção de cerveja de malte e maltose de milho 4,5 e 4,71 de pH. Os autores afirmaram que a faixa de pH entre 3,8 e 4,8 permite uma fermentação alcoólica rápida.

Danguì et al. (2019) elaboraram um fermentado alcoólico de melancia com própolis, encontrando valores de pH variando de 3,89 a 4,44 para o fermentado com própolis e 3,88 a 4,44 para o fermentado sem própolis, havendo uma pequena interferência no pH pela adição da própolis.

A adição do extrato da própolis verde demonstrou um comportamento mais ácido do mosto chegando a 0,27% e 0,55% nas duas concentrações, enquanto a própolis vermelha obteve valores inferiores de acidez do mosto de 0,25%, essa diferença pode ser justificada pela influência do extrato das própolis no mosto cervejeiro, visto que a acidez total do extrato da própolis verde foi superior ao extrato da própolis vermelha, com 0,23% e 0,08 %, respectivamente.

Na Figura 3 encontram-se apresentados os perfis da cinética durante o processo de fermentação alcoólica dos experimentos, permitindo identificar parcialmente as fases do crescimento celular da levedura durante a fermentação, o consumo do substrato e a formação do produto.

De acordo com os dados obtidos para os cinco experimentos foi observado um aumento no crescimento celular X (cel/mL) em função do consumo de substrato S (g/L) de forma gradativa, tendo um consumo mais evidente após as primeiras 12 horas, que varia conforme a adaptação das leveduras ao meio.

Nos experimentos D e E houve uma redução no crescimento celular a partir das 24 horas, de $1,2 \times 10^8$ e $1,4 \times 10^8$ cel/mL, enquanto os demais diminuíram após as 48 horas, bem como o experimento padrão. Desse modo, após o decréscimo todos os experimentos apresentam uma redução no consumo do substrato (g/L) menos acentuado, que por sua vez se transforma em produto, com variação de $3,4 \times 10^7$ a $7,2 \times 10^7$ g/L no final da fermentação. Farias (2019) encontrou valores próximos ao respectivo parâmetro de $1,85 \times 10^7$ a $9,13 \times 10^7$ cel/mL, avaliando a cinética fermentativa de *Ingá edulis* até as 144 horas.

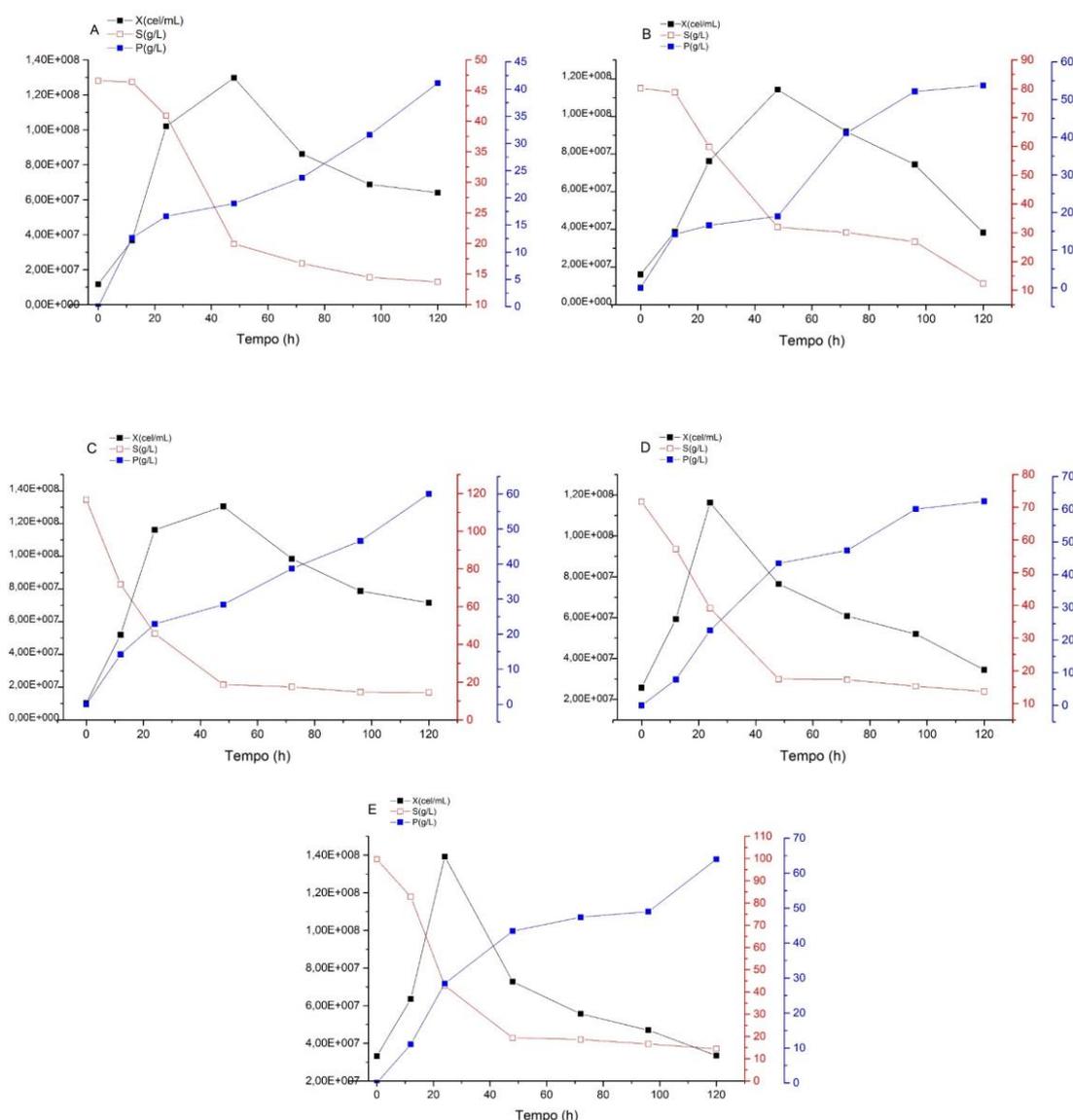


Figura 3. Cinética fermentativa referente aos experimentos do processo da fermentação alcoólica. (A) experimento padrão: não contém os extratos das própolis; (B) experimento 1: própolis verde (2%); (C) experimento 2: própolis verde (4%); (D) experimento 3: própolis vermelha (2%); (E) experimento 4: própolis vermelha (4%). (Fonte: elaborada pela autora, 2023).

Podemos observar que os experimentos C e E com maior percentual de própolis, obteve do início ao fim da fermentação alcoólica maiores valores de substrato residual quando comparado com os demais experimentos, com 116,7 e 99,7 g/L inicial, correspondendo a 14,6 e 14,5 g/L no final da fermentação, respectivamente. Barros (2020), encontrou uma concentração final de substrato residual semelhantes ao presente estudo, variando de 13,23 a 28,37 g/L em fermentado alcoólico de tomate.

Para a formação do produto (P) ficou evidente que a maior concentração de própolis influenciou no teor alcoólico, visto que, os experimentos C e E com 4% obtiveram valores maiores para a formação do produto sendo eles 60,04 g/L (7,6%) e, 63,99 g/L (8,1%) respectivamente. Os experimentos B e D, com 2% das própolis, apresentaram valores inferiores aos demais, sendo 53,72 g/L (6,8%) e 62,41 g/L (7,9%), respectivamente. Todos os experimentos obtiveram teor alcoólico maiores quando comparados com o padrão, evidenciando que o extrato da própolis afeta diretamente o processo de fermentação.

Costa (2019) ao analisar o estudo da fermentação de cervejas tipo *ale* observou-se valores próximos ao estudo, obtendo uma produção intensa de etanol nas primeiras 48 horas de fermentação, com valor de 67 g/L e, então, mantendo-se uma produção crescente, porém menos acentuada, até o fim da etapa de fermentação, alcançando 77 g/L de etanol no final do processo.

A cerveja é geralmente classificada pelo teor alcoólico, teores acima de 0,5-2% são chamadas de cervejas com baixo teor alcoólico, a de médio teor é definida como aquela cuja receita contém entre 2% e 4,5% de álcool, enquanto a cerveja de alto teor alcoólico contém mais de 4,5%, conforme a legislação brasileira (BRASIL, 2009).

De acordo com Constantin (2022) as cervejas tipo *ale* são fabricadas a partir de fermentação rápida, que geralmente resulta em uma cerveja clara, com sabor característico de lúpulo, com teor alcoólico entre 4% e 8%. Portanto, a partir do processo da cinética de fermentação deste estudo, as cervejas podem ser consideradas de alto teor alcoólico, salientando que as quantidades de álcool obtidas nesse processo variam mediante alguns fatores, como teor de substrato, concentração, tipo de levedura, bem como das condições ambientais (temperatura) e pH como um fator intrínseco, de acordo com Valentim et al., (2021).

5.3 CARACTERIZAÇÃO DA CERVEJA *PALE ALE* COM ADIÇÃO DOS EXTRATOS DA PRÓPOLIS VERMELHA E VERDE

Na Tabela 11 estão expressos os resultados médios das análises microbiológicas das cervejas produzidas. Não houve crescimento de microrganismos patogênicos e contaminantes nos parâmetros analisados, concluindo que todas as amostras dos cinco tratamentos estão seguras e aptas para o consumo humano, evidenciando boas práticas de manipulação higiênico sanitária e esterilização. Ressaltando que as cervejas produzidas não passaram pelo processo de pasteurização, mesmo assim tem-se a qualidade

microbiológica excelente, visto que o álcool e o lúpulo agem como conservantes naturais. Ademais, ainda o lúpulo, contém ação bactericida, devido a sua composição em alfa ácido.

Tabela 11- Resultados médios das análises de *Escherichia coli*, Contagem total de bactérias aeróbios mesófilos, Fungos Filamentosos e leveduras e *Salmonella* /25 mL da cerveja produzida com adição dos extratos das própolis vermelha e verde

Parâmetros	Tratamentos				
	Padrão	Trat.1	Trat.2	Trat.3	Trat.4
<i>Escherichia coli</i> /mL	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Fungos filamentosos e leveduras /mL	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Aeróbios mesófilos /mL	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
<i>Salmonella</i> /25mL	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Segundo Machado et al. (2020) o lúpulo possui atividade bactericida, agindo como agente antimicrobiano, sendo o processo de pasteurização de grande importância devido a etapa de envase, resultando em cervejas sem contaminação microbiana.

De acordo, com a Instrução normativa N°. 161 de 01 de julho de 2022 da ANVISA (BRASIL, 2022), os contaminantes microbiológicos, e demais contaminantes orgânicos e inorgânicos, não devem estar presentes em quantidades superiores aos limites estabelecidos pela Regulamento técnico, com isso todos os parâmetros microbiológicos estão dentro do preconizado pela legislação.

Nos estudos de Dutra et al. (2023) avaliando cervejas artesanais adicionadas de gengibre, não foram identificadas contaminações microbiológicas por bactérias patogênicas, resultando em cervejas aptas para o consumo sem causar danos à saúde humana.

A Tabela 12 apresentam os resultados médios da caracterização físico-química da cerveja produzida. Para o tratamento padrão o valor de pH 2,75 foi inferior aos demais tratamento, diferindo estatisticamente. Observa-se que os tipos de própolis não influenciaram esse parâmetro, e sim as concentrações dos extratos das própolis utilizadas, visto que os tratamentos 1 (2,94) e 3 (2,92) com 2% de própolis e os tratamentos 2 (2,99) e 4 (2,99) com 4% obtiveram resultados semelhantes de pH, não havendo diferenças

significativas, evidenciando que a maior concentração dos extratos, resultou em valores mais alto de pH.

Tabela 12- Resultados médios da caracterização físico-química das cervejas produzidas com adição do extrato da própolis vermelha e verde

Parâmetros	Tratamentos				
	Padrão	Trat.1	Trat.2	Trat.3	Trat.4
pH	2,75 ^c ±0,00*	2,94 ^b ±0,00	2,99 ^a ±0,00	2,92 ^b ±0,02	2,99 ^a ±0,00
Acidez total (%)	0,27 ^a ±0,03	0,24 ^{bc} ±0,02	0,25 ^{ab} ±0,05	0,24 ^c ±0,05	0,21 ^d ±0,00
SST** (°Brix)	6,05 ^a ±0,00	6,07 ^a ±0,00	6,05 ^a ±0,00	6,10 ^a ±0,02	6,17 ^a ±0,00
Teor alcoólico (%)	4,52 ^b ±0,00	4,55 ^b ±0,00	4,55 ^b ±0,00	4,52 ^b ±0,02	4,87 ^a ±0,00
ART*** (mg/100g)	14,42 ^d ±0,01	15,50 ^c ±0,01	16,09 ^b ±0,00	12,11 ^e ±0,02	16,75 ^a ±0,00

*Média ± desvio padrão. **SST: sólidos solúveis totais; ART***: açúcares redutores totais.

Médias com letras iguais, na mesma linha, não diferem significativamente entre ao nível de 5% de confiança ($P \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

Lima et al. (2021) encontraram valores superiores ao presente estudo de pH, em uma cerveja *ale* adicionada de pitanga, onde obteve o valor de pH de 4,06, indicando que o uso da fruta alterou o pH das cervejas. Santos et al. (2021) encontraram valores de pH entre 3,9 e 3,8 em cervejas cuja adição de polpa de jabuticaba foi feita no processo de fermentação.

As cervejas tipo *ale* de origem inglesa devem apresentar um pH entre 4,0 e 4,2, de acordo com Vargas (2018), em que relatou em seu trabalho valores com pH de 3,75 para cerveja estilo *ale*. Segundo Carvalho et al. (2020) cervejas claras tipo *ale* devem apresentar pH entre 4,0 e 4,4.

Com isso, demonstrando que os pH dos tratamentos analisados foram inferiores ao citado pela literatura, podemos afirmar que os extratos das própolis tiveram influência neste parâmetro, visto que, na caracterização dos extratos, os mesmos estão na faixa de pH inferior a 4,0, sendo ligeiramente ácido, com isso, temos uma cerveja mais estável microbiologicamente e com menor risco de incidência de patógenos e bactérias deteriorantes, obtendo um produto de melhor qualidade.

A formulação padrão da cerveja apresentou maior concentração de acidez total com valor de 0,27%, diferindo apenas do tratamento 3 (0,24%) e tratamento 4 (0,21%), sendo que o tratamento 4 obteve menor média, enquanto os tratamentos 1 e 2 diferiram entre si, com valores variando de 0,24% a 0,25%.

Cervejas com adição de adjuntos é bem quisto esse aumento da acidez, porque promove a sensação de refrescância, acentuando as características sensoriais da cerveja, sendo observado uma refrescância maior nos tratamentos 1 e 2, contendo o extrato da própolis verde quando comparado com os demais.

Este aumento da acidez do tratamento padrão pode ter ocorrido pelo ácido carbônico que é um dos fatores responsáveis pela influência da acidez na cerveja, decorrente da reação entre CO₂ e H₂O, visto que no mosto já estão presentes boa parte dos ácidos existentes na cerveja. Entretanto, em quantidades diferentes, e de acordo com a matéria-prima, e suas proporções mudam, em consequência também do processo e ou condições de maltagem (MANÇANO et al., 2018).

Por outro lado, o teor de acidez total mais baixo e a diferença significativa dos tratamentos contendo a própolis vermelha pode ser justificada pela carbonatação das bebidas, na qual foi observado que as cervejas dos tratamentos 3 e 4, obtiveram uma carbonatação mais rápida, ocasionando uma diminuição na acidez total devido a velocidade do processo.

Freire (2018) ao analisar o teor de acidez da cerveja do estilo Pilsen reportou valor de 0,34 % sem adição de fruta, 0,32 % com adição de polpa de atemoia e de 0,28 % com adição de sapoti. No estudo de Santos et al. (2021) em cerveja *fruit beer* ale produzida a partir de farinha de pão e Jabuticaba obtiveram o índice de acidez total, variando de 0,22% a 0,34%, resultados semelhantes ao do presente estudo. Contudo, na legislação brasileira, não existe limites máximos de acidez total permitidos para cervejas.

Pode-se observar na Tabela 12 que as médias obtidas para o parâmetro de sólidos solúveis totais dos tratamentos não diferiram entre si quando aplicado o teste Tukey ($p < 0,5$). Os resultados variaram de 6,05 a 6,17 °Brix para os tratamentos, o que indica que a fermentação das cervejas foi satisfatória e o açúcares redutores totais foram consumidos pelas leveduras. Vale ressaltar que o teor de sólidos solúveis está proporcionalmente relacionado ao teor alcoólico e o grau de atenuação da levedura.

Alves et al. (2020) ao analisarem a cerveja Pilsen produzida a partir de mandioca submetida a diferentes adubações de solo encontraram sólidos solúveis totais variando entre 4,50 e 6,12. Medeiros et al. (2020) determinaram o °Brix em cervejas com adição

de mirtilo e não obtiveram diferenças entre as amostras, em que as concentrações de mirtilo aumentavam, em contrapartida, obteve diferença significativa entre as amostras sem adição de mirtilo, com valor de 6,12 °Brix e as amostras com mirtilo de 6,48 e 6,52 °Brix. Esses resultados são próximos aos encontrados no presente trabalho, demonstrando que as cervejas estão dentro de um padrão relatado na literatura.

Quanto ao teor alcoólico das cervejas houve diferenças significativas entre os valores médios de resultados com superioridade entre o tratamento 4 quando comparado com os outros tratamentos. Nesse contexto, o tipo de própolis e a concentração influenciou no teor de álcool.

Assim, como constatado na Tabela 12 para teor alcoólico, o tratamento 4 obteve valor médio de 4,87%, seguido do tratamento 1 e 2 que obtiveram o mesmo teor alcoólico, de 4,55%. Já o menor valor médio foi igual para o tratamento padrão e o tratamento 3, de 4,52%. Pode-se concluir, que todos os valores encontrados, estão dentro das especificações estabelecidas pela *Beer Judge Certification Program, Inc. (BJCP)* que é entre 4,5% e 6,2% de álcool em cervejas do tipo *pale ale* (MITCHELL et al., 2021).

Troian et al. (2020) ao analisarem cervejas obtiveram teores alcoólicos que variaram de 4,72% a 5,89%. Sendo possível observar que os valores encontrados foram inferiores a este estudo, no entanto, o teor alcoólico das cervejas está relacionado a diversos fatores, como o tipo de mosto, temperaturas escolhidas para a fermentação e as leveduras utilizadas no processo, que se têm influência direta na concentração dos açúcares fermentescíveis e não fermentescíveis contidos no mosto cervejeiro, podendo ser alterada pelo uso de diferentes estratégias durante o processo de brasagem.

Os valores entre 4,30 % e 4,72 % v/v foram reportados por Doretto et al. (2018), na avaliação físico-química de 9 tipos de cervejas comerciais. Nota-se que os valores encontrados são bem próximos ao presente estudo, podendo ser consideradas cervejas de médio teor alcoólico, quando comparado com a literatura em outros tipos de bebidas alcoólicas fermentadas, como o vinho, por exemplo.

Quanto ao parâmetro de açúcares redutores totais (Tabela 12), verifica-se que todas as médias apresentadas diferiram ($p < 0,05$) entre si, observando que os tratamentos 1 (15,50 mg/100 g) e o tratamento 2 (16,09 mg/100 g), com adição da própolis verde obtiveram maiores concentrações, com valores superiores ao tratamento padrão (14,42 mg/100 g). Os açúcares presentes do bagaço de malte e da levedura com adição da própolis verde e vermelha, ao serem incorporadas na bebida, resultaram em um aumento

dos açúcares redutores totais, e a maior concentração dos extratos também influenciou em teores mais elevados desse respectivo parâmetro.

Os altos teores de açúcares, oriundos das maiores concentrações de extratos das própolis verde e vermelha, podendo ser observado no tratamento 2 e 4, pode ser justificada pelo melhor favorecimento da enzima β -amilase diante das maiores concentrações de extratos, gerando maior concentração de açúcar, trata-se de um processo em que ocorre a quebra de cadeias de amido em açúcares mais simples. Desse modo, prevê-se a obtenção de uma cerveja com maior teor alcoólico por conta da conversão dos açúcares à etanol e dióxido de carbono oriundos do processo fermentativo, resultando em um produto com maior teor de açúcares.

Os teores encontrados para os açúcares redutores totais, foram próximos ao de Santos et al. (2018) com 15,10 mg/100 g, que avaliaram a caracterização da cerveja puro malte. Os autores relataram que a quantidade de açúcares presentes na cerveja é proveniente do extrato primitivo e influenciará no seu valor calórico.

Os resultados médios dos compostos bioativos das cervejas produzidas adicionadas de extratos de própolis verde e vermelha, estão dispostos na Tabela 13.

Tabela 13- Resultados médios dos compostos bioativos das cervejas produzidas com adição dos extratos das própolis vermelha e verde

Parâmetros	Tratamentos				
	Padrão	Trat.1	Trat.2	Trat.3	Trat.4
CFT** (mg/100g)	39,83 ^{bc} ±0,00*	39,72 ^c ±0,00	56,42 ^a ±0,00	37,69 ^d ±0,00	39,91 ^b ±0,00
Taninos totais (mg/100g)	37,68 ^b ±0,00	37,42 ^c ±0,00	54,49 ^a ±0,00	35,35 ^d ±0,00	37,68 ^b ±0,00
Carotenoides (μ g /100g)	148,02 ^a ±0,03	121,44 ^b ±0,29	100,50 ^c ±0,00	113,32 ^c ±0,05	111,07 ^d ±0,29
Flavonoides (mg/100g)	2,81 ^d ±0,00	2,53 ^e ±0,00	4,14 ^a ±0,00	3,17 ^c ±0,00	3,97 ^b ±0,00
Antocianinas (mg/100g)	1,65 ^b ±0,01	0,14 ^d ±0,01	0,11 ^d ±0,00	0,65 ^c ±0,00	1,91 ^a ±0,00

*Média \pm desvio padrão. ** Compostos Fenólicos Totais.

Médias com letras iguais, na mesma linha, não diferem significativamente entre ao nível de 5% de confiança ($P \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

Nota-se que houve diferença significativa entre os valores de compostos fenólicos totais encontrados na cerveja. O tratamento 2 que utilizou 4% do extrato da própolis verde apresentou maior média de 56,42 mg/100g diferindo assim do padrão, enquanto o tratamento 3 que utilizou 2% do extrato da própolis vermelha teve a menor média com 37,69 mg/100g também diferindo do padrão, seguida dos tratamentos 1 e 4 com valores próximos de 39,72 e 39,91 mg/100g respectivamente.

Segundo Vogel (2017) os compostos fenólicos presentes na cerveja provêm aproximadamente 20-30% do lúpulo e 70-80% do malte, fazendo com que o conteúdo total de antioxidantes no produto dependa do tipo de cerveja, das matérias-primas e do tipo de fabricação utilizado.

No produto em questão a maior influência está relacionada com os extratos utilizados, visto que, estes são ricos em compostos fenólicos que foram absorvidos pela cerveja durante o processo de fermentação e maturação, contribuindo na conservação e nas características sensoriais dela, como o sabor, cor e o aroma. Salientando que o extrato da própolis verde contém maior concentração de compostos fenólicos, sendo condizente com os resultados obtidos.

Silva (2018) reportou semelhança de valores nos fenólicos de 40 a 80 mg/100g para diferentes tipos de cerveja (cervejas de trigo clara e escura, cervejas de cevada clara e escura de diferentes marcas). No estudo de Freire et al. (2019) foram reportados resultados superiores de compostos fenólicos totais de 64, 77,61 e 111,29 mg/100g, em cervejas pilsen, com polpa de sapoti e polpa de atemoia respectivamente. Essas diferenças podem ser resultantes dos diferentes tipos de cervejas, matérias primas, tipo de fermentação, leveduras, lúpulo utilizados, bem como todo o processo de produção.

Matsubara et al. (2016) ao introduzirem o extrato puro de gengibre em cerveja artesanal, assim como no presente estudo, identificaram aumento dos compostos fenólicos. Contudo, esse comportamento foi identificado somente nos tratamentos aos quais foram introduzidos a maior porcentagem do referido adjunto que, segundo os autores, também apresentaram alto potencial funcional.

Para os taninos totais, o tratamento 2 obteve a maior média com 54,49 mg/100g, seguido dos tratamentos 4, 1 e 3 com as médias de 37,68; 37,42 e 35,35 mg/100g respectivamente. Esses compostos são responsáveis por atribuir características sensoriais ao paladar como o amargor e a adstringência, logo, é visível que o tratamento 2 com 4% do extrato da própolis verde, pode apresentar amargor mais acentuado em relação aos demais tratamentos.

De acordo com Ferreira et al. (2022) baixos teores de taninos totais, apontam a viabilidade de produção de bebidas com menor adstringência e importante probabilidade de ingestão e aceitação, uma vez que os taninos são os principais causadores da redução de consumo, propiciando a baixa aceitabilidade para o consumidor, podendo ainda levar ao escurecimento da bebida, pela sua oxidação.

Os valores encontrados para os carotenoides totais na Tabela 13 mostram que houve diferença significativa para todos os tratamentos quando comparados ao tratamento padrão, com maior concentração de 148,02 ($\mu\text{g}/100\text{g}$). Dentre as amostras com adição dos extratos, obteve-se destaque os tratamentos 1 (121,44 $\mu\text{g}/100\text{g}$) e 3 (113,32 $\mu\text{g}/100\text{g}$) com 2% de própolis com maior concentração de carotenoides.

Os carotenoides são sensíveis à presença de luz, temperatura e acidez. Dessa forma, a principal causa de redução desse parâmetro durante o processo de fermentação e ou maturação é a oxidação, que pode ter afetado os tratamentos com 4% de própolis, causando uma redução no teor de carotenoides totais.

Os flavonoides presentes na cerveja são adquiridos principalmente da cevada e do lúpulo, tendo influência na conservação da cerveja, retardando o processo de envelhecimento. Quanto ao parâmetro de flavonoides totais, é evidente que todas as amostras obtiveram médias que diferiram pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), sendo o tratamento 2 e 4 com 4% do extrato da própolis, obtendo valores superiores de 4,14 e 3,97 $\text{mg}/100\text{g}$, quando comparado com os demais tratamentos.

Machado et al. (2020) encontraram valores superiores de flavonoides em cervejas adicionadas de cacau, com maiores concentrações nos tratamentos com 2% variando de 43,70 a 133,26 mg/L , tornando a cerveja rica em compostos bioativos. Os autores ressaltaram que esta etapa de adição do cacau, consiste em um processo à frio, ou seja, não ocorre perda dos compostos bioativos pela ação do calor. Adicionalmente, ocorre a produção de etanol fator que contribui para a extração destes compostos da matriz do cacau, elevando os teores de bioativos existentes.

Quando analisamos as antocianinas, observamos concentrações bem menores, que os demais compostos bioativos analisados na cerveja. O tratamento padrão diferiu de todas as amostras, obtendo uma das maiores médias 1,65 $\text{mg}/100\text{g}$, juntamente com tratamento 4 de 1,91 $\text{mg}/100\text{g}$. Em contrapartida, podemos dizer que os tratamentos 1 (0,14 $\text{mg}/100\text{g}$); 2 (0,11 $\text{mg}/100\text{g}$) e 3 (0,65 $\text{mg}/100\text{g}$), contém apenas traços, ou seja, uma quantidade mínima de antocianinas totais.

Durante o processo fermentativo, as antocianinas presentes no mosto cervejeiro, bem como nos extratos foram transferidas para a cerveja. Pode-se observar que foram encontrados baixos teores de antocianinas nos extratos das própolis verde e vermelha, no bagaço de malte e na levedura residual, conseqüentemente, os valores reportados da Tabela 13 para este parâmetro, foram esperados.

Nos estudos de Trindade (2016) foi observado maiores teores de antocianinas à medida que aumentava as concentrações de polpa de amora, com valores 1,1; 15,6; 20,02 e; 22,05 mg/100 mL com 0%, 10%, 20% e, 30% de polpa do fruto, a adição da polpa promoveu um aumento significativo nas antocianinas, sendo diretamente proporcional à quantidade de fruta adicionada, isso ocorre devido a transferência destes compostos da fruta para a cerveja.

Embora os valores dos compostos bioativos tenham sido maiores para os extratos brutos em relação a cerveja final, é notável que esses compostos são absorvidos e metabolizados de maneiras diferentes e influenciados por fatores extrínsecos como a temperatura, e intrínsecos, como a concentração e a levedura.

Além de enriquecer nutricionalmente a cerveja, os extratos das própolis potencializaram o processo da fermentação alcoólica, enriquecendo a bebida com maiores teores de compostos bioativos. Ressalta-se ainda, que na literatura científica não foram encontrados variados dados comprobatórios para comparação a este tipo de estudo em relação aos parâmetros dos bioativos analisados.

Na Tabela 14 estão dispostos os resultados médios dos parâmetros de cor das cervejas produzidas. Foi possível observar que não houve diferença significativa para os parâmetros a^* e L^* quando comparados ao padrão, indicando que a coloração vermelha (a^*) foi uma característica sensorial predominante nas cervejas com 2% e 4% dos dois extratos utilizados, bem como a luminosidade (L^*) que foi estatisticamente igual para todos os tratamentos, apresentando índice entre 30,88 e 31,62.

Tabela 14- Resultados médios da análise de cor das cervejas produzidas com adição dos extratos das própolis vermelha e verde

Parâmetros	Tratamentos				
	Padrão	Trat.1	Trat.2	Trat.3	Trat.4
a^*	7,20 ^a ±0,60**	6,04 ^a ±0,90	6,16 ^a ±0,21	6,00 ^a ±0,79	6,52 ^a ±0,36
b^*	22,52 ^a ±0,00	21,62 ^{ab} ±0,00	22,62 ^a ±0,00	20,90 ^b ±0,02	21,16 ^{ab} ±0,00

L*	31,50 ^a ±0,49	31,25 ^a ±0,85	31,62 ^a ±0,26	30,88 ^a ±0,25	31,17 ^a ±0,75
----	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

**Média ± desvio padrão.

Médias com letras iguais, na mesma linha, não diferem significativamente entre ao nível de 5% de confiança ($P \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

Nota-se que os extratos das própolis verde e vermelha não tiveram influência significativa na cromaticidade a^* , entretanto pode ser observado que os extratos interferiram de forma positiva na coloração da cerveja, podendo ser observado nitidamente a diferença na cor da cerveja final entre os tratamentos, sendo o padrão e o tratamento contendo a própolis vermelha, com colorações mais intensas quando comparado com os tratamentos 1 e 2 com própolis verde, sendo a interferência deste extrato com menor intensidade na coloração. Esses resultados eram esperados para este parâmetro de cromaticidade e essas afirmações ditas anteriormente corroboram com os valores apresentados na Tabela 14.

Essa não significância podem ser resultantes dos baixos teores de pigmentos de antocianinas, conhecidos por sua forte coloração, visto que, os valores encontrados na caracterização das cervejas e do bagaço de malte, foi basicamente traços desse pigmento, e nos extratos elaborados foram encontrados baixos teores.

Quanto ao parâmetro b^* é notável que o tratamento 2 com 4% de extrato da própolis verde teve a maior média 22,62 quando comparado aos demais em relação ao tratamento padrão, o tratamento 3 com 2% da própolis vermelha teve a menor média diferindo estatisticamente dos demais, havendo uma significativa degradação da coloração, tendo em vista, que são pigmentos fotossensíveis que podem ser degradados com facilidade.

Quanto a intensidade de cor amarela (b^*) do tratamento 2, pode ter sido influenciado pela presença de compostos bioativos do extrato da própolis verde, em destaque para o teor de flavonoides, composto com pigmentação amarelada, em que resultou em maior concentração de flavonoides na caracterização da cerveja com 4,14 mg/100g, ocasionando assim maior média na cromaticidade b^* .

De acordo com BJCP (2021) as cervejas do estilo *American Pale Ale* (APA) apresentam uma cor que varia do dourado a âmbar claro. Silva (2020), produziu uma cerveja artesanal adicionada de manga da variedade Espada, encontrando para a intensidade de a^* valores variando de 4,10 a 6,60 e para o b^* valores de 17,85 a 22,24, corroborando com o presente estudo. O autor observou que as cervejas apresentaram uma coloração avermelhada e amarelo alaranjado, sendo os parâmetros a^* e b^* positivos,

relatando que essa coloração pode ter sido influenciada pelos maltes utilizados na produção das cervejas, bem como a adição da polpa de manga.

5.4 FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO

Na Tabela 15 está descrito a matriz do planejamento experimental 2² com três pontos centrais, tendo como variáveis de entrada as temperaturas e concentrações de leveduras, seguido das respectivas respostas de proteína bruta, carotenoides totais, compostos fenólicos totais e taninos totais.

Tabela 15- Matriz do planejamento com os valores reais e os resultados respectivos para as respostas de proteína bruta, carotenoides, compostos fenólicos e taninos

Experimentos	Temperatura (°C)	Concentração de Célula (%)	Proteína Bruta (%)	Carotenoides Totais (µg/100g)	Compostos fenólicos Totais (mg/100g)	Taninos Totais (mg/100g)
1	30	10	22,97	231,30	120,36	169,37
2	30	20	24,74	248,90	238,78	255,71
3	40	10	32,49	142,05	153,26	256,81
4	40	20	28,11	143,67	243,49	385,14
5	35	15	27,48	157,74	162,91	241,25
6	35	15	27,91	170,61	165,78	266,53
7	35	15	26,19	202,82	175,75	287,48

Durante a cinética do processo fermentativo, foram realizados sete experimentos, nas quais foram observados valores variando de 22,97 % a 32,49 % para o parâmetro de proteína bruta. Ao analisar a variável de entrada temperatura, pode-se observar que maiores temperaturas no processo, resultaram em aumento do teor de proteína. É sabido que em temperaturas elevadas ocorrem aumento proteico, nesse contexto, maiores temperaturas resultaram em maior teor de proteína, sendo ocasionado pela desnaturação proteica em que promove alterações no meio que diminuem a solubilidade da proteína, levando à sua precipitação e consequente aumento.

Para a variável carotenoides totais foram encontrados valores variando de 142,05 a 248,90 µg/100 g, assim, as maiores concentrações foram conferidas à temperatura mais baixa (30°C), com maior concentração de levedura. Nesse contexto, em elevadas temperaturas ocorre a degradação desse composto, causado provavelmente por enzimas indesejáveis ao processo.

Com relação as respectivas respostas, podemos visualizar para os compostos fenólicos totais resultados variando de 120,36 a 243,49 mg/100 g, seguido dos taninos totais com 169,37 a 385,14 mg/100 g. Analisando os dados obtidos da Tabela 15, é visível a influência da temperatura e das maiores concentrações de leveduras sobre as variáveis respostas, uma vez que quanto maior a temperatura, maiores concentrações de bioativos foram encontrados.

Na Figura 4 estão apresentados os gráficos de Pareto, o qual permite analisar quais variáveis possuem efeito significativo, sobre as respostas proteína bruta, carotenoides, compostos fenólicos e taninos, com nível de confiança de 95%.

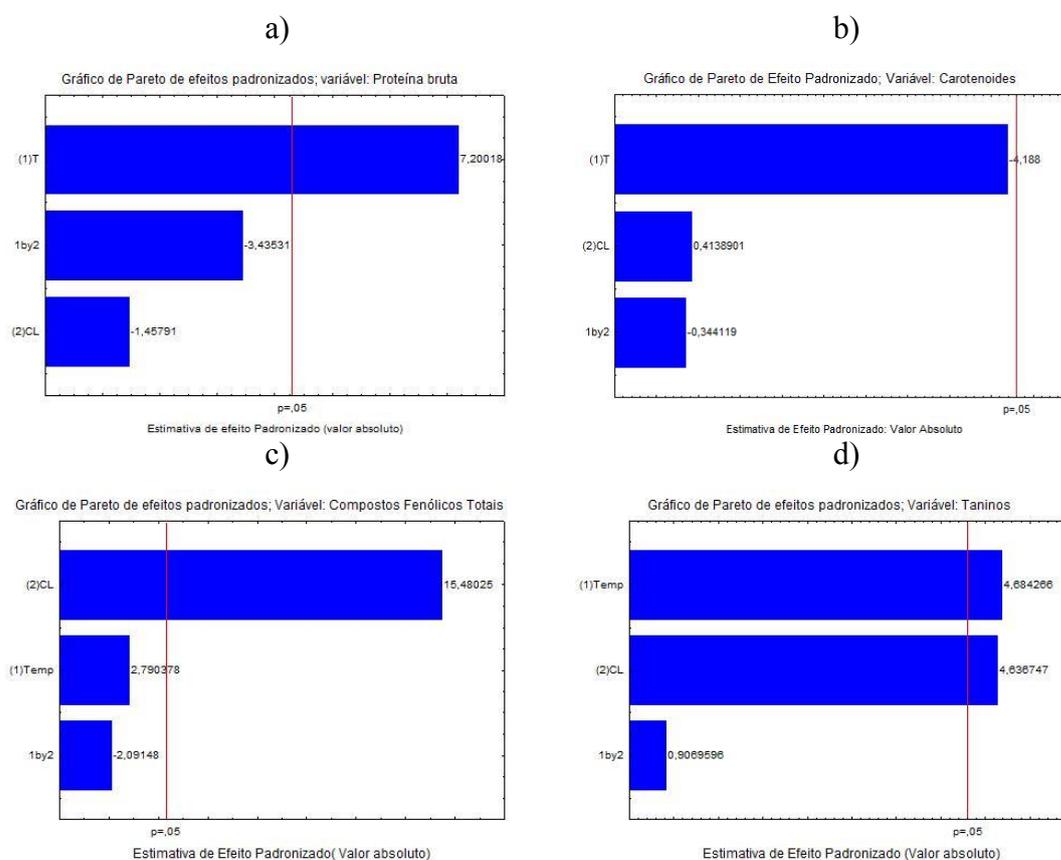


Figura 4. Diagramas de Pareto para os efeitos das variáveis independentes sobre a respostas de (a) proteína bruta, (b) carotenoides, (c) compostos fenólicos e (d) taninos. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).

Conforme a análise do diagrama de Pareto, verificou-se que a temperatura foi a variável que teve efeito significativo sobre as variáveis respostas de proteína bruta, e taninos. Além disso, os efeitos foram positivos, isto é, ao variar do valor inferior para o superior, tem-se um aumento nas respostas analisadas de 7,2 % e 4,68 %,

respectivamente. A concentração de levedura foi significativa apenas para os compostos fenólicos e os taninos totais, com aumento de 15,48 % e 4,63 %, respectivamente.

Observa-se que na variável resposta de carotenoides, a temperatura e a concentração de célula não tiveram efeito significativo, ou seja, não houve a variação do menor valor para o maior o valor, com isso não obteve êxito no aumento da resposta em questão. Todavia, é sabido que existe exceções para alguns tipos de compostos bioativos que são termosensíveis, podendo ocorrer a degradação, principalmente quando existe a exposição a altas temperaturas, com isso pode-se justificar a não significância dos dados para essa resposta.

Do ponto de vista químico e biológico foi observado que a temperatura teve maior influência no efeito do processo fermentativo em estado sólido sobre as respostas analisadas, é sabido que na fermentação, os compostos nitrogenados e bioativos, são utilizados pelas leveduras residuais, durante a fase de crescimento, exercendo importantes funções na biossíntese de proteínas e nos compostos bioativos estudados, bem como funções enzimáticas, influenciando o crescimento e o metabolismo das leveduras.

Neste estudo foi utilizado levedura cervejeira, que são adaptadas a temperaturas mais baixas, isto é, ao utilizar temperaturas entre 30 °C a 40 °C, combinadas com elevadas concentrações de leveduras residuais, tem-se um efeito positivo na eficiência da fermentação, ocorrendo um aumento na aceleração do metabolismo das leveduras, aumentando as concentrações de bioativos, bem como as proteínas brutas.

Essa tendência de aumento provavelmente está associada à limitação de carboidratos disponíveis no meio, pois estes são metabolizados mais rapidamente quando há maior concentração de leveduras e maior temperatura, sendo adicionadas no aumento das respectivas respostas analisadas.

Polyorach et al. (2013) afirmaram que o processo de crescimento das leveduras é dependente de reações químicas que são alteradas pela temperatura, variando de acordo com o tipo de microrganismo. A levedura cervejeira se desenvolve em uma faixa de temperatura de 20 a 40 °C, tendo uma temperatura ótima de crescimento em torno de 38 °C, em que ocorre melhor atividade metabólica das leveduras.

Sousa et al. (2020) ao avaliarem o enriquecimento proteico de resíduo de casca de jaca por meio da fermentação em estado sólido, verificou-se que quanto maior a concentração de levedura adicionada ao resíduo e quanto maior a temperatura de fermentação, maior foi seria o teor de proteína bruta, com 72 h de fermentação. Os autores afirmaram que por se tratar de uma cultura de microrganismos (leveduras), a dependência

de uma série de variáveis, como teor de água, sólidos solúveis totais, atividade de água, pH, resíduos minerais fixos, entre outros, influenciarão diretamente no desenvolvimento da levedura na matéria-prima.

Com base nos resultados dos efeitos foi feita a análise de regressão para se obter os modelos matemáticos de primeira ordem que representem o comportamento dos resultados experimentais. Foram considerados apenas as variáveis que apresentaram efeito estatístico significativo com no mínimo 95% de confiança.

Nesse contexto, os modelos matemáticos de primeira ordem obtidos pela análise de regressão e que relacionam as repostas de proteína bruta, carotenoides, compostos fenólicos e taninos foram os que representaram de forma mais clara esses valores. Tais modelos encontram-se descritos nas seguintes Equações da Tabela 16.

Tabela 16- Modelos matemáticos validado estatisticamente para as variáveis independentes sobre as repostas de proteína bruta, carotenoides, compostos fenólicos e taninos, sendo representados nas seguintes equações

Equações	Modelos Matemáticos
Equação 11.	$PB = - 25,760 + 1,567* T + 2,022*CL - 0,0615*T*CL$
Equação 12.	$CAR = +427,329 - 7,327*T + 6,544*CL - 0,159*T*CL$
Equação 13.	$CFT = - 190,255 + 6,109*T + 20,299*CL - 0,282*T*CL$
Equação 14.	$TAN = - 54,0361 + 4,545*T - 3,963*CL + 0,4199*T*CL$

Visando verificar a significância estatística e a predição dos modelos matemáticos gerados mediante análise dos dados experimentais, realizou-se a análise de variância dos dados obtidos, e foram considerados o coeficiente de determinação R^2 e a razão entre $F_{calculado}$, e $F_{tabelado}$.

Os resultados da ANOVA estão apresentadas nas Tabelas 17, 18, 19 e 20, nas quais pode-se observar que para cada resposta o modelo gerado é estatisticamente significativo. Ressalta-se ainda que o coeficiente de determinação de regressão R^2 mede a proporção da variação total das repostas que é explicada pelos modelos, quanto mais próximo de 1, menor será o erro e melhor o modelo.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 17 para a resposta de proteína bruta, verificou-se que o modelo de primeira ordem apresentou maior coeficiente de determinação da regressão R^2 de 97 % quando comparado com as outras repostas, sendo este modelo estatisticamente significativo. Constatou-se ainda, que o valor de $F_{calculado}$ é

3,4935 vezes maior que o F_{tabelado} , indicando que o modelo obtido para a resposta de proteína bruta, além de ser estatisticamente significativo, também é preditivo dentro da faixa experimental estudada.

Para as respostas de carotenoides (Tabela 18), compostos fenólicos (Tabela 19) e taninos (Tabela 20), verificou-se que os R^2 foram maiores que 60%, com valores de 87%, 93,2% e 95,6%, respectivamente para os modelos de primeira ordem, indicando que são estatisticamente significativos para a variação dos dados do presente estudo.

Ao se analisar a razão de $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} , observou-se que as razões das respostas com os respectivos valores são 0,7219; 1,4770 e 2,3743 vezes maior que o F_{tabelado} , respectivamente, indicando que para todas as respostas os modelos foram estatisticamente preditivos. Tais afirmações, corroboram com os coeficientes de determinação e com as Figuras dos gráficos de probabilidade.

De acordo com Barro Neto et al. (2001) para que um modelo não seja apenas estatisticamente significativo, e sim valide os dados com alta precisão, o mesmo deve apresentar a razão entre o $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} em torno de 5 vezes, para que o modelo seja altamente preditivo.

Tabela 17- Análise de variância simplificada para resposta de proteína bruta

	SQ	GL	QM	F_{cal}	F_{tab}	$F_{\text{cal}}/F_{\text{tab}}$	$R^2(\%)$
Regressão	52,6967	3	17,5656	32,419	9,28	3,4935	0,970
Resíduo	1,6255	3	0,5418				
Falta de ajuste	0,0230	1	0,0230	0,0287			
Erro puro	1,6025	2	0,8012				
Total	54,3221						

Fonte: elaborada pela autora (2023).

Tabela 18- Análise de variância simplificada para a resposta de Carotenoides

	SQ	GL	QM	F_{cal}	F_{tab}	$F_{\text{cal}}/F_{\text{tab}}$	$R^2(\%)$
Regressão	9611,8098	3	3203,9366	6,6993	9,28	0,7219	0,870
Resíduo	1434,7500	3	478,2500				
Falta de ajuste	356,53	1	356,532	0,66133			
Erro puro	1078,22	2	539,109				
Total	11046,56						

Fonte: elaborada pela autora (2023).

Tabela 19- Análise de variância simplificada para a resposta de Compostos fenólicos

	SQ	GL	QM	F_{cal}	F_{tab}	$F_{\text{cal}}/F_{\text{tab}}$	$R^2(\%)$
--	----	----	----	------------------	------------------	---------------------------------	-----------

Regressão	11436,0027	3	3812,0009	13,7065	9,28	1,4770	0,932
Resíduo	834,3465	3	278,1155				
Falta de ajuste	743,51	1	743,51	16,3707			
Erro puro	90,83	2	45,42				
Total	12270,35						

Fonte: elaborada pela autora (2023).

Tabela 20- Análise de variância simplificada para a resposta de Taninos

	SQ	GL	QM	F_{cal}	F_{tab}	F_{cal}/F_{tab}	R²(%)
Regressão	23719,7415	3	7906,5805	22,0338	9,28	2,3743	0,956
Resíduo	1076,5170	3	358,8390				
Falta de ajuste	4,79	1	4,79	0,00893			
Erro puro	1071,73	2	535,87				
Total	24796,26						

Fonte: elaborada pela autora (2023).

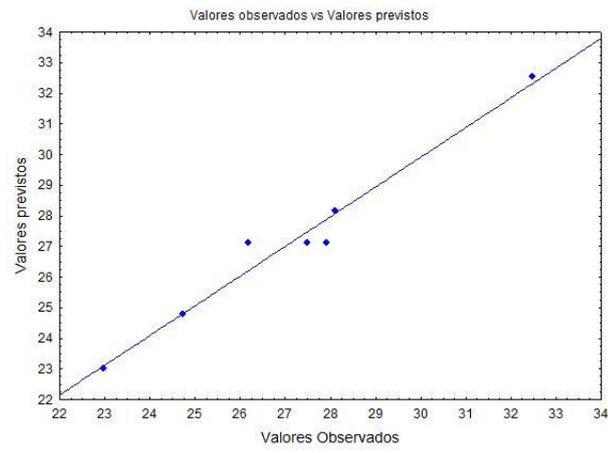
Na Figura 5 encontram-se apresentados a probabilidade normal das respostas analisadas nos experimentos do processo fermentativo da fermentação em estado sólido.

Através dos gráficos gerados, é possível averiguar o comportamento de probabilidade dos valores obtidos sobre as respostas analisadas, comparando com os gráficos dos observados e preditos com elevado grau de precisão. Observou-se que os resíduos enriquecidos com as leveduras residuais seguem uma distribuição normal para os pontos experimentais dos gráficos A e D, que estão próximos da linha contínua, o que é representativo de um bom modelo, gerando dados experimentais confiáveis.

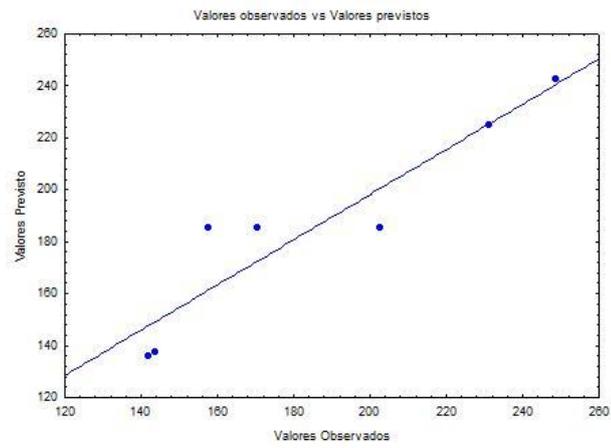
Todavia, observa-se que nos gráficos B e C de carotenoides totais e compostos fenólicos totais tem-se pontos mais distantes da faixa contínua, sendo caracterizado pela presença de *outliers* ou pontos significativamente diferentes dos demais dados experimentais, corroborando com os menores coeficientes de variação R² de 87% e 93,2% encontrados, sobre as respostas analisadas.

Os *outliers* formados podem ser justificados pelo fato de os modelos não serem altamente preditivos, visto que, a razão do $f_{\text{calculado}}$ e f_{tabelado} foram inferiores a cinco, sendo os modelos estatisticamente significativos, predizendo a significância dos dados com 87 % e 93,2 % de precisão, podendo ser considerados bons resultados, visto que é um processo biológico, sem o controle da ação das leveduras no meio.

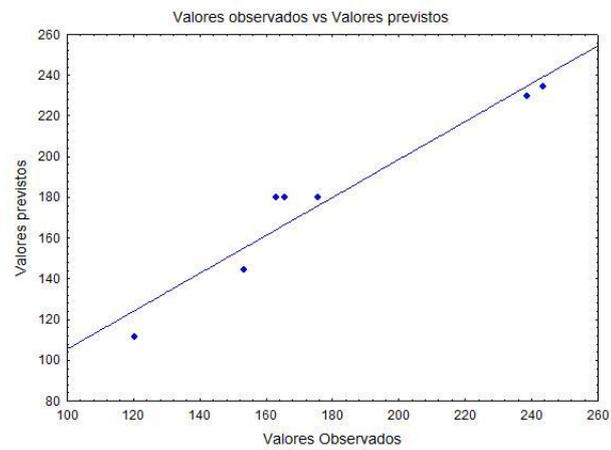
a)



b)



c)



d)

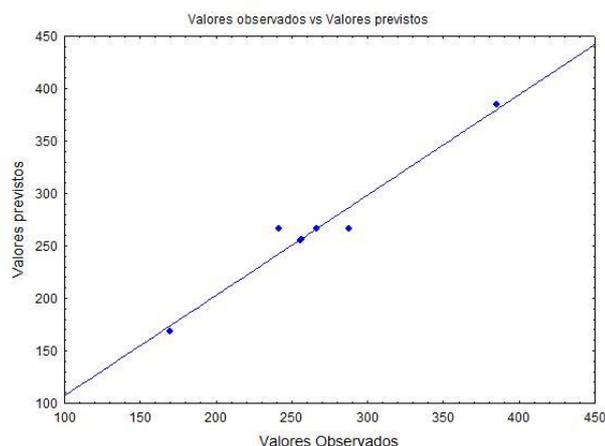
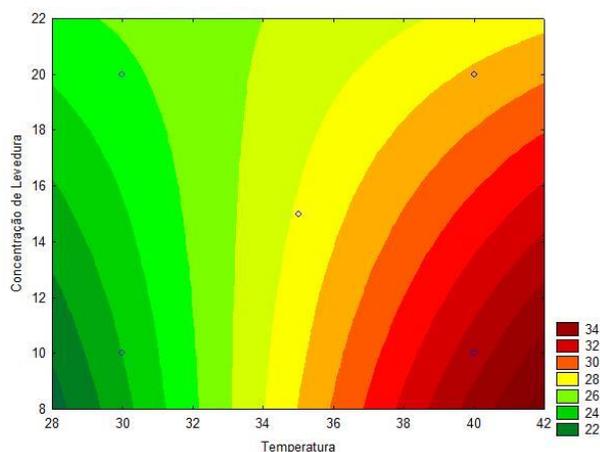


Figura 5. Gráficos da probabilidade normal dos valores obtidos nos experimentos. a) Proteína Bruta; b) Carotenoides; c) Compostos fenólicos totais; d) Taninos. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).

Calado e Montgomery (2003) relataram que a probabilidade determina se os erros experimentais são normais, e a mesma afirmação explica que quanto mais próximos os pontos experimentais estiverem da linha contínua, mais plausível é a suposição de normalidade. Diante dessa afirmação, pode-se dizer que os dados experimentais obtidos para as respostas são confiáveis, pois contêm pontos e valores que seguem uma distribuição normal.

Através da validação do estudo pelos modelos matemáticos propostos, foi possível construir as curvas de contorno (Figura 6), com finalidade de identificar as regiões de maiores e ou máximas concentrações das respostas estudadas, proteína bruta, carotenoides, compostos fenólicos e taninos, pela variação das variáveis de temperatura e concentração de levedura.

a)



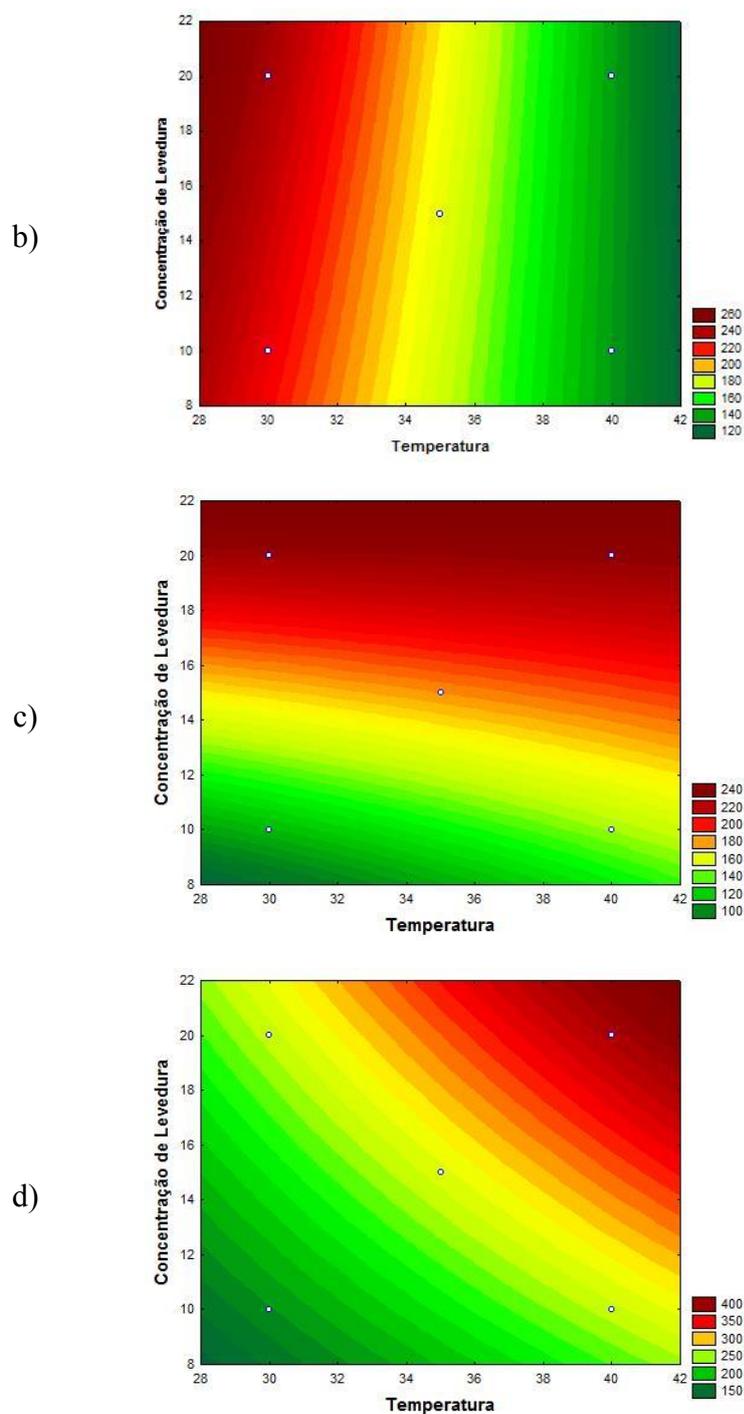


Figura 6. Curvas de contorno obtidas para a) proteína bruta, b) carotenoides, c) compostos fenólicos e d) taninos no processo fermentativo da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).

A partir do observado para a resposta de proteína bruta na Figura (a) da curva de contorno, é visualizada de forma notória a influência positiva da temperatura no aumento da proteína bruta do resíduo enriquecido. Quando avaliado a faixa de temperatura de 40 °C, é visto que, temos a melhor região para as condições máximas favoráveis de aumento

proteico, em contrapartida, quando analisamos na temperatura inferior de 30 °C, obtemos concentrações mínimas de proteína bruta.

Como observado, a concentração de levedura não teve influência no teor de proteína, contudo, observa-se que, para uma menor concentração de leveduras de 10 % ter-se-á o teor máximo de proteína esperado. Salientando que, a partir do observado da curva de contorno, podemos ainda, utilizar uma faixa de temperatura de 35 °C, como também menor concentração de inoculo, na qual proporcionará melhores condições experimentais por tornarem o processo mais viável, bem como uma redução de custos na produção.

Ao analisar os carotenoides totais da Figura b, nota-se que a menor temperatura influenciou positivamente no aumento do teor de carotenoides, sendo a temperatura de 30 °C a que apresentou condições máximas com maiores teores de carotenoides. Por outro lado, as faixas de temperatura de 35 °C a 40 °C proporcionará baixos teores do bioativos analisado. É notório que a concentração de célula não influenciou o processo, podendo-se afirmar que qualquer concentração de levedura utilizada poderá obter os teores de carotenoides desejados para este experimento.

Verificando a variável dos compostos fenólicos totais, é nítido que apenas a concentração de célula interferiu de forma positiva no processo fermentativo, é visto que, para melhores condições e ou região do processo é necessário de 15 % a 20 % de leveduras. Portanto, levando em consideração a resposta estudada, qualquer temperatura pode ser utilizada para ter-se-á valores elevados de compostos fenólicos.

Ao analisar a Figura 6(d), é evidente que a temperatura e a concentração de levedura maximizam a viabilidade de forma positiva para esta variável resposta, de modo que, tem-se condições máximas de teor de taninos na faixa de temperatura de 40 °C e 20 % de levedura, atingindo índices elevados sob condições extremas para maximização da resposta em questão.

Em um contexto geral, para que tenhamos um aumento significativo dos bioativos analisados, é necessário que tenhamos um aumento da carga microbiana. Sendo considerado neste estudo, as melhores condições de temperaturas entre 35 e 40 °C com uma concentração de 15 % e ou 20 % de leveduras, com isso ter-se-á regiões com os melhores resultados para as respostas analisadas neste estudo.

5.5 PROCESSO CINÉTICO FERMENTATIVO DOS SUBPRODUTOS DA FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO

O pH é um parâmetro importante na fermentação em estado sólido, pois cada microrganismo apresenta valores ótimos de pH para seu crescimento. Na Figura 7 encontram-se as variações de pH do processo cinético da fermentação em estado sólido.

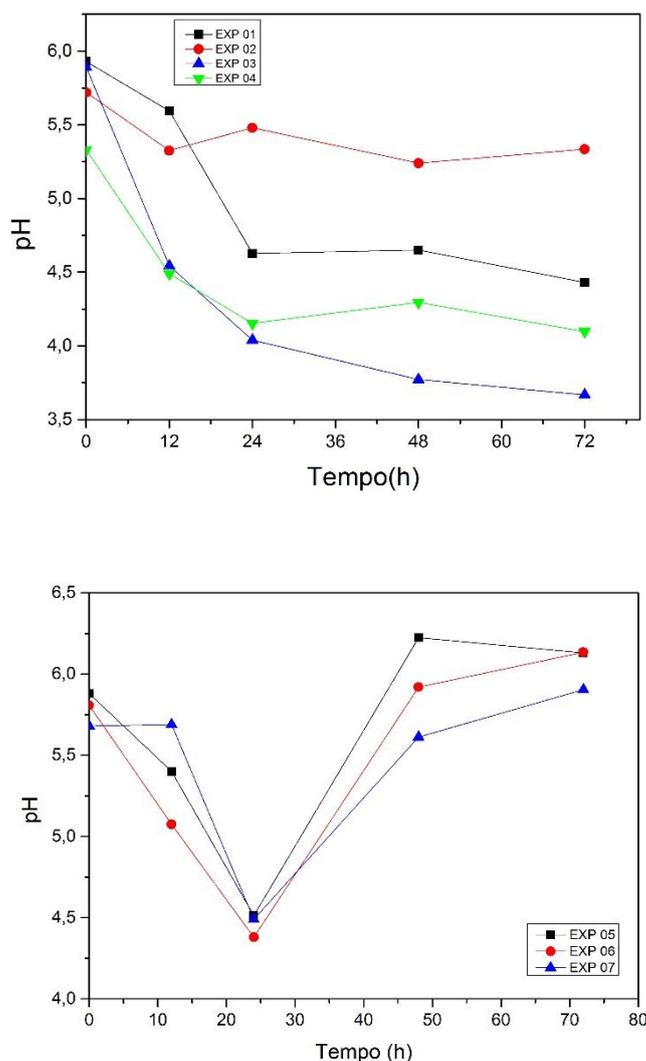


Figura 7. Perfil da variação do pH obtido no processo da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).

Conforme o exposto na Figura 7, o pH do processo da fermentação para os experimentos 1, 2, 3 e 4 resultaram em um comportamento uniforme, onde é visível um decréscimo constante, porém estável chegando ao valor mínimo as 72 h. É possível observar que os experimentos 1, 3 e 4, tiveram uma redução significativa as 12 horas, seguido da estabilidade dos mesmos até o final do tempo. O menor pH foi encontrado

para o experimento 3 com 3,6 seguido dos experimentos 4, 1, e 2 com 4,2, 4,5 e 5,4, respectivamente.

Para os experimentos 5, 6 e 7 do ponto central o pH se comportou de maneira oposta, apresentando uma redução nas primeiras 24 horas chegando em 4,4 para o experimento 6 e 4,5 para os experimentos 5 e 7, seguido do aumento até as 72 h, resultando ao final da fermentação em um pH de 5,9, para o experimento 7 e 6,3 para os experimentos 5 e 6 sendo maior que o pH inicial abaixo de 6.

O controle do pH durante a fermentação em estado sólido é dificultoso, devido a heterogeneidade e consistência do material. Este resultado elevado dos tratamentos do ponto central pode ser justificado pela atividade metabólica das leveduras, que produzem e consomem ao mesmo tempo os ácidos orgânicos e ou produtos formados no meio, formando diferentes tipos de compostos que elevam o pH.

Silva et al. (2020) determinaram que na fermentação em estado sólido ocorrem variações de pH pelo metabolismo dos microrganismos, podendo ser utilizado substratos com boa capacidade tamponante ou adição de soluções tampão durante a etapa de umidificação do substrato, para melhor controle deste parâmetro. Ademais, deve-se determinar o pH no início e no fim do processo fermentativo.

Santana et al. (2021) reportaram valores de pH de 4,5 e 5,0, sendo considerado ótimo para fermentação em estado sólido na temperatura de 40 °C, utilizando resíduo úmido cervejeiro com o microrganismo *Aspergillus niger*. De Lima (2019) estudou a obtenção da amilase por fermentação em estado sólido (FES) utilizando o bagaço de malte de cevada como substrato através do fungo *A. Niger*, obtendo o melhor pH de extração de 4,5.

A Figura 8 representa as variações de acidez total titulável do processo da fermentação em estado sólido.

A acidez total do processo de fermentação encontrada na Figura 8 comportou-se como esperado, visto que, é possível observar um aumento gradativo e significativo ao longo de todo processo para os experimentos 1, 2, 3 e 4 durante as 72 h, que teve acidez máxima para os experimentos 4 e 3 com 1,35 % e 1,32 %, respectivamente. Segundo Borzani e Boralle (1983), o aumento da acidez no processo de fermentação se deve, provavelmente, a produção de ácidos orgânicos, láctico, acético e succínico.

Observando os valores para os demais experimentos, nota-se que durante as 24 horas atingiram um aumento acentuado de acidez, sendo de 0,79 %, 0,82 % e 0,45 % para os experimentos 5, 6 e 7 respectivamente, obtendo decréscimo as 72 h de fermentação

com teor final de acidez de 0,31 %, 0,29 % e 0,28 %. Ressalta-se que a maior temperatura de 40 °C e a maior concentração de levedura de 20 %, influenciou neste parâmetro.

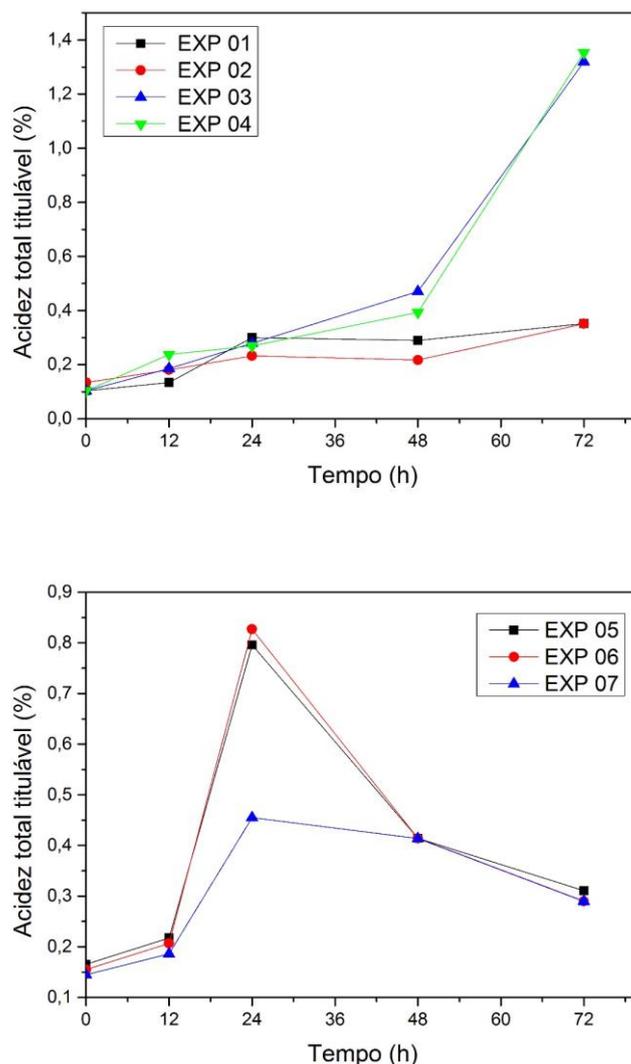


Figura 8. Perfil da variação da acidez total titulável obtido no processo da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).

A Figura 9 está relacionado ao perfil de variação da umidade total obtido no processo da cinética da fermentação em estado sólido.

O teor de água é um fator intrínseco ao processo de fermentação em estado sólido, em que ocorre a biotransformação do produto. Em relação a umidade total do processo fermentativo, foi possível observar que todos os experimentos apresentaram o mesmo comportamento de redução deste parâmetro, tendo a maior perda para o experimento 1 que saiu de 75,99 % para 38,90 % de umidade total, essa redução acentuada com a menor temperatura de 30 °C pode ser justificada por fatores externos, ou seja, pode ter ocorrido

a circulação do ar quente no meio de forma inadequada, proporcionando a desinformidade da temperatura nas amostras que estavam dispostas nos biorreatores.

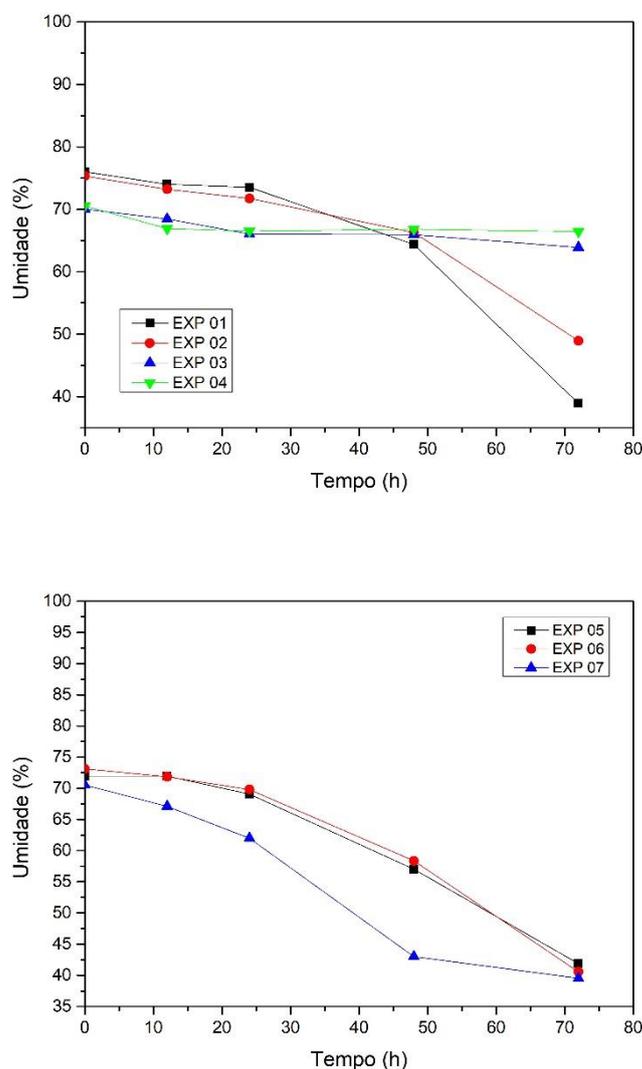


Figura 9. Perfil de variação da umidade total obtido no processo cinético da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).

Os tratamentos 5, 6 e 7 obtiveram resultados próximos, com 41, 89 %, 39,53 %, e 40,58 %, respectivamente. Essa redução está relacionada às temperaturas utilizadas e o comportamento da levedura no meio, na qual utiliza a água presente para promover o processo de fermentação. Sendo essa diminuição da umidade de extrema importância para que ocorra uma concentração de nutrientes no produto, bem como melhor conservação, resultando em maiores concentrações de compostos, bem como de teor proteico.

Esses teores de umidade apresentados estão corroborando com os estudos de Silva et al. (2021), na qual afirmaram que teores iniciais de substratos para fermentação sólida

devem está entre 30% e 85%, sendo condizentes com o presente estudo. Segundo Vieira et al. (2019) a redução satisfatória no teor de umidade, proporciona melhor conservação, aumento de durabilidade do produto em temperatura ambiente, uma vez que a água presente nos resíduos é responsável por reações químicas e microbianas, sendo a quantidade de água no meio, um fator limitante que influencia no crescimento de microrganismos, além do produto final.

Araújo (2011) reportou em seu estudo que ao se utilizar uma umidade inicial do substrato de 60 % e temperatura de fermentação de 40 °C, corroborando com as variáveis do presente estudo, tem-se maior enriquecimento proteico na farinha de sementes de mangaba com o microrganismo *Aspergillus oryzae*, sendo a interação umidade e temperatura o parâmetro que mais influenciou na produção de proteínas bruta na fermentação em estado sólido com *A. oryzae* e *Rhizopus oryzae*.

Na Figura 10 estão dispostos a relação de açúcares redutores (g/L) e a concentração de célula (cel/mL) para o processo cinético da fermentação em estado sólido. É notável a influência dos açúcares redutores na formação e no crescimento celular, visto que, nos experimentos 1 e 2 é nítido a redução repentina do conteúdo do substrato com 35 g/L e 37 g/L, respectivamente, após as 12 h de fermentação.

Por outro lado, a concentração de célula aumentou proporcionalmente, ressaltando que apenas no experimento 1 houve o decréscimo celular a partir das 48 h, essa redução é resultante da perda gradativa do teor de umidade, visto que, a disponibilidade de água no meio é reduzida, interferindo diretamente no crescimento das leveduras, ocorrendo assim, reações químicas e a diminuição na eficiência da atividade celular durante a fermentação, segundo Santos et al. (2018).

Quando analisamos os tratamentos 3 e 4 observamos semelhança no comportamento do substrato, bem como no crescimento celular, visto que houve uma redução acentuada dos açúcares e elevadas concentrações de células no tempo 12 com $2,8 \times 10^9$ e $3,4 \times 10^9$ cel/mL, respectivamente, ocorrendo o crescimento exponencial de forma adequada, indicando que o microrganismo envolvido na fermentação está adaptado ao meio, absorvendo os nutrientes e se multiplicando.

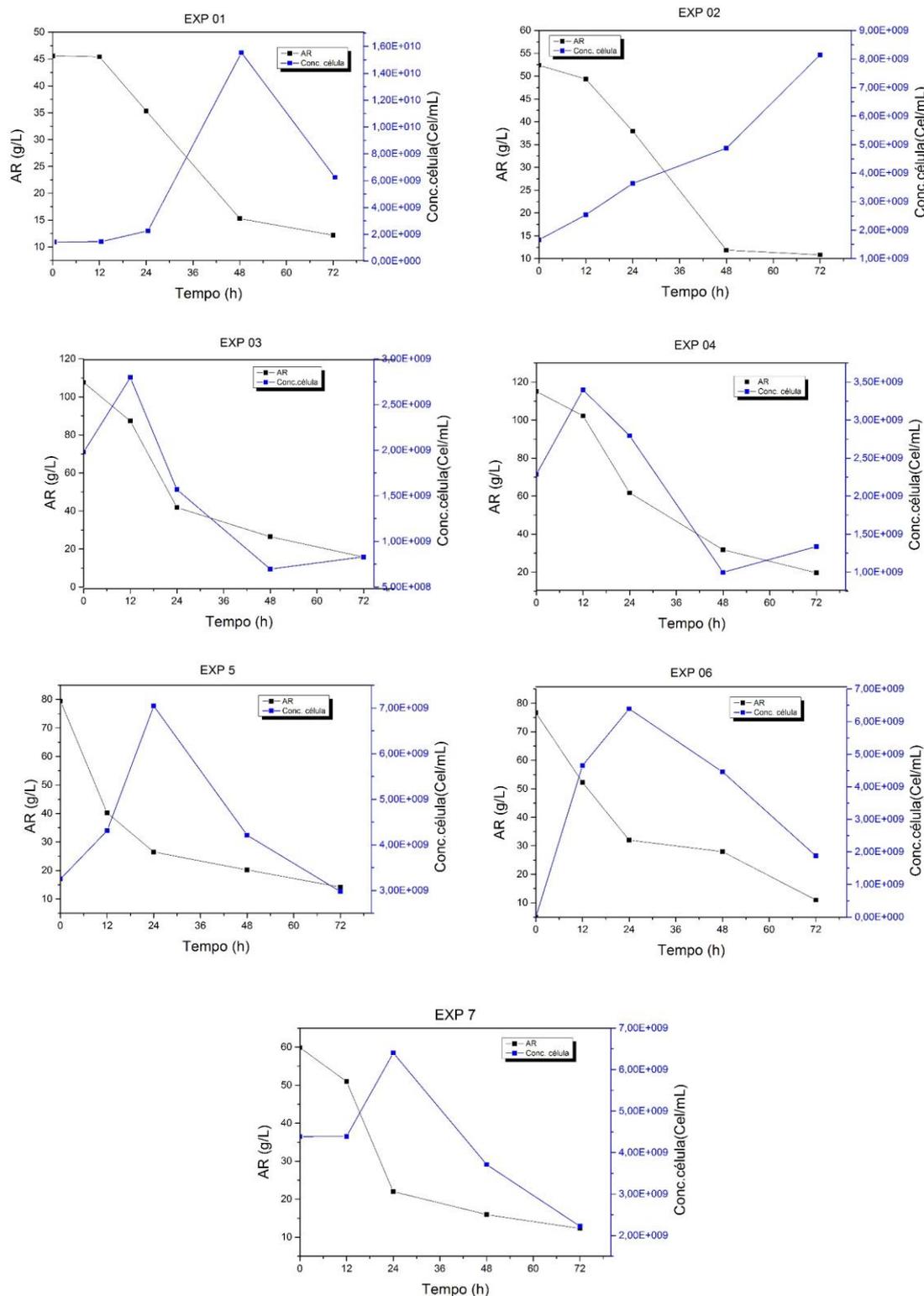


Figura 10. Cinética fermentativa referente aos experimentos executados no processo da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).

Para os experimentos do ponto central, é notório o comportamento semelhante entre os tratamentos. Observou-se que as 24 h a concentração de levedura havia atingido o valor máximo de 7×10^9 , $6,4 \times 10^9$ cel/mL e, $6,4 \times 10^9$ cel/mL para os tratamentos 5, 6

e 7 respectivamente, ocorrendo em seguida uma redução brusca na concentração celular, e o início de um acentuado decréscimo e estabilização nas quantidades de açúcares redutores, com concentrações finais de 14,2, 11,0 e 12,3 g/L, para os experimentos 5, 6 e 7 respectivamente.

Nota-se que, durante todo o processo para todos os experimentos, à medida que a concentração de açúcares redutores diminui ocorre um aumento proporcional na concentração celular, sendo este processo característico do perfil ideal para fermentação em estado sólido.

Mendoza (2021) estudando fermentação em estado sólido utilizando como substrato o resíduo úmido cervejeiro encontrou uma redução de 60 % nos açúcares redutores nas primeiras 8h de fermentação, após a estabilização. O consumo total de açúcares durante a fermentação não foi observado pelo autor, entretanto teve um aumento na concentração de açúcares de 1,2 % nas primeiras 24 h de fermentação.

A Figura 11 demonstra a relação dos açúcares redutores e proteína bruta da cinética fermentativa do processo em estado sólido. Diante dos resultados apresentados, percebe-se que o conteúdo proteico aumentou em função do consumo dos açúcares redutores para todos os experimentos avaliados, contudo, algumas variações ocorrem durante o processo fermentativo. Observa-se que após 24 h o consumo do substrato e a formação do conteúdo proteico se estabilizam sendo inversamente proporcionais, exceto para o experimento 2 que teve seu produto visivelmente formado após as 48 h de fermentação.

O experimento 6 obteve a maior porcentagem de proteínas, chegando a 27,91 % ao final do processo, seguido de 27,48 %, 27,25 %, 26,81 %, 24,74 %, 23,36 %, e 22,71 % dos experimentos 5, 1, 4, 2, 3 e 7 respectivamente. Com relação aos açúcares redutores presentes neste processo durante as 72 h, o experimento 2 teve a menor concentração residual de açúcares redutores de 10,8 g/L quando comparados aos demais experimentos executados, todavia, a maior concentração de substrato foi no experimento 4 com 19,65 g/L.

Em um contexto geral, foi observado que nos experimentos da cinética de fermentação em estado sólido, as maiores temperaturas de 35 °C e 40 °C, juntamente com as maiores concentrações de leveduras de 15 % e 20 % principalmente, proporcionaram maiores concentrações de proteína, e conseqüentemente teve maior influência no efeito do processo fermentativo nos experimentos avaliados, podendo ser justificado pela velocidade do metabolismo das leveduras presentes no resíduo cervejeiro.

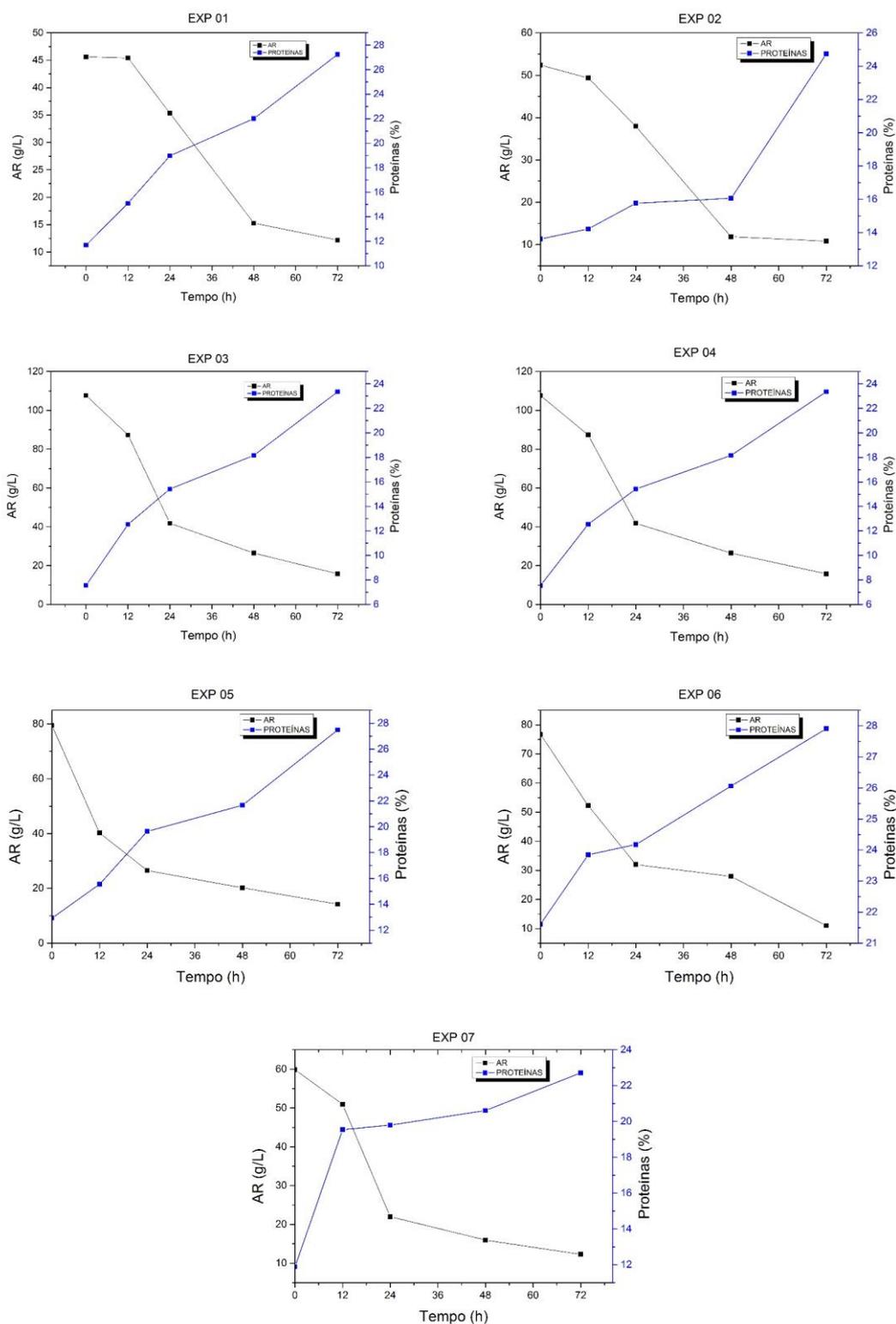


Figura 11. Relação de açúcares redutores x proteína bruta da cinética fermentativa referente aos experimentos executados no processo da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).

Silva et al. (2016) avaliaram o aumento do teor de proteína durante a fermentação semissólida de resíduos de abacaxi com concentração de 10 % de inoculo, onde pode-se observar aumento até 24 h de fermentação, estabilização entre 24 e 38 h, aumentando novamente até 48 h, resultando em um percentual próximo ao presente estudo de 20,56 % ao final da fermentação.

Nos estudos de Sousa et al. (2020) foram observados que a maior temperatura de 35 °C permitiu um desenvolvimento mais rápido da levedura, com a maior concentração de inoculo, indicando potencial máximo metabólico e, assim, apresentando maiores teores proteicos variando de 13% a 105% para o substrato de jaca após 72 h de processo de fermentação em estado sólido.

Silva et al. (2017) realizaram o estudo do enriquecimento proteico do bagaço de umbu-cajá (*Espondias* spp.) obtendo valores inferiores de 5,5 % de proteína com 48 h de fermentação, utilizando 2 % de levedura e temperatura de 37 °C, em um período de 72 h, obtendo um aumento proteico 4 vezes maior que o substrato in natura.

De acordo com Rosales et al. (2018), a fermentação em estado sólido é um processo viável para utilização de diversos tipos de resíduos como substrato, possibilitando sua utilização na alimentação animal e humana, proporcionando vários tipos de formulações. Com isso o enriquecimento dos resíduos cervejeiro, pode ser uma alternativa viável de aproveitamento para diversas formulações alimentícias, tendo em vista que temos um subproduto com alto valor agregado, permitindo ainda a sua utilização como suplemento proteico na dieta humana e animal.

Conforme a Figura 12 pode-se verificar o perfil da variação dos carotenoides totais obtido no processo cinético da fermentação em estado sólido.

De acordo com os resultados estudados para o parâmetro de carotenoides totais, é evidente que o resíduo obteve um aumento acentuado para os experimentos 1 com 239,84 µg/100 g e o experimento 2 com 248,90 µg/100 g, quando comparados com os tratamentos 3 e 4 que tiveram médias pouco acima de 100 µg/100g. Todos os tratamentos atingiram seus picos nas 72 h de fermentação, sendo possível observar que o processo térmico a 40 °C afeta negativamente o processo, influenciando diretamente no teor de carotenoides totais.

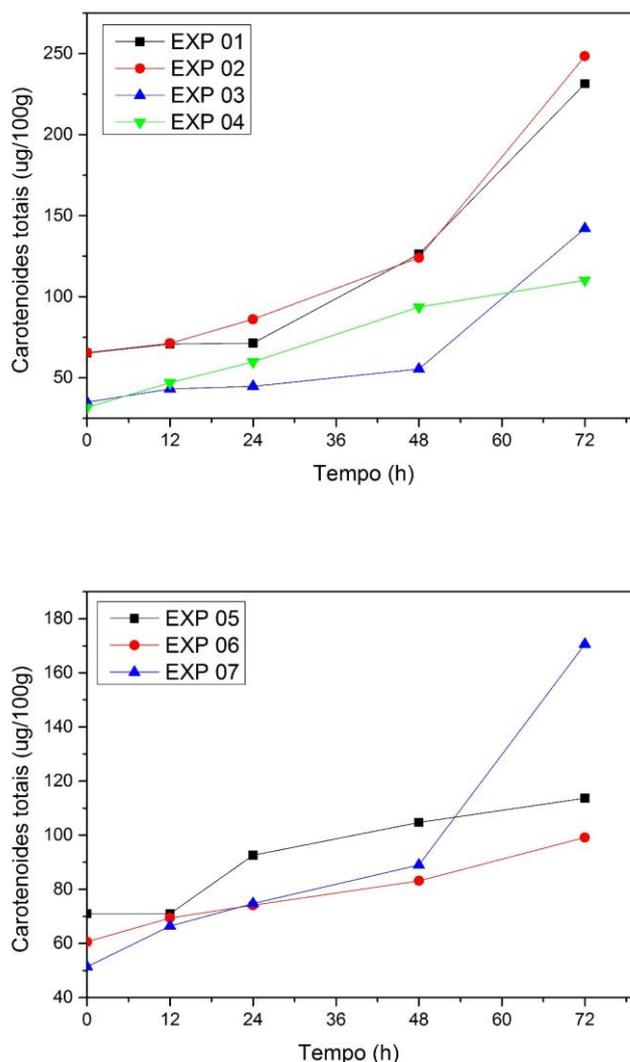


Figura 12. Perfil da variação dos carotenoides totais obtido no processo cinético da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).

Observando os demais resultados pode-se dizer que o experimento 7 teve a maior quantidade de carotenoides durante o processo de fermentação em estado sólido com uma média próxima a 170,61 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ enquanto os experimentos 5 e 6 tiveram valores próximos a 100 $\mu\text{g}/100\text{ g}$. Ao final da fermentação observou-se que a utilização da levedura, possibilitou o aumento no teor de carotenoides em ambos os experimentos quando comparados ao início do processo.

A Figura 13 mostra o perfil da variação dos compostos fenólicos totais obtido no processo cinético da fermentação em estado sólido. Conforme os dados expressos no gráfico abaixo, os experimentos 1, 2, 3 e 4 se comportaram de maneira semelhante, onde ambos tiveram um aumento na concentração de fenólicos nas primeiras horas até as 48 h,

seguido de um decréscimo as 72 h, perdendo parte destes compostos ao fim do processo. O experimento 2 teve a maior concentração de fenólicos ao final do processo, após as 72 h de fermentação chegando a 292,30 mg/100 g.

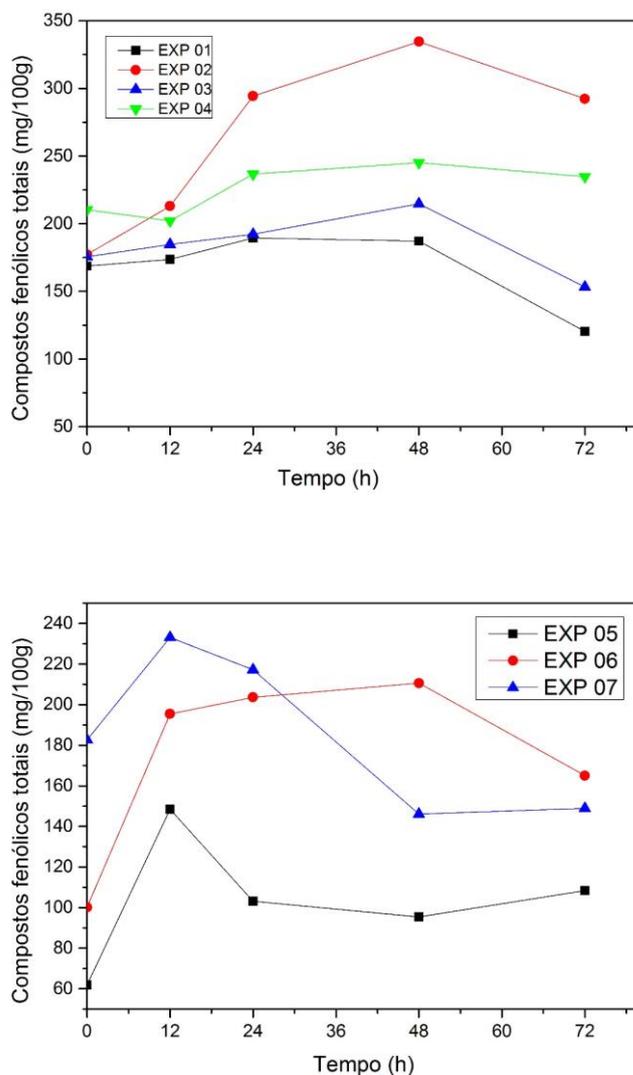


Figura 13. Perfil da variação dos compostos fenólicos totais obtido no processo cinético da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).

Para os experimentos 5, 6, e 7, observa-se comportamentos semelhantes, com teores máximos atingidos as 12 h, com exceção do experimento 5 que a alcançou pico as 48h. No entanto, ocorreu uma diminuição mais visível para o experimento 7 que se iniciou em aproximadamente 180 mg/100 g e finalizou as 72 h com 148,89 mg/100 g, entretanto foi o experimento 5 que obteve a menor concentração de compostos chegando ao fim da fermentação com 108,39 mg/100 g.

De forma geral, verificou-se que as maiores perdas de compostos fenólicos totais ocorreram após as 48 h de fermentação para todos os experimentos. Vatted et al. (2004) relataram que a diminuição dos compostos fenólicos no final da fermentação pode ser atribuída à polimerização dos fenólicos liberados pela oxidação de enzimas ativadas em resposta ao estresse induzido na presença de fungos devido à depleção de nutrientes.

Na Figura 14 observa-se o comportamento do perfil da variação dos taninos totais obtido no processo cinético da fermentação em estado sólido. Observa-se que o teor de taninos totais nos experimento 1, 3 e 4, ao longo do tempo de fermentação manteve-se um aumento gradual, quase que constante durante todo processo, em contrapartida o experimento 2, apresentou um aumento gradativo com teor máximo as 48 h, chegando a 328,15 mg/100 g ao longo da fermentação.

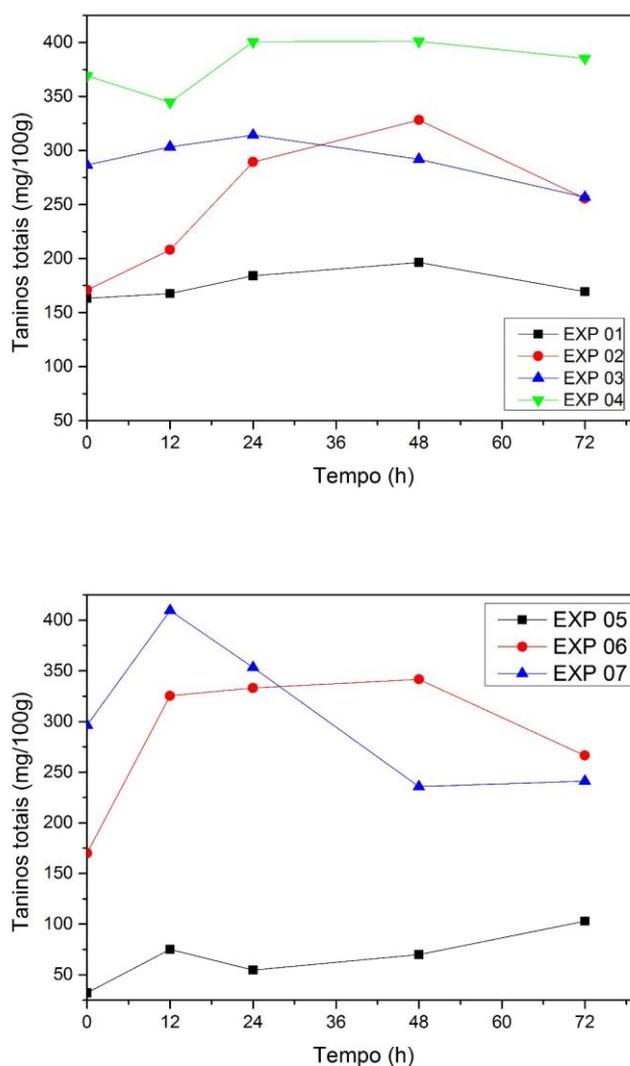


Figura 14. Perfil da variação dos taninos totais obtido no processo cinético da fermentação em estado sólido. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).

Houve variação em todos os experimentos dos pontos centrais, sendo o experimento 7, com maior concentração de taninos inicial 296,48 mg/100 g e final 241,26 mg/100 g, apresentando uma redução significativa após as 12 h de fermentação, mantendo-se constante a partir do tempo de 48 h até o final do processo.

Verifica-se que o experimento 5 apresentou menores teores inicial e final de 32,26 e 102,97 mg/100 g, respectivamente, quando comparado a todos os experimentos da cinética fermentativa. Por outro lado, o experimento 6, manteve-se constante do tempo 12 ao 48 h, seguido de um decréscimo brusco até as 72 h, com 287, 49 mg/100 g de taninos totais.

Conforme observado na Figura 14, ao final dos experimentos, houve uma redução significativa dos teores de taninos totais, podendo ser justificados pelo pH ácido do resíduo, o qual inibiu o crescimento microbiano e ou pode ter ocorrido a diminuição do bioativo analisado, devido a produção de enzimas indesejáveis no meio, visto que, altas temperaturas favorecem a degradação dos taninos.

5.6 SECAGEM

As curvas das cinéticas de secagem do resíduo cervejeiro em diferentes temperaturas estão ilustradas na Figura 15. Como esperado ao analisar estes resultados, observou-se a perda de umidade em função do tempo de secagem para todas as temperaturas.

A cinética de secagem do resíduo exibiu um comportamento típico semelhante ao de diversos outros produtos agrícolas, tendo a redução no tempo de secagem com o aumento da temperatura (TAO et al., 2019; BOATENG et al., 2021). Isso mostra que quanto maior temperatura de secagem, maior será a taxa de secagem.

A existência do período de taxa decrescente indica que a difusão de umidade é o mecanismo físico dominante que rege no processo de secagem. Este fenômeno pode ser devido ao fato de que a transferência de umidade da superfície do produto para o ar quente é rápida e o processo é frequentemente influenciado por fatores externos, como a velocidade do ar e temperatura (SONG et al., 2020).

Temperaturas mais altas desencadeiam uma rápida transferência de calor e massa de umidade que pode ser devido ao aquecimento volumétrico que reduziu significativamente o tempo de secagem (RASHID et al., 2019).

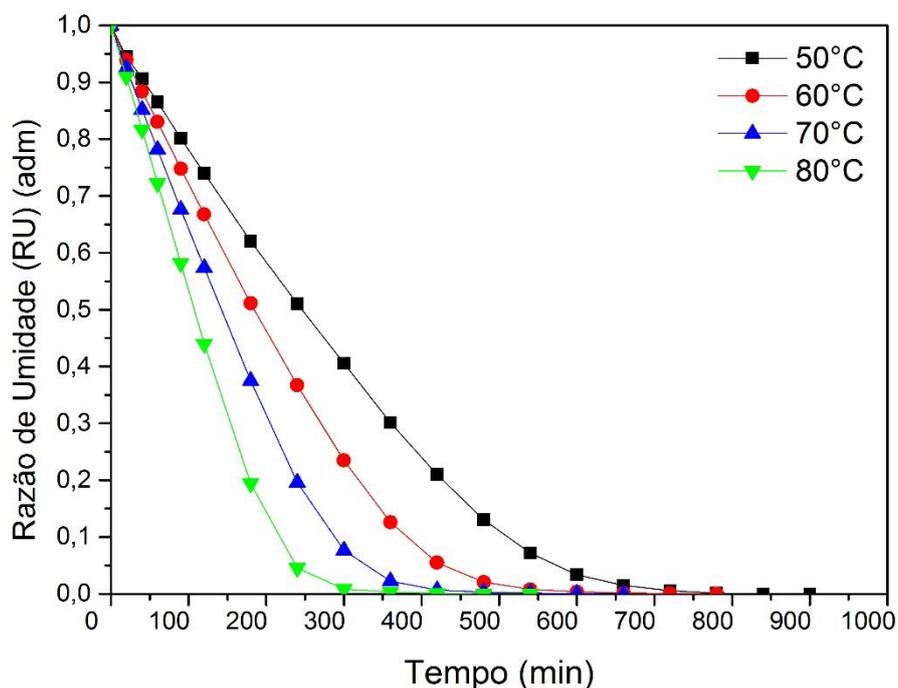


Figura 15. Curvas das cinéticas de secagem dos resíduos nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).

Sete modelos matemáticos selecionados foram ajustados aos dados experimentais, para descrever e prever o comportamento de secagem do resíduo cervejeiro sob diferentes condições de secagem. Os parâmetros dos modelos matemáticos das cinéticas de secagem do resíduo cervejeiro *pale ale* nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C estão apresentados na Tabela 21.

Verifica-se que entre os modelos testados os que proporcionaram os melhores ajustes foram os modelos de Page, Aproximação da difusão e Wang e Singh. Entre estes, o modelo de Page apresentou os maiores coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,9860$) e os menores desvios quadráticos médios ($DQM \leq 0,0364$) e qui-quadrado ($\chi^2 \leq 0,00143$).

Kumar et al. (2019), investigando o comportamento da secagem de fatias de bananas por meio da cinética de secagem nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C, também observaram que o modelo de Page apresentou os melhores ajustes, com $R^2 \geq 0,9990$, $DQM \leq 0,0122$, e $\chi^2 \leq 0,0001$.

Observaram ainda que o modelo Logarítmico, também estudados nesse trabalho, apresentou bons ajustes junto ao modelo de Page, indicando que ambos os modelos podem ser selecionados como os melhores para refletir o mecanismo de secagem do resíduo cervejeiro. Rashid et al. (2019) também destacaram o modelo de Page entre 13

modelos como um os que melhores se ajustaram aos dados experimentais das características de secagem de batata-doce.

Tabela 21- Parâmetros dos modelos matemáticos com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) da secagem em estufa do resíduo cervejeiro *pale ale*

Modelo	T (°C)	Parâmetros					R^2	DQM	χ^2
		a	B	c	k	n			
Newton	50	-	-	-	0,0046	-	0,9403	0,0773	0,00622
	60	-	-	-	0,0059	-	0,9294	0,0832	0,00721
	70	-	-	-	0,0073	-	0,9256	0,0807	0,00678
	80	-	-	-	0,0090	-	0,9242	0,0738	0,00567
Page	50	-	-	-	0,0000	1,4694	0,9896	0,0322	0,00112
	60	-	-	-	0,0002	1,5757	0,9864	0,0364	0,00143
	70	-	-	-	0,0002	1,6711	0,9898	0,0298	0,00096
	80	-	-	-	0,0004	1,9716	0,9860	0,0316	0,00108
Henderson e Pabis	50	1,1176	-	-	0,0051	-	0,9555	0,0667	0,00483
	60	1,1266	-	-	0,0066	-	0,9449	0,0735	0,00585
	70	1,1223	-	-	0,0082	-	0,9402	0,0723	0,00567
	80	1,1172	-	-	0,0100	-	0,9384	0,0665	0,00480
Aproximação da difusão	50	-266,39	0,9958	-	0,0105	-	0,9898	0,0319	0,00115
	60	-214,78	0,9946	-	0,0134	-	0,9824	0,0415	0,00194
	70	-311,86	0,9963	-	0,0163	-	0,9781	0,0437	0,00216
	80	-306,77	0,9963	-	0,0198	-	0,9776	0,0400	0,00181
Logarítmico	50	1,2288	-	-0,140	0,0039	-	0,9703	0,0545	0,00336
	60	1,2093	-	-0,105	0,0054	-	0,9575	0,0645	0,00471
	70	1,2145	-	-0,114	0,0065	-	0,9549	0,0628	0,00446
	80	1,2849	-	-0,205	0,0067	-	0,9631	0,0514	0,00299
Wang e Singh	50	-0,0034	0,0000	-	-	-	0,9791	0,0457	0,00227
	60	-0,0042	0,0000	-	-	-	0,9699	0,0543	0,00319
	70	-0,0052	0,0000	-	-	-	0,9704	0,0508	0,00280
	80	-0,0065	0,0000	-	-	-	0,9746	0,0427	0,00198
Midilli	50	1,0163	-0,0000	-	0,0003	1,4571	0,9906	0,0305	0,00110
	60	0,4048	-0,0004	-	-0,0000	0,0000	0,3393	0,2547	0,07671
	70	0,7293	-0,0018	-	-0,0000	0,0000	0,7466	0,1490	0,02624
	80	0,5200	-0,0017	-	-0,0000	0,0000	0,5845	0,1729	0,03536

Rocha et al. (2020) analisaram a cinética de secagem do bagaço de malte cervejeiro em infravermelho nas temperaturas de 50, 60, 70, 80, 90 e 100 °C, onde foram ajustados

12 modelos cinéticos de secagem e observaram que para todos os parâmetros o modelo de Page ($R^2 = 0,996$) foi o que melhor representou a cinética de secagem. Tizziani et al. (2021) estudaram os dados experimentais a quatro modelos semiempíricos de cinética de secagem e encontraram valores de R^2 superiores a 0,99 para as faixas de temperatura 50, 80 e 110 °C, ao ajustar ao modelo de Page, os dados experimentais da secagem do bagaço do malte em estufa.

Os valores da constante da taxa de secagem para o modelo de Page, representado pela constante “ k ”, aumentou com o aumento da temperatura de secagem, indicando redução no tempo de secagem com o aumento da temperatura. De acordo com Almeida et al. (2021) o aumento da taxa de perda estar diretamente relacionado com a redução do tempo de secagem, isso se dá por conta da baixa resistência da água em realizar suas ligações as moléculas presentes na matéria seca do produto.

Segundo Gomes et al. (2017) o aumento da temperatura durante o processo de secagem pode provocar a migração da água do interior do produto para a superfície com maior facilidade, quando comparada a menores temperaturas de secagem, fato evidenciado pelo aumento nos valores da constante k , mais bem observado em modelos com poucos parâmetros, como o modelo de Page. Delfiya et al. (2022) relataram em sua pesquisa que a taxa de secagem teve relação direta com a temperatura.

Silva et al. (2020) ao avaliarem diferentes modelos para cinética de secagem em nozes sem casca na temperatura de 40, 50 e 60 °C, constataram que a temperatura do ar aplicada no processo, apresentou grande influência sobre a constante “ k ”, onde o parâmetro aumenta com a elevação da temperatura, evidenciando também a diminuição do tempo necessário para a realização do processo de secagem. Resultado semelhante foi observado no presente estudo em relação direta deste parâmetro com o aumento da temperatura, indicando correlação entre o aumento da temperatura e variações na viscosidade da água presente no produto.

O parâmetro “ n ” no modelo de Page apresentou comportamento distintos, aumentando seus respectivos valores com o incremento da temperatura de secagem. Segundo Santos et al. (2017) este comportamento pode sugerir que as condições externas do processo de secagem tiveram influência da desidratação do resíduo.

Na Figura 16, estão apresentadas as curvas de secagem do resíduo cervejeiro nas temperaturas de secagem de 50, 60, 70 e 80 °C, expressas pela razão do teor de água em função do tempo em minutos, com ajustes do modelo de Page.

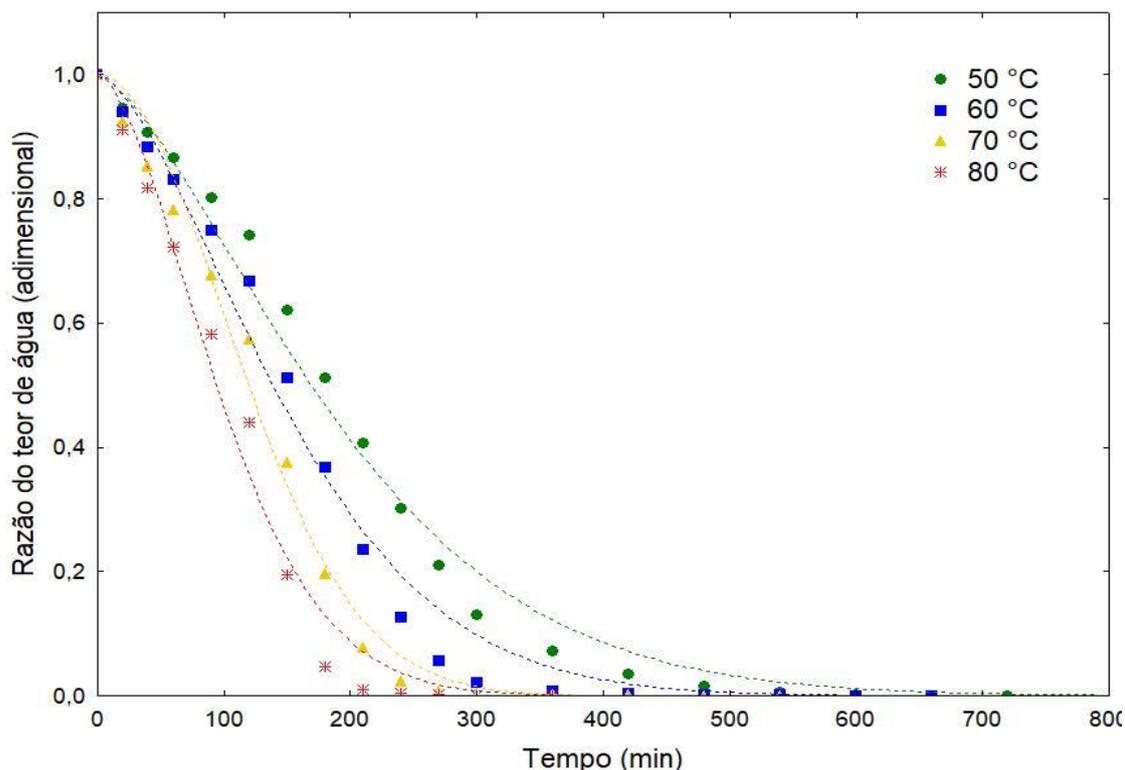


Figura 16. Curvas das cinéticas de secagem dos resíduos nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, ajustadas pelo modelo de Page. (Fonte: elaborada pela autora, 2023).

Observa-se um aumento progressivo das taxas de secagem a cada elevação de 10 °C na temperatura do processo. Os tempos de secagem foram de 720, 660, 600 e 540 minutos para as temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, respectivamente. O comportamento decrescente da curva exponencial apresentado por todas as curvas cinéticas evidenciou que a umidade e o raio diminuíram com taxas mais altas devido às maiores temperaturas de secagem (BASTIANI et al., 2021).

Moura et al. (2021) estudando diferentes modelos cinéticos no resíduo do Tapiá, relataram que no período inicial de secagem (primeiros 100 min), os maiores coeficientes angulares das curvas ocorreram nas temperaturas de secagem mais altas, levando a uma maior taxa de secagem no início do processo devido à grande disponibilidade de água livre. Esse comportamento foi semelhante ao observado neste estudo.

Cardoso et al. (2017) afirmaram que a perda do conteúdo de água é mais rápida no início do processo de secagem, devido a quantidade de água disponível no ambiente, e que o aumento da temperatura possibilita a maior redução da água durante o processo de secagem e menor é o tempo até o alcance da umidade de equilíbrio devido ao gradiente de pressão.

Santos et al. (2019) relataram que as curvas de secagem da polpa de patauá, descreveram a evolução do teor de umidade em relação ao tempo de secagem, onde observou-se o aumento da temperatura e a diminuição da espessura da camada, em que o tempo necessário para que as amostras atingissem o teor de umidade de equilíbrio foram nos tempos de secagem de 540, 360 e 270 min na espessura de 0,3 cm e 1.200, 720 e 540 min com 0,6 cm, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, respectivamente.

5.7 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E COMPOSTOS BIOATIVOS DO RESÍDUO CERVEJEIRO SECO EM DIFERENTES TEMPERATURAS DE SECAGEM

Na Tabela 22, estão expressas as médias e desvios padrão dos parâmetros físico-químicos do resíduo cervejeiro seco em diferentes temperaturas de secagem.

De maneira geral, os valores de umidade diferiram estatisticamente entre si ($p < 0,05$), onde apenas as médias nas temperaturas de 50 e 60 °C não apresentaram diferença significativa. Os valores médios de umidade foram de 4,89 %, 4,78 %, 3,79 % e 3,37%, para as temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, respectivamente.

Tabela 22- Resultados médios da caracterização físico-química do resíduo *pale ale* seco em diferentes temperaturas de secagem

Parâmetros	Temperaturas			
	50°C	60°C	70°C	80°C
Umidade (%)	4,89 ^a ±0,11	4,78 ^a ±0,17	3,79 ^b ±0,11	3,37 ^c ±0,04
Acidez total (%)	0,20 ^b ±0,00	0,20 ^b ±0,00	0,21 ^{ab} ±0,05	0,26 ^a ±0,09
pH	5,87 ^b ±0,02*	5,88 ^{ab} ±0,01	5,91 ^a ±0,01	5,91 ^a ±0,00
SST (°Brix) **	14,3 ^a ±0,00	13,47 ^b ±0,00	8,35 ^c ±0,00	6,70 ^d ±0,00
Proteína (%)	14,24 ^d ±0,09	15,13 ^c ±0,14	23,38 ^a ±0,22	19,12 ^b ±0,17

*Média ± desvio padrão. ** Sólidos solúveis Totais.

Médias com letras iguais, na mesma linha, não diferem significativamente entre ao nível de 5% de confiança ($P \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

Esses valores são tidos como positivos, em razão de que podem contribuir para a inibição do crescimento de microrganismos e reações físico-químicas e enzimáticas, colaborando, dessa forma, para a preservação do produto (SHARIF et al., 2017). É observado, que com o aumento da temperatura de secagem, houve uma redução no valor de umidade final. Comportamento semelhante foram relatados na secagem de diversos

produtos agrícolas, como no resíduo do fruto do tapiá (MOURA et al., 2021), e no fruto da bacaba seco (*Oenocarpus bacaba* Mart.) (CÓL et al., 2021).

Os teores de água foram próximos aos obtidos por Nascimento et al. (2018) para amêndoas de girassol desidratadas (2,91 %, 5,78 %, 7,58 %, 9,07 % e 10,4%) após o processo de secagem nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C. Santos et al. (2019) afirmaram que o teor de água é inversamente proporcional à temperatura aplicada, ou seja, quanto maior for à temperatura de secagem menor é o teor de água do produto.

Os valores médios de acidez total se mostraram estatisticamente diferentes ($p < 0,05$), com exceção das temperaturas de 50 e 60 °C que não diferiram estatisticamente entre si. É possível observar um aumento na acidez total com o aumento da temperatura de secagem, com 0,20% nas temperaturas de 50 e 60 °C, 0,21% na temperatura de 70 °C e 0,26% na temperatura de 80 °C.

Os valores médios de pH diferiram estatisticamente entre si, com exceção das temperaturas de 70 e 80 °C, que não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). Assim como na acidez, também houve um aumento dos valores de pH com o aumento da temperatura de secagem, com os valores de 5,87, 5,88, 5,91 e 5,91 para as temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, respectivamente.

Aboagye-Nuamah et al. (2018), relataram que após a secagem os tomates apresentaram os valores de pH de 5,6 e acidez total titulável de 1,4 % de ácido cítrico, sendo o pH semelhante aos observados neste trabalho e a acidez superior. Oliveira Silva et al. (2022) encontraram valor de pH igual a 6,08 para a farinha do resíduo de malte, valor próximo aos observados neste estudo. Também foram relatados valores de pH semelhantes em outros produtos agrícolas secos, como nos tomates, que apresentou valor de pH de 5,6 (ABOAGYE-NUAMAH et al., 2018).

Os valores observados para sólidos solúveis totais (SST) apresentaram diferença significativa nas diferentes temperaturas ($p < 0,05$). Houve uma redução nos valores de sólidos solúveis com o aumento da temperatura de secagem, saindo de 14,3 °Brix na temperatura de 50 °C, para 6,70 °Brix na temperatura de 80 °C. Santos et al. (2017) relataram que o mostro cervejeiro possui teor de sólidos solúveis de 12,5 °Brix, sendo esse valor semelhante ao observado neste estudo.

Observa-se que os valores médios obtidos para as proteínas diferiram significativamente entre si ($p < 0,05$). O maior teor de proteína foi encontrado na temperatura de 70 °C, com 23,38 %, seguido das temperaturas de 80, 60 e 50 °C, que apresentaram teores de proteínas de 19,12 %, 15,13 % e 14,24 %, respectivamente.

Oliveira Silva et al. (2022) relataram valor de proteína semelhantes de 18,87 % na farinha produzida a partir do resíduo do malte. Outros autores também encontraram valores semelhantes de proteínas em resíduo de malte, como Júnior et al. (2020) que relataram valor de proteína igual a 14,24%, e Herrmann e Souza et al. (2021) que observaram valor de proteínas igual a 19,72%.

Na Tabela 23, estão expressas as médias e desvios padrão dos compostos bioativos do resíduo cervejeiro seco em diferentes temperaturas de secagem.

Os valores médios obtidos para os compostos fenólicos totais (CFT) diferiram estatisticamente entre si ($p < 0,05$). A temperatura de 60 °C apresentou o maior teor de CFT, com 298,65 mg/100 g, seguido da temperatura de 80 °C com 262,42 mg/100 g e 50 °C com 243,38 mg/100 g, e apresentando o menor teor na temperatura de 70 °C com 202,04 mg/100 g.

Tabela 23- Resultados médios dos compostos bioativos do resíduo *pale ale* seco em diferentes temperaturas de secagem

Parâmetros	Temperaturas			
	50°C	60°C	70°C	80°C
CFT** (mg/100g)	243,38 ^c ±0,00*	298,65 ^a ±0,00	202,04 ^d ±0,00	262,42 ^b ±0,00
Taninos totais (mg/100g)	396,88 ^c ±0,00	488,97 ^a ±0,00	332,67 ^d ±0,00	432,79 ^b ±0,00
Carotenoides (µg/100g)	353,51 ^a ±0,00	260,75 ^b ±0,00	229,58 ^c ±0,00	220,03 ^d ±0,02
Flavonoides (mg/100g)	4,32 ^c ±0,00	5,55 ^a ±0,00	4,51 ^b ±0,00	3,66 ^d ±0,00
Antocianinas (mg/100g)	0,30 ^c ±0,00	0,44 ^a ±0,00	0,33 ^b ±0,00	0,25 ^d ±0,00

*Média ± desvio padrão. ** Compostos Fenólicos Totais.

Médias com letras iguais, na mesma linha, não diferem significativamente entre ao nível de 5% de confiança ($P \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

Diferentes estudos sobre o efeito das temperaturas de secagem em produtos agrícolas mostram comportamentos distintos dos compostos fenólicos durante a secagem. Em folhas processadas e secas de *Coffea arabica* L., é relatado um aumento na

concentração de compostos fenólicos com o aumento da temperatura de secagem (Ngamsuk et al., 2019).

Santos et al. (2020) ao estudarem a produção da farinha de arroz vermelho obtidas pela secagem convectiva em diferentes temperaturas, observaram que houve redução no teor dos compostos fenólicos com o aumento da temperatura, mas que as temperaturas mais amenas (40, 50 e 60 °C) não apresentaram diferença significativa no teor desse composto.

Diversos fatores podem resultar na variação de compostos bioativos nos alimentos, como os processos térmicos que podem causar reações químicas e físicas que afetam sua composição fenólica, incluindo a liberação de compostos fenólicos ligados à matriz, polimerização ou oxidação desses fitoquímicos (LANG et al., 2019).

Os resultados encontrados para os taninos totais no resíduo diferiram significativamente ($p < 0,05$), com a maior concentração deste parâmetro na temperatura de 60°C, apresentando 488,97 mg/100 g, seguido das temperaturas de 80, 50 e 70 °C, que apresentaram teores de 432,79, 396,88 e 332,67 mg/100 g, respectivamente.

Zhao et al. (2021) avaliando o efeito de várias condições e métodos de secagem em caqui fatiado, observaram que à medida que a temperatura de secagem aumentava ocorria a diminuição no teor de taninos solúveis. Os taninos solúveis em água têm sido relacionados com sabor adstringente em alimentos (Chung et al., 2017), assim, a temperatura de secagem utilizada pode ser uma alternativa para reduzir a adstringência em produtos agrícolas que possuem alto teor de taninos.

Os teores dos carotenoides do resíduo seco diminuíram com o aumento da temperatura de secagem. Os resíduos secos apresentaram os valores de 353,51, 260,75, 229,58 e 220,03 µg/100 g, para as temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, respectivamente, havendo diferença significativa entre as temperaturas ($p < 0,05$).

Márquez-Cardozo et al. (2021) também observaram uma redução no teor de carotenoides em fatias de abóbora secas submetidas a diferentes temperaturas de secagem. Song et al. (2020), avaliaram a secagem com ar quente de pólen de lótus nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, e relataram que os teores de carotenoides tiveram um declínio significativo nas maiores temperaturas. Isso significa que a temperatura de secagem teve maior influência na redução dos carotenoides do que o tempo total de secagem.

Houve diferença significativa nos teores médios de flavonoides e antocianinas ($p < 0,05$). Para os flavonoides, o maior teor médio foi observado na temperatura de 60 °C,

com 5,55 mg/100 g, enquanto a maior temperatura de 80 °C apresentou o menor teor médio, com 3,66 mg/100 g de flavonoides. Da mesma forma foi visualizado para as antocianinas, onde o maior teor médio deste composto foi observado na temperatura de 60 °C (0,44 mg/100 g) e o menor teor médio na temperatura de 80 °C (0,25 mg/100 g). É visto ainda que as temperaturas intermediárias, 60 e 70 °C, apresentaram as maiores concentrações desses compostos.

Petković et al. (2019) também relataram que as altas temperaturas do processo de desidratação reduziram a concentração de flavonoides e antocianinas totais nos extratos de Chokeberry (*Aronia melanocarpa* L.). A degradação térmica de flavonoides e antocianinas tem sido relacionada não só a temperatura de secagem, mas também ao tempo de exposição desses compostos durante o processo, por isso o método de secagem deve ser otimizado para minimizar a perda desses compostos fitoquímicos (ZHU et al., 2018).

6 CONCLUSÃO

Os extratos das própolis verde e vermelha, foram considerados suaves, favorecendo a ausência da atividade microbiana contra os microrganismos deteriorantes, tendo altos teores de compostos bioativos. Enquanto o bagaço de malte e as leveduras residuais apresentaram teores significativos de proteína bruta e açúcares redutores totais, demonstrando ainda ter boas fontes naturais de compostos bioativos, podendo ser aplicado para diversos fins tecnológicos.

As maiores concentrações de própolis potencializaram a fermentação alcoólica, visto que, foram obtidos maior consumo de substrato residual e maior crescimento celular, uma vez que produziram maiores concentrações de álcool em menos tempo, quando comparado com o tratamento padrão.

As cervejas artesanais do tipo *pale ale* adicionadas de extratos da própolis vermelha e verde apresentaram parâmetros microbiológicos satisfatórios e os tratamentos com 4% de extrato de própolis apresentaram compostos fenólicos e taninos totais em quantidades maiores que a cerveja padrão. A própolis afetou positivamente na absorção dos compostos bioativos, proporcionando assim cervejas com coloração intensa, atrativa, saborosa e com refrescância acentuada.

Pode-se concluir que a adição do extrato da própolis para as indústrias cervejeiras, atua de forma benéfica, proporcionando cervejas ricas nutricionalmente e com altos teores de compostos bioativos. Ademais, ter-se-á a oportunidade de proporcionar trabalhos futuros, com o uso da própolis, utilizando em outros tipos de processos, bem como outras bebidas alcoólicas e não alcoólicas.

As maiores temperaturas entre 35 e 40°C e as maiores concentrações de leveduras de 15% a 20% tiveram maior influência na fermentação em estado sólido, resultando em teores com efeito significativo positivo para as variáveis respostas de proteína bruta e compostos bioativos analisados.

O modelo matemático de primeira ordem representou as variáveis respostas, apresentando maior coeficiente de determinação da regressão R^2 de 97% para a resposta de proteína bruta. Foi constatado que para todas as respostas os modelos gerados foram estatisticamente significativos e preditivos.

Foi observado através das curvas de contorno que é necessário um crescimento da carga microbiana, para que se tenha um aumento significativo dos bioativos analisados. Sendo considerado as melhores condições de temperaturas entre 35 e 40°C com uma

concentração de 15% a 20% de leveduras, para obter-se regiões máximas com maiores teores para as respostas analisadas.

Ademais ainda pode-se utilizar uma menor concentração de levedura maximizando a viabilidade do aproveitamento do resíduo enriquecido para diversos tipos de formulações alimentícias de forma positiva, proporcionando melhores condições experimentais por tornarem o processo mais viável, bem como uma redução de custos na produção.

Com relação aos experimentos da cinética fermentativa dos subprodutos da fermentação em estado sólido, os tratamentos obtiveram resultados semelhantes para os parâmetros físico-químicos, houve influência de forma positiva dos açúcares redutores na formação e no crescimento celular, bem como nos teores de proteína bruta.

O processo de secagem do resíduo cervejeiro *pale ale* foi melhor representado pelos modelos de Page, Aproximação da difusão e Wang e Singh. Sendo modelo de Page o que apresentou os maiores coeficientes de determinação e os menores desvios quadráticos médios e qui-quadrado, sendo o que melhor representou o processo de secagem. A secagem alterou as características físico-químicas e os compostos bioativos do resíduo de forma positiva, concentrando os bioativos, com o aumento da temperatura.

Sendo assim, o processo de secagem se torna uma das alternativas viáveis de reaproveitamento do bagaço do malte, proporcionando maior conservação, valor agregado com aplicabilidade para diversos produtos agrícolas com importantes fontes nutricionais, funcionais e bioativas, podendo ainda ser utilizado em vários tipos de produtos alimentícios como barra de cereal, massa de macarrão, além de produtos de panificação como pães, biscoitos, bolos, cupcakes, cookies, brownie, dentre outros, fornecendo benefícios para saúde do consumidor.

REFERÊNCIAS

ABOAGYE-NUAMAH, F.; HUSSEIN, Y. A.; ACKUN, A. Biochemical properties of six varieties of tomato from Brong Ahafo Region of Ghana as influenced by the ripening condition and drying. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**, v. 18, n. 1, 2018. <https://doi.org/10.18697/ajfand.81.16975>

ABREU, R. M. S. X. de et al. Antibacterial activity of the hydroalcoholic extract of the red propolis of the Paraíba semiarid on pseudomonas aeruginosa. **International Journal of Development Research**, v. 8, n. 7, p. 21646-21650, July 2018.

ALCARDE, A. R.; MONTEIRO, B. M. D. S.; BELLUCO, A. E. D. S. Composição química de aguardentes de cana-de-açúcar fermentadas por diferentes cepas de levedura *Saccharomyces cerevisiae*. **Química Nova**, v. 35, p. 1612-1618, 2012.

ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; DE ALCÂNTARA RIBEIRO, V. H.; ALCÂNTARA SILVA, V. M.; MUNIZ, C. E. S.; ALMEIDA SILVA, R.; MOTA, M. M. A. Modelagem matemática aplicada a cinética de secagem da pasta de amido de feijão preto. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e37710111921-e37710111921, 2021.

ALVES, S. J. F.; SILVA, M.O.; ALMEIDA, F. L. C.; DANTAS, C.O.; VIANA, A. D.; FREIRE, R. L. **Estudo da cinética de secagem do resíduo bagaço de malte e do resíduo de abacaxi**. IV Encontro Nacional da Agroindústria, Bananeiras- PB, 2018.

ALVES, W. S.; GOMES, M. L. S.; MARTINS, G. A. S.; ROLIM, C. S. S.; ROLIM, L. N.; SARAIVA-BONATTO, E. C.; PEREIRA, B. F. F.; LAMARÃO, C. V. Caracterização físico-química e avaliação e sensorial de cerveja pilsen produzida a partir de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz., 1766) submetida a diferentes adubações de solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 7580-7599, 2020.

ANDRADE, Érika Gonçalves. Ajustes de modelos matemáticos na secagem de sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.). 2021. 30f. **Monografia (Graduação em Agronomia)** - Instituto Federal de Educação, Rio Verde, GO, 2021.

ANDRADE, J. K. S.; DENADAI, M.; OLIVEIRA, C. S.; NUNES, M. L.; NARAIN, N. Evaluation of bioactive compounds potential and antioxidant activity of brown, green and

red propolis from Brazilian northeast region. **Food Research International**, v. 101, p. 129-138, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.066>

APICULTURA.< www.breyer.ind.br/apicultura_propolis.htm>. Acesso em 13 de fevereiro de 2023.

ARAÚJO, K. B. Enriquecimento Proteico da farinha de sementes de mangaba (*Hancornia Speciosa* Gomes) através de fermentação em estado sólido.2011. 87f. **Dissertação (Ciências e Tecnologia de Alimentos)**, Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão-SE, 2011.

ARAÚJO, L. F.; DE AGUIAR, E. M.; COELHO, R. R. P.; DE CASTRO LUCIANO, R.; BERNARDINO FILHO, R.; DE OLIVEIRA NAVARRO, L. A. Enriquecimento nutricional da casca da mandioca (*Manihot esculenta*, crantz) por processo biotecnológico destinado à alimentação animal. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 13, p. 18-30, 2017.

ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; HARTMANN, C. P.; MARTINS, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 448-457, 2017. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170052>

AROUCHA, E. M. M.; OLIVEIRA, A. J. F de; NUNES, G. H. S.; MARACAJÁ, P. B.; SANTOS, M. C. A. Qualidade do mel de abelha produzido pelos incubados da IAGRAM e comercializado no município de Mossoró/RN. **Revista Caatinga**, v. 21, n.1, p. 211-217, 2008.

ARRUDA, C. Estudos de estabilidade do artepelin C, do ácido p-cumárico e avaliação das atividades antimicrobiana, antiparasitária e citotóxica dos produtos de degradação majoritários. 2019. 143f. **Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas)** - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Ribeirão Preto/ USP, 2019.

ASIOLI, D., ASCHEMANN-WITZEL, J., CAPUTO, V., VECCHIO, R., ANNUNZIATA, A., NESA, T., & VARELA, P. (2017). Entendendo as tendências do “rótulo limpo”: uma revisão do comportamento do consumidor na escolha de alimentos e discussão das implicações da indústria. **Food Research International**, 99, 58–71. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.022>

ASSIS, A. P. P. Qualidade da carne bovina submetida a marinação com própolis verde, vermelha e marrom. 2020. 83f. **Tese (Doutorado em Ciência Animal: Produção e Sanidade Animal)** – Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró-RN, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14141: escalas utilizadas em análise sensorial de alimentos e bebidas**. Rio de Janeiro, 1998, 3p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Arlington: A.O.A.C., 1996.

AZEVEDO, L.F.S.; SOUZA, P.G. Avaliação da perda de extrato de cerveja na etapa de brassagem em uma microcervejaria de Manaus. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.4, p.34537-34556 apr, 2021.

BARBOSA, C. D.; COSTA, I. M.; SIMIQUELI, G. F. Produção e caracterização de fermentado alcoólico de manga a partir de linhagem de levedura isolada de fermento comercial. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. e432111436339-e432111436339, 2022.

BARBOSA, T. M. Desenvolvimento de cerveja artesanal com polpa de maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa deg*) e avaliação da imobilização de células de *Saccharomyces cerevisiae* no processo de fermentação alcoólica. 2016. 56f. **Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia)** - Universidade de Brasília, Faculdade de Ceilândia, Brasília/DF, 2016.

BARREIRA, I. B. F. Cervejaria industrial versus artesanal: um estudo de caso sobre o gerenciamento da água e resíduos de acordo com a P+L. 2022. 72f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)** - Universidade Federal Fluminense, Niterói- RJ, 2022.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. v.1, 4.ed. Coleção LivrosTextos, Campinas: UNICAMP, 2007. 480 p. **Dissertação (Mestrado em Química)** – Universidade Regional de Blumenau, Santa Catarina, 2001.

BARROS, M. F. Estudo Cinético Da Fermentação De Bebida Alcoólica De Tomate (*Lycopersicon Esculentum Mill*). 2020. 56f. **Trabalho de Conclusão de Curso**

(Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió-2020.

BASTIANI, F. H.; SUFREDINI, S.; ROMIO, A. P.; NICOLIN, D. J. Modeling the drying kinetics of alginate particles considering shrinkage. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, n. 8, p. e13760, 2021. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13760>.

BATISTA, E.A.; SANTOS, N.C.; ALMEIDA, R.L.J; LUÍZ, M.R.; ALMEIDA, M.M. **Estudo do processo de secagem do resíduo de malte gerado na produção de cerveja**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Maceió-AL, 2018.

BELUSSO, A. C. S. Avaliação do enriquecimento proteico do resíduo úmido cervejeiro em frasco de Fernbach por fermentação em estado sólido. 2018. 37f. **Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos)** – Universidade Tecnologia Federal do Paraná, Toledo, 2018.

BERGER, C.; CONTO, L. C.; PINTO, L. D. A.; NEVES, L. F. (2016). **Avaliação Físico-química e Sensorial do Melomel produzido com Mel de Bracatinga e Polpa de Mirtilo**. Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Fortaleza.

BETTENHAUSEN, H. M.; BARR, L.; BROECKLING, C. D.; CHAPARRO, J. M.; HOLBROOK, C.; SEDIN, D.; HEUBERGER, A. L. Influence of malt source on beer chemistry, flavor, and flavor stability. **Food research international**, v. 113, p. 487-504, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.024>

BEZERRA, F. S. Crescimento de brotações do abacaxizeiro 'vitória' pelo método do seccionamento do caule em diferentes ambientes de cultivo. **Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia)** - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2018.

BEZERRA, K.K.S.; ARAÚJO, A.S.; MARACAJÁ, P.B; RODRIGUES, A.A. Atividade antifúngica do extrato de própolis vermelha para leveduras vaginais. 2021. **Própolis: Usos Biotecnológicos**. **Gepra Editora**, Consultoria e eventos científicos, 2021.

BIANCHESI, A. L. F.; HOFFMANN, E. C.; REGO, V. M.; SANTANA, M. T. A.; SOUZA H, V.; NETO, J. V. Elaboração de cerveja artesanal com adição de blueberry (*Vaccinium myrtillus*). **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 1, p. 108-122, 2023.

BIELI, B. C. et al. Produção de snackextrusado com adição de farinha de bagaço de malte. **Revista Tecnológica**, p.321-326, 2015.

BJCP – Beer Judge Certification Program. **Beer Style Guidelines.**, 2021. p. 33-34.

BOATENG, I. D.; SOETANTO, D. A.; YANG, X. M.; ZHOU, C.; SAALIA, F. K.; LI, F. Effect of pulsed-vacuum, hot-air, infrared, and freeze-drying on drying kinetics, energy efficiency, and physicochemical properties of Ginkgo biloba L. seed. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, n. 4, p. e13655, 2021. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13655>

BOFF, L. G. F. Estudo do Potencial da Utilização de Espectroscopia para Classificação de Cervejas. 2018. 43f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química)** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2018.

BORDIM, J. Potencial de aplicação de antioxidantes naturais na indústria de alimentos: avaliação química e de percepção do consumidor. 2020. 117f. **Dissertação (Mestrado em Processos Químicos e Bioquímicos)** - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco- PR, 2020.

BORZANI, W.; BARALLE, S. B. Correction of results obtained in laboratory-scale studies of batch fermentation kinetics. **Biotechnology and Bioengineering**, v.25, p.3201-3206, 1983.

BOX, G.E. P.; HUNTER, J.S.; HUNTER, W.G. Statistics for Experimenters. 2nd ed., **New York: Wiley**, 2005, 633p.

BRASIL, Ministério da agricultura, pecuária e do abastecimento. **Instrução normativa nº 3, de 19 de janeiro de 2001**. Aprova os regulamentos técnicos de identidade e qualidade de apitoxina, cera de abelha, geléia real, geléia real liofilizada, pólen apícola, própolis e extrato de própolis, conforme consta dos anexos desta instrução normativa. Brasil, 2001.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 724, de 01 de julho de 2022**. Regulamento técnico sobre os padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1 jul. 2022.

BRASIL. Decreto n. 6871, de 04 de junho de 2009. **Regulamenta a Lei n. 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a**

inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 04 jun. 2009.

BRASIL. Decreto n. 9902, de 8 de julho de 2019. **Altera o Anexo ao Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, que regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas.** Subchefia para Assuntos Jurídicos da casa civil da Presidência da República, Brasília, DF, 8 jul. 2019. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9902.htm > Acesso em: 28/11/2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Decreto nº 6.871, de 04 de junho de 2009.** Regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 5 jun. 2009. Seção1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Decreto nº 574, de 8 de dezembro de 1998.** Regulamenta a Lei nº 574, de 8 de dezembro de 1998, dispõe sobre Aprovar os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Apitoxina, Cera de Abelha, Geléia Real, Geléia Real Liofilizada, Pólen Apícola, Própolis e Extrato de Própolis. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 8 dez. 1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 24, de setembro de 2005.** Aprova o Manual Operacional de Bebidas e Vinagres. Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Portaria Nº 64, de 23 de abril de 2008.** Regulamentos técnicos para a fixação dos padrões de identidade e qualidade para as bebidas alcoólicas fermentadas: fermentado de fruta, sidra, hidromel, fermentado de cana, fermentado de fruta licoroso, fermentado de fruta composto e saquê. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 22 de maio de 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. Gabinete do Ministro. **Instrução Normativa Nº 11, de 20 de outubro de 2000.** Regulamento Técnico de

Identidade e Qualidade do mel. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=7797>>. Acesso em: 01 de junho de 2021.

BRASIL. Ministério da saúde. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária –ANVISA**. Rotulagem nutricional obrigatória: manual de orientação às indústrias de alimentos. 2º Versão. Universidade de Brasília, DF, 2005.

BRAZ, J. M.; KAMEYAMA, O.; LIMA D, M. B. Avaliação da cor de cerveja tipo ale fonte e com alto conteúdo de fibra polidextrose. **14º jornada científica e tecnológica e 11º simpósio de pós-graduação do ifsuldeminas**. Instituto Federal Sul de Minas Gerais, v. 11, 2022.

BUENO-SILVA, B.; KAWAMOTO, D.; ANDO-SUGUIMOTO, E. S.; CASARIN, R. C., ALENCAR, S. M.; ROSALEN, P. L.; MAYER, M. P. Brazilian red propolis effects on peritoneal macrophage activity: Nitric oxide, cell viability, pro-inflammatory cytokines and gene expression. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 207, p. 100–107, 2017.

CALADO, V. e MONTGOMERY, D. C. 2003. **Planejamento de experimentos usando o Statistica**. Rio de Janeiro: Epapers Serviços editoriais, 260 p.

CAPELEZZO, L.; AGNOL, J. D.; TOMBINI, C.; GODOY, J. S.; ONOFRE, S. B.; JUNIOR, F. R. D. S. M.; DALCANTON, F. Elaboração e avaliação físico-química de uma barra de cereal utilizando resíduo cervejeiro. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 3, p. 5107-5121, 2020.

CARDOSO, I. R. M; ZUNIGA, A. D. G.; FRONZA, P.; MACIEL, A. G.; FERREIRA, J. S. Análise da cinética e modelagem matemática da secagem da polpa de buriti (Mauritia flexuosa l). **ENGEVISTA**, V. 19, n.5, p. 1188-1197, 2017.

CARVALHO, F. M. de A. de. Caracterização e avaliação do efeito citotóxico de extratos resinosos de própolis vermelha obtidos por líquidos pressurizados. 2019. 62 f. **Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente)** – Universidade Tiradentes, Aracaju, 2019.

CARVALHO, L. C.; MAFALDO, I. M.; ROCKENBACH, I. I.; OLIVEIRA, K. K. G.; LIMA, L. G. A. C.; MISHINA, R. A. G. Chemical and sensory profile of craft beer

produced using algaroba (*Prosopis juliflora*) as malt adjunct. **Research, Society and Development**, [S.I], v. 9, n. 8, p. 17, 2020.

CAVALARO, R. I. Extração, microencapsulação e aplicação de antioxidante de alecrim-do-campo e própolis verde em matrizes alimentares. 2021. 124f. **Tese (Doutorado em ciências e tecnologia de alimentos)** – Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2021.

CAVALCANTE, A. M. M.; ALMEIDA, R. D.; MELO, A. M.; MORAIS, B. A.; SILVA, I. R., RIBEIRO, N. L.; ALEXANDRE, H. V.; SILVA, O. S. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos da algaroba. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 11192-11209, 2020.

CECCATO, B. T. Modelagem da cinética de secagem e caracterização físico-química do bagaço de malte da produção de cerveja artesanal. 2019. 66f. **Trabalho de conclusão de curso** - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. Ed. Campinas: Unicamp, 2003. 206p.

CECCHI, H.M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Campinas: Unicamp, 2001. 212p.

CHIMINI, A. C.; ABILIO, D. P; PESSOTTO, O. A;SIQUEIRA, A. ; MARTINS, O. G; ANDRADE, M. C. N. Resíduos da indústria cervejeira na produção de novos substratos para o cultivo do cogumelo *ganoderma lucidum*. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 35, n. 2, p. 265-275, abril-junho, 2020.

CHUNG, H. S.; KIM, D. H.; KIM, H. S.; LEE, Y. G.; SEONG, J. H.; YOUN, K. S.; MOON, K. D. Quality comparison of dried slices processed from whole persimmons treated with different destringency methods. **Food science and biotechnology**, v. 26, n. 2, p. 401-407, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0055-9>

CÓL, C. D.; TISCHER, B.; FLÔRES, S. H.; RECH, R. Foam-mat drying of bacaba (*Oenocarpus bacaba*): Process characterization, physicochemical properties, and antioxidant activity. **Food and Bioproducts Processing**, v. 126, p. 23-31, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.12.004>

CORDEIRO, G. L.; EL-AOUAR, A. A.; GUSMÃO, R. P. Caracterização do bagaço de malte proveniente de cervejarias. 2012. **Revista verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Vol.07, nº3. 2012.

COSTA, P. S. P. Estudo da fermentação de cervejas ale e lager. 2019. 42f. **Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Biotecnologia)** - Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas/MG, 2019.

COSTANTIN, F. A. B. Produção e Caracterização de Cerveja Artesanal Estilo American Pale Ale adicionada de Zimbros (*Juniperus communis*). 2022. 61f. **Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos)**, Universidade Estadual de Ponta Grossa-2022.

COUTO, L. R. D. Viabilidade tecnológica da produção de mdp homogêneo a partir do resíduo úmido de cervejaria. 2019. 45f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal)** - Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2019.

CUNHA, M. H.; ARAÚJO, A. S. Análise bibliométrica da pesquisa científica sobre a própolis preta produzida no Brasil. 1.ed. Boa Vista: **Gepira Editora, Consultoria e Eventos Científicos**. P.6-168. 2021.

DAMIANI, C.; SILVA, F. A.; AMORIM, C. C. M.; SILVA, S. T. P.; BASTOS, I. M.; ASQUIERI, E. R.; VERA, R. **Néctar misto de cajá-manga com hortelã: caracterização química, microbiológica e sensorial**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.13, n.3, p.299-307, 2011.

DANGUI, A. Z.; SILVA, A. M.; RANCHEL, B. V.; KWIATKOWSKI, N.; MULLER, S. B.; LIMA, K. P. Elaboração de Fermentado Alcoólico de Melancia (*Citrullus lanatus*) com Própolis e Verificação dos Compostos Fenólicos e Antioxidantes. **Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias**, v. 4, n. 2, 2019.

DANTAS SILVA. et al. Antioxidant, antimicrobial, antiparasitic, and cytotoxic properties of various Brazilian propolis extracts. **PLoS ONE**, p. 1–18, 2017.

DANTAS, T. M. O.; et al. **Produção de hidromel a partir de fermentação alcoólica de mel industrial como substrato**. Depositante: Universidade Federal da Paraíba. BR nº 102018000333-0. Depósito: 06 de janeiro de 2018. Concessão: 16 de julho de 2019.

DEEGAN, R. K. Perfil de susceptibilidade de *Malassezia pachydermatis* frente a antifúngicos alopáticos e extratos de própolis vermelha, verde e marrom. 2018. 111f. **Dissertação (Mestrado em Biotecnologia)** - Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, 2018.

DELFIYA, D. A.; PRASHOB, K.; MURALI, S.; ALFIYA, P. V.; SAMUEL, M. P.; PANDISELVAM, R. Drying kinetics of food materials in infrared radiation drying: A review. **Journal of Food Process Engineering**, v. 45, n. 6, p. e13810, 2022. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13810>

DENBY, C. M.; LI, R. A.; VU, V. T.; COSTELLO, Z.; LIN, W.; CHAN, L. J. G.; KEASLING, J. D. Industrial brewing yeast engineered for the production of primary flavor determinants in hopped beer. **Nature communications**, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03293-x>

DIAS, F. K. D.; OLIVEIRA, F. F. M.; DE OLIVEIRA MATIAS, L. G.; FERNANDES, T. M. Enriquecimento nutricional de resíduos de algas do gênero *Gracilaria* sp. utilizando *Saccharomyces cerevisiae* através de cultivo semissólido. **HOLOS**, v. 7, p. 1-18, 2019.

DINIZ, A. A. R. Revestimento comestível a base de extrato de própolis em goiabas paluma. 2018. 55 f. **Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Alimentos)** - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. 2018.

DORETTO, D. A.; FIGUEIRA, R.; SARTORI, M. M. P.; FILHO, W. G. V. Análise físico-química e sensorial de cervejas comerciais brasileiras. **Energ. Agric.**, Botucatu, vol. 33, n.3, p.277-283, julho-setembro, 2018.

DUARTE, I. F. B. Estudo dos constituintes voláteis e atividades antioxidante e microbiológica dos extratos de própolis vermelha de Alagoas. 2020. 96f. **Dissertação (Mestrado em Farmácia)** - Universidade Federal de Alagoas, Maceió- AL, 2020.

DUTRA, M. J. M.; LIMA, E. H.F.; SANTOS, W. G.; CASTRO, D. A. R. Produção de cerveja artesanal adicionada de gengibre (*Zingiber officinale*). **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.9, n.1, p.2340-2361, jan., 2023.

EATON, B. A Overview of Brewing. In: PRIEST, F. G.; STEWART, G. G. **Handbook of brewing**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006, 829p.

FARIAS, A. V. Estudo Cinético Da Fermentação Alcoólica De Inga Edulis. 2019. 61f. **Monografia (Graduação em engenharia química)**. Universidade Do Estado do Amazonas, Manaus – 2019.

FERREIRA, A.; VAZ, M. R. F.; PINHEIRO, R. O.; BRASIL, D. D. S. B.; NASCIMENTO, S. C. C. Reaproveitamento do caroço de açaí (*Euterpe Oleracea* Mart.) para quantificação físico-química e produção de bebida aromática. **Conjecturas**, v. 22, n. 16, p. 983-997, 2022.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc. agrotec. [online]**. 2014, vol.38, n.2 [citado 2015-10-17], pp. 109-112. Disponible en: ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>

FERREIRA, J. M.; FERNANDES-SILVA, C. C.; SALATINO, A.; NEGRI, G.; MESSAGE, D. New propolis type from northeast Brazil: chemical composition, antioxidant activity and botanical origin. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 11, p. 3552-3558, 2017.

FERREIRA, J. M.; NEGRI, G. Composição química e atividade biológica das própolis brasileiras: verde e vermelha. **ACTA Apicola Brasilica**, v. 6, n. 1, p. 06-15, 2018.

FERREIRA, P. S.; MATTOS, E.; ALMERINDO, G. I.; ALVES, F. G.; DAL-BÓ, A. Obtenção e caracterização da farinha de bagaço de malte. **In Congresso on-line Brasileiro de Tecnologias de Cereais e Panificação** (Vol. 1). Universidade Federal de São João del-Rei. 2020.

FILHO, C. A. J. Potencial tecnológico dos resíduos de uma indústria cervejeira para produção de adubo orgânico tipo Bokashi: uma revisão. 2022. 38f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos)** – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza- CE, 2022.

FILHO, M. A. A. Caracterização da biomassa de leveduras proveniente do processo de produção de cerveja. 2019. 41f. **Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química)** - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2019.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (Ed.). Anthocyanins as food colors. New York: **Academic Press**, 1982. p. 181-207.

FREIRE, B. R. Produção de cerveja artesanal com frutas exóticas e avaliação da imobilização de leveduras em micropartículas Magnetopoliméricas no processo de fermentação alcoólica. 2018. 92f. **Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias em Saúde)** - Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2018.

FREIRE, B. R.; LEMES, D. S.; DA SILVA, M, A. S.; GRIS, E. F.; CHAKER, J. A.; ORSI, D. C. Caracterização físico-química de cervejas artesanais de atemoia (*Annona cherimoia* Mill. x *Annona squamosa* L) e de sapoti (*Manilkara sapota* L.). **Agrarian**, v. 13, n. 48, p. 280-287, 2020.

FREIRES, I. A.; ALENCAR, S. M.; ROSALEN, P. L. A pharmacological perspective on the use of Brazilian Red Propolis and its isolated compounds against human diseases. **Eur J Med Chem.**, v. 110, p. 267-279, Mar. 2016.

GALVÃO, D. F.; RIBEIRO, K. P.; POMPÊU, G. C. S. Estudo cinético do processo produtivo de cerveja artesanal utilizando mandioca como adjunto cervejeiro. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlândia, MG.** 2019.

GIACOMELLI, E.J.; PY, C. **Abacaxi no Brasil.** Campinas: Fundação Cargill, 1981. 101 p.

GLUGER, H. D.; GURAK, P. D. Desenvolvimento de biscoitos salgados com o uso de subprodutos da indústria de cerveja. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 27, p. 1-12, 2020.

GOMES, M. F.; ÍTAVO, C. C.; LEAL, C. R.; ÍTAVO, L. C.; LUNAS, R. C. Atividade antibacteriana in vitro da própolis marrom. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 36, p. 279-282, 2016.

GOMES, N. H. F.; NETO, H. C. S.; ALVES, J. J. L.; RODOVALHO, R. S.; SOUSA, C. M. Cinética de secagem de folhas de *Cymbopogon citratus*. **Engevista**, v. 19, n. 2, p. 328-338, 2017b. <https://doi.org/10.22409/engevista.v19i2.837>

Gomes, T. M. D. C. Produção de Hidromel: efeito das condições de fermentação. 2010. **Dissertação (Mestrado em Biotecnologia)**, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança -2010.

GONÇALVES, L. M. Desenvolvimento de compósitos de polipropileno (PP) com bagaço de malte e argila organofílica. 72f. 2021. **Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais)** - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo-RJ, 2021.

GUNHAN, T.; DEMIR, V. HANCIOGLU, E.; HEPBASLI, A. **Mathematical modeling of drying of bay leaves**. Energy Conversion and Management. Oxford, v. 46, p. 1667-1679, 2005.

HEIMBACH, N. D. S.; ÍTAVO, C. C. B. F.; LEAL, C. R. B.; ÍTAVO, L. C. V.; SILVA, J. A. D.; SILVA, P. C. G.; GOMES, M. D. F. F. Resíduo da extração de própolis como inibidor bacteriano in vitro. **Rev. bras. saúde prod. Anim**, v. 17, n. 1, p. 65-72, 2016.

HERRMANN, G. & SOUZA, C. F. V. D. Use of barley malt pomace in the production of fresh sausage. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, 2021. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.21720>

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Pecuária Municipal**. IBGE, 2021. Disponível em:< <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/74#resultado>>. Acesso em: 10 de maio de 2021.

JACOBSON, J. L. Introduction to wine laboratory practices and procedures. **New York, NY: Springer Science Business Media** Editora. 2006. 390p.

JAHANBAKHSHI, A.; KAVEH, M.; SHARABIANI, V. R. Assessment of kinetics, effective moisture diffusivity, specific energy consumption, shrinkage, and color in the pistachio kernel drying process in microwave drying with ultrasonic pretreatment. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 6, p. e14449, 2020. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14449>

JORGE, T. Caracterização da Farinha da Semente de Pinhão (*Araucária angustifolia*) e Aplicação como Adjunto na Produção de Cerveja. 2018. 149f. **Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos)** - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2018.

JÚNIOR, L. F. C.; VALENTE, G. D. F. S.; SILVA, M. D. M. C. Modelling of the extraction of phenolic compounds from beer malt bagasse using artificial neural network. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 74010-74023, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-746>

KHAN, A. S. VIDAL, M. F.; LIMA, P. V. P. S.; BRAINER, M. SIMONE. C. P. **Perfil da apicultura no Nordeste brasileiro**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2014. 246p.

KHAN, T. A.; SAUD, A. S.; JAMARI, S. S.; AB RAHIM, M. H.; PARK, J. W.; KIM, H. J. Hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass for carbon rich material preparation: A review. **Biomass and Bioenergy**, v. 130, 105384, 2019.

KOEFENDER, A. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos sob a ótica da Economia Circular: barreiras e fatores importantes para a circularidade dos materiais. 113f. 2020. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2020.

KUMAR, A.; ROY, A.; PRIYADARSHINEE, R.; SENGUPTA, B.; MALAVIYA, A.; DASGUPTAMANDAL, D.; MANDAL, T. Economic and sustainable management of wastes from rice industry: combating the potential threats. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 34, p. 26279-26296, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0293-7>.

KUMAR, P. S.; NAMBI, E.; SHIVA, K. N.; VAGANAN, M. M.; RAVI, I.; JEYABASKARAN, K. J.; UMA, S. Thin layer drying kinetics of Banana var. Monthan (ABB): Influence of convective drying on nutritional quality, microstructure, thermal properties, color, and sensory characteristics. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 4, p. e13020, 2019. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13020>

LAÉRCIO, G.; CASTAGNINO, B.; DEL REY, M. C. **Hidromel com água de coco**. Depositante: Universidade Federal da Bahia. BR nº 102012028588-6 A8. Depósito: 08 de novembro de 2012. Concessão: 30 de setembro de 2014.

LANG, G. H.; DA SILVA LINDEMANN, I.; FERREIRA, C. D.; HOFFMANN, J. F.; VANIER, N. L.; DE OLIVEIRA, M. Effects of drying temperature and long-term storage conditions on black rice phenolic compounds. **Food chemistry**, v. 287, p. 197-204, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.028>

LAVINAS, F. C.; MACEDO, E. H. B.; SÁ, G. B.; AMARAL, A. C. F.; SILVA, J. R.; AZEVEDO, M.; VIEIRA, B. A.; DOMINGOS, T. F. S.; VERMELHO, A. B.; CARNEIRO, C. S.; RODRIGUES, I. A. Brazilian stingless bee propolis and geopropolis: promising sources of biologically active compounds, **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 29, p 389- 399, 2019.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: PACKER, L.; DOUCE, R. (Eds.). **Methods in Enzymology**. London, v. 148, p. 350-382, 1987.

LIMA, B.; PINTO, E. P.; BRAVO, C. E. C.; MARCHI, J. F. Caracterização físico-química de cerveja Summer Ale adicionada de polpa de pitanga (*Eugenia uniflora*). **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 25337-25343, 2021.

LIMA, R. C. F. Produção Da Enzima A-Amilase Por *Aspergillus Niger* Em Fermentação No Estado Sólido Utilizando Bagaço De Malte De Cevada. 2019. 96f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)** - Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, 2019.

LINS, M. V. Influência da temperatura de armazenamento da própolis de três regiões do Estado da Paraíba. 2018. 78 f. **Tese (Doutorado em Engenharia de Processos)**- Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba. 2018.

LOIOLA, N. S. Avaliação da atividade antimicrobiana da própolis da abelha nativa Tubi, *Scaptotrigona* aff. *postica* (LATREILLE, 1807) frente às bactérias *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus mutans* e *Escherichia coli*. 2020. 94f. **Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento)** - Universidade do Vale do Taquari, Lajeado-RS, 2020.

MACHADO, E. R.; FORTES, J. P.; FRANCO, F. W.; DE SOUZA, R. R. M.; SAUTTER, C. K. Composição fenólica e sensorial de cervejas artesanais com adição de nibs de cacau. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 54125-54135, 2020.

MACHADO, W. A. C., SARNIGHAUSEN, V. C. R., DAL PAI, A., GRITTO, R. M. T., RODRIGUES, S. A. Avaliação do efeito bacteriostático das folhas do lúpulo para tratamento de dejetos bovinos. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.5, p.140-148, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0015>.

MANÇANO, L.F.; BENINCÁ, D.B.; CARMO, L.B. FILHO, A.M.M. Acidez em vinhos: uma análise comparativa com o padrão de identidade e qualidade brasileiro. In: **IV Encontro Nacional da Agroindústria**, 2018, João Pessoa. Anais. UFPB: Bananeiras, Galoá, 2018.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário da cerveja no Brasil 2018**. 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/pastpublicacoesDIPOV/anuario-da-cerveja-no-brasil-2018/view>. Acesso em: 05 jan. 2023.

MÁRQUEZ-CARDOZO, C. J.; CABALLERO-GUTIÉRREZ, B. L.; CIRO-VELÁZQUEZ, H. J.; RESTREPO-MOLINA, D. A. Effect of pretreatment and temperature on the drying kinetics and physicochemical and techno-functional characteristics of pumpkin (*Cucurbita maxima*). **Heliyon**, v. 7, n. 4, p. e06802, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06802>

MARTINS, D. O. Propagação Vegetativa Do Abacaxi Por Meio Do Fracionamento Do Caule. 2019. 21f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)** - Faculdade Evangélica De Goianésia. Goianésia-Go, 2019.

MATOSO, L. M. L.; MATOSO, M. B. L. Extrato de Própolis no Combate ao COVID-19: um Relato de Experiência em Nível da Atenção Básica em Saúde. **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 25, n. 1, p. 85-94, 2021.

MATSUBARA, A. K.; PLATH, A. R.; BARBETTA, P. V. C; UENO, C. T.; MOREIRA, I. C.; SAKANAKA, L. S. Desenvolvimento de Cerveja Artesanal de Trigo Adicionada de Gengibre (*Zingiber officinale roscoe*). In: **TÓPICOS em Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2016. v. 2, p. 21 a 47.

MATTIETTO, R. A.; LIMA, F.C. C.; VENTURIERI, G. C.; ARAÚJO, A. A. Tecnologia para obtenção artesanal de Hidromel do tipo doce. **Embrapa**. Comunicado Técnico 170, p.1-5, 2006.

MAUREIRA, N.; VIERA, P.; FERNANDEZ, A.; URREJOLA, M.; BRAVO, C.; MARDONES, F; HAIDAR, Z. S. Susceptibilidad de cepas de Candida oral a extracto etanólico del propóleo chileno de Olmué. **International journal of odontostomatology**, v. 11, n. 3, p. 295-303, 2017.

MEDEIROS, B.; PAULA, M.; VIEIRA, M. C. Valoração Do Resíduo Cervejeiro Da Cerveja Tipo Pilsen Para Aplicação Na Indústria De Alimentos. 2018. 46f. **Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia de alimentos)** - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande- RN. 2018.

MEDEIROS, D. A. M.; PINTO, T. V.; TOMÉ, P. H. F.; FRAGIORGE, E. J.; LOPES, M. A. Composição e propriedades bioquímicas da cerveja artesanal ale de flor de hibiscos enriquecida com frutos de mirtilo. **Revista Científica Semana Acadêmica**, v.1, 10.35265/2236-6717-200-9022.

MELO, V.F.; SANTOS, C. R.B; CARVALHO, G.B.M. Produção de uma cerveja tipo *ale* utilizando maracujá do mato como adjunto do malte. **Revista Higiene Alimentar**, v.33, n.288/289, p. 3518- 3522, 2019.

MENDOZA, S.L.Y. Estudo da Produção de Inulinase por Fermentação em Estado Sólido utilizando como substrato o Resíduo Úmido Cervejeiro e o Melaço de cana-de-açúcar. 2021.116f. **Dissertação (Processos Químicos e Biotecnológicos)**- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2021.

MENEZES, M. C. R. C. Controle de qualidade em uma cervejaria artesanal: análise de contaminantes do processo de fabricação e eficácia do sistema *Clean In Place*. 2019. 57f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos)** – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns-PE, 2019.

MILESKI, J.P.F. Produção e caracterização de hidromel utilizando diferentes cepas de leveduras *Saccharomyces*.2016. 87f. Dissertação (Curso profissionalizante em Tecnologia de Alimentos) -Universidade Tecnológica do Paraná, Londrina, 2016.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars analytical chemistry, **Washington**, v. 31, p. 426-8, 1959.

MITCHELL, D.; HAVEN, J.; PIXLEY, D.; PUPO, T.; PATTINSON, R. Beer Judge Certification Program: 2021. **Style Guidelines**. Copyright © 2021, BJCP, Inc. 2021.

MONTEIRO. G. L. Avaliação físico-química e sensorial de bolo de chocolate enriquecido com resíduos do malte da indústria cervejeira. 2019. 29 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia de Alimentos) -Universidade Federal de Campina Grande, PB. 2019.

MONTIJO, N. A. Própolis na produção de cachaça orgânica de qualidade.2014. 73P. **Dissertação (mestrado em microbiologia agropecuária)** - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2014.

MORADI, M.; AZIZI, S.; NIAKOUSARI, M.; KAMGAR, S.; KHANEGHAH, A. M. Drying of green bell pepper slices using an IR-assisted Spouted Bed Dryer: An assessment of drying kinetics and energy consumption. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 60, p. 102280, 2020.

MORAWIEC, T.; MERTAS, A.; WOJTYCZKA, R. D.; NIEDZIELSKA, I.; DZIEDZIC, A.; BUBŁEK-BOGACZ, A.; KRÓL, W. The assessment of oral microflora exposed to 3% ethanolic extract of Brazilian green propolis preparation used for hygiene maintenance following minor oral surgeries. **BioMed research international**, v. 2015, 2015.

MOROSINI, B. L.; BORTOLUZZI, J. N.; MÜLLER, T. R. Influência da secagem do bagaço de malte sobre o conteúdo total de compostos fenólicos e atividade antioxidante. 2018. 42f. **Monografia (Curso Técnico em Agroindústrias)** - Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia De Santa Catarina – IFSC, São Miguel do Oeste, 2018.

MOURA, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; MELO QUEIROZ, A. J.; VILELA SILVA, E. T.; ESMERO, J. A. D.; LISBÔA, J. F. Mathematical modeling and thermodynamic properties of the drying kinetics of trapia residues. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, n. 8, p. e13768, 2021. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13768>

MUXEL, A. A. Química da Cerveja: Uma Abordagem Química e Bioquímica das Matérias-Primas, Processo de Produção e da Composição dos Compostos de Sabores da Cerveja. 1ª ed., v. 1, Curitiba. **Editora Appris**, 2022.

NARDINI, M.; GARAGUSO, I. Characterization of bioactive compounds and antioxidant activity of fruit beers. **Food chemistry**, v. 305, p. 125437, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125437>.

NASCIMENTO, A. P. S.; BARROS, S. L.; SANTOS, N. C.; ARAÚJO, A. J. B.; CAVALCANTI, A. S. R. R. M.; DUARTE, M. E. M. Secagem convectiva e influência da temperatura nas propriedades físico-químicas das amêndoas de girassol comercial. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.20, n.3, p.227-238, 2018.

NASCIMENTO, M. A. G. Aproveitamento agroindustrial de cactáceas do semiárido brasileiro. 2014. 338p. **Tese doutorado (Engenharia de Processos)** - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2014.

NASCIMENTO, T. G.; SILVA, A. D. S.; LESSA C. P. B.; SILVA, S. A. S.; FIDELIS, M. M. A. B., ALMEIDA, C. P.; ESCODRO, P. B. Phytochemical screening, antioxidant and antibacterial activities of some commercial extract of propolis. **Journal of Apicultural Research**, v. 57, n. 2, p. 246-254, 2018.

NETO, M. S. R.; TINTINO, S. R.; SILVA, A. R. P.; COSTA, M. S.; BOLIGON, A. A.; MATIAS, E. F. F.; BALBINO, V. Q.; MENEZES, I. R. A.; COUTINHO, H. D. M. Seasonal variation of Brazilian red propolis: Antibacterial activity, synergistic effect and phytochemical screening. **Food and Chemical Toxicology**, 107, 572-580. *Food and Chemical Toxicology*, Amsterdam, v. 107, n. 2, p. 572-580, mar. 2017.

NGAMSUK, S.; HUANG, T. C.; HSU, J. L. Determination of phenolic compounds, procyanidins, and antioxidant activity in processed *Coffea arabica* L. leaves. **Foods**, v. 8, n. 9, p. 389, 2019. <https://doi.org/10.3390/foods8090389>

NUNES, D.D.G. composição química e atividade biológica antimicrobiana e leishmanicida de extratos de própolis obtidos pelo método convencional ou por extração supercrítica. 2019.79f. **Dissertação (Mestrado em Patologia Humana)** – Universidade Federal da Bahia, Salvador- Bahia, 2019.

OLIVEIRA SILVA, M.; ALMEIDA, F. L. C.; DA PAIXÃO, R. N.; DE SOUZA, W. F. C.; DE LUNA FREIRE, K. R.; DE OLIVEIRA, C. P. Preparation and characterization of churro dough with malt bagasse flour. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 27, p. 100427, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100427>

OLIVEIRA, F. R. F. Projeto de implementação de micro cervejaria artesanal na cidade de Pinhais. 2018. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (**Especialização em MBA em Gerenciamento de Projetos**) - FGV Management da Fundação Getúlio Varga, Curitiba-PR, 2018.

OLIVEIRA, G. N. Um panorama geral sobre a regulamentação de alimentos funcionais, suas definições e alegações. 2019. 37f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia)** - Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2019.

OLIVEIRA, M. S. R.; LIMA F. F.; MACHADO, A. D. C. A.; BASSACO, G. P.; MANFIO, M. Elaboração de cervejas artesanais com o uso de adjuntos cervejeiros regionais e flores comestíveis Preparation of handicraft beers with the use of regional brewery adjusts and edible Flowers. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 121412-121432, 2021.

OLIVER, G.; MENDES, I. O Guia Oxford da Cerveja. São Paulo: **Blucher**, 2020. 1056 p.2020.

ONOFRE, S. B.; BERTOLDO, I. C.; ABATTI, D.; REFOSCO, D. Physiochemical Characterization of the Brewers' Spent Grain from a Brewery Located in the Southwestern Region of Paraná-Brazil. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 5, n. 9, p. 264261, 2018.

OSAE, R.; ESSILFIE, G.; ALOLGA, R. N.; BONAH, E.; MA, H.; ZHOU, C. Drying of ginger slices—Evaluation of quality attributes, energy consumption, and kinetics study. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. 2, p. e13348, 2020. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13348>

PAREKH, J.; CHANDA, S. Antibacterial and phytochemical studies on twelve species of Indian medicinal plants. **African Journal of Biomedical Research**, v. 10, p. 175 – 181, 2007.

PEREIRA, F.M.; LOPES, M.T.R.; CAMARGO, R.C.R.; VILELA, S.L.O. 2003. **Produção de mel**. Embrapa Meio Norte, sistemas de produção, 3, Versão eletrônica, jul 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeprodução.cnptia.embrapa.br/Fontes/Mel/index.htm>.2002>. Acesso em: 12 de junho de 2021.

PETKOVIĆ, M.; ĐUROVIĆ, I.; MILETIĆ, N.; RADOVANOVIĆ, J. Effect of convective drying method of chokeberry (*Aronia melanocarpa* L.) on drying kinetics, bioactive components and sensory characteristics of bread with chokeberry powder. **Periodica Polytechnica Chemical Engineering**, 2019. <https://doi.org/10.3311/PPch.13783>

PFLEGER, L. B. Análise comparativa da produção de própolis em dois apiários catarinenses. 2022. 37f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia)** – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2022.

PINTO, G.H.A. Avaliação da secagem convectiva de resíduos da indústria cervejeira. 2020. 118f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)** – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

POLYORACH, S.; WANAPAT, M.; WANAPAT, S. Enriquecimento do teor de proteína na mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) suplementando com levedura para uso como ração animal. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 25, n. 2, pág. 142-149, 2013. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i2.10649>

PONTES, M. L. C. Chemical characterization and pharmacological action of Brazilian red própolis. **Acta Brasiliensis UFCG**, v. 1, n.1, p. 34-39, 2018.

PRADO, B.A. Avaliação da atividade antimicrobiana e caracterização físico-química de extratos de própolis brasileira. 2019. 71f. **Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Farmácia)** -Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2019.

QUEIROZ, A. G. Revestimento à base de própolis no controle da antracnose (*Colletotrichum* sp.) em pós-colheita de frutos de pimentão (*Capsicum annuum* L.) 2021. 78F. **Dissertação (Mestrado em Ciências)** - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis- SC, 2021.

RASHID, M. T.; MA, H.; JATOI, M. A.; SAFDAR, B.; EL-MESERY, H. S.; SARPONG, F.; ... & WALI, A. Multi-frequency ultrasound and sequential infrared drying on drying kinetics, thermodynamic properties, and quality assessment of sweet potatoes. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 5, p. e13127, 2019. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13127>.

RECH, K. P.M.; ZORZAN, V. APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA NA ELABORAÇÃO DE CUPCAKE. 2017.44 f. **Trabalho de Conclusão de Curso**- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, FRANCISCO BELTRÃO, 2017.

REINHARDT, D. H.; SOUSA, L. F. S.; CABRAL, J. R. C. **Abacaxi: Produção Aspectos Técnicos**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Mandioca e Fruticultura Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 77 p.

ROBERTO, C.D.; TEIXEIRA, L.J.Q.; CARVALHO, R.V. Tópicos especiais em ciências e tecnologias de alimentos. Volume 1. 334p. Vitória, **Espírito Santo: Editora Universitária-Edufes**, 2020.

ROCHA, A. A.; STOPPE, A. C. R.; SILVÉRIO, B. C.; SANTOS, K. G.; NETO, J. L. V. Secagem de resíduos de malte em uma estufa solar e em um secador solar de leito fixo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, e447974335, 2020.

ROCHA, A. A.; VIEIRA NETO, J. L.; SANTOS, K. G.; “**Secagem de resíduos de malte em uma estufa solar com cobertura tipo telhado.**” Anais do Simpósio Comemorativo 40 Anos da Área de Sistemas Particulados DEQ/UFSCar, p. 607-617, 2019.

RODRIGUES, D. M. Obtenção de derivados semissintéticos de artepelin C e bacarina oriundos da própolis verde e avaliação de suas atividades biológicas. 2022. 38f. **Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas)** - Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto/ USP, Ribeirão Preto-SP, 2022.

RODRIGUES, M, S, A. Uso de revestimento e aditivo a base de extratos de própolis na conservação de hambúrguer bovino. 2019. 135f. **Tese (Doutorado em Engenharia de Processos)** - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2019.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos.** Campinas, SP: Casa do Pão Editora. Campinas, SP. 2005.

RODRIGUES, M. S.A.; ARAUJO, A. S.; SILVA, R. A.; DEODATO, J. N. V.; PINHEIRO, L. S. S. Revestimento a base de extrato de própolis vermelha e seu efeito na conservação de tomate tipo italiano. 1.ed. Boa Vista: **Gepira Editora, Consultoria e Eventos Científicos**. P. 119-168. 2021.

ROJAS-CHAMORRO, J. A.; ROMERO-GARCÍA, J. M.; CARA, C., ROMERO, I.; CASTRO, E. Improved ethanol production from the slurry of pretreated brewers' spent grain through different co-fermentation strategies. **Bioresource technology**, v. 296, p. 122367, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122367>

ROSALES, E.; PAZOS, M.; SANROMÁN, M. Á. Solid-state fermentation for food applications. In: **Current developments in biotechnology and bioengineering.** Elsevier, 2018. p. 319-355.

RUFATTO, L. C. et al. Red propolis: chemical composition and pharmacological activity. **Asia Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 7, n. 7, p. 591-598, 2017.

SACILIK, K.; ELICIN, A.K. The thin layer drying characteristics of organic apple slices. **Journal of Food Engineering**, v.73, p.281-289, 2006.

SALES, L. S., SOUZA, P. G. Produção de cerveja do estilo Catharina Sour com Araçá-Boi (*Eugenia Stipitata* Mcvaugh). **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.1, p.1599-1613 jan. 2021.

SANTA, O.R.D.; SILVA, N.S.R.; ROSA, C. T.; MICHELETTI, I.N.; KRUGER, R.L; MESOMO, M. C; ZANETTE, C.M. Elaboração de cerveja com adição de alcachofra. **Brazilian Journal of Development Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 9, p.72918-72928, sep. 2020.

SANTANA, F. R. Resíduo úmido cervejeiro como substrato para obtenção de extrato enzimático amilásico por *Aspergillus niger* NCQS 40371. 2021.76f. **Dissertação(Processos Químicos e Biotecnológicos)**- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2021.

SANTIAGO, L. C. Seleção de tecnologia para tratamento de efluente gerado em uma microcervejaria. 2019. 63f. **Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental)** - Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto-SP, 2019.

SANTOS, A. C. C.; MALTA, S. M.; DANTAS, R. C. C.; COELHO ROCHA, N. D.; ARISTON DE CARVALHO AZEVEDO, V.; UEIRA-VIEIRA, C. Antimicrobial activity of supernatants produced by bacteria isolated from Brazilian stingless bee's larval food. **BMC microbiology**, v. 22, n. 1, p. 1-9, 2022.

SANTOS, C. R. B.; CARVALHO, G.B.M.; JUNIOR, F.T.S. Caracterização Do Mosto Para A Produção De Cerveja. **Anais dos Seminários de Iniciação Científica**, n. 22, 2018.

SANTOS, D. C.; COSTA, T. N.; FRANCO, F. B.; CASTRO, R. C.; FERREIRA, J. P. L.; SOUZA, M. A. S.; SANTOS, J. C. P. Cinética de secagem e propriedades termodinâmicas da polpa de patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.). **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 22, e2018305, 2019.

SANTOS, F. S. Caracterização do mosto cervejeiro e do mel oriundo do semiárido baiano para produção de cerveja. **Anais dos Seminários de Iniciação Científica**, n. 21, 2017. <https://doi.org/10.13102/semic.v0i21.2440>

SANTOS, F. S.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SANTOS, D. C. Drying kinetics and physical and chemical characterization of white-fleshed 'pitaya' peels. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.12, p.872-877, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n12p872-877>

SANTOS, J. L.; GOMES, L. R.; NEVES, N. A.; SCHMIELE, M. Desenvolvimento de barra de cereais com aproveitamento de resíduo de mosturação de cerveja desidratado e incorporação de proteína hidrolisada de soja e gelatina. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, e8811225572, 2022.

SANTOS, L.A.T. Controle de qualidade e atividade antimicrobiana de extratos da própolis vermelha de Alagoas comercializados em Maceió. 2020. 72f. **Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Farmácia)**- Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020.

SANTOS, M. A. D. S.; RIBEIRO, P. V. L.; ANDRADE, C. P.; MACHADO, A. R. G.; SOUZA, P. G. D.; KIRSCH, L. D. S. Physicochemical and sensory analysis of craft beer made with soursop (*Annona muricata* L.). **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 20, n. 1, p. 103-112, 2021.

SANTOS, N. C.; SILVA, W. P.; BARROS, S. L.; ALMEIDA, R. L. J.; BRITO ARAÚJO, A. J.; SILVA NASCIMENTO, A. P. Red rice (*Oryza sativa* L.) use in flour production: Convective drying and bioactive quality. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. 10, p. e13490, 2020. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13490>

SANTOS, N.C.; BARROS, S.L.; ALMEIDA, R.L.J.; NASCIMENTO, A.P.S.; ALMEIDA, R.D. Influence of temperature in the centesimal composition of pitomba shell (*Talisia esculenta*). **Revista Higiene Alimentar**, v.33, p.1477-1481, 2019.

SANTOS, P. P. A.; FERRARI, G. F.; ARAÚJO, L. A.; ALVES, M. M.; OLIVEIRA, C. F. R.; FUZINATTO, M. M. Avaliação físico-química e sensorial de cerveja fruit beer ale produzida a partir de farinha de pão e Jabuticaba (*Myrciaria cauliflora* Berg). **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 121071-121085, 2021.

SANTOS, P.S; SOLIDADE, L. S; SOUZA, J. G. B; LIMA, G. S; BRAGA J. A. C. R; ASSIS, F. G. V; LEAL, P.L. Fermentação em estado sólido em resíduos agroindustriais para a produção de enzimas: uma revisão sistemática. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v.4, n.2, p.181-188, 2018. <https://doi.org/10.18540/jcecvl4iss2pp0181-0188>

SANTOS, T. S.; RIGHI, E.; BITENCOURT, B. M. Análise bibliométrica da produção científica sobre cervejas artesanais. **Cadernos de Gestão e Empreendedorismo Rio de Janeiro**, v. 10, n. 2, mai / ago. 2022. Disponível em: <file:///C:/Users/Gaby/Downloads/55796-Texto%20do%20Artigo-195685-1-10-20220920.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2023.

SEBRAE - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Apicultura: uma oportunidade de negócio sustentável**. Salvador: Sebrae Bahia, 2009. 52p.

SHARIF, Z. I. M.; MUSTAPHA, F. A.; YUSOF, N. M.; ZAKI, N. A. M. Review on methods for preservation and natural preservatives for extending the food longevity. **Chemical Engineering Research Bulletin**, p. 145-153, 2017. <https://doi.org/10.3329/ceerb.v19i0.33809>

SILVA, A. P. F.; SOUSA, A. P. M.; MACEDO, A. D. B.; DANTAS, D. L.; OLIVEIRA, J. A. M.; ALMEIDA, A. F.; SANTANA, R. A. C.; CAMPOS, A. R. N. Enriquecimento proteico do maxixe-bravo (*Cucumis dipsaceus ehrenb*) por fermentação semissólida. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 48239-48250, 2020.

SILVA, C. N. D.; FUKUOKA, T. M.; MANHANI, M. R. Produção e caracterização de biofilmes de fécula de mandioca com extratos aquoso e alcoólico de própolis. **Revista Brasileira de Gestao Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 19, p. 1257-1272, 2021.

SILVA, D. F.; SOUZA, P.G.; ALBUQUERQUE, P. M. Avaliação da eficácia dos principais métodos de estabilização coloidal da cerveja tipo American Lager. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.4, p.34657-34670 apr 2021.

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. J. Agric. Res**, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

SILVA, G.M.S.; COSTA, J.S.; FILHA, M.C.S.C.; LIMA, A.B.L.; SILVA, O.S. Enriquecimento proteico do resíduo de abacaxi mediante fermentação semissólida. **Revista Verde** - ISSN 1981-8203 - (Pombal - PB) v. 11, n.5, p.39-44, 2016.

SILVA, J. C. Produção De Cerveja Artesanal Com Uso De Leveduras Livres E Leveduras Imobilizadas Em Alginato. 2018. 56f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia)** -Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2018.

SILVA, J. L.; SILVA, O. S.; ALVES, F. M. S.; VIEIRA, N.C; NASCIMENTO, A.M. Enriquecimento proteico de resíduo de umbu-cajá empregando fermentação semissólida. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.12, n.5, p.854-857, 2017. <https://doi.org/10.18378/rvads.v12i5.5572>

SILVA, J. R. B.; CAMPOS, A. R. N.; SANTANA, R. A. C.; DANTAS, D. L.; MACEDO, A. D. B.; SOUSA, A. P. M.; MALAQUIAS, A. B.; ALBUQUERQUE, T. N.; SILVA, G. B.; SANTOS, A. X. Cinética de secagem da Berinjela (*Solanum Melongena* L.) em estufa. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 4, p. e34111427319, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i4.27319. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/27319>. Acesso em: 13 jan. 2023.

SILVA, J.; SILVA, M. M. L.; SOUZA, P. V.; SILVA, A. F. V.; BARBOZA, J. B; DE SÁ, J. M.; DOS SANTOS, A, A. Protein enrichment of forage cactus with *Saccharomyces Cerevisiae* by semisolid cultivation. **Brazilian journal of development**, v.7, n.8, p.84268-84280, 2021.

SILVA, K. C. M. Os diferentes tipos de própolis e suas indicações: uma revisão da literatura. 2018. 53f. **Dissertação (Mestrado em sistemas Agroindustriais)** - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB, 2018.

SILVA, L. J.; et al. Enriquecimento proteico de resíduo de umbu-cajá empregando fermentação semissólida. **Revista Verde** - ISSN 1981-8203 - (Pombal - PB) v. 12, n.5, p.854-857, Edição Especial, 2017.

SILVA, M. D. D. Aproveitamento de resíduos agroindustriais como substratos para produção de enzimas. 2020. 34f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química)** - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia- MG, 2020.

SILVA, M. de O.; ALVES, S. J. F.; ALMEIDA, F. L. C.; DANTAS, C. de O.; VIANA, A. D.; FREIRE, K. R. de L. Estudo da cinética de secagem do resíduo bagaço de malte e

do resíduo de abacaxi. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 48–52, 2018. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/REBAGRO/article/view/6455>. Acesso em: 13 jan. 2023.

SILVA, M. J. S. D. Produção de cerveja artesanal tipo Weiss adicionada de manga cv. espada. 2020. 151f. **Tese (Engenharia Agrícola)** - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande- PB. 2020.

SILVA, M. T. Avaliação sensorial e da atividade antioxidante de iogurte sabor morango enriquecido com microencapsulados de própolis vermelha. 2018. 61f. **Dissertação (Mestrado em Nutrição)** – Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL, 2018.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A.; TANIWAKI, M. H.; SANTOS, R.F. S.; GOMES, R.A.R.; OKAZAKI, M.M. **Manual de métodos de análises microbiológica de alimentos e água**. 5ª edição. São Paulo: Blucher. 2017. p.560.

SILVA, R. P. D.; MACHADO, B. A. S.; BARRETO, G. A.; COSTA, S. S.; ANDRADE, L. N.; AMARAL, R. G.; CARVALHO, A. A.; PADILHA, F. F.; BARBOSA, J. D. V.; UMSZA-GUEZ, M. A. Antioxidant, antimicrobial, antiparasitic, and cytotoxic properties of various Brazilian propolis extracts. **PLoS ONE**, vol. 12, n. 3, 2017.

SILVA, S. M. P. C.; SODRÉ, G. S.; CARVALHO, C. A. L.; ESTEVINHO, M. L. M. F. **Processo e produto hidromel tipo doce**. Depositante: Universidade Federal da Bahia. BR nº 102015005812-8. Depósito: 09 de fevereiro de 2015. Concessão: 20 de junho de 2017.

SILVA, S. M. P. C.; SODRÉ, G. S.; CARVALHO, C. A. L.; ESTEVINHO, M. L. M. F. **Processo e produto hidromel tipo seco**. Depositante: Universidade Federal da Bahia. BR nº 102015005812-8. Depósito: 09 de fevereiro de 2015. Concessão: 27 de junho de 2018.

SILVA, V. M. A.; ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; MUNIZ, C. E. S.; BARROS, E. R.; MOREIRA, F. I. N.; CABRAL, M. B.; NASCIMENTO, A. R. B.; SOUZA, E. S. Predição de modelos matemáticos sobre a cinética de secagem de nozes (*Juglans regia* L.) sem casca. **Research, Society and Development**, v. 9, n.7, e522974390, 2020.

SOARES, A. L. F.; BILEZIKDJIAN, P. J.; ELIAS, P. C.; MEDEIROS, P. C. M.; SOUZA, L. A. Identidade e qualidade de diferentes extratos de propolis. **Revista Gestão em Foco**, v. 9, p. 255-275, 2017.

SONG, X. D.; MUJUMDAR, A. S.; LAW, C. L.; FANG, X. M.; PENG, W. J.; DENG, L. Z.; ... & XIAO, H. W. Effect of drying air temperature on drying kinetics, color, carotenoid content, antioxidant capacity and oxidation of fat for lotus pollen. **Drying Technology**, v. 38, n. 9, p. 1151-1164, 2020. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1616752>

SOUSA, A. P. M.; CAMPOS, A. R. N.; GOMES, J. P.; DE SANTANA, R. A. C.; DE FRANÇA SILVA, A. P.; DE MACEDO, A. D. B.; COSTA, J. D. Protein enrichment of jackfruit peel waste through solid-state fermentation. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 1, p. 1-6, 2020.

SOUSA, A. P. M.; MACEDO, A. D. B.; FRANÇA, S. A. P.; COSTA, J. D.; DANTAS, D. L.; DE OLIVEIRA A. M.; CAMPOS, A. R. N. Enriquecimento proteico dos resíduos da jaca por fermentação semissólida. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 3, p. 987-997, 2020.

SOUSA, A. P. M.; MACEDO, A. D. B.; FRANÇA SILVA, A. P.; COSTA, J. D.; DANTAS, D. L.; OLIVEIRA APOLINÁRIO, M.; CAMPOS, A. R. N. Enriquecimento proteico dos resíduos da jaca por fermentação semissólida. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 3, p. 987-997, 2020. <https://doi.org/10.34115/basrv4n3-019>

SOUSA, B. R. Potencial antifúngico do extrato de própolis verde frente a leveduras do gênero *Candida*. 2017. 63 f. **Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais)** – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2017.

SOUSA, S. M. F. de; SILVA, R. dos S.; SILVA, O. S.; OLIVEIRA, A. dos S.; NOGUEIRA, L. P. S.; LIMA, M. E. P. de; ARAÚJO, M. A.; NUNES, J. S. Protein enrichment of guava residue (*Psidium guajava* L.) through semi-solid fermentation. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 14, p. e385101422050, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i14.22050. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/22050>. Acesso em: 14 jan. 2023.

SOUZA, A. K. A. Et al. Atividade antibacteriana do extrato hidroalcoólico da própolis vermelha sobre streptococcus pyogenes. 1.ed. Boa Vista: **Gepra Editora, Consultoria e Eventos Científicos**. P.21-168. 2021.

SOUZA, P. G.; PANTOJA, L.; SANTOS, A. S.; MARINHO, H. A.; ALMEIDA, J. B. Avaliação físico-química de cervejas lagers com pupunha (*Bactris gasipaes*) em bioprocessos com leveduras livres e imobilizadas. **Conjecturas**, v. 22, n. 8, p. 1159-1172, 2022.

SOUZA, S. A.; SILVA, T. M. G.; SILVA, E. M. S.; CAMARA, C. A.; SILVA, T. M. S. Characterization of phenolic compounds by UPLC-QTOF-MS/MS of geopropolis from the stingless bee *Melipona subnitida* (jandaíra). *Phytochem. Anal.* v. 29, p. 549-558, 2018.

STATSOFT. **Statistica for Windows** v. 5.0 (Data analysis software system). Tulsa, USA, 1997.

SVIERCOSKI, G. Obtenção de extrato nitrogenado a partir de biomassa residual de levedura utilizando ultrassom para uso em processos fermentativos. 2019. 94f. **Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)** -Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa-PR, 2019.

SWAIN; N.T. HILLS, W.E. The phenolic constituents of *Punns domestica*. I. Quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 19, p. 63-68, 1959.

TAO, Y.; HAN, M.; GAO, X.; HAN, Y.; SHOW, P. L.; LIU, C.; ... & XIE, G. Applications of water blanching, surface contacting ultrasound-assisted air drying, and their combination for dehydration of white cabbage: Drying mechanism, bioactive profile, color and rehydration property. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 53, p. 192-201, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.01.003>

THAMNOPOULOS, I.-AI; MICHAELIDIS, G. F.; FLETOURIS, D. J.; BADEKA, A.; KONTOMINAS, M. G.; E ANGELIDIS, A. S. (2018). Atividade inibitória da própolis contra *Listeria monocytogenes* no leite armazenado sob refrigeração. **Microbiologia Alimentar**, 73, 168–176. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.01.021>

TIZZIANI, I. M. Avaliação da secagem do bagaço de malte para aplicação como biossorvente. 2021. 69f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão-PR, 2021.

TOKUDA, K.; ABURATANI, M. **Método para produção de hidromel**. Depositante: Shata Shuzou Co., Ltd (JP). Procurador: Tavares & Companhia. BR nº PI0703334-6. Depósito: 17 de agosto de 2007. Concessão: 29 de abril de 2008.

TOZETTO, L. M.; NASCIMENTO, R. F.; OLIVEIRA, M. H.; VAN BEIK, J.; CANTERI, M. H. G. Production and physicochemical characterization of craft beer with ginger (*Zingiber officinale*). **Food Sci. Technol**, v. 39, n. 4, p.962-970, 2019.

TRINDADE, S. C. Incorporação de amora na elaboração de cerveja artesanal. 2016. 59f. **Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)** – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria- RS, 2016.

TROIAN, K. S.; MELO, A. R.; BORTOLATTO, L. B.; MARQUES, C. R. M. Análise da viabilidade na substituição parcial do lúpulo de amargor na fabricação de cerveja artesanal. **Revista Vincci- Periódico Científico da Faculdade SATC**, v. 4, n. 2, p. 126-150, jan./jun., 2020.

TSCHÁ, A. R. Craft beer: cultura, identidade e tendências de consumo na cidade do Recife. 2018. 104 f. **Dissertação (Mestrado em Profissional em Indústrias Criativas)** - Universidade Católica de Pernambuco, Recife-PE, 2018.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Honey market for the month of november 2020 in volumes of 10,000 pounds or greater unless otherwise stated**. National Honey Report, vol. XL, n. 12, p. 1-11, 2020. Disponível em: <https://mymarketnews.ams.usda.gov/filerepo/sites/default/files/2901/2020-12-23/366487/ams_2901_00011.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2021.

VALCANAIA, C. P.; MASOTE, J. B. B.; SOMMER, H. F.; SCHIQUET, S.; PADILHA, B.; KREPSKY, L.; MENDES DE CORDOVA, C. M. Antimicrobial Activity of Volatile Oils from Brazilian Stingless Bees *Melipona quadrifasciata quadrifasciata* and *Tetragonisca angustula* Propolis. **Chemistry & Biodiversity**, v. 19, n. 8, p. e202200369, 2022.

VALENTIM, S. S.; FONSECA, A. A. O.; SILVA, S.M. P. C. Elaboração e avaliação da estabilidade de cerveja artesanal utilizando o umbu-cajá (*Spondias bahiensis*) e canela na maturação. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 1, p. 114-136, 2021.

VARGAS, B. O. Desenvolvimento, caracterização físico-química e avaliação do potencial antioxidante em cervejas tipo Ale (IPA). 2018. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biotecnologia)** -Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2018.

VASCONCELOS, N. M.; PINTO, G.A.S.; ARAGAO, F. A. S. de. Determinação de açúcares redutores pelo ácido 3,5-dinitrosalicílico: histórico do desenvolvimento do método e estabelecimento de um protocolo para o laboratório de bioprocessos. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2013. **EMBRAPA** (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 87).

VATTEM, D. A.; LIN, Y. T.; LABBE, R. G.; SHETTY, K. Phenolic antioxidant mobilization in cranberry pomace by solid-state bioprocessing using food grade fungus *Lentinus edodes* and effect on antimicrobial activity against select food borne pathogens. **Innovative Food Sci. Emerg. Technol.**, v.5, p. 81-91, 2004.

VENDRUSCOLO, I. Avaliação da atividade citotóxica/antitumoral de extrato hidroalcolólico de própolis. 2021. 54f. **Trabalho de conclusão de curso** (graduação em Engenharia química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, PR 2021.

VENTURINI FILHO, W. G. Bebidas Alcoólicas: **Ciência e Tecnologia**. 2ª ed., v. 1, São Paulo. Editora Blucher, 2016.

VERONEZE, M. L. Avaliação da produção de biogás a partir de água residuária de cervejaria. 2019. 85f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia em Energia na Agricultura)** - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel-PR, 2019.

VIDAL, M. F. Evolução da produção de mel na área de atuação do BNB. **Caderno Setorial - ETENE**, nº 112, ano 5, p. 1-10, 2020a. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/documents/80223/6943261/112_Apicultura.pdf/78cc0645-0dea-3556-0b3e-7817306851d7>. Acessado em: 02 de junho de 2021.

VIDAL, M. F. Mel natural: cenário mundial e situação da produção na área de atuação do BNB. **Caderno Setorial - ETENE**, nº 157, ano 6, p. 1-10, 2020b. Disponível em:

<https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/801/1/2021_CDS_157.pdf>. Acessado em: 02 de junho de 2021.

VIEIRA, F. J. A.; DE SOUSA N. R., DINIZ, K. M.; TOMAZ, A. C.; DE AZEVEDO, P. T. M.; DA NÓBREGA, E. Enriquecimento proteico de resíduo de abacaxi através de fermentação semi-sólida. V Encontro Nacional da Agroindústria. **Gestão Ambiental dos Resíduos Agroindústrias.**, 2019. DOI: 10.17648/enag-2019-115016

VOGEL, C. Avaliação da Adição de Pequenas Frutas (Berries) na Produção de Cerveja Artesanal: Análise Físico-Química, Sensorial, Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante. 2017. 82 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos)**, Universidade Federal de Fronteira do Sul, Laranjeiras do Sul, Paraná, 2017.

WANG, H.; LIU, Z.; VIDYARTHI, S. K.; WANG, Q.; GAO, L. Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, microstructure, and energy consumption of potato (*Solanum tuberosum* L.) cubes. **Drying Technology**, v. 39, n. 3, p. 418-431, 2020. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1818254>

WANG, Y.; LIU, W.; JIANG, H.; MAO, Z.; WANG, N.; JIANG, S.; XU, H.; YANG, G.; ZHANG, Z.; CHEN, X. The R2R3-MYB transcription factor MdMYB24-like is involved in methyl jasmonate-induced anthocyanin biosynthesis in apple. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.139, p.273-282, 2019. Doi:10.1016/j.plaphy.2019.03.031

WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.

WHITE, C. **Yeasts: the practical guide to beer fermentation**. New York: Brewes Publications. 2010. 226p.

YEMN, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, London, v. 57, p. 508-514, 1954.

ZABAIYOU, N.; FOUACHE, A.; TROUSSON, A.; BARON, S.; ZELLAGUI, A.; LAHOUEL, M.; LOBACCARO, J. M. A. Biological properties of propolis extracts: something new from an ancient product. **Chemistry and physics of lipids**, v. 207, n. B, p. 214- 222, 2017.

ZAPATA, P. J.; MARTÍNEZ-ESPLÁ, A.; GIRONÉS-VILAPLANA, A.; SANTOS-LAX, D., NOGUERA-ARTIAGA, L.; CARBONELL-BARRACHINA, A. A. Phenolic, volatile, and sensory profiles of beer enriched by macerating quince fruits. **LWT**, v. 103, p. 139-146, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.002>

ZHAO, C. C.; AMEER, K.; EUN, J. B. Effects of various drying conditions and methods on drying kinetics and retention of bioactive compounds in sliced persimmon. **LWT**, v. 143, p. 111149, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111149>

ZHU, F.; DU, B.; XU, B. Anti-inflammatory effects of phytochemicals from fruits, vegetables, and food legumes: A review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 58, n. 8, p. 1260-1270, 2018. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1251390>

ZORZAN, V.; RECH, K.P.M. Aproveitamento de resíduos da indústria cervejeira na elaboração de cupcake. 2017. 44 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia de Alimentos)** -Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2017.