



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

Vanessa Biasi

**Avaliação do potencial antioxidante e tecnológico de farinhas de mirtilo (*Vaccinium corymbosum*) e fisális (*Physalis peruviana*) na elaboração de um produto cárneo emulsionado**

Florianópolis

2022

Vanessa Biasi

**Avaliação do potencial antioxidante e tecnológico de farinhas de mirtilo (*Vaccinium corymbosum*) e fisális (*Physalis peruviana*) na elaboração de um produto cárneo emulsionado**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Doutora em Ciência dos Alimentos.

Orientador: Prof. Pedro Luiz Manique Barreto. Dr.

Florianópolis

2022

Biasi, Vanessa

Avaliação do potencial antioxidante e tecnológico de farinhas de mirtilo (*Vaccinium corymbosum*) e fisális (*Physalis peruviana*) na elaboração de um produto cárneo emulsionado / Vanessa Biasi ; orientador, Pedro Luiz Manique Barreto, 2022.

201 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Ciência dos Alimentos. 2. Antioxidantes naturais. 3. Farinha de frutas. 4. Produtos cárneos. 5. Mortadela tipo Bologna. I. Barreto, Pedro Luiz Manique. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos. III. Título.

Vanessa Biasi

**Avaliação do potencial antioxidante e tecnológico de farinhas de mirtilo (*Vaccinium corymbosum*) e fisális (*Physalis peruviana*) na elaboração de um produto cárneo emulsionado**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. (a) Itaciara Larroza Nunes, Dr. (a)  
UFSC

Prof. (a) Silvani Verruck, Dr. (a)  
UFSC

Vivian Feddern, Dr. (a)  
EMBRAPA Suínos e Aves

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

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Pedro Luiz Manique Barreto, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 2022.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela presença em minha vida e por me dar forças para concretizar essa grande realização em minha vida.

Ao Eduardo, meu esposo e companheiro, pela ajuda incansável, amor e compreensão durante esta fase tão importante. Aos meus filhos, Carolina e Augusto, que mesmo sem entender muito bem, aceitaram as minhas ausências e aliviaram meu cansaço com todo seu amor. Aos meus pais, que sempre me incentivaram em todas as minhas fases de estudos.

Ao meu orientador, Pedro Luiz Manique Barreto, pela confiança no meu trabalho, liberdade nas tomadas de decisões, pelo apoio, orientações e amizade durante estes anos.

Às membras da banca, Silvani e Vivian, pela excelente contribuição ao trabalho. E à professora Itaciara, por toda contribuição como banca e exemplo de profissional durante todo o período do doutorado. Agradeço também ao professor César Damian pelo apoio prestado.

Ao Instituto Federal Catarinense – campus Concórdia, pelo incentivo à minha dedicação integral ao curso de doutorado, e aos meus colegas professores, que me deram suporte durante o período de afastamento.

À colega, Ana Paula, pela amizade e apoio, e que juntamente com o Rodrigo (MAPA), tornou possível a realização de análises laboratoriais muito importantes para o trabalho. A todos os meus colegas de doutorado, e especialmente, às amigas Bruna e Karol, por tornarem às minhas idas à Florianópolis mais fáceis e alegres! Agradeço também o apoio que recebi dos colegas: Ivan, Carlen, Gabriela, Andreza, Adolfo, Clarissa, Edilene, Lucinha e Renata.

Agradeço a todos os professores do PPGCAL e à UFSC por proporcionarem o caminho para que meu sonho se tornasse realidade.

Muito obrigada a todos!

## RESUMO

Os produtos cárneos estão sendo reformulados por apresentarem compostos prejudiciais à saúde do consumidor. O objetivo deste trabalho foi elaborar e caracterizar farinhas de mirtilo e fisális, avaliando seu potencial como antioxidante natural em formulações de mortadela tipo Bologna. Foram realizadas prospecções tecnológicas e científicas sobre a utilização dos frutos em produtos cárneos. As buscas por patentes foram feitas nas bases de dados European Patent Office (Espacenet®), Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e *Patentscope*; e, para o levantamento bibliográfico nos sites *Science Direct*, *Periodicos Capes* e *Scopus*. A desidratação dos frutos para a produção das farinhas foi realizada com base em um Delineamento Composto Central Rotacional e superfícies de resposta. Para a caracterização dos frutos foram realizadas análises de composição proximal, análises físico-químicas e de atividade antioxidante. Nas farinhas também foram realizadas estas análises, além da avaliação da capacidade de retenção de água e de óleo, densidade aparente, atividade emulsionante e estabilidade de emulsão. Foram determinadas antocianinas na farinha de mirtilo, carotenoides na farinha de fisális e cor, em ambas as farinhas, durante armazenamento por 120 dias. Foram produzidas mortadelas com substituição total de antioxidante sintético, por baixo, médio e alto teor de farinha de mirtilo; baixo, médio e alto teor de farinha de fisális; médio teor de ambas as farinhas e duas amostras controle: com e sem eritorbato de sódio. As mortadelas foram caracterizadas quanto à composição proximal, perfil instrumental de textura e digestibilidade. Foi realizada a determinação do teor de fenólicos totais e de atividade antioxidante, antes e após digestão *in vitro*. Foram avaliados pH, cor, índice de peróxidos, acidez total e TBARS, nos dias 0, 7, 15, 30, 60 e 90 após a produção, durante armazenamento refrigerado. No estudo prospectivo foram utilizadas 54 patentes e 106 artigos científicos referentes ao mirtilo, e, 70 patentes e 61 artigos científicos referentes à fisális. Porém, em nenhum deles foi observada a utilização destes frutos como antioxidante em produtos cárneos. Quanto ao teor de compostos bioativos e atividade antioxidante, o mirtilo apresentou valores mais elevados do que a fisális. Na produção das farinhas, os processos otimizados mostraram alta preservação dos compostos bioativos e fácil reprodutibilidade. Nos frutos de mirtilo foram quantificados 23 compostos fenólicos e 28 em sua farinha. Na fisális, foram quantificados 10 compostos fenólicos e em sua farinha, 23 compostos. Ambas as farinhas apresentaram propriedades antioxidantes e tecnológicas necessárias para atuarem como um ingrediente bioativo, com destaque para a farinha de mirtilo. Em relação às mortadelas, não houve diferenças no perfil de textura dos tratamentos com farinhas em relação aos controles ( $p < 0,05$ ). A adição das farinhas mostrou-se como uma estratégia eficaz ao reduzir TBARS e níveis de peróxidos lipídicos. A digestão *in vitro* aumentou o teor de fenólicos totais e a atividade antioxidante nas mortadelas, sem perdas de compostos bioativos após a digestão intestinal simulada. A formulação FFM apresentou os melhores resultados em relação ao controle da oxidação lipídica e a formulação FM3 em relação à bioacessibilidade dos fenólicos totais e atividade antioxidante após digestão *in vitro*.

**Palavras-chave:** antioxidantes naturais; farinha de frutas; *Vaccinium corymbosum*; *Physalis peruviana*; mortadela.

## ABSTRACT

Meat products are being reformulated because they contain compounds that are harmful to consumer health. The objective of this work was to produce and characterize blueberry and goldenberry flours, evaluating their potential as a natural antioxidant in Bologna-type mortadella formulations. Technological and scientific prospecting were carried out on the use of fruits in meat products. The searches for patents were carried out in the European Patent Office (Espacenet®), National Institute of Industrial Property (INPI) and *Patentscope* databases; and, for the bibliographic survey on the Science Direct, Periodicos Cappes and Scopus websites. The dehydration of the fruits for the production of the flours was carried out by a Composite Central Rotational Design and response surfaces. For the characterization of the fruits, analyzes of proximal composition, physical-chemical and antioxidant activity were carried out. These analyzes were also performed on the flours, in addition to the evaluation of water and oil retention capacity, apparent density, emulsifying activity and emulsion stability. Anthocyanins in blueberry flour, carotenoids in physalis flour and color were determined in both flours during storage for 120 days. Mortadellas were produced with total replacement of synthetic antioxidant, by low, medium and high content of blueberry flour; low, medium and high content of physalis flour; medium content of both flours and two control samples: with and without sodium erythorbate. The mortadellas were characterized in terms of proximal composition, and instrumental texture profile. Total phenolic compounds and antioxidant activity were determined before and after *in vitro* digestion. pH, color, peroxide value, total acidity and TBARS were evaluated on days 0, 7, 15, 30, 60 and 90 after production, during cold storage. In the prospective study, 54 patents and 106 scientific articles referring to blueberry were used, and 70 patents and 61 scientific articles referring to physalis. However, in none of them was the use of these fruits as an antioxidant in meat products observed. As for the content of bioactive compounds and antioxidant activity, the blueberry showed higher values than the physalis. In the production of flours, the optimized processes showed high preservation of bioactive compounds and easy reproducibility. The profile of phenolic compounds quantified a greater number of phenolic acids and flavonoids in the flours than in the fruits. Both flours showed antioxidant and technological properties necessary to act as a bioactive ingredient, especially blueberry flour. Regarding mortadella, there were no differences in the texture profile of treatments with flours compared to controls ( $p < 0.05$ ). The addition of flours proved to be an effective strategy to reduce TBARS and lipid peroxide levels. Digestibility increased the availability of total phenolics and antioxidant activity in mortadellas, without loss of bioactive compounds after simulated intestinal digestion. The FFM formulation showed the best results in relation to the control of lipid oxidation and the FM3 formulation in relation to the bioaccessibility of total phenolics and antioxidant activity after *in vitro* digestion.

**Keywords:** natural antioxidants; fruit flour; *Vaccinium corymbosum*; *Physalis peruviana*; mortadella.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do cátion flavílio.....	28
Figura 2 - Estruturas químicas dos principais carotenos (I) e xantofilas (II).....	37
Figura 3 - Esquema com as palavras-chave e os códigos IPC relacionados ao mirtilo utilizados para a busca de patentes nas bases de dados do do <i>European Patent Office</i> (Espacenet®), do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e do <i>Patentscope</i> .....	50
Figura 4 - Esquema com as palavras-chave relacionadas à fisális utilizadas para a busca de patentes nas bases de dados do do <i>European Patent Office</i> (Espacenet®), do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e do <i>Patentscope</i> .....	52
Figura 5 - Fluxograma das etapas para a produção das mortadelas.....	70
Figura 6 - Percentual de patentes concedidas e de patentes depositadas.....	76
Figura 7 - Número de depósitos de patentes por ano em diferentes bases de dados (INPI, Espacenet e <i>Patentscope</i> ).....	77
Figura 8 - Distribuição das patentes avaliadas por país ou território.....	77
Figura 9 - Grupos depositantes de patentes em diferentes bases de dados (INPI, Espacenet e <i>Patentscope</i> ).....	80
Figura 10 - Divisão das patentes em categorias conforme utilização do fruto em diferentes aplicações.....	80
Figura 11 - Tipos de alimentos descritos nas patentes relacionadas à categoria “Alimentos”.....	82
Figura 12 - Percentual de uso dos principais códigos relacionados às aplicações de mirtilo em produtos alimentícios.....	84
Figura 13 - Divisão dos artigos recuperados nas bases de dados <i>Science Direct</i> , Periódicos Capes e <i>Scopus</i> entre áreas temáticas.....	86
Figura 14 - Evolução anual de artigos publicados nas bases de dados <i>Science Direct</i> , Periódicos Capes e <i>Scopus</i> durante o período de 2011 a 2021.....	87
Figura 15 - Distribuição dos artigos de aplicações de mirtilo como aditivo alimentar entre os periódicos.....	87



Figura 16 - Distribuição de artigos publicados relativos às aplicações de mirtilo como aditivo alimentar por países.....	88
Figura 17 - Percentual de patentes concedidas e de patentes depositadas.....	93
Figura 18 - Número de depósitos de patentes por ano em diferentes bases de dados (INPI, Espacenet e <i>Patentscope</i> ).....	92
Figura 19 - Distribuição das patentes avaliadas por país ou território.....	94
Figura 20 - Grupos depositantes de patentes em diferentes bases de dados (INPI, Espacenet e <i>Patentscope</i> ).....	96
Figura 21 - Divisão das patentes em categorias conforme utilização do fruto em diferentes aplicações.....	96
Figura 22 - Tipos de alimentos descritos nas patentes relacionadas à categoria “Alimentos”.....	98
Figura 23 - Percentual de uso dos principais códigos relacionados às aplicações de fisális em produtos alimentícios.....	100
Figura 24 - Divisão dos artigos recuperados nas bases de dados <i>Science Direct</i> , Periódicos Capes e <i>Scopus</i> entre áreas temáticas.....	102
Figura 25 - Evolução anual de artigos publicados nas bases de dados <i>Science Direct</i> , Periódicos Capes e <i>Scopus</i> durante o período de 2011 a 2021.....	102
Figura 26 - Distribuição dos artigos relacionados à Ciência de Alimentos entre os periódicos.....	103
Figura 27 - Distribuição dos artigos relacionados à Ciência de Alimentos por países.....	104
Figura 28 - Superfície de resposta para o conteúdo de antocianinas monoméricas totais (mg/100 g) dos mirtilos frescos de acordo com as diferentes concentrações de etanol (% v/v) e valores de pH do solvente. Antocianinas monoméricas totais = $470,7588 + 29,6173 x_1 - 0,2908 x_1^2 + 255,8160 x_2 - 57,2279 x_2^2 + 0,4900 x_1 x_2$ ; $R^2 = 0,9164$ ; $x_1$ = variável codificada para concentração de etanol e $x_2$ = variável codificada para pH.....	111
Figura 29 - Função <i>Desirability</i> para otimização de DCCR na extração de antocianinas em mirtilos frescos.....	112
Figura 30 - (a) Superfície de resposta para o conteúdo de antocianinas monoméricas totais (mg / 100 g) das farinhas de mirtilo de acordo com as diferentes condições de temperatura (°C) e tempo (h). Antocianinas monoméricas	

$\text{totais} = -72727,1 - 407,4 x_1 + 5,1 x_1^2 + 3889,8 x_2^2 - 39,0 x_2^2 - 5,5 x_1 x_2$ ;  $R^2 = 0,9007$ ;  $x_1 = \text{variável codificada para temperatura e } x_2 = \text{tempo}$ . (b) Superfície de resposta para o conteúdo de umidade (%) das farinhas de mirtilo de acordo com as diferentes condições de temperatura (°C) e tempo (h). Umidade =  $- 61,3127 + 3,0267 x_1 - 0,0198 x_1^2 - 0,1450 x_2^2 + 0,0126 x_2^2 - 0,0202 x_1 x_2$ ;  $R^2 = 0,9008$ ;  $x_1 = \text{variável codificada para temperatura e } x_2 = \text{tempo}$ .....

124

Figura 31 - Funções *Desirability* para otimização em DCCR de desenvolvimento de farinhas de mirtilo.....

125

Figura 32 - (a) Superfície de resposta para o conteúdo de carotenoides totais ( $\mu\text{g}/100 \text{ g}$ ) das farinhas de fisális de acordo com as diferentes condições de temperatura (°C) e tempo (h). Carotenoides totais =  $59197,41 - 776,90 x_1 + 2,18 x_1^2 - 1408,56 x_2^2 + 7,18 x_2^2 + 14,80 x_1 x_2$ ;  $R^2 = 0,9179$ ;  $x_1 = \text{variável codificada para temperatura e } x_2 = \text{tempo}$ . (b) Superfície de resposta para o teor de umidade (%) das farinhas de fisális de acordo com as diferentes condições de temperatura (°C) e tempo (h). Umidade =  $120,0756 - 0,2535 x_1 - 0,0015 x_1^2 - 5,8722 x_2^2 + 0,0893 x_2^2 + 0,0046 x_1 x_2$ ;  $R^2 = 0,9302$ ;  $x_1 = \text{variável codificada para temperatura e } x_2 = \text{tempo}$ .....

130

Figura 33 - Função *Desirability* para otimização do DCCR para o desenvolvimento de farinha de fisális.....

132

Figura 34 - Imagens de: (a) Da esquerda para a direita: mirtilos descongelados, mirtilos desidratados e farinha de mirtilo; (b) Da esquerda para a direita: fisális descongelados, fisális desidratados e farinha de fisális.....

134

Figura 35 - Imagem das mortadelas durante o período de armazenamento.....

151

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição nutricional em 100 g de frutos de mirtilo.....	26
Tabela 2 - Antocianidinas de ocorrência natural mais comuns.....	28
Tabela 3 - Composição nutricional de fisális ( <i>Physalis peruviana L.</i> ).....	35
Tabela 4 - Valores utilizados no DCCR para extração de antocianinas de mirtilo...	58
Tabela 5 - Valores utilizados no DCCR para produção das farinhas de mirtilo e fisális.....	62
Tabela 6 - Lista de ingredientes e formulações de mortadelas.....	69
Tabela 7 - Percepção subjetiva da diferença de cor de amostras com diferenças globais ( $\Delta E^*$ ) determinadas.....	71
Tabela 8 - Escopo das buscas realizadas nas bases de dados de patentes.....	75
Tabela 9 - Lista com depositantes e títulos de patentes brasileiras relacionados ao fruto mirtilo.....	79
Tabela 10 - Códigos IPC utilizados nas patentes da área de alimentos.....	83
Tabela 11 - Resultados das buscas por artigos científicos nas bases de dados <i>Science Direct</i> , Periódicos Capes e <i>Scopus</i> .....	85
Tabela 12 - Artigos científicos de pesquisas brasileiras publicadas em periódicos referentes a aplicações de mirtilos.....	89
Tabela 13 - Artigos científicos referentes as aplicações de mirtilos em produtos cárneos.....	90
Tabela 14 - Escopo das buscas realizadas nas bases de dados de patentes.....	91
Tabela 15 - Lista com depositantes e títulos de patentes brasileiras relacionadas a aplicações de fisális no setor alimentício.....	95
Tabela 16 - Códigos IPC utilizados nas patentes da área de alimentos.....	99
Tabela 17 - Resultados das buscas por artigos científicos nas bases de dados <i>Science Direct</i> , Periódicos Capes e <i>Scopus</i> .....	101
Tabela 18 - Artigos científicos de pesquisas brasileiras sobre fisális, publicadas em periódicos, referentes à Ciência de Alimentos.....	105
Tabela 19 - Artigos científicos referentes às aplicações de fisális como produtos alimentícios.....	106

Tabela 20 - Matriz do delineamento experimental com os respectivos valores experimentais e os valores preditos de antocianinas monoméricas totais, a partir da extração em mirtilos.....	108
Tabela 21 - Coeficiente de regressão (CR) e análise de variância dos modelos de regressão para o conteúdo de antocianinas de mirtilos frescos.....	110
Tabela 22 - Valores preditos e experimentais das respostas em condições ideais..	113
Tabela 23 - Resultados de composição físico-química e atividade antioxidante dos frutos de mirtilo e fisális e comparação com dados da literatura.....	114
Tabela 24 - Perfil fenólico dos frutos mirtilo e fisális.....	118
Tabela 25 - Matriz do delineamento experimental com os respectivos valores experimentais (médias $\pm$ desvio padrão) e preditos de antocianinas monoméricas totais e de umidade em farinhas de mirtilo.....	121
Tabela 26 - Coeficientes de regressão (CR) e análise de variância dos modelos de regressão para o conteúdo de antocianinas de mirtilos frescos e conteúdo de antocianinas e umidade de farinhas de mirtilo.....	123
Tabela 27 - Valores preditos e experimentais das respostas em condições ideais..	126
Tabela 28 - Matriz do delineamento experimental com os respectivos valores experimentais (médias $\pm$ desvio padrão) e os valores preditos de carotenoides totais e de umidade em farinhas de fisális.....	126
Tabela 29 - Coeficiente de regressão (CR) e valores de p do modelo de regressão para o conteúdo de carotenoides totais e umidade das farinhas de fisális.....	129
Tabela 30 - Valores preditos e experimentais das respostas na condição ideal..	133
Tabela 31 - Composição físico-química, capacidade antioxidante e propriedades tecnológicas das farinhas de mirtilo (FM) e de fisális (FF).....	135
Tabela 32 - Perfil fenólico das farinhas de mirtilo (FM) e de fisális (FF).....	138
Tabela 33 - Resultados de antocianinas monoméricas totais (AMT), carotenoides totais (CT) e parâmetros de cor ( $L^*$ , $a^*$ e $b^*$ ) das farinhas durante os dias de armazenamento.....	141

Tabela 34 - Composição proximal (g/100 g) e $A_w$ de mortadelas com diferentes concentrações de farinha de mirtilo (FM) e de fisális (FF).....	144
Tabela 35 - Perfil de textura de mortadelas com diferentes concentrações de farinha de mirtilo (FM) e de fisális (FF).....	145
Tabela 36 - Resultados de pH das mortadelas durante o armazenamento.....	147
Tabela 37 - Parâmetros de cor ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ ) das mortadelas durante o armazenamento.....	149
Tabela 38 - Resultados de $\Delta E^*$ das mortadelas durante o armazenamento.....	150
Tabela 39 - Resultados de valor de peróxidos, TBARS e acidez total das mortadelas durante o armazenamento refrigerado.....	154
Tabela 40 - Resultados do teor de fenólicos totais (mg AGE/g) e atividade antioxidante (ABTS, DPPH e FRAP, em mmol TE/g) das mortadelas, antes e após digestão <i>in vitro</i> .....	159

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exemplos de farinhas de frutas e frutas desidratadas em pó.....	40
Quadro 2 - Aplicações de fontes de antocianinas como antioxidante natural em carnes e produtos cárneos.....	44

## LISTA DE SIGLAS

ABTS Ácido 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)

AMT Antocianinas monoméricas totais

AOAC Association of Official Analytical Collaboration International

Aw Atividade de água

CMS Carne mecanicamente separada

CR Coeficiente de regressão

CT Carotenoides totais

DPPH 2,2-difenil-1-picril-hidrazil

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUA Estados Unidos da América

FAPEMIG Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais

FRAP Poder antioxidante de redução do ferro

g grama

HPLC High Performance Liquid Chromatography

IN Instrução Normativa

Kg quilograma

L litro

LC-ESI-MS/MS Cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas por ionização de electrospray/espectrometria de massas sequencial

LC-MS/MS Cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas/espectrometria de massas sequencial

mg miligrama

mL mililitro

mm milímetro

MDA malondialdeído

N Newton

OCDC Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ORAC Oxygen Radical Absorbance Capacity

pH potencial hidrogeniônico

RDC Resolução da Diretoria Colegiada

RS Rio Grande do Sul

s segundo

SC Santa Catarina

TBARS substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico

UFV Universidade Federal de Viçosa

UV ultravioleta

WIPO Organização Mundial de Propriedade Intelectual



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
1.1 OBJETIVOS.....	21
1.1.1 Objetivo geral.....	21
1.1.2 Objetivos específicos.....	21
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>22</b>
2.1 MIRTILO.....	22
2.1.1 Aspectos produtivos e econômicos.....	23
2.1.2 Qualidade pós-colheita.....	24
2.1.3 Características físico-químicas e compostos bioativos.....	25
2.1.3.1 Antocianinas.....	27
2.2 FISÁLIS.....	31
2.2.1 Aspectos produtivos e econômicos.....	32
2.2.2 Qualidade pós-colheita.....	33
2.2.3 Características físico-químicas e compostos bioativos.....	34
2.2.3.1 Carotenoides.....	36
2.3 FARINHAS DE FRUTAS.....	38
2.4 ANTIOXIDANTES NATURAIS.....	40
2.5 UTILIZAÇÃO DE ANTIOXIDANTES EM PRODUTOS CÁRNEOS.....	44
2.6 REFORMULAÇÕES DOS PRODUTOS CÁRNEOS.....	46
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>49</b>
3.1 CAPÍTULO 1: PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA E CIENTÍFICA.....	50
3.2 CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS FRUTOS.....	53
3.2.1 Amostras de frutos.....	53
3.2.2 Tamanho e peso.....	53
3.2.3 Análise instrumental de cor.....	54
3.2.4 Determinação de pH.....	54
3.2.5 Determinação de atividade de água (Aw).....	54
3.2.6 Sólidos solúveis totais (SST).....	54
3.2.7 Acidez titulável em ácido orgânico.....	54
3.2.8 Análises de composição proximal.....	55
3.2.9 Determinação do teor de fenólicos totais.....	55

3.2.10	Análise do perfil de fenólicos por LC-MS/MS.....	55
3.2.11	Determinação de flavonoides totais.....	56
3.2.12	Determinação de ácido ascórbico.....	57
3.2.13	Determinação de carotenoides totais.....	57
3.2.14	Delineamento experimental para extração das antocianinas.....	57
3.2.15	Extração e quantificação das antocianinas monoméricas totais.....	58
3.2.16	Ensaio <i>in vitro</i> para determinação da atividade antioxidante: captura do radical livre ABTS <sup>+</sup> , captura do radical livre DPPH e poder antioxidante de redução do ferro (FRAP) .....	59
3.2.17	Análise estatística.....	60
3.2.18	Verificação de condições otimizadas e modelo preditivo para extração de antocianinas.....	60
3.3	CAPÍTULO 3: PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, TECNOLÓGICA E ANTIOXIDANTE DE FARINHAS DE MIRTILO E FISÁLIS.....	61
3.3.1	Produção de farinhas de mirtilo e fisális.....	61
3.3.2	Delineamento experimental para produção de farinhas de mirtilo e fisális.....	61
3.3.3	Determinação do teor de umidade, antocianinas monoméricas totais das farinhas de mirtilo e carotenoides totais das farinhas de fisális.....	62
3.3.4	Caracterização físico-química das farinhas de mirtilo e fisális.....	63
3.3.4.1	Avaliação da estabilidade dos pigmentos.....	64
3.3.5	Caracterização tecnológica das farinhas de mirtilo e fisális.....	64
3.3.5.1	Determinação da capacidade de retenção de água.....	64
3.3.5.2	Determinação da capacidade de retenção de óleo.....	65
3.3.5.3	Determinação da densidade aparente ( <i>bulk</i> ) .....	65
3.3.5.4	Determinação da atividade emulsionante e estabilidade de emulsão.....	65
3.3.6	Ensaio <i>in vitro</i> para determinação da atividade antioxidante: captura do radical livre ABTS <sup>+</sup> , captura do radical livre DPPH e poder antioxidante de redução do ferro (FRAP).....	66
3.3.7	Análise estatística.....	66
3.3.8	Verificação de condições otimizadas e modelo preditivo para produção de farinhas de mirtilo e fisális.....	67

3.4	CAPÍTULO 4: DESENVOLVIMENTO DE MORTADELAS COM APLICAÇÃO DE FARINHAS DE MIRTILO E DE FISÁLIS COMO FONTES DE ANTIOXIDANTES NATURAIS E AVALIAÇÃO DE SUAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E ESTABILIDADE OXIDATIVA, ANTES E APÓS SIMULAÇÃO DE DIGESTÃO <i>IN VITRO</i> .....	68
3.4.1	<b>Desenvolvimento do produto</b> .....	68
3.4.2	<b>Avaliação físico-química</b> .....	71
3.4.2.1	<i>Análise instrumental de textura</i> .....	72
3.4.2.2	<i>Índice de peróxidos</i> .....	72
3.4.2.3	<i>Índice de acidez</i> .....	72
3.4.2.4	<i>Teste do ácido tiobarbitúrico</i> .....	73
3.4.3	<b>Simulação de digestão <i>in vitro</i></b> .....	73
3.4.4	<b>Análise estatística</b> .....	74
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	75
4.1	CAPÍTULO 1: PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA E CIENTÍFICA.....	75
4.1.1	<b>Prospecção tecnológica e científica: o mirtilo e suas aplicações em produtos cárneos</b> .....	75
4.1.2	<b>Conclusões</b> .....	91
4.1.3	<b>Fisális e suas potencialidades como ingrediente alimentar: uma prospecção tecnológica e científica</b> .....	90
4.1.4	<b>Conclusões</b> .....	106
4.2	CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS FRUTOS.....	107
4.2.1	<b>Delineamento experimental para extração de antocianinas</b> .....	107
4.2.2	<b>Construção do modelo de segunda ordem e análise estatística</b> .....	109
4.2.3	<b>Efeitos das variáveis de processo na extração das antocianinas em mirtilos frescos</b> .....	109
4.2.4	<b>Determinação das condições ótimas para extração de antocianinas</b> .....	111
4.2.5	<b>Verificação das condições otimizadas e validação do modelo preditivo</b> ...	112
4.2.6	<b>Composição físico-química e atividade antioxidante dos frutos</b> .....	113
4.2.7	<b>Perfil de fenólicos dos frutos por LC-MS/MS</b> .....	117
4.2.8	<b>Conclusões</b> .....	119

4.3	CAPÍTULO 3: DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, TECNOLÓGICA E ANTIOXIDANTE DE FARINHAS DE MIRTILO E FISÁLIS.....	120
4.3.1	Delineamento experimental para produção de farinha de mirtilo.....	120
4.3.2	Construção dos modelos de segunda ordem e análise estatística.....	121
4.3.3	Efeitos das variáveis de processo na extração das antocianinas e na umidade das farinhas de mirtilo.....	122
4.3.4	Determinação das condições ótimas.....	124
4.3.5	Verificação das condições otimizadas e validação do modelo preditivo...	125
4.3.6	Delineamento experimental para produção de farinha de fisális.....	126
4.3.7	Construção dos modelos de segunda ordem e análise estatística.....	128
4.3.8	Efeitos das variáveis de processo no conteúdo de carotenoides totais e umidade das farinhas de fisális.....	129
4.3.9	Determinação das condições ótimas.....	131
4.3.10	Verificação das condições otimizadas e validação do modelo preditivo.....	132
4.3.11	Composição físico-química e atividade antioxidante das farinhas.....	133
4.3.12	Perfil de fenólicos das farinhas de mirtilo e de fisális por LC-MS/MS..	138
4.3.13	Propriedades tecnológicas das farinhas.....	139
4.3.14	Estabilidade de cor e pigmentos das farinhas.....	140
4.3.15	Conclusões.....	142
4.4	CAPÍTULO 4: DESENVOLVIMENTO DE MORTADELAS COM APLICAÇÃO DE FARINHAS DE MIRTILO E DE FISÁLIS COMO FONTES DE ANTIOXIDANTES NATURAIS E AVALIAÇÃO DE SUAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E ESTABILIDADE OXIDATIVA, ANTES E APÓS SIMULAÇÃO DE DIGESTÃO <i>IN VITRO</i> .....	143
4.4.1	Composição proximal e $A_w$ das mortadelas.....	143
4.4.2	Análise do perfil de textura (TPA) das mortadelas.....	144
4.4.3	Resultados de pH das mortadelas.....	146
4.4.4	Resultados de cor das mortadelas.....	148
4.4.5	Índice de peróxidos.....	151
4.4.6	TBARS.....	152

4.4.7 Índice de acidez das mortadelas.....	151
4.4.8 Teor de fenólicos totais e atividade antioxidante (ABTS, DPPH E FRAP) antes e após digestão <i>in vitro</i> das mortadelas.....	156
4.4.9 Conclusões.....	160
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	162
REFERÊNCIAS.....	164
APÊNDICE A - Espectro de absorbância do extrato de fisális entre os comprimentos de onda de 200 a 600 nm.....	195
APÊNDICE B - Espectro de absorbância do extrato de mirtilo entre os comprimentos de onda de 500 a 540 nm.....	196
APÊNDICE C - ANOVA e parâmetros estatísticos do modelo para extração de antocianinas e desenvolvimento de farinha de mirtilo....	197
APÊNDICE D - ANOVA e parâmetros estatísticos do modelo para desenvolvimento de farinha de fisális.....	198

## 1 INTRODUÇÃO

O consumidor atual possui uma preocupação maior em relação à alimentação do que a tempos atrás. A busca por produtos saudáveis cresce de forma constante, dando-se preferência a alimentos naturais, ou a processados que possuam aditivos naturais em sua composição, principalmente em produtos cárneos (FLORES; TOLDRÁ, 2021).

A mortadela é um dos produtos cárneos de grande importância no setor de frios e embutidos. Seu consumo médio *per capita* no Brasil é de 0,438 kg/ano (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020). No passado, tinha um conceito de ser consumido por pessoas com baixa renda, mas com o aprimoramento da qualidade e a diversificação do produto, ganhou credibilidade e adeptos em todas as classes sociais (BARRETO *et al.*, 2017).

A indústria tem como desafio buscar alternativas para diminuir o uso de aditivos químicos, sem causar prejuízo à qualidade e à segurança alimentar dos produtos. Os principais motivos associados ao risco de carcinogenicidade gerado pelo consumo de carne estão relacionados à formação de compostos N-nitrosos, aminas heterocíclicas aromáticas, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, oxidantes lipídicos e ferro heme encontrado na carne vermelha (LEE *et al.*, 2020).

Nesse contexto, vem ganhando destaque o desenvolvimento de produtos cárneos com substituição parcial ou total de alguns ingredientes por substâncias naturais (BELLUCCI *et al.*, 2021a; ECHEGARAY *et al.*, 2018; JO *et al.*, 2020; SHIN *et al.*, 2017; ZAHIDI *et al.*, 2020). Em mortadelas, são citadas a adição de extrato de jabuticaba micro-encapsulada (BALDIN *et al.*, 2018) e de microcristais de curcumina (MURAOKA JÚNIOR *et al.*, 2019), como fontes de antioxidantes naturais.

Essas substâncias são geralmente extraídas de plantas, frutas e vegetais e apresentam alguma característica tecnológica viável, seja ela, conservante, antioxidante, entre outras (NIKMARAM *et al.*, 2018). Uma vez que o processamento é a principal fonte de instabilidade oxidativa, aliado às tendências dos consumidores em relação à redução de aditivos, o uso de antioxidantes vegetais em alimentos processados, pode ser um dos meios viáveis para a produção de derivados cárneos "clean label" (ESTÉVEZ, 2021).

A deterioração oxidativa dos lipídios e proteínas é a maior preocupação dos profissionais de alimentos, em relação aos produtos cárneos. A oxidação lipídica afeta as propriedades nutricionais e sensoriais dos alimentos, envolvendo a geração de compostos como malondialdeídos, além da deterioração da cor, textura e sabor (LORENZO; CARBALLO;

FRANCO, 2013). Seu controle costuma ser otimizado pelo emprego de técnicas de processamento e embalagens que excluem o oxigênio ou envolvem a utilização de aditivos químicos (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

O extrato de alecrim tem sido utilizado comercialmente com sucesso, como antioxidante natural em carnes. As plantas contêm diversos compostos fenólicos que estão distribuídos em larga escala em frutas, temperos, chás, café, sementes e grãos (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). As *berries* como o mirtilo são fontes naturais de compostos fenólicos solúveis tais como as antocianinas, tocoferóis, taninos e flavonoides, podendo atuar como antioxidantes (LORENZO *et al.*, 2018).

Frutos do gênero *Physalis* também apresentam importantes compostos bioativos, como carotenoides, ácido ascórbico, compostos fenólicos e fitoesteróis. Por isso, proporcionam vários benefícios à saúde, além de atuarem como antioxidantes (HU *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2018). A produção de farinhas de frutas pode ser uma alternativa viável, que evita desperdícios e possibilita o desenvolvimento de novos produtos com propriedades benéficas à saúde (GOLDMEYER *et al.*, 2014). Para isso, são utilizados frutos que não atendem aos padrões de comercialização em relação a cor, tamanho e aparência, além de ser uma forma de aplicação para o excedente de produção.

A incorporação de novos antioxidantes a produtos cárneos está aumentando gradativamente. A adição pode ser feita de forma direta, através de pós e extratos vegetais em embutidos, e por método de marinação ou injeção, em produtos íntegros (ESTÉVEZ; LORENZO, 2019). De acordo com Nikmaram (2018), mais pesquisas precisam ser conduzidas a fim de avaliar o efeito de diferentes extratos naturais, no aumento da vida de prateleira e nas propriedades nutricionais e tecnológicas de produtos cárneos. Os ensaios devem ser complementados com estudos sobre o possível efeito pró-oxidante destes compostos em doses elevadas, já que existe um equilíbrio muito sensível entre atividade antioxidante e pró-oxidante. Também deve-se considerar se os compostos responsáveis pela atividade antioxidante permanecem bioacessíveis após a ingestão a fim de serem biodisponibilizados como agentes antioxidantes exógenos (GRANATO; NUNES, 2016).

Neste contexto, o presente estudo traz como proposta, a aplicação de farinhas dos frutos mirtilo (*Vaccinium corymbosum*) e fisális (*Physalis peruviana*) em mortadela tipo Bologna, como substituto de antioxidante sintético. Este é o primeiro trabalho que utiliza estas farinhas em um produto cárneo emulsionado e avalia a sua bioacessibilidade e atividade antioxidante, após digestão *in vitro*. Desta forma, torna-se uma nova opção de produto ao setor cárneo, com aplicação de ingredientes naturais não disponíveis comercialmente.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Elaborar farinhas a partir de frutos de mirtilo (*Vaccinium Corymbosum*) e fisális (*Physalis peruviana*) e aplicar em formulações de mortadelas tipo Bologna como fonte de antioxidante natural, em substituição ao antioxidante sintético.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar prospecção científica e tecnológica quanto ao uso de mirtilos e de fisális em produtos cárneos;
- Caracterizar os frutos quanto à composição proximal (umidade, gordura, proteína, cinzas e carboidratos), peso e diâmetro médio, potencial hidrogeniônico (pH), atividade de água, acidez em ácido orgânico e teor de ácido ascórbico;
- Determinar o teor de fenólicos totais, de flavonoides totais e o perfil de fenólicos nos frutos, bem como o teor de antocianinas monoméricas totais nos frutos de mirtilos e de carotenoides totais nos frutos de fisális;
- Avaliar a atividade antioxidante dos frutos;
- Elaborar farinhas a partir de frutos de mirtilos e de fisális;
- Gerar modelos matemáticos preditivos para variáveis de interesse industrial (tempo e temperatura) através de metodologia de superfície de resposta, para produção das farinhas;
- Avaliar a qualidade físico-química, atividade antioxidante e propriedades tecnológicas das farinhas, com avaliação de cor e quantificação de pigmentos durante armazenamento;
- Caracterizar as farinhas quanto ao perfil de compostos fenólicos;
- Desenvolver formulações de mortadelas com aplicação das farinhas como fontes de antioxidantes naturais;
- Avaliar a qualidade físico-química das amostras de mortadelas;
- Determinar o teor de fenólicos totais e atividade antioxidante das mortadelas, antes e depois de simulação de digestão *in vitro*;
- Verificar a oxidação lipídica e outros parâmetros de qualidade durante armazenamento;



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MIRTILO

O mirtilo, ou *blueberry* (em inglês) e, ainda, arândano (em espanhol), tem sua origem nos Estados Unidos e no Canadá. É membro da família *Ericaceae*, subfamília *Vaccinoideae* e gênero *Vaccinium*. Frutos selvagens de *Vaccinium spp.* foram colhidos durante milhares de anos por povos indígenas, sendo domesticados no final do século XIX. As plantas foram inicialmente extraídas da natureza e transplantadas para os campos da região da Nova Inglaterra e também da Flórida, nos Estados Unidos (RETAMALES; HANCOCK, 2018).

O fruto é uma baga de cor azul-escura, de formato achatado, cercado pelos lóbulos do cálice e com aproximadamente 1 a 2,5 cm de diâmetro e 1,5 a 4 g de peso. Apresenta em seu interior muitas sementes e tem sabor doce-ácido a ácido. A planta tem porte arbustivo ou rasteiro e apresenta hábito caducifólio. Para a produção comercial, é fundamental a presença de abelhas para a realização da polinização (FACHINELLO, 2008).

O *Vaccinium corymbosum* foi cultivado pela primeira vez em 1908, por Frederick Coville, do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Ele foi o primeiro a estabelecer os requisitos fundamentais dessas plantas, determinando que os mirtilos necessitam de solos ácidos, úmidos e de um período de descanso em baixa temperatura (RETAMALES; HANCOCK, 2018).

Os tipos de mirtilos cultivados comercialmente dividem-se entre os grupos, *Highbush* (porte arbustivo alto com necessidade de frio hibernal entre 650 e 850 horas); *Half high* (arbusto de médio porte que envolve híbridos de *V. angustifolium* e *V. corymbosum*, com menor exigência em frio); *Southern highbush* (arbusto de porte alto, originário do sul dos Estados Unidos da América (EUA), no qual predomina a espécie *V. corymbosum* e apresenta baixa necessidade de frio); *Rabbiteye* (plantas de porte alto e baixa necessidade de frio); e, *Lowbush* (arbusto de pequeno porte, a maioria pertencente à espécie *V. angustifolium*, embora inclui-se neste grupo, o mirtilo do Canadá (*V. myrtilloides* e *V. Boreale*) (SANTOS; RASEIRA, 2002).

As espécies de mirtilo predominantemente cultivadas são *Vaccinium corymbosum* L. (mirtilo *highbush*), *Vaccinium virgatum* Ait. (mirtilo *rabbiteye*; sin. *Vaccinium ashei* Reade) e frutos nativos de *Vaccinium angustifolium* Ait. (*lowbush* mirtilo). Os cultivares *highbush* são separados em tipos do Norte, do Sul e intermediários, dependendo de seus requisitos de frio e robustez no inverno. Também são cultivados tipos de meia-altura que são híbridos de *highbush*

e espécies *lowbush* (RETAMALES; HANCOCK, 2018). Nos países europeus, existe uma versão própria de mirtilos, conhecidos como *bilberries* (*Vaccinium myrtillus L.*), que pertencem ao mesmo gênero e são semelhantes ao *blueberry Lowbush* norte-americano (ROUTRAY; ORSAT, 2011).

A introdução de mirtilos no Brasil foi realizada no ano de 1983, com cultivares de variedades do grupo *Rabbiteye* (popularmente chamadas de olho de coelho), oriundas da Universidade da Flórida (Estados Unidos). As plantas foram trazidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) - Clima Temperado (Pelotas - Rio Grande do Sul, RS), através do pesquisador Alverides Machado dos Santos. O objetivo era verificar a adaptação da espécie ao solo e clima brasileiros, e a primeira iniciativa comercial no País deu-se a partir de 1990, em Vacaria (RS) (ANTUNES, 2006).

A maior parte dos mirtileiros plantados no Sul do Brasil ainda corresponde a variedades do tipo *Rabbiteye*, no entanto, estas variedades não conseguem produzir adequadamente em regiões com menos de 200 horas de frio anual. A partir de 2004, iniciou-se o plantio de variedades do tipo *Southern Highbush* como ‘Misty’ e ‘O’Neal’, e em 2010, foram introduzidas as variedades de baixa exigência em frio ‘Emerald’, ‘Jewel’, ‘Primadonna’ e ‘Snowchaser’, através de uma empresa chilena-norte americana, que foram desenvolvidas pela Universidade da Flórida entre 1999 e 2005 (CANTUARIAS-AVILÉS *et al.*, 2014).

### 2.1.1 Aspectos produtivos e econômicos

O mirtilo (*Vaccinium spp.*) é amplamente popular entre os consumidores de países do Hemisfério Norte, devido ao seu alto valor nutritivo e sabor agradável, sendo conhecido como “fruto da longevidade” (CHU *et al.*, 2018). Sua produção mundial é estimada em 850.886 toneladas, na qual a América do Norte é responsável por 51,75% desse valor, a América do Sul por 21,2%, e a Europa, 19,8%. Os Estados Unidos, o maior produtor, contribui com 34,5% de todo o mirtilo produzido no mundo (FAO, 2020).

Na América do Sul, as primeiras plantações foram feitas no Chile na década de 1980 e na Argentina na década de 1990. Em 2014, havia 15.559 ha de mirtilos no Chile e 3.004 ha na Argentina. A área cultivada cresceu 629% no Chile entre 2003 e 2014 e 323% na Argentina. Produções significativas também surgiram no Peru (3.800 ha), Brasil (400 ha), Uruguai (368 ha) e Colômbia (220 ha) (RETAMALES; HANCOCK, 2018).

Muitos destes países beneficiam-se da possibilidade de produção durante a entressafra europeia e norte-americana. Uma parte da produção brasileira vai para exportação e outra é

absorvida no mercado interno, principalmente no estado de São Paulo. O Rio Grande do Sul é o estado que mais se destaca no cultivo do fruto (FACHINELLO, 2008).

Em Santa Catarina, vem se destacando a produção e comercialização de mirtilos (*Southern Highbush*) realizada na cidade de Itá, situada na região Oeste do estado. São 13 hectares em sistema de produção orgânico, com média de 2.500 plantas por hectare, e a safra anual, que vai de setembro a dezembro, é de aproximadamente 25 toneladas (ASBRAER, 2017).

A produção global de mirtilos do tipo *Highbush* expandiu devido ao aumento do consumo, que foi amplamente incentivado por campanhas de marketing que anunciam os múltiplos benefícios para a saúde proporcionados pelo fruto. Aliado a este aumento, está também o crescimento da produção orgânica de mirtilo. Este sistema produtivo vem tornando-se particularmente significativo no oeste dos Estados Unidos, com o estado de Washington liderando a produção na região (VETTER *et al.*, 2015).

Mesmo com produção menor do que as frutas tropicais, as frutas de clima temperado vêm ganhando importância socio-econômica nas regiões produtoras brasileiras, como Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais e Vale do São Francisco, tanto no cultivo, como em agroindústrias e agroturismo. Incluem-se no grupo das pequenas frutas, como as amoras, morangos, framboesas, fisális e mirtilos. Os desafios encontrados são a adaptação das espécies às mudanças climáticas, o manejo pré e pós-colheita, logística de mercados, controle de pragas e redução no uso de agrotóxicos (FACHINELLO *et al.*, 2011).

O Brasil é um país com grandes potencialidades para a cultura do mirtilo. A espécie apresenta algumas vantagens comparativas que podem representar ganhos expressivos ao produtor, como o valor agregado da fruta e a ampla possibilidade de industrialização. Várias Instituições estão envolvidas com a viabilização desta cultura, como a EMBRAPA, através de suas unidades Clima Temperado e Uva e Vinho, a Emater-RS, a Fepagro, Universidades, entre outras, vem trabalhando no sentido de desenvolver e transferir tecnologias que possam contribuir com conhecimento e consolidar o sistema de produção que se traduza em máxima qualidade de frutos e rentabilidade do empreendimento (HOFFMANN; ANTUNES, 2004).

### **2.1.2 Qualidade pós-colheita**

O mirtilo é especialmente suscetível a danos mecânicos durante a classificação, embalagem, transporte, armazenamento e processamento. A quebra do tecido e a oxidação de compostos fenólicos causa escurecimento interno, e a maioria dessas reações estão direta ou

indiretamente relacionadas à enzima polifenol oxidase (PPO). Isto leva a mudanças indesejáveis no sabor, cor e valor nutricional, desempenhando um papel na degradação oxidativa das antocianinas (WEI *et al.*, 2021).

A remoção da cera natural do mirtilo acelera a perda e a decomposição da água após a colheita e reduz as qualidades sensoriais e nutricionais da fruta. O possível mecanismo para esses efeitos pode ser atribuído ao acúmulo de radicais livres e à diminuição da capacidade de defesa do sistema antioxidante após a remoção da cera, resultando em danos à membrana intracelular e à senescência de frutos. Dessa forma, a cera natural desempenha um papel vital na manutenção da qualidade pós-colheita dos frutos de mirtilo e atrasa sua senescência (CHU *et al.*, 2018).

Frutas frescas estão sujeitas a contaminação por fungos no campo, durante a colheita, transporte e distribuição. Por conterem altos níveis de açúcares e outros nutrientes, e baixo pH tornam-se particularmente suscetíveis à deterioração por fungos. Os mirtilos são mais resistentes à esta deterioração do que as outras culturas de *berries* devido à sua casca lisa e firme, o que os torna menos suscetíveis. Entretanto, os fungos mais comuns isolados são *Botrytis cinerea* Pers. ex Fr. e *Alternaria*, seguido por *Fusarium spp.*, *Penicillium spp.*, *Cladosporium spp.*, *Trichoderma spp.*, *Aureobasidium spp.* e leveduras (RETAMALES; HANCOCK, 2018).

Os mirtilos colhidos devem ser resfriados o mais rápido possível, devendo chegar a 1 °C em até 4 horas após a colheita. Essa redução rápida de temperatura aumenta sua vida útil em até oito a dez vezes em relação às frutas não resfriadas. Após o resfriamento, recomenda-se que sejam mantidas entre 0-1°C e 85-95% de umidade relativa. Nessas condições, os mirtilos podem manter uma condição aceitável por até sete semanas, dependendo do tipo de cultivar (BRACKMANN *et al.*, 2010; SCHOTSMANS; MOLAN; MACKAY, 2007).

### **2.1.3 Características físico-químicas e compostos bioativos**

As *berries* são uma classe de frutas com elevada bioatividade. O mirtilo é composto principalmente por água, carboidratos e fibras, apresentado um baixo valor calórico. É rico em nutrientes, entre os quais destacam-se vários minerais e vitaminas. A Tabela 1 apresenta a composição nutricional do fruto, em relação à macro e micronutrientes.

Tabela 1 - Composição nutricional em 100 g de frutos de mirtilo.

Nome	Quantidade em 100 g de fruto	Unidade	Nome	Quantidade em 100 g de fruto	Unidade
Água	84,21	g	Niacina (vitamina B3)	0,418	mg
Energia	57	kcal	Vitamina B6	0,052	mg
Proteína	0,74	g	Folato (vitamina B9)	6	µg
Lipídios totais	0,33	g	Colina (vitamina B8)	6	mg
Carboidratos	14,49	g	Vitamina A	3	µg
Fibra total dietética	2,4	g	Beta-caroteno	32	µg
Açúcares	9,96	g	Luteína + zeaxantina	80	µg
Cálcio	6	mg	Vitamina E ( $\alpha$ -tocoferol)	0,57	mg
Ferro	0,28	mg	Vitamina K	19,3	µg
Magnésio	6	mg	Ácidos graxos saturados, total	0,028	g
Fósforo	12	mg	Ácido palmítico (C16:0)	0,017	g
Potássio	77	mg	Ácido esteárico (C18:0)	0,005	g
Sódio	1	mg	Ácidos graxos monoinsaturados, total	0,047	g
Zinco	0,16	mg	Ácido palmitoleico (C16:1)	0,002	g
Cobre	0,057	mg	Ácido oleico (C18:1)	0,047	g
Selênio	0,1	µg	Ácidos graxos polinsaturados, total	0,146	g
Vitamina C	9,7	mg	Ácido linoleico (C18:2)	0,088	g
Tiamina (vitamina B1)	0,037	mg	Ácido $\alpha$ -linolênico (C18:3)	0,058	g
Riboflavina (vitamina B2)	0,041	mg			

Fonte: USDA (2020).

O sabor e a composição do mirtilo variam devido à maturidade, tipo e cultivar. Além disso, há variações na própria fruta, pois as cascas possuem quantidades mais elevadas de antocianinas, fenólicos totais e de atividade antioxidante comparada às frações de polpa e sementes (LEE; WROLSTAD, 2004).

Existem vários fatores que impactam o sabor de mirtilos frescos, como os açúcares naturais, ácidos naturais e, possivelmente, a composição de polifenóis. O ácido cítrico (75%) é o ácido orgânico predominante em mirtilos *Highbush*, seguido pelo succínico (17%) com quantidades equivalentes de ácido málico e quínico. Mirtilos do tipo *Highbush* tendem a ter uma doçura mais acentuada do que mirtilos *Rabbiteye* e estão se tornando mais popular entre os consumidores (BETT-GARBER *et al.*, 2015). As contribuições para o sabor dependem não

só dos níveis de açúcar e ácido, mas também dos tipos e proporções relativas entre eles (ZHANG *et al.*, 2020).

A cor do mirtilo *Highbush* é um atributo altamente complexo afetado por parâmetros químicos e físicos. A cor azul claro dos mirtilos frescos é determinada pela quantidade de cera e o teor de antocianina da casca. A maioria dos pigmentos de antocianina são formados durante os 6 dias após o desenvolvimento da cor vermelha (RETAMALES; HANCOCK, 2018).

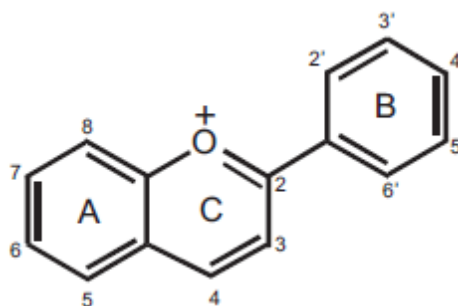
As antocianinas são responsáveis por até 60% dos compostos fenólicos totais em mirtilos maduros, contribuindo com a maior parte dos benefícios à saúde atribuídos ao fruto. Os compostos polifenólicos dos mirtilos incluem os tipos flavonoides e não flavonoides. Os flavonoides (C6-C3-C6; anel A – Anel C – Anel B, Figura 1) são uma grande classe de compostos polifenólicos de baixa massa molecular, com importantes funções nas plantas, incluindo ação antioxidante (GOMES *et al.*, 2016). Dentre os flavonoides incluem-se as proantocianidinas e os flavonóis. Na classe dos não flavonoides estão os ésteres do ácido hidroxicinâmico, especialmente o ácido clorogênico (KALT *et al.*, 2020).

Em um estudo realizado por Pertuzatti *et al.* (2021), quarenta e quatro flavonóis foram encontrados no mirtilo. Diferenças nos principais flavonóis foram detectadas de acordo com o grupo, por exemplo, os do tipo *Highbush* apresentaram quercetina-3-galactosídeo como composto primário e grandes quantidades de quercetina-3-glicosídeo.

### 2.1.3.1 Antocianinas

As antocianinas pertencem à família dos flavonoides e sua estrutura básica consiste em uma aglicona (antocianidina) derivada a partir do esqueleto 2-fenilbenzopirílio (flavílio) diversamente hidroxilado/metoxilado. As antocianinas são geralmente representadas como cátions de flavílio carregados positivamente, como mostra a Figura 1, que são as formas de equilíbrio dominantes em soluções aquosas fortemente ácidas (SANTOS-BUELGA; GONZALÉZ-PARAMÁS, 2019).

Figura 1 - Estrutura do cátion flavílio.



Fonte: Santos-Buelga e González-Paramás (2019).

As antocianinas constituem o maior e provavelmente o mais importante grupo de pigmentos naturais hidrossolúveis. Aproximadamente 30 antocianidinas foram identificadas na natureza, entretanto, apenas seis delas são comumente encontradas, e aproximadamente 95% de todas as antocianinas são derivadas dessas seis (agliconas): cianidina (cerca de 31%), delphinidina (22%), pelargonidina (18%), petunidina, peonidina e malvidina (21% juntas). Elas compartilham o mesmo padrão de hidroxilação nas posições 3, 5, 7 e 4', e diferem no número de grupos hidroxila e metoxila em 3' e 5' no anel B, conforme indicado na Tabela 2 (HE; GIUSTI, 2010).

Tabela 2 - Antocianidinas de ocorrência natural mais comuns.

<b>Antocianidinas comuns</b>	<b>Substituição</b>
Pelargonidina (Pg)	3,5,7,4'-OH
Cianidina (Cy)	3,5,7,3',4'-OH
Delfinidina (Dp)	3,5,7,3',4',5'-OH
Peonidina(Pn)	3,5,7,4'-OH; 3'-OCH <sub>3</sub>
Petunidina(Pt)	3,5,7,4',5'-OH; 3'-OCH <sub>3</sub>
Malvidina (Mv)	3,5,7,4'-OH; 3',5'-OCH <sub>3</sub>

Fonte: Adaptado de Santos-Buelga e González-Paramás (2019).

As antocianinas são responsáveis pelas cores atrativas de vermelho, roxo e azul de muitas frutas, vegetais, flores e grãos de cereais. Nas plantas, eles servem como atrativos para a polinização e dispersão de sementes, dão proteção contra os efeitos nocivos da irradiação ultravioleta (UV) e fornecem atividades antivirais e antimicrobianas. A variação estrutural (substituição do anel B, substituição glicosídica e acilação) produz uma multiplicidade (mais de 400) de antocianinas. A intensidade e o tom da cor, bem como a estabilidade, são marcadamente afetados pelo pH, que pode ser uma limitação importante para muitas aplicações

alimentares. O aumento da substituição glicosídica e da acilação com ácidos cinâmicos melhora a estabilidade do pigmento. No entanto, a matriz na qual os pigmentos existem pode ter um impacto muito maior na degradação do pigmento. Pigmentos de antocianina são sequestradores muito eficazes de radicais livres (WROLSTAD, 2004).

Em relação aos benefícios ocasionados pelos mirtilos, a propriedade mais relevante é sua capacidade antioxidante. De acordo com Prior (1998), em uma avaliação feita com 42 tipos de frutas e vegetais, o mirtilo foi o que apresentou a maior atividade antioxidativa. Muitos efeitos benéficos à saúde são relatados na literatura, como atividades anti-hiperglicêmica e anti-hiperlipidêmica (ASGARY *et al.*, 2016); melhora na saúde cardiovascular (CASSIDY; MINIHANE, 2017); efeito anticancerígeno (CHENG *et al.*, 2020; SEERAMET *et al.*, 2006; WANG *et al.*, 2017) e antidepressivo (FISK *et al.*, 2020; GAPSKI *et al.*, 2019); efeito protetor contra úlceras gástricas (SILVA, D., *et al.*, 2020) e contra danos cerebrais (BREWER *et al.*, 2010; POULOSE *et al.*, 2014; SHUKITT-HALE *et al.*, 2017); e, melhora de parâmetros funcionais pulmonares (TÜRCK *et al.*, 2020).

O mirtilo também apresenta propriedades antimicrobianas, como demonstrado por Pertuzatti *et al.* (2016) na avaliação de dez cultivares do tipo *Highbush* e *Rabbiteye* produzidas no estado do Rio Grande do Sul. Todas apresentaram atividade antimicrobiana contra *Escherichia coli* ATCC 11775, assim como em outros estudos, onde extratos de mirtilo mostraram-se inibidores de bactérias como *Vibrio cholerae* e *Listeria monocytogenes* (KHALIFA *et al.*, 2015), e *Salmonella Enteritidis* (SHEN *et al.*, 2014). Ao serem tratados com antocianinas extraídas de mirtilos, os patógenos de origem alimentar, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enteritidis* e *Vibrio parahaemolyticus*, tiveram sua taxa de multiplicação reduzida. Houve aumento da liberação de ácido nucleico e de proteínas, o que demonstrou que as antocianinas poderiam destruir a membrana celular dos microrganismos. Além disso, o conteúdo de proteína total e a atividade enzimática diminuíram após o tratamento (SUN *et al.*, 2018).

Os fenólicos são sintetizados pelas plantas como metabólitos secundários, para sobreviver às condições ambientais adversas, e caracterizam-se por um anel aromático ligado a uma ou mais hidroxilas, sendo os mais comuns ácidos fenólicos e flavonoides. Muitos estudos relatam que essas substâncias contribuem para a melhoria da saúde humana, com ação anti-inflamatória, inibição da agregação plaquetária, antimicrobiana e atividade antioxidante (MOREIRA; DIAS, 2018).

O mirtilo brasileiro tem uma alta relação entre a concentração de compostos fenólicos e antocianinas totais, além de uma pequena concentração de carotenoides. Esses compostos têm



uma correlação positiva com a atividade antioxidante, e diferenças significativas em suas concentrações são encontradas em diferentes cultivares, locais de cultivo e época de colheita (PERTUZATTI *et al.*, 2014).

A inibição da oxidação de lipídios e proteínas é o fator mais reconhecido na melhoria da qualidade de alimentos entre os efeitos antioxidantes dos fenólicos das *berries*. E esse efeito é principalmente associado ao conteúdo de antocianinas e proantocianidinas (HEINONEN, 2007).

A atividade antioxidante das antocianinas vem sendo demonstrada em muitos estudos. Lu *et al.* (2014) exploraram as propriedades antioxidantes de antocianidinas através de três principais mecanismos, que incluem a transferência de átomo de hidrogênio, a transferência de elétron único e a perda por transferência de elétrons. Liang *et al.* (2012) mostraram que após a simulação de digestão *in vitro*, as antocianinas extraídas de amoras (*Morus atropurpurea* Roxb) apresentaram boa atividade antioxidante através de fenólicos gerados após a degradação no ambiente intestinal.

Compostos fenólicos com grupos catecol são conhecidos por possuírem propriedades antioxidantes, relacionadas à sua capacidade de doação de átomos de hidrogênio fenólico para formar radicais fenoxil relativamente estáveis e com capacidade quelante de metais. Essa atividade é esperada para cianidina, delphinidina e petunidina, que, em contrapartida, são as antocianinas mais suscetíveis à oxidação. Por isso, a capacidade antioxidante das *berries* tem sido relacionada ao seu teor de antocianina, bem como seus efeitos protetores contra doenças degenerativas e crônicas (SANTOS-BUELGA; GONZÁLEZ-PARAMÁS, 2019).

Em relação a atividade antioxidante das antocianinas, a base chalcona e quinoidal com uma dupla ligação conjugada ao grupo ceto são eficientes antioxidantes na eliminação de radicais livres. Também a estrutura glicosilada do anel B da antocianina contribui para a alta atividade antioxidante, onde a orto-hidroxilação e a metoxilação substancialmente aumentam essa atividade. Estudos mostram que as antocianidinas tem um valor “Oxygen Radical Absorbance Capacity” (ORAC) mais alto do que as antocianinas. Uma das possíveis razões é a antocianina aglicona ser muito instável e altamente reativa. De fato, antocianina com a adição de um açúcar extra na posição C-3 no anel C heterocíclico, tem menor atividade antioxidante do que a antocianidina com uma única molécula de açúcar, e a acilação de antocianina com ácido fenólico tem um aumento significativo na atividade antioxidante. A diacilação da antocianina aumenta acentuadamente a atividade antioxidante, entretanto, a 5-glicosilação leva a uma redução na atividade (KHOO *et al.*, 2017).

## 2.2 FISÁLIS

A planta *Physalis L.*, conhecida como fisális ou physalis, em português; *uchuva*, *uvilla*, *aguaymanto* e *topotopo* em espanhol; e, *goldenberry* ou *cape gooseberry*, em inglês, é nativa da América do Sul. Existem várias espécies do gênero *Physalis* em todo o mundo, entretanto, algumas são tóxicas. As mais comumente encontradas são *Physalis angulata Linnaeus* (*P. angulata*), nativa do Brasil, que cresce espontaneamente, e *Physalis peruviana Linnaeus* (*P. peruviana*), cultivada comercialmente (PUENTE *et al.*, 2011). No entanto, existem outras espécies igualmente ricas em compostos bioativos, como *P. pubescens L.*, *P. minima L.* e *P. ixocarpa L.* (SILVA *et al.*, 2016).

A *Physalis peruviana Linnaeus*, pertence à família *Solanaceae* e gênero *Physalis*, podendo ser encontrada em mais de 80 variedades. É uma herbácea, semi-arbustiva, ereta e planta perene em zonas subtropicais, podendo crescer até atingir 0,6 a 0,9 m, e em alguns casos podendo chegar até 1,8 m. A flor pode ser facilmente polinizada por insetos, vento e também por autopolinização. O fruto é considerado exótico com um sabor e aparência semelhantes a um tomate, porém, com um sabor (doce e azedo) muito mais acentuado (PUENTE *et al.*, 2011).

Desenvolve-se dentro de um cálice formado por cinco sépalas. O cálice protege o fruto contra insetos, pássaros, patógenos e condições climáticas adversas, e serve de fonte de carboidratos durante os primeiros 20 dias de crescimento. Quando maduro, apresenta coloração alaranjada, com diâmetro que oscila entre 1,25 e 2,50 centímetros (cm), e massa fresca entre 4 e 10 gramas (g). Cada planta produz de 2 a 3 quilogramas (kg) de fruto por safra (VELASQUEZ *et al.*, 2007).

A *Physalis peruviana L.* é uma das frutas tropicais mais promissoras e tem recebido crescente interesse mundial por seus compostos bioativos, seu potencial para cultivo intensivo e boa capacidade de armazenamento (ETZBACH *et al.*, 2018). A fruta é vendida de forma *in natura* ou processada, com uso em doces, sucos, geleias e ornamentação. No Brasil, é cultivada comercialmente principalmente nas regiões Sul e Centro-Oeste, porém há poucas informações sobre a safra. A *Physalis angulata*, nativa das regiões Norte e Nordeste do Brasil, não é explorada comercialmente (NUNES *et al.*, 2018) e seu uso é tradicionalmente aplicado na medicina popular e alimentação, sendo conhecida como camapu, saco de bode, mulaca, joá e joá de capote (MUNIZ, 2011).

Frutos de *Physalis spp.* representam um ingrediente muito popular na dieta mexicana, sendo usado para preparar principalmente molhos suplementados com pimentas (*Capsicum spp.*) (GONZÁLEZ-MENDOZA *et al.*, 2011). Como estes frutos possuem uma grande

variedade de genótipos, podem ser utilizadas no preparo de diversos produtos. As variedades mais cultivadas são “Giant Poha Berry”, “Golden Berry”, “Giallo Grosso”, “Goldenberry”, “Yellow Husk”, “Toma Verde”, “De Milpa”, “Purple”, “Tomate fraise”, “Golden Nugget”, “Purple Husk”, “Reendidore”, “Verde Puebla”, “Aunt Mollys” (MOUTINHO; FILIPE; CABRAL, 2020).

No Brasil, o cultivo de fisális teve seu início no ano de 1999, na Estação Experimental Santa Luzia (São Paulo, Brasil). A partir de 2008, novos fruticultores começaram a cultivar, e esta melhoria trouxe boas perspectivas e sucesso para a agricultura familiar. Mesmo assim, o cultivo da fisális é ainda recente no Brasil, mas em expansão no estado do Rio Grande do Sul, principalmente nas cidades de Vacaria, Roca Sales, Áurea e Santa Maria, assim como no estado de Santa Catarina, em Fraiburgo, Urupema e Lages (MUNIZ *et al.*, 2014).

### 2.2.1 Aspectos produtivos e econômicos

O cultivo de fisális vem se expandindo em países tropicais e subtropicais, sendo a Colômbia o maior produtor mundial. Depois dela, os principais produtores são Quênia, Zimbábue, Austrália, Nova Zelândia, Índia e Equador (FISCHER; ALMANZA-MERCHÁN; MIRANDA, 2014). Estes países exportam as frutas para outros países da América e, principalmente, para a Europa. Os principais importadores são Holanda, Alemanha, França, Inglaterra, Espanha, Bélgica, Suíça, Canadá, Estados Unidos, Itália e Brasil (RUFATO *et al.*, 2013). A exportação de fisális na Colômbia ocupa a segunda posição dentre as hortaliças e frutas frescas, perdendo apenas para a banana (FAO, 2014).

A produção do fruto na Colômbia no ano de 2018 foi de 16.109 toneladas, com uma área cultivada de 1312 hectares (SIOC, 2019). O desenvolvimento da tecnologia de produção no país tem sido feito, fundamentalmente, a partir do conhecimento empírico dos agricultores e de pesquisa em universidades. Em 2011, a área de produção era de 743 ha, com uma produção total de 10.771 t (FISCHER; ALMANZA-MERCHÁN; MIRANDA, 2014).

A fisális foi incorporada ao grupo de pequenas frutas com alto potencial produtivo para espécies tropicais e subtropicais. Uma única planta pode produzir até 300 frutos e as plantas bem cuidadas podem fornecer de 20 a 33 toneladas por hectare. Dessa forma, vem ganhando destaque tanto pela comercialização *in natura* quanto pelo processamento, pelo seu grande valor nutricional e econômico agregado a todas as partes da planta, o que se torna de particular interesse para a indústria alimentar (RAMADAN, 2011).

O custo de produção é acessível aos pequenos produtores, por necessitar de pequenas áreas para produção e possuir um retorno econômico consideravelmente alto. Atualmente é cultivada para fins comerciais em outras regiões do mundo, como terras altas de países tropicais e em vários subtropicais, incluindo Malásia, China e países do Caribe, entre outros. A planta cresce de forma selvagem nos trópicos altos entre 1500 e 3000 metros acima do nível do mar, e é bastante adaptável a uma ampla variedade de solos, sendo obtidas boas colheitas em solo arenoso pobre (PEREDA; NAZARENO; VITURRO, 2019; VELASQUEZ *et al.*, 2007).

No Brasil, apesar de ainda não ocorrer cultivo em grande escala, a *P. peruviana* é bem aceita no mercado centro-sul do país, chegando a apresentar consumo igual ou superior ao de outras frutas finas, como amora, pitaya, framboesa e cereja (MUNIZ; MOLINA; MUNIZ, 2015). O volume de comercialização tem aumentado nos últimos anos, obtendo-se um valor de aproximadamente 31 toneladas do produto em circulação na Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), no ano de 2013 (WATANABE; OLIVEIRA, 2014). A produção no país vem sendo estimulada por Institutos de Desenvolvimento Rural como a EMATER, por exemplo. O incentivo é dado pelo alto valor comercial do produto, além de vantagens como a rusticidade e a longevidade da planta, não havendo grandes problemas com doenças (EMATER, 2019).

### 2.2.2 Qualidade pós-colheita

Um dos fatores limitantes no manejo pós-colheita de fisális refere-se ao seu armazenamento. Por ser um fruto climatérico e possuir período de colheita extenso, seu manejo é dificultado, podendo interferir no processo de armazenamento, transporte e vida útil pós-colheita. A refrigeração é uma alternativa viável para o armazenamento dos frutos, pois controla algumas variáveis físico-químicas como pH, acidez titulável, sólidos solúveis, firmeza e cor, e que são relacionadas com a qualidade pós-colheita desses frutos no armazenamento (LIMA *et al.*, 2013).

O êxito no armazenamento de fisális deve-se a três parâmetros ambientais: temperatura, umidade relativa e concentração de etileno. Quando este é feito em temperaturas baixas (entre 4 a 10 °C), há um tempo de conservação de aproximadamente cinco semanas. Sob temperatura de 2 °C, os frutos podem manter-se por até alguns meses, se esta temperatura for mantida constante e sem oscilações. É conveniente que os frutos sejam submetidos a um pré-resfriamento, sob temperaturas intermediárias inicialmente. A umidade relativa deve oscilar

entre 80 e 90% e a produção de etileno é reduzida em frutos colhidos com o cálice, o qual pode atuar também como fonte de carboidratos, aumentando a vida útil pós-colheita. Além disso, o cálice protege os frutos contra danos físicos e mudanças bruscas de temperatura e umidade após a colheita (GALVIS; FISCHER; GORDILLO, 2005).

Durante o armazenamento pós-colheita ocorre o desenvolvimento dos carotenoides nos vegetais, além da fase de cultivo, especialmente em frutas climatéricas, que são normalmente colhidas no estágio verde maduro. A fruta é então amadurecida durante o armazenamento, quando os carotenoides são naturalmente sintetizados e acumulados. Dessa forma, as condições de armazenamento (temperatura, luz e atmosfera) afetam a biossíntese e o acúmulo de carotenoides, e algumas condições de armazenamento podem ser usadas como um estresse abiótico para melhorar a biossíntese desses pigmentos no pós-colheita. O aumento da produção de carotenoides pode estar relacionado à formação de radicais livres que é induzida pela condição de estresse. Várias substâncias protetoras e compostos antioxidantes, incluindo carotenoides, são sintetizados para prevenir danos oxidativos induzidos por radicais livres (NGAMWONGLUMLERT *et al.*, 2020).

A degradação dos carotenoides é causada principalmente pelas reações de oxidação e isomerização, que levam a uma diminuição da vermelhidão e amarelecimento do material vegetal. O oxigênio naturalmente causa oxidação de carotenoides e a reação pode ser catalisada por luz, calor, peróxido, íons metálicos e enzimas. A maioria dos carotenoides em plantas são isômeros *trans*, e a isomerização de *trans* para *cis*-isômeros ocorre durante o processamento de alimentos. Os principais fatores que promovem a isomerização de *trans* para *cis* são o calor e a luz, bem como a ação de ácidos. A isomerização destes pigmentos leva a atividades biológicas ligeiramente reduzidas e saturação de cor, e a oxidação leva à perda completa nas atividades e cor de carotenoides (NGAMWONGLUMLERT; DEVAHASTIN; CHIEWCHAN, 2017).

### **2.2.3 Características físico-químicas e compostos bioativos**

*Physalis sp.* tem despertado o interesse dos pesquisadores e consumidores devido ao seu grande número de constituintes químicos de interesse nutricional e farmacológico (MOREIRA *et al.*, 2020). A *P. peruviana* constitui uma boa fonte de pró-vitamina A, minerais, ácidos graxos, vitamina C e vitaminas do complexo B, além de apresentar baixo valor energético e alto teor de fibras (Tabela 3).

Tabela 3 - Composição nutricional de fisális (*Physalis peruviana L.*).

<b>Tipo</b>	<b>Nutriente</b>	<b>Valor</b>
Proximal	Água (g/100g)	85,4
	Energia (kcal/100g)	53
	Proteína (g/100g)	1,9
	Carboidratos (g/100g)	11,2
	Lipídios totais (g/100g)	0,7
	Fibra dietética (g/100g)	4,9
Minerais	Cálcio (mg/100g)	9,0
	Ferro (mg/100g)	1,0
	Magnésio (mg/100g)	22,3
	Fósforo (mg/100g)	40,0
Vitaminas	Vitamina C (mg/100g)	11,0
	Vitamina A (I.U)	720,0
	Tiamina (mg/100g)	0,11
	Riboflavina (mg/100g)	0,040
	Niacina (mg/100g)	1,0
Ácidos graxos	Ácido palmítico (% m/m)	9,38
	Ácido palmitoleico (% m/m)	0,71
	Ácido esteárico (% m/m)	2,67
	Ácido oleico (% m/m)	10,03
	Ácido linoleico (% m/m)	72,42
	Ácido $\alpha$ -linoleico (% m/m)	0,32
	Ácido araquidônico (% m/m)	1,36
	Ácido behênico (% m/m)	0,26
	Ácido lignocérico (% m/m)	0,24
	Saturados (% m/m)	12,87
	Monoinsaturados (% m/m)	10,71
	Polinsaturados (% m/m)	73,78

Fonte: Carrillo-Perdomo *et al.* (2015).

Em relação a minerais, Wojcieszek e Ruzik (2016) demonstraram que cobalto, cobre e selênio também estão presentes em *P. Peruviana* e são altamente bioacessíveis. Os frutos contêm aproximadamente 15% de sólidos solúveis, tendo a frutose como principal açúcar, que juntamente com os altos valores de fibra regulam os níveis de glicose no sangue e controlam a ingestão de calorias (RAMADAN, 2011).

Os componentes bioativos presentes no fruto de *P. peruviana L.* fazem com que este seja considerado um alimento natural funcional, pelas propriedades fisiológicas associadas à

sua composição nutricional. A presença de três fitoesteróis: campesterol,  $\beta$ -sitosterol e estigmasterol, é responsável por baixar os níveis de colesterol no sangue. Sua atividade antioxidante é associada aos níveis de polifenóis, carotenoides e de vitaminas A e C. Finalmente, a presença de fisalinas, característica do gênero *Physalis* e vitanolídeos, metabólitos secundários exclusivos da família *Solanaceae*, dão ao fruto de *P. peruviana* L. propriedades anti-inflamatórias, antimicrobianas e anticâncer, tornando-os substâncias de grande interesse para pesquisas (PUENTE *et al.*, 2011).

Os vitanolídeos são estruturas que consistem em uma espinha dorsal de esteroide ligado a uma lactona ou um de seus derivados produzidos por oxidação. Esta classe envolve uma estrutura do tipo ergostano em que C-22 e C-26 são oxidados de forma apropriada para formar um anel ( $\delta$ ) lactona. O grupo vitanolídeos é subdividido em grupos: vitafisalinas, fisalinas, nicandrenonas, jaborois, ixocarpalactonas, perulactonas, acnistinas e diversos outros esteroides. Esses compostos possuem várias atividades biológicas, e são principalmente distribuídos em 19 gêneros de *Solanaceae*, incluindo *Acnistus*, *Datura*, *Jaborosa*, *Nicandra*, *Physalis*, *Vassobia*, *Withania*, entre outros (GAO *et al.*, 2018).

O gênero *Physalis* é uma importante fonte deste tipo de moléculas naturais (HUANG *et al.*, 2020). Em *P. peruviana* aproximadamente 20 tipos de esteroides já foram identificados (CARRILLO-PERDOMO *et al.*, 2015). Nos últimos anos, os vitanolídeos estão ganhando cada vez mais atenção devido às suas diversas estruturas e efeitos biológicos (GAO *et al.*, 2018). Apresentam atividades farmacológicas significativas, incluindo antimicrobiana, antitumoral, anti-inflamatória, hepatoprotetora, imunomoduladora, antibacteriana e atividade repelente de insetos (BALLESTEROS-VIVAS *et al.*, 2019; FANG; LIU; LI, 2012; HASSAN *et al.*, 2017; SANG-NGERN *et al.*, 2016).

KASALI *et al.* (2013) demonstraram atividade antiglicêmica de *P. peruviana* através de extratos aquosos brutos das folhas em modelo animal, assim como Bernal *et al.* (2018), descreveram o potencial de ésteres de sacarose como inibidores de  $\alpha$ -glicosidase, o que também atribui efeito antiglicêmico a frutos de *P. peruviana*.

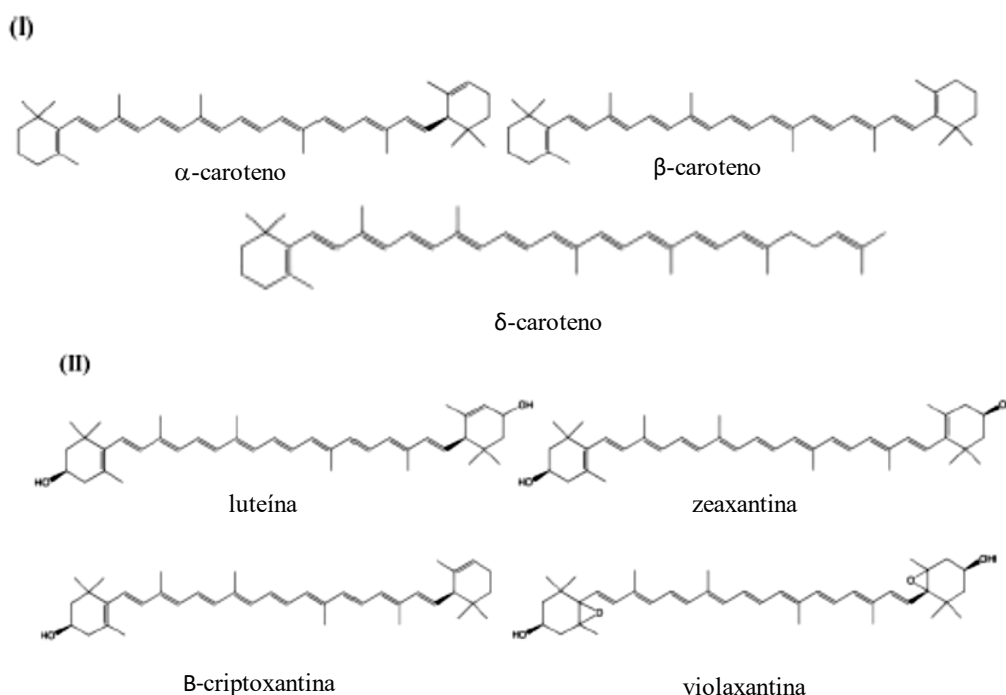
### 2.2.3.1 Carotenoides

Entre os metabólitos secundários das plantas, os carotenoides são um grupo de pigmentos naturais com grande interesse científico e muitos benefícios para a saúde. Em frutas e vegetais ocorrem na forma livre ou como ésteres de ácidos graxos, entretanto nem todas as

frutas ou vegetais sintetizam carotenoides esterificados. São pigmentos lipossolúveis responsáveis pelas cores amarelas, vermelhas e laranja de frutas, vegetais e flores.

De acordo com sua estrutura, dividem-se em dois grupos: carotenos e xantofilas. Os carotenos são constituídos por carbono e hidrogênio, enquanto que as xantofilas possuem também oxigênio em sua estrutura (NGAMWONGLUMLERT; DEVAHASTIN; CHIEWCHAN, 2017). Em frutos de *Physalis peruviana L.*, muitos carotenoides já foram identificados, como  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -criptoxantina e luteína (SINGH *et al.*, 2012). As estruturas químicas estão representadas na Figura 2.

Figura 2 - Estruturas químicas dos principais carotenos (I) e xantofilas (II).



Fonte: Adaptado de Ngamwonglumlert, Devahastin e Chiewchan (2017).

Em um estudo realizado por Etzbach *et al.* (2018) um total de 53 carotenoides foi detectado e 42 deles foram identificados nestes frutos. Foi confirmada a presença de ésteres de  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno e luteína em frutos maduros. Além disso, vários carotenoides não esterificados e ésteres de xantofila foram descritos.

O consumo de fontes ricas em carotenoides reduz os riscos de vários distúrbios e doenças causados por danos oxidativos, pois os carotenoides são potentes antioxidantes naturais. Associações entre estudos epidemiológicos e pré-clínicos sugerem consistentemente que os carotenoides dietéticos podem proteger contra a carcinogênese. Múltiplos mecanismos



de ação têm sido propostos em estudos pré-clínicos. Os carotenoides funcionam como antioxidantes, e vários deles podem reduzir o crescimento do câncer e aumentar a apoptose (ROWLES; ERDMAN Jr., 2020). A propriedade antioxidante dos carotenoides é devido à eliminação de espécies reativas de oxigênio (oxigênio singlete e radicais livres) (NGAMWONGLUMLERT; DEVAHASTIN, 2019).

Os seres humanos não são capazes de sintetizar carotenoides e, por isso, devem ingeri-los na alimentação ou por meio de suplementação. Eles têm uma série de funções na saúde humana. Além dos efeitos antioxidantes, individualmente alguns carotenoides também podem atuar por meio de outros mecanismos; por exemplo, o  $\beta$ -caroteno tem uma função pró-vitamina A, enquanto luteína e zeaxantina constituem o pigmento macular do olho. A luteína é associada à redução da progressão de doenças relacionadas com a idade ocular macular e catarata. Há evidências de que os carotenoides, além de efeitos benéficos à saúde ocular, também produzem melhorias na função cognitiva e saúde cardiovascular e podem ajudar a prevenir alguns tipos de câncer (EGGERSDORFER; WYSS, 2018).

O aspecto mais significativo dos carotenoides na dieta é a atividade antioxidante e de pró-vitamina A ( $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno e  $\beta$ -criptoxantina, principalmente), além da cor que elas conferem à nossa alimentação. A composição e a biodisponibilidade de carotenoides nos alimentos são significativamente influenciadas pelo processamento e outras tecnologias pós-colheita (SAINI; NILE; PARK, 2015).

### 2.3 FARINHAS DE FRUTAS

Em consequência ao aumento da produção de frutas como a fisális, nos últimos anos, seu processamento também tem aumentado. A quebra dos frutos e o amolecimento dos tecidos levam a perdas econômicas significativas para os agricultores após a colheita, tornando-se necessárias a aplicação de tecnologias para a valorização da produção. As formas mais comuns de utilização de frutos muito maduros são na produção de sucos e purês, nos quais o valor nutricional deve ser preservado (ETZBACH *et al.*, 2018).

Os mirtilos são processados de várias formas (congelados, secos, xaropes e purês, iogurtes, sucos, suplementos dietéticos, etc.) para agregação de valor. Além disso, as folhas de mirtilo podem ser secas e utilizadas para fazer chá. Os consumidores consideram os pratos com mirtilos (frescos ou processados) mais saudáveis do que os outros, e também os consideram mais atraentes (AGRMC, 2021).

Com o crescente interesse em alimentos funcionais e compostos bioativos, a indústria de alimentos e os produtores de alimentos continuam a procurar novas fontes vegetais com benefícios para a saúde e funcionalidade para sistemas alimentares, como viscosidade, geleificação, estabilização e emulsificação (HOTCHKISS *et al.*, 2021). Esta tendência do mercado global tem levado as indústrias de alimentos a investir no desenvolvimento de produtos inovadores contendo componentes bioativos (NERI-NUMA *et al.*, 2020). Processos de concentração e desidratação são realizados com o objetivo de reduzir o conteúdo de água de um alimento, aumentando conseqüentemente, sua concentração de solutos e diminuindo sua perecibilidade (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

As farinhas de frutas e as frutas desidratadas em pó atuam neste contexto como forma de agregar valor à produção, além de serem fonte de diferentes vitaminas, corantes naturais, minerais, fibras e antioxidantes (SALEHI; AGHAJANZADEHB, 2020). As farinhas de frutas são uma opção prática para regular o consumo de fibras dietéticas e para a manutenção da própria saúde (NASCIMENTO *et al.*, 2020), além de elevarem o valor nutricional e funcional em formulações de produtos, podendo substituir alguns ingredientes. A produção de farinhas e pós a partir de frutas desidratadas têm sido bastante relatados na literatura. O Quadro 1 apresenta alguns exemplos.

Para um produto ser definido como farinha, de acordo com a Legislação Brasileira (BRASIL, 2005), este deve ser “obtido de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas por moagem e ou outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos”, e designado em seguida, “com o (s) nome (s) comum (ns) da (s) espécie (s) vegetal (is) utilizada (s)”. Além disso, como requisito específico, deve conter no máximo 15,0 % (g/100g) de umidade (BRASIL, 2005).

A secagem de alimentos pode ser realizada por diferentes processos. As principais formas são por secagem convectiva, secagem a vácuo e liofilização. A secagem por convecção é um método barato e amplamente utilizado para a desidratação de frutas e vegetais, entretanto, é necessário evitar longos tempos de secagem e temperaturas muito altas para não danificar propriedades sensoriais e nutricionais do produto (WANG *et al.*, 2019).

A secagem a vácuo e a liofilização (TAN *et al.*, 2020), assim como outras tecnologias emergentes de desidratação de alimentos (MOHAMMED; EDNA; SIRAJ, 2020; RORATTO *et al.*, 2021; SRIWICHAI *et al.*, 2019) e processos não-térmicos, como secagem artificial com ozônio e UV (CHEN *et al.*, 2020), campo elétrico pulsado (IACCHERI *et al.*, 2021), entre outras, são utilizadas e relatadas na literatura, porém, ainda com pequena aplicação industrial, principalmente devido aos custos de implantação e necessidade de mão-de-obra especializada.

Quando as frutas e vegetais são secos no local onde são produzidos, diminuem-se as perdas dos alimentos, os custos e danos ocasionados no transporte e contribui para que os agricultores tenham uma renda maior (NAGWEKAR; TIDKE; THORAT, 2020). E nesse sentido, a tradicional secagem por convecção é um método simples, barato e de fácil implementação por parte dos fruticultores e de pequenas empresas familiares.

Quadro 1 - Exemplos de farinhas de frutas e frutas desidratadas em pó.

<b>Exemplo</b>	<b>Utilização</b>	<b>Fonte</b>
Farinha de kiwi ( <i>Actinidia deliciosa</i> )	Ingrediente como fonte de fibra dietética e antioxidante natural	Soquetta <i>et al.</i> (2016)
Farinha de mutamba ( <i>Guazuma ulmifolia</i> )	Substituto de farinha de trigo em pão	Assis <i>et al.</i> (2019)
Farinha de bagaço de fermentado de mirtilo	Ingrediente como fonte de substâncias nutritivas e bioativas	Goldmeyer <i>et al.</i> (2014)
Farinha de fruto do mangue ( <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> )	Substituto de farinha de trigo em <i>nuggets</i>	Amalia <i>et al.</i> (2016)
Farinhas de laranja, maracujá e melão	Ingrediente funcional de baixa caloria para produtos de panificação	Ferreira <i>et al.</i> (2015)
Farinha de fruta-pão ( <i>Artocarpus altilis</i> )	Ingrediente em emulsões cárneas	Huang <i>et al.</i> (2021)
Farinha de pequi ( <i>Caryocar brasiliense Camb.</i> )	Ingrediente como fonte de fibra dietética e antioxidante natural	Leão <i>et al.</i> (2017)
Farinha de buriti ( <i>Mauritia flexuosa L. f.</i> )	Ingrediente como fonte de fibra dietética e antioxidante natural	Resende; Franca; Oliveira (2019)
"Honeysuckle berries" ( <i>Lonicera caerulea</i> ) em pó	Ingrediente funcional rico em compostos bioativos	Oszmianski; Wojdyło; Lachowicz (2016)
Frutas secas em pó: maçã, marmelo, laranja, berries, uva, manga, pêssego e melão	Ingrediente funcional na produção de bolos para aumento do valor nutricional e qualidade de características físico-químicas	Salehi; Aghajanzadeh (2020)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

## 2.4 ANTIOXIDANTES NATURAIS

O uso de extratos vegetais ou seus derivados é uma crescente tendência para aplicação industrial em alimentos e bebidas. Muitas vezes, esses extratos são obtidos a partir de resíduos vegetais, o que é um fator relevante para o seu uso, por serem subprodutos e apresentarem elevado valor nutricional (BAZANA *et al.*, 2019). Muitas espécies vegetais são conhecidas por serem fontes naturais de antioxidantes, como ervas, especiarias, sementes, frutas e vegetais. O

interesse por esses componentes naturais não se dá somente pelo seu valor biológico, mas também pelo seu impacto econômico e a possibilidade de utilização de espécies vegetais subexploradas (LOURENÇO; MOLDÃO-MARTINS; ALVES, 2019).

Os antioxidantes alimentares têm sido extensivamente estudados na ciência dos alimentos, pelos benefícios à saúde que proporcionam, além dos efeitos conservantes nos alimentos. Há um crescente interesse entre os cientistas de alimentos no desenvolvimento *in vitro* e em ensaios *in vivo* para aprofundar o conhecimento sobre os efeitos fisiológicos dos antioxidantes no corpo humano (CÖMERT; GÖKMEN, 2018).

É importante avaliar a atividade antioxidante de uma amostra através da combinação de métodos, ao invés de se utilizar um método apenas. Os antioxidantes podem atuar mediante diferentes mecanismos, e em um mesmo alimento pode haver misturas de diferentes antioxidantes com variados mecanismos de ação em reações sinérgicas. Por isso, torna-se necessária a diversificação nas análises para considerar todas essas possibilidades de ação dos antioxidantes e a complexidade das amostras de alimentos (RUFINO; BRITO; ALVES, 2016).

A oxidação de lipídios é um dos problemas mais importantes que diminui a vida útil dos alimentos, especialmente de carnes e produtos cárneos. A reação é catalisada pela presença de oxigênio, íons metálicos, umidade, calor e luz, portanto, para preveni-la ou retardá-la, deve-se remover oxigênio e contato com metais, e os alimentos devem ser mantidos em baixas temperaturas e ao abrigo da luz (RATHER *et al.*, 2016).

Os lipídios podem ser oxidados por três formas principais que incluem reações complexas: auto-oxidação, oxidação enzimática e foto-oxidação. Entre os três mecanismos, a auto-oxidação, que é uma reação em cadeia contínua de radical livre, é o processo mais importante de oxidação de lipídios em carnes (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2019).

Na auto-oxidação, as reações de iniciação dão origem aos primeiros radicais livres. Esta reação envolve uma forma de oxigênio de alta energia, de vida curta, mas muito reativo, conhecido como oxigênio singlete. Nas reações de propagação, o oxigênio atmosférico reage com os radicais livres, gerando radicais peróxido, os quais seguem reagindo com outros ácidos graxos insaturados, produzindo hidroperóxidos e outros radicais livres. Na etapa final, a terminação, os radicais livres começam a reagir entre si, formando produtos estáveis (COULTATE, 2004).

Os radicais peroxil (ROO-) constituem um tipo muito importante de radicais livres. Eles são gerados durante a auto-oxidação lipídica (geralmente iniciada por HO-), que é um exemplo de reação em cadeia. A vida útil de ROO- mostrou ser relativamente longa (~ 7 s) e o raio de difusão significativo. Tal reação resulta na formação de espécies de hidroperóxidos (ROOH),

que, por sua vez, podem se reorganizar para formar endoperóxidos e, ainda, metabólitos, que são capazes de interagir com proteínas vizinhas (FIEDOR; BURDA, 2014).

Isso causa a produção de compostos químicos indesejáveis, como aldeídos, cetonas e ácidos orgânicos, levando à diminuição de vida de prateleira e valor nutricional de produtos alimentícios contendo lipídios. O impacto sensorial da oxidação lipídica é o ranço, responsável por mudanças nas propriedades do sabor (LOURENÇO; MOLDÃO-MARTINS; ALVES, 2019).

Por isso, os antioxidantes são usados para aumentar a estabilidade oxidativa através do controle de radicais livres, pró-oxidantes e intermediários da oxidação e dessa forma, retardar a oxidação lipídica e o desenvolvimento de sabores desagradáveis, como também melhorar a estabilidade da cor. Entretanto, a aplicação de antioxidantes sintéticos para prevenir o dano oxidativo pode ser considerado inseguro para os consumidores. Além disso, o recente interesse dos consumidores sobre esses riscos resultou na substituição de antioxidantes sintéticos por compostos bioativos naturais. Os materiais vegetais são ricas fontes de compostos fenólicos bioativos, podendo, portanto, ser uma alternativa eficaz aos antioxidantes sintéticos (AMINZARE *et al.*, 2019).

Os antioxidantes são compostos ou sistemas que podem interagir com os radicais livres e encerrar a reação em cadeia através de vários mecanismos: (I) espécies sequestradoras do início da peroxidação, (II) quelação de íons metálicos de modo que sejam incapazes de gerar espécies reativas ou decompor os peróxidos, (III) extinção de  $O_2^-$  para prevenir a formação de peróxidos, (IV) quebrar a reação em cadeia auto-oxidativa e / ou (V) redução das concentrações localizadas de  $O_2$  (OROIAN; ESCRICHE, 2015).

Existem diversos compostos obtidos de tecidos vegetais considerados fontes naturais contendo diferentes tipos de compostos antioxidantes (tocoferóis, ácido ascórbico, carotenoides e compostos fenólicos). Como uma classificação geral, os antioxidantes foram agrupados como vitaminas (ácido ascórbico, tocoferóis), carotenoides (xantofilas e carotenos), flavonoides (flavonas, isoflavonas, flavonóis, flavononas), ácidos fenólicos (ácido hidroxil-benzóico e ácido hidroxil-cinâmico), álcoois fenólicos, estilbenos, lignanos, taninos, antioxidantes contendo enxofre e compostos neoformados (melanoidinas) (CÖMERT; GÖKMEN, 2018).

Os carotenoides são antioxidantes naturais muito potentes. A desativação de  $O_2$  é baseada na conversão de um excesso de energia em calor por meio do estado triplete excitado mais baixo (FIEDOR; BURDA, 2014). O processo de exclusão do oxigênio singlete ocorre em duas etapas principais: na primeira, há transferência de energia entre o oxigênio singlete e as moléculas de carotenoides, e na segunda, o retorno ao estado fundamental dos carotenoides. Os

carotenoides interagem primeiro com o oxigênio singlete através da absorção de energia dele, resultando na formação de oxigênio triplete no estado fundamental e carotenoides tripletes excitados. Os carotenoides excitados retornam ao estado fundamental, convertendo o excesso de energia em calor. Neste processo, o efeito de dano que é causado pelos carotenoides excitados é principalmente negligenciado, uma vez que os carotenoides excitados possuem baixa energia e curta vida útil. Depois que os carotenoides excitados retornam ao estado fundamental, podem ser reutilizados para extinguir outro oxigênio singlete (FIEDOR; BURDA, 2014; NGAMWONGLUMLERT; DEVAHASTIN, 2019).

As antocianinas são consideradas como aditivos eficazes e seguros na indústria alimentar, porém seu uso é ainda limitado, devido à instabilidade decorrente de fatores como, pH, luz e reações com dióxido de enxofre, importante conservante em alimentos. Atuam na captura e neutralização de espécies oxidantes como o ânion superóxido ( $O_2^-$ ), radical hidroxila ou radical peróxido (SIMÕES *et al.*, 2007).

Em produtos cárneos, observou-se que as antocianinas têm sido utilizadas como antioxidantes naturais, sendo provenientes principalmente de *berries*, nativas do Hemisfério Norte (Europa e Ásia). Estes locais possuem uma diversidade destes pequenos frutos e, conseqüentemente, um maior número de aplicações em matrizes alimentares. No Quadro 2 foram sumarizadas as principais aplicações de antocianinas como fonte de antioxidante natural em carne e produtos cárneos. Como pode ser visualizado, as concentrações aplicadas aos produtos variam de acordo com o tipo de fruta e/ou com a concentração de fenólicos totais expressa em equivalentes de ácido gálico (AGE).

De acordo com Oswell, Thippareddi e Pegg (2018) há uma grande oportunidade para processadores de carnes utilizarem antioxidantes naturais em suas formulações para substituir ou suplementar aditivos sintéticos, mantendo assim a qualidade de seus produtos. Os fenólicos podem ser adicionados aos produtos, incorporados às embalagens ou revestidos em sua superfície, para reduzir a oxidação de lipídios e inibir o crescimento de microrganismos indesejáveis em alimentos à base de carne.

Entretanto, apesar desses compostos serem derivados de fontes naturais, suas aplicações em produtos alimentícios devem levar em consideração suas dosagens e possíveis efeitos toxicológicos. Além disso, efeitos negativos em atributos sensoriais, especialmente sabor e cor transmitidos por alguns compostos naturais, devem ser observados (LOURENÇO; MOLDÃO-MARTINS; ALVES, 2019).

Quadro 2 - Aplicações de fontes de antocianinas como antioxidante natural em carnes e produtos cárneos.

Produto	Fonte de antocianinas	Dose adicionada	Efeito na qualidade do produto cárneo	Referência
Peito de frango	Romã ( <i>Punica granatum</i> )	Imersão em água destilada estéril com 0,02% (v/v) de extrato de romã	Redução da oxidação lipídica avaliada por TBARS.	Vaithyanathan <i>et al.</i> (2011)
Salsicha	Frutos de medronheiro ( <i>Arbustus unedo</i> )	350 mg AGE/kg produto	Redução da oxidação lipídica (TBARS) em combinação com aditivos sintéticos (nitrito e ascorbato de sódio).	Armenteros <i>et al.</i> (2013)
Hambúrguer	Amora silvestre ( <i>Rubus ulmifolius</i> )	344 mL de extrato/kg produto	Redução da oxidação lipídica avaliada por TBARS.	Ganhão <i>et al.</i> (2013)
Hambúrguer	Frutos de <i>Nitraria retusa</i>	0,5%, 0,75% e 1% de extrato	Redução da oxidação lipídica avaliada por TBARS.	Mariem <i>et al.</i> (2014)
Linguiça suína	Frutos de aroeira ( <i>Pistacia lentiscus</i> )	300 mg extrato/kg produto	Redução da oxidação lipídica avaliada por TBARS.	Botsaris <i>et al.</i> (2015)
Carne suína moída	Frutos de espinheiro comum ( <i>Crataegus monogyna</i> )	100, 200 e 300 mg AGE/kg de carne	Redução da oxidação lipídica avaliada por TBARS e melhora na cor.	Papuc <i>et al.</i> (2018)
Hambúrguer e presunto cozido	<i>Cranberry</i>	2% de extrato	Redução da oxidação lipídica avaliada por TBARS.	Tamkutè <i>et al.</i> (2019)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

## 2.5 UTILIZAÇÃO DE ANTIOXIDANTES EM PRODUTOS CÁRNEOS

Os antioxidantes são adicionados à carne e produtos à base de carne durante o processamento para retardar a oxidação lipídica. Polifenóis e óleos essenciais de plantas são considerados como a principal fonte natural de compostos bioativos para aumentar a vida útil de carnes e produtos derivados. Entretanto, não são utilizados comercialmente como única fonte de antioxidante em produtos cárneos. Diferentes antioxidantes sintéticos, como butilado hidroxianisol (BHA), hidroxitolueno butilado (BHT), terc-butil hidroquinona (TBHQ), propil galato (PG), eritorbato, ascorbato e nitrito são usados na indústria da carne. Devido aos possíveis riscos à saúde e toxicidade destes compostos sintéticos na saúde humana e tendência

crecente no consumo de componentes naturais, seu uso tem sido limitado (AMINZARE *et al.*, 2019).

No Brasil estão autorizados para uso em carnes e produtos cárneos, de acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada – RDC n.º 272, de 14/03/2019 (BRASIL, 2019), os seguintes antioxidantes: ácido ascórbico, ascorbato de sódio, ascorbato de cálcio, ascorbato de potássio, ácido eritórbico, ácido isoascórbico, eritorbato de sódio, isoascorbato de sódio ( todos estes citados devem ser adicionados em quantidade suficiente); galato de propila e BHA (máximo de 0,01g/100g, sobre o teor de gorduras, sozinho ou em combinação e exclusivamente para elaboração de produtos congelados); d-alfa-tocoferol e mistura concentrada de tocoferóis (máximo de 0,03g/100g, sobre o teor de gordura, sozinho ou em combinação e somente para produtos à base de carne picada que contenha outros ingredientes). Entretanto, de maneira geral, os mais utilizados na indústria cárnea são os eritorbatos e os ascorbatos. Nos Estados Unidos é permitido o uso em carnes, de BHA, BHT, PG, TBHQ e tocoferóis (OSWELL; THIPPAREDDI; PEGG, 2018).

Como antioxidante natural, o extrato de alecrim é comercialmente disponível e bastante utilizado pelas indústrias cárneas (RIOS-MERA *et al.*, 2021a). Diversas pesquisas vêm sendo conduzidas para encontrar novas fontes naturais de antioxidantes em substituição aos sintéticos. Como exemplos tem-se, a investigação de espécies vegetais nativas dos Andes (*Plantago australis*, *Baccharis latifolia*, *Ageratina sternbergiana*, *Stevia macbridei*, *Ageratina cuzcoensis*, *Calceolaria myriophylla*, and *Adiantum orbignyianum*) (GONZALEZ; VILLENA; KITAZONO, 2021); extrato de pitaya vermelha (BELLUCCI *et al.*, 2021b); extrato de casca de romã (TURGUT; İŞIKÇI; SOYER, 2017); castanhas e seus subprodutos (ECHEGARAY *et al.*, 2018); diferentes tipos de *berries* (SKROVANKOVA *et al.*, 2015); extrato de cravo (ZAHID *et al.*, 2020); extrato de gengibre (ABDEL-NAEEM; MOHAMED, 2016); pistache (SADEGHINEJAD *et al.*, 2019), dentre outras.

Alguns exemplos de produtos naturais que são aplicados a produtos cárneos, incluem, alecrim (ou extrato de alecrim), alho, cebola, vinho tinto, vinagre, açafraão, gengibre, chá verde, semente de uva, capim-limão, folhas de *curry*, maçã, cerveja, bagaço de vinho, pimenta (vermelha, preta ou pimenta), óleos vegetais, semente de romã, vitamina C, limão, erva-doce, azeite e amoreira-preta (LEE *et al.*, 2020), em concentrações que geralmente variam de 0,02 a 2% (RIBEIRO *et al.*, 2019). Nesse contexto, os compostos fenólicos não devem afetar negativamente as características organolépticas; devem ser compatíveis com os produtos à base de carne; ter facilidade de aplicação; ser eficiente em baixas concentrações; e, estáveis durante o processamento e armazenamento (NIKMARAM *et al.*, 2018).



## 2.6 REFORMULAÇÕES DOS PRODUTOS CÁRNEOS

A carne e seus derivados são alimentos importantes que representam uma significativa porção do consumo na dieta diária humana. Nos produtos cárneos, as propriedades da carne fresca sofrem modificações através de tratamentos físicos, químicos ou biológicos visando prolongar sua vida útil, através da inibição de enzimas e microrganismos. Além disso, através do processamento da carne, é possível a utilização de partes dos animais de difícil comercialização em sua forma *in natura*, agregando valor e evitando desperdícios. Os processos de industrialização procuram manter as qualidades nutritivas, atribuem características sensoriais especiais de cor, sabor e aroma, próprias de cada produto (PARDI *et al.*, 2007).

A mortadela é um dos produtos cárneos que teve sua origem no Brasil a partir da chegada dos imigrantes italianos. Dessa forma passou a ser introduzida no cardápio dos moradores locais. É um produto cárneo consumido em todo o mundo e, no Brasil, apresenta um papel relevante na dieta, sendo fonte de proteína para a população. É popular entre as diversas faixas etárias, apresentando grande importância econômica (SILVESTRE *et al.*, 2015).

De acordo com a Instrução Normativa (IN) n.º 04 de 31/03/2000, a mortadela é definida como um produto cárneo industrializado obtido de uma emulsão das carnes de uma ou mais espécies de animais de açougue, adicionado ou não de toucinho e outros ingredientes, embutido em envoltório natural ou artificial de diferentes formas, submetido ao tratamento térmico adequado, defumado ou não. Estão classificadas de acordo com as técnicas de fabricação e características referentes à formulação, como tipos de cortes de carne, a quantidade de carne mecanicamente separada (CMS), entre outros (BRASIL, 2000).

Em relação à composição da matéria-prima e das técnicas de fabricação, a mortadela tipo Bologna é um produto com características intermediárias entre a mortadela comum e as mortadelas mais nobres, como Bologna e Italiana. Em sua formulação é permitido no máximo 20% de CMS e 10% de miúdos, peles e tendões. Quanto aos requisitos de qualidade, este produto deverá conter no máximo 7% de carboidratos totais (incluindo neste valor, o limite máximo de 2% de amido) (BRASIL, 2011); 65% de umidade; 30% de gordura e 0,3% de teor de cálcio (indicativo de adição de CMS). O limite mínimo de proteínas cárneas no produto final é de 12%, permitindo-se a adição de proteínas não cárneas em um limite máximo de 4% (BRASIL, 2000).

Produtos à base de carne têm sido alvo de muitas críticas, como contribuintes ao consumo de gordura, sal, colesterol, nitratos e outros produtos associados a preocupações com a saúde, como as nitrosaminas. Estudos desenvolvidos pela Agência Internacional para

Pesquisa do Câncer classificaram as carnes vermelhas no grupo 2 (provavelmente ou possivelmente carcinogênicas), e as carnes processadas como grupo 1 (carcinogênicas). Foi concluído que o consumo de 50 g de carne processada todos os dias, por muitos anos, aumenta em 18% o risco de câncer colorretal (IARC, 2018).

Numerosos estudos, incluindo o relatório da Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC), sugeriram que a razão para a carcinogenicidade do consumo de carne (carne vermelha e carne processada) está intimamente relacionado à formação de compostos N-nitroso (NOCs), aminas aromáticas heterocíclicas (HCAs), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), oxidantes lipídicos, e ferro heme encontrado na carne vermelha (LEE *et al.*, 2020). Atualmente, os consumidores têm várias preocupações em relação ao consumo de produtos cárneos curados. Saúde e questões de segurança, particularmente potenciais perigos químicos e microbianos, têm sido relacionados a estes produtos (FRAQUEZA *et al.*, 2021).

Devido também ao teor de gordura e colesterol, torna-se necessária a reformulação dos produtos cárneos, incorporando ingredientes bioativos ou através da eliminação/diminuição de ingredientes prejudiciais para alterar sua imagem entre os apreciadores de carne preocupados com a saúde. Assim, vários componentes bioativos, como antioxidantes, fibra alimentar, fitoquímicos, proteínas vegetais, etc. podem ser usados para melhorar as características nutricionais dos produtos cárneos (GRASSO *et al.*, 2014).

Exemplos de reformulações citados na literatura incluem, a redução de gordura e melhoramento do perfil lipídico de produtos (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2021; HERRERO; RUIZ-CAPILLAS, 2021); a utilização de óleos essenciais com ação antimicrobiana (PATEIRO *et al.*, 2021); a redução do conteúdo de sal (RIOS-MERA *et al.*, 2021b) e de nitrito de sódio na forma de conservante sintético (MUNEKATA *et al.*, 2021); além do processamento de produtos análogos à carne, baseados em plantas (SUN *et al.*, 2021).

Em formulações de mortadelas, alguns estudos descrevem formas de aplicação de produtos naturais, podendo-se citar: extrato de salsa como substituinte de nitrito de sódio (RIEL *et al.*, 2017); adição de óleo extraído da planta *Echium plantagineum* (fonte de ômega 3) e de farinha de chia (PIRES *et al.*, 2020) e, biomassa de banana verde (AURIEMA *et al.*, 2021) como substitutos de gordura; além de pasta de tomate para aumento do valor nutricional e atuação como antioxidante natural (DOMÉNECH-ASENSI *et al.*, 2013).

Visto que muitas indústrias de alimentos já estiveram envolvidas em fraudes, principalmente relacionadas à adição excessiva de aditivos alimentares ou ao uso de substâncias ilegais para aumentar o lucro e mascarar problemas nos produtos, o consumidor atual tem a percepção de que todo composto sintético adicionado a alimentos é potencialmente prejudicial.

Principalmente devido a essa desconfiança, as próximas gerações de aditivos de alimentos, seguindo a tendência, serão provenientes de fontes naturais para serem melhores aceitos pela população (CAROCHO; MORALES; FERREIRA, 2018).

As percepções do consumidor em relação a produtos de carne mais saudáveis são agora principalmente associadas à forma de como a carne é produzida e processada; à sua composição física e química; qualidade nutricional; propriedades sensoriais e sociais, além de aspectos éticos ou religiosos (TEIXEIRA; RODRIGUES, 2021).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A estrutura deste trabalho foi dividida em quatro capítulos. No Capítulo 1 foram realizadas prospecções científicas e tecnológicas em relação à utilização dos frutos mirtilo e fisális em formulações de produtos. A pesquisa foi aplicada com foco em produtos alimentícios, principalmente em produtos cárneos.

O Capítulo 2 descreve a caracterização dos frutos (mirtilo e fisális) através de análises físico-químicas e de atividade antioxidante. Neste capítulo também está descrito o planejamento experimental realizado para otimização do processo de extração das antocianinas dos frutos de mirtilo.

No Capítulo 3 foi realizado um delineamento experimental para o desenvolvimento de farinhas a partir dos frutos de mirtilo e fisális. Após a produção na condição otimizada, as farinhas foram caracterizadas a partir de avaliação físico-química e tecnológica, de atividade antioxidante e de estabilidade dos pigmentos durante armazenamento.

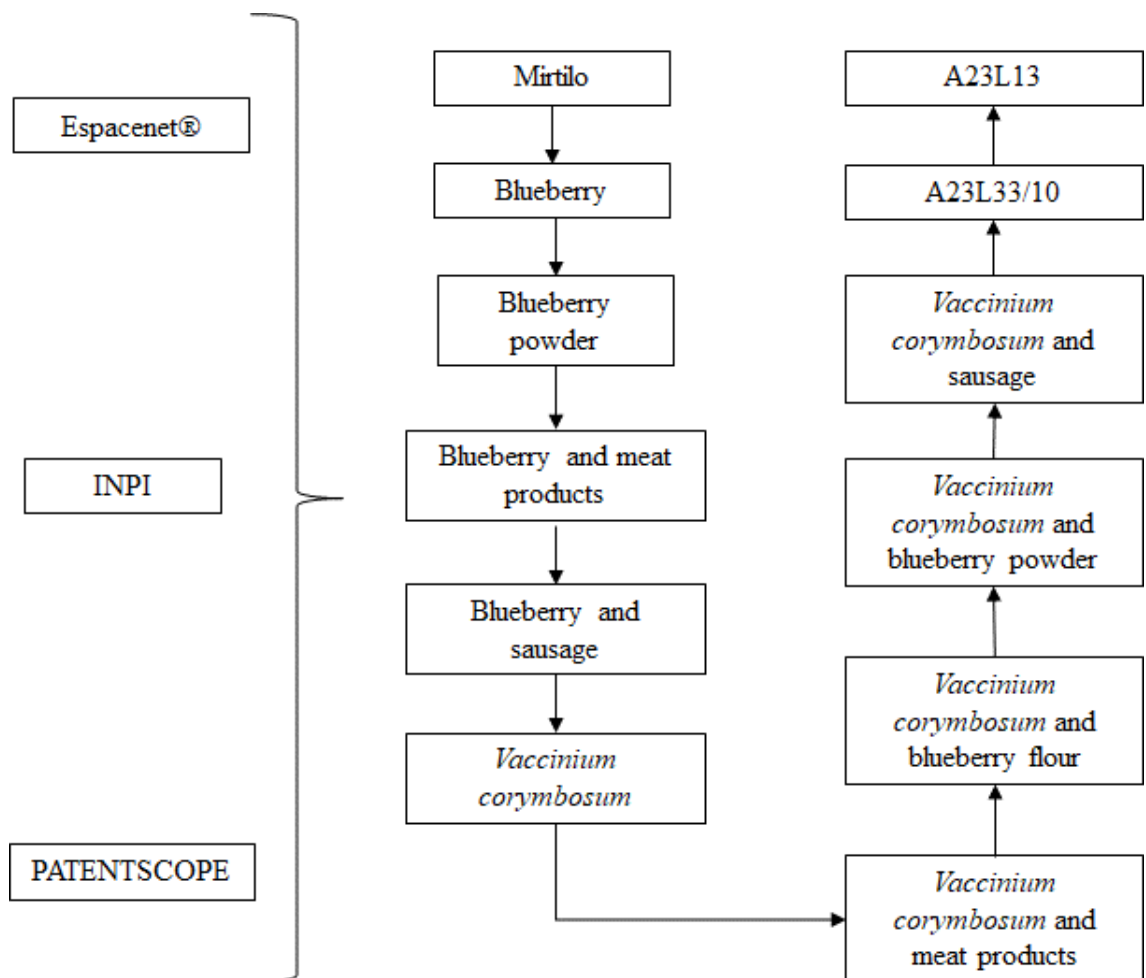
O Capítulo 4 apresenta o desenvolvimento de formulações, a produção de mortadelas do tipo Bologna com aplicação das farinhas de mirtilo e fisális e sua caracterização. As mortadelas foram avaliadas através de análises físico-químicas, de atividade antioxidante e de estabilidade frente à oxidação lipídica durante armazenamento. Também foram submetidas à simulação de digestão *in vitro* e avaliadas quanto ao teor de fenólicos totais e à atividade antioxidante antes e após esse processo.

### 3.1 CAPÍTULO 1: PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA E CIENTÍFICA

A metodologia utilizada para a realização da prospecção tecnológica relacionada a utilização de mirtilo como ingrediente alimentar foi baseada em buscas com palavras-chave em bases de dados de patentes. O mapeamento teve como objetivo determinar o quantitativo de patentes inseridas nos bancos de dados do *European Patent Office* (Espacenet®), do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e do *Patentscope*.

A Figura 3 apresenta um esquema com as palavras-chave e os códigos IPC (Classificação Internacional de Patentes) utilizados para realizar a busca de patentes.

Figura 3 - Esquema com as palavras-chave e os códigos IPC relacionados ao mirtilo utilizados para a busca de patentes nas bases de dados do do *European Patent Office* (Espacenet®), do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e do *Patentscope*.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

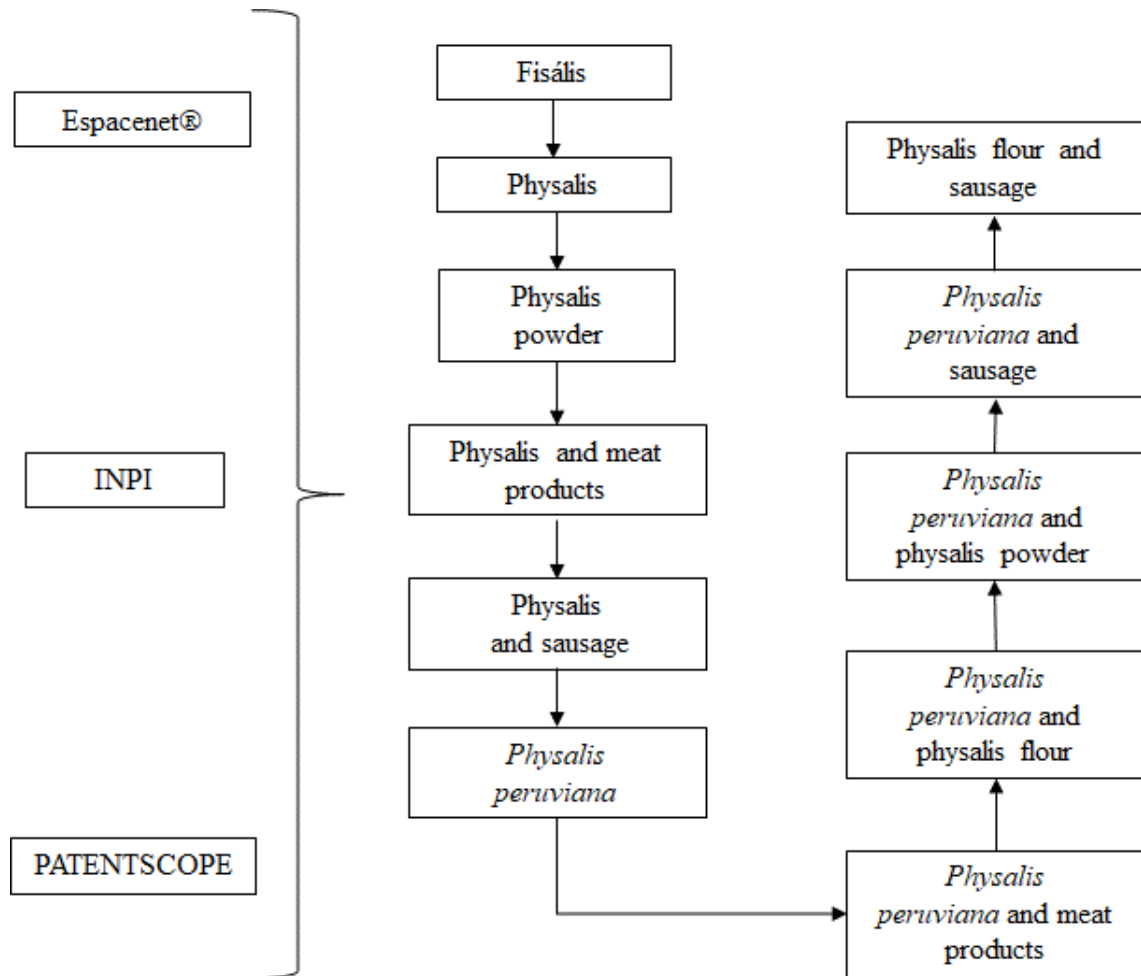
A pesquisa foi sendo refinada relacionando o mirtilo e sua aplicação na indústria cárnea. Os códigos IPC referem-se a “Modificações nas qualidades nutritivas de alimentos; produtos dietéticos; seu preparo ou tratamento, usando aditivos, e extratos de plantas, suas duplicatas artificiais ou seus derivados” (A23L33/10) e “Produtos à base de carne; farinha de carne; seu preparo ou tratamento” (A23L13). Todas as buscas foram realizadas nos títulos e nos resumos das patentes, durante o mês de outubro de 2020, sem delimitação de período.

Para a realização da prospecção científica utilizaram-se as mesmas palavras-chave e/ou combinações, citadas anteriormente (Figura 4), em três sites de pesquisa: *Science Direct*, Periódicos Capes e *Scopus*. As buscas foram refinadas somente para artigos científicos de pesquisa e o período delimitado foi de 2011 a 2021.

A metodologia utilizada para a realização da prospecção tecnológica relacionada a utilização de fisális como ingrediente alimentar foi baseada em buscas com palavras-chave (Figura 4), nas mesmas bases de dados de patentes, citadas anteriormente. Todas as buscas foram realizadas nos títulos e nos resumos das patentes, durante o mês de junho de 2021, sem delimitação de período.

Para a realização da prospecção científica utilizaram-se as mesmas palavras-chave e/ou combinações, citadas na Figura 4, e acrescentou-se os termos em inglês “goldenberry” e “cape gooseberry”. As buscas foram realizadas em três sites de pesquisa: *Science Direct*, Periódicos Capes e *Scopus*, e refinadas somente para artigos científicos de pesquisa no período delimitado de 2011 a 2021.

Figura 4 - Esquema com as palavras-chave relacionadas à fisális utilizadas para a busca de patentes nas bases de dados do do *European Patent Office* (Espacenet®), do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e do *Patentscope*.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

## 3.2 CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS FRUTOS

### 3.2.1 Amostras de frutos

Para a realização deste trabalho foram utilizados frutos de mirtilo (*Vaccinium corymbosum* L.) íntegros e maduros, das variedades *Misty* e *Emerald* cultivados em sistema de produção orgânico, na cidade de Itá, Santa Catarina (SC), Brasil (Latitude: 27° 17' 26" S e Longitude: 52° 19' 23" W), safras 2019 e 2020, pela empresa Itaberry Frutas Finas. Foram selecionados frutos que não seriam comercializados de forma *in natura*, por não se adequarem aos padrões de tamanho e/ou aparência exigidos para este fim. Dessa forma, após serem coletados, os frutos passaram por enxague com água, para retirada de sujidades, e logo após foram sanitizados através de imersão em solução de hipoclorito de sódio 200 ppm, por um período de 15 minutos. Na sequência, receberam outro enxague com água e foram armazenados em embalagens de polietileno contendo 1000 g de mirtilo em cada. Os mirtilos foram congelados em temperaturas entre -10 °C e -15 °C e transportados ao laboratório em caixas de poliestireno, contendo gelo reutilizável. No laboratório foram mantidos sob congelamento até a realização das análises, totalizando um período de dois meses.

Os frutos de fisális (*Physalis peruviana* L.) utilizados para a realização deste trabalho foram cultivados na cidade de São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul (RS), Brasil (Latitude: 29° 26' 52" S e Longitude: 50° 35' 02" W), da safra 2020, colhidos nos meses de março, abril e maio, e comercializados, de forma congelada pela empresa Itaberry Frutas Finas, Itá, Santa Catarina, Brasil. Os frutos de fisális que estavam armazenados em temperaturas entre -10 °C e -15 °C, em embalagens de polietileno contendo 1000 g de fisális em cada, foram transportados ao laboratório em caixas de poliestireno, contendo gelo reutilizável. No laboratório foram mantidos sob congelamento até a realização das análises, totalizando um período de dois meses.

### 3.2.2 Tamanho e peso

Foram utilizados 10 frutos de cada tipo para medição do tamanho individual no sentido longitudinal, com auxílio de um micrômetro digital (Starrett 3732M, Starrett Ind. Com. LTDA, São Paulo, Brasil) com unidade em milímetros (mm). Para a massa média dos frutos foram pesadas 10 unidades e o resultado fornecido em gramas (g).



### 3.2.3 Análise instrumental de cor

A análise da cor foi realizada utilizando-se o sistema CIE-Lab ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), através da leitura em colorímetro (Chroma Meter CR-400 – Konica Minolta Sensing, Inc. - JP) calibrado em um prato de calibração branco. As análises foram realizadas com iluminante A e ângulo de observação de 10°. O valor de  $L^*$  determina a posição do ponto sobre o eixo vertical de claridade; o valor de  $a^*$  é do ponto sobre o eixo (-) verde/vermelho (+) e o valor de  $b^*$ , do ponto correspondente sobre o eixo (-) azul/amarelo (+) (RAMOS; GOMIDE, 2007).

### 3.2.4 Determinação de pH

A determinação de pH foi realizada de acordo com o método 943.02 da Association of Official Analytical Collaboration International (AOAC, 2005), através do uso de pHmetro (MA 522, Marconi, Piracicaba/SP, Brasil), previamente calibrado com soluções-tampão pH 7,00, pH 4,00 e pH 10,00. As amostras foram maceradas e colocadas em solução a 10 % (m/m) com água destilada.

### 3.2.5 Determinação de atividade de água ( $A_w$ )

Para determinação da atividade de água foi utilizado o equipamento analisador de atividade de água LabTouch - LabMasteraw (Novasina, Lachen, Suíça) com realização da leitura direta da amostra, após calibração com água destilada e solução salina saturada, conforme especificações do manual do fabricante.

### 3.2.6 Sólidos solúveis totais (SST)

A concentração de SST dos frutos foi medida através de refratômetro digital (modelo HI96801, Hanna Instruments, Barueri/SP, Brasil) expressando-se o resultado em °Brix, conforme especificações do manual do fabricante.

### 3.2.7 Acidez titulável em ácido orgânico

A acidez dos mirtilos foi determinada por titulometria potenciométrica de acordo com AOAC (2005), devido à coloração das amostras. Para as amostras de fisális, a solução foi

titulada com uso de indicador fenolftaleína 1%, até a viragem para o primeiro tom de rosa, persistente por 30 segundos (s). Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico.

### **3.2.8 Análises de composição proximal**

As determinações de umidade, lipídios, proteína e cinzas das amostras de frutos foram realizadas de acordo com os métodos da AOAC (2005), em triplicata. A determinação do conteúdo de fibras totais (solúveis e insolúveis) foi realizada seguindo o método AOAC 991.43 (AOAC, 2005). Os carboidratos totais foram calculados por diferença.

### **3.2.9 Determinação do teor de fenólicos totais**

A extração dos compostos das amostras foi feita de acordo com método sugerido por Granato e Nunes (2016), com algumas alterações. Foram utilizados 25 g de frutos e 40 mililitros (mL) de solução de metanol 50%. A mistura foi homogeneizada e mantida em agitação durante uma hora em agitador magnético (AA 1030B, Wea, SP, Brasil), ao abrigo da luz. Após esse período foi filtrada a vácuo em funil de Büchner, com auxílio de bomba para vácuo (DVR II, Dosivac, Buenos Aires, Argentina) e o filtrado transferido para balão volumétrico de 100 mL. Ao resíduo desta extração, adicionou-se 40 mL de solução de acetona 70%, mantendo-se em agitação por mais uma hora, ao abrigo da luz. A mistura foi novamente filtrada a vácuo e o filtrado transferido para o balão volumétrico contendo o primeiro filtrado, no qual foi completado o volume para 100 mL com água destilada. O teor de fenólicos totais foi determinado espectrofotometricamente pelo método descrito por Singleton e Rossi (1965). Uma curva padrão foi preparada com ácido gálico (0,03125 mg/mL a 0,5 mg/mL) e o teor de fenólicos totais foi expresso em mg de equivalentes de ácido gálico (mg AGE) /g de amostra.

### **3.2.10 Análise do perfil de fenólicos por LC-MS/MS**

Para a extração dos compostos fenólicos, as amostras de frutas (mirtilo e fisális) foram pesadas exatamente ( $5,0 \pm 0,1$  g) em tubos de polipropileno de 50 mL. Todas as amostras foram analisadas em triplicata. Um volume de 10 mL de uma solução de metanol: H<sub>2</sub>O (9:1) foi adicionado a cada tubo, que foi então agitado vigorosamente por um vórtex (5 a 10 s). Em seguida, os tubos foram colocados em banho de ultrassom por 30 minutos. A seguir, os tubos

foram centrifugados a 3000g por 10 minutos a 4 °C. Uma alíquota de 0,1 mL do sobrenadante foi transferida para um frasco de *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) e diluída para 1,0 mL com H<sub>2</sub>O: metanol (9:1) e submetida a LC-MS/MS. A exceção foi a amostra de fisális que não foi diluída.

O perfil de compostos fenólicos das frutas e das farinhas de frutas foi determinado de acordo com o procedimento descrito por Seraglio *et al.* (2016), no Laboratório Federal de Defesa Agropecuária (LFDA), em São José/SC. Medições de cromatografia líquida com espectrometria de massas de ionização por eletrospray (LC-ESI-MS/MS) foram realizadas em um sistema cromatográfico Agilent 1290 series (Agilent Technologies, Wilmington, DE, EUA) acoplado a um espectrômetro de massa de armadilha iônica quadrupolo híbrido QTRAP 5500 (Sciex, Foster City, CA) equipado com uma fonte de ionização por electrospray (ESI). A separação cromatográfica foi obtida utilizando-se uma coluna VENUSIL C18 (100 mm × 2,1 mm; 3 µm de diâmetro de partícula; Bona Angela Technologies, Wilmington, DE, EUA). A vazão adotada foi de 300 µL / min, e um volume de 5 µL foi injetado para todas as soluções padrão e de amostras. A fase móvel foi composta pelo solvente A (água com 0,1% de ácido fórmico) e solvente B (acetonitrila com 0,1% de ácido fórmico). O gradiente de fase móvel foi programado da seguinte forma: 98% A (v/v) de 0 a 4,0 min, 98-80% A (v/v) de 4,0 a 7,0 min, 80-10% A (v/v) de 7,0 a 14,0 min, 10% A (v/v) de 14,0 a 15,0 min, 10-98% A (v/v) de 15,0 a 17,0 min. O tempo total de execução foi de 17 min, e o tempo de equilíbrio da coluna entre cada execução foi de 4 min. A coluna foi mantida a 40 °C.

A análise por espectrometria de massas foi realizada no modo MRM com os seguintes parâmetros: voltagem de spray de íons (IS): 5500 V; gás de cortina: 25 psi; gás nebulizador (GS1) e gás auxiliar (GS2): 55 psi; temperatura da fonte: 400 °C. O nitrogênio foi usado como nebulizador e gás de colisão. O software Analyst 1.6.2 (Sciex, Foster City, CA) foi usado para aquisição e processamento de dados. O desempenho do método foi compatível com os parâmetros de validação (SERAGLIO *et al.*, 2016).

### **3.2.11 Determinação de flavonoides totais**

A análise para determinação de flavonoides totais foi realizada por meio de método espectrofotométrico (ZHISHEN; MENGSHENG; JIANMING, 1999), através da reação de complexação entre o alumínio com as hidroxilas dos anéis A e C, o que torna a técnica específica para flavonoides e evita a interferência de outras substâncias fenólicas (GRANATO; NUNES, 2016).

Para a extração dos compostos das amostras utilizou-se método sugerido por Granato e Nunes (2016), com algumas alterações, conforme explicado anteriormente no item 3.2.9. O teor de flavonoides totais foi expresso em mg catequina/100 g de amostra.

### **3.2.12 Determinação de ácido ascórbico**

O conteúdo de ácido ascórbico foi medido através do método de Tillmans modificado, que se baseia na redução de 2,6-diclorofenolindofenol-sódio (DCFI) pelo ácido ascórbico, de acordo com método 967.21 da AOAC (1990). O resultado foi expresso em mg de ácido ascórbico por 100 g da amostra.

### **3.2.13 Determinação de carotenoides totais**

A análise de carotenoides totais nas amostras de fisális foi realizada conforme descrito por Rodriguez-Amaya (1999), com algumas modificações. A extração foi feita com acetona e a separação em éter de petróleo. A leitura da absorbância foi realizada a 450 nm em espectrofotômetro (UV – 9200, Rayleigh, Beijing, China). O cálculo foi realizado utilizando-se o coeficiente de absorção do  $\beta$ -caroteno em éter de petróleo (2592) e os resultados expressos como all-trans- $\beta$ -caroteno (carotenoide predominante em fisális). O resultado foi multiplicado por 100 e expresso na unidade  $\mu\text{g}/100\text{g}$  de frutos.

Previamente ao procedimento de determinação de carotenoides totais, realizou-se uma varredura entre 200 e 600 nm, em espectrofotômetro (UV – 9200, Rayleigh, Beijing, China), a fim de verificar o comprimento de onda de maior absorção, a partir de uma amostra de fisális *in natura* (Apêndice A).

### **3.2.14 Delineamento experimental para extração das antocianinas**

A fim de otimizar o processo de extração das antocianinas nas amostras de mirtilos, utilizou-se um delineamento composto central rotacional (DCCR) com duas variáveis independentes. O solvente escolhido foi uma solução de etanol/água, devido a boa afinidade com os pigmentos antociânicos e a baixa toxicidade em relação a outros também bastante utilizados para tal função, como metanol e acetona. As soluções etanólicas foram acidificadas com HCl 1,5 N, conforme descrito por Granato e Nunes (2016). Avaliou-se o teor de etanol e o pH, utilizando como estratégia um planejamento fatorial  $2^2$ , com três repetições do ponto

central e quatro pontos axiais, para cálculo dos efeitos e análise de superfície de resposta. A variável dependente (resposta) foi o conteúdo de antocianinas monoméricas de frutos de mirtilo. Os níveis de cada variável (Tabela 4) foram baseados no método utilizado por Kechinski (2011), no qual foi realizada a extração de antocianinas em bagaço de mirtilo. Através da metodologia da superfície de resposta foram avaliadas onze combinações (Tabela 4) para investigar o efeito das variáveis (% etanol e pH) no teor de antocianinas obtido a partir de cada extração.

Tabela 4 - Valores utilizados no DCCR para extração de antocianinas de mirtilo.

Ensaio	Níveis codificados		Níveis não codificados	
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	Etanol (% v/v)	pH
1	-1	-1	25	1,5
2	1	-1	75	1,5
3	-1	1	25	3,5
4	1	1	75	3,5
5	-1,41	0	15	2,5
6	1,41	0	85	2,5
7	0	-1,41	50	1
8	0	1,41	50	4
9 ao 11	0	0	50	2,5

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

### 3.2.15 Extração e quantificação das antocianinas monoméricas totais

Nos ensaios experimentais foram utilizados 10 g de frutos de mirtilo e 100 mL de solvente, conforme concentração de etanol e valores de pH, apresentados na Tabela 4. Os valores de pH foram aferidos antes do início de cada extração (pHmetro MA 522, Marconi, Piracicaba/SP, Brasil). A mistura (frutos e solvente) foi triturada em liquidificador (Eletronic Pro 2 em 1, Britânia, PR, Brasil) durante três minutos. Depois, foi mantida em agitação magnética por um período de duas horas ao abrigo da luz, em agitador (AA 1030B, Wea, SP, Brasil), filtrada a vácuo em funil de Büchner, com auxílio de bomba para vácuo (DVR II, Dosivac, Buenos Aires, Argentina) e completado o volume para 100 mL em balão volumétrico com solvente extrator. A fim de determinar o comprimento de onda de maior absorção para o extrato de mirtilo foi realizada uma varredura entre 500 e 540 nm (Apêndice B), em espectrofotômetro (UV – 9200, Rayleigh, Beijing, China). A amostra e o branco (água destilada) foram diluídos com solução-tampão cloreto de potássio (0,025 M) em pH 1.

O ensaio para quantificação das antocianinas monoméricas foi realizado de acordo com Lee, Durst e Wrolstad (2005), o qual é um método espectrofotométrico com base na transformação estrutural da antocianina que ocorre com uma mudança no pH (colorido em pH 1,0 e sem cor em pH 4,5). A leitura das amostras foi realizada em comprimento de onda de 520 nm e de 700 nm. Os resultados foram reportados como mg/100g de antocianinas monoméricas, expressas em equivalentes de cianidina-3-glicosídeo.

### **3.2.16 Ensaios *in vitro* para determinação da atividade antioxidante: captura do radical livre ABTS<sup>+</sup>, captura do radical livre DPPH e poder antioxidante de redução do ferro (FRAP)**

Para avaliação da atividade antioxidante dos frutos de mirtilos e fisális foram utilizadas três metodologias: ABTS, DPPH e FRAP. Os extratos das amostras foram obtidos da mesma forma como explicado no item 3.2.9.

O método ABTS baseia-se em uma reação de transferência de elétrons, no qual avalia-se a capacidade dos antioxidantes de capturar o radical ácido 2,2'-azinobis 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico (ABTS<sup>+</sup>), que é produzido quimicamente com o persulfato de potássio (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>). A análise foi realizada de acordo com Re *et al.* (1999). Preparou-se uma curva padrão com soluções de trolox variando-se as concentrações de 100 a 2000 µM e o resultado foi expresso em mM trolox/g de fruta.

O método DPPH baseia-se na captura do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) por antioxidantes, produzindo um decréscimo da absorbância a 515 nm. O ensaio foi realizado seguindo o método de Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995). Os valores de absorbância foram convertidos e expressos em mmol trolox/g.

O método do poder antioxidante de redução de ferro (FRAP) foi determinado a partir do método descrito por Benzie e Strain (1996), o qual é baseado na medida direta da habilidade dos antioxidantes (redutores) da amostra em reduzirem em meio ácido, o complexo Fe<sup>3+</sup>/tripiridiltiazina (TPTZ) para formar Fe<sup>2+</sup>, de intensa cor azul. A absorbância foi medida a 593 nm. Construiu-se uma curva padrão a partir de diluições de solução trolox, variando as concentrações de 25 a 1000 µM. Os resultados foram expressos em µM trolox/g de frutas.

### 3.2.17 Análise estatística

As análises foram realizadas em triplicata. Os resultados obtidos foram submetidos a testes de normalidade. O desempenho dos processos para a extração das antocianinas foi avaliado analisando as respostas (Y), que dependem dos fatores de entrada  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_k$  e a relação entre a resposta e os parâmetros do processo, sendo descrito pela Equação 1.

$$Y = f(x_1, x_2 \dots x_k) + e \quad (1)$$

onde “f” é a real função de resposta cujo formato é desconhecido e “e” é o erro que descreve a diferenciação. O comportamento da superfície de resposta foi investigado para a função de resposta ( $Y_i$ ) utilizando uma equação polinomial de segunda ordem, cujo modelo de superfície de resposta generalizada é expresso na Equação 2.

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \sum_i \sum_{<j=2}^k \beta_{ij} x_i x_j + e_i \quad (2)$$

onde Y é a resposta;  $x_i$  e  $x_j$  são variáveis (i e j variam de 1 a k);  $\beta_0$  é o coeficiente de interceptação do modelo;  $\beta_j$ ,  $\beta_{jj}$  e  $\beta_{ij}$  são coeficientes de interação lineares, quadráticos e de segunda ordem, respectivamente; k é o número de parâmetros independentes (k = 2 neste estudo); e  $e_i$  é o erro (SRIDHAR *et al.*, 2012).

Os cálculos necessários para a determinação do modelo, para a comparação dos resultados experimentais com os preditos e para a geração das superfícies de resposta foram realizados através do software Statistica versão 12 (Statsoft Inc., USA). As análises de variância foram realizadas com um nível  $\alpha$  de 0,05 para determinação da significância estatística.

### 3.2.18 Verificação de condições otimizadas e modelo preditivo para extração de antocianinas

As condições ideais para a extração dos pigmentos antociânicos de frutos de mirtilo, em relação à concentração de etanol e valor de pH, foram obtidos através de metodologia de superfície de resposta. O conteúdo de antocianinas monoméricas foi determinado após extração na condição otimizada. O valor experimental e o previsto foram comparados para determinar a validade dos modelos.

### 3.3 CAPÍTULO 3: PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, TECNOLÓGICA E ANTIOXIDANTE DE FARINHAS DE MIRTILO E FISÁLIS

#### 3.3.1 Produção de farinhas de mirtilo e fisális

Os frutos foram descongelados sob refrigeração por um período de 18 horas. Porções de aproximadamente 500 g de cada, foram pesadas e desidratadas em estufa com circulação de ar (SSD – CR 110L, Eurobrás, SP, Brasil), conforme tempo e temperatura estabelecidos pelo planejamento experimental descrito no item 3.3.2. O objetivo foi otimizar a melhor combinação entre tempo e temperatura, a fim de garantir o maior conteúdo de antocianinas (amostras de mirtilos) e carotenoides (amostras de fisális), associados a um teor de umidade de no máximo 15%, conforme Legislação estabelecida para farinhas de frutas (BRASIL, 2005). Após o processo de secagem, os frutos desidratados foram triturados em moinho de facas tipo *Willye* (Star FT 50, Fortinox, São Paulo, Brasil) com peneira mesh 10. As farinhas produzidas, de acordo com cada tratamento, foram acondicionadas em embalagens de polietileno com fechamento hermético, recobertas por papel alumínio, e mantidas sob refrigeração, até o momento das análises.

#### 3.3.2 Delineamento experimental para produção de farinhas de mirtilo e fisális

As farinhas foram produzidas a partir de um delineamento composto central rotacional (DCCR) com duas variáveis independentes. Foram avaliados o tempo e a temperatura, utilizando como estratégia um fatorial  $2^2$ , com ponto central e quatro pontos axiais, para cálculo dos efeitos e análise de superfície de resposta. As variáveis dependentes (respostas) foram o conteúdo de antocianinas monoméricas e o teor de umidade das farinhas de mirtilos; e, o conteúdo de carotenoides totais e o teor de umidade das farinhas de fisális. Os níveis de cada variável foram estabelecidos a partir de ensaios preliminares e estão exibidos na Tabela 5.



Tabela 5 -Valores utilizados no DCCR para produção das farinhas de mirtilo e fisális.

Ensaio	Níveis codificados		Níveis não codificados (farinha de mirtilo)		Níveis não codificados (farinha de fisális)	
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	Temperatura (°C)	Tempo (h)	Temperatura (°C)	Tempo (h)
1	-1	-1	55	44	53	28
2	1	-1	65	44	67	28
3	-1	1	55	48	53	32
4	1	1	65	48	67	32
5	-1,41	0	53	46	50	30
6	1,41	0	67	46	70	30
7	0	-1,41	60	43,18	60	27,18
8	0	1,41	60	48,82	60	32,82
9 ao 11	0	0	60	46	60	30

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

### 3.3.3 Determinação do teor de umidade, antocianinas monoméricas totais das farinhas de mirtilo e carotenoides totais das farinhas de fisális

O teor de umidade de cada farinha produzida foi avaliado imediatamente após a sua elaboração, utilizando o método 44-15.02 da *American Association of Cereal Chemistry International* (AACC, 1999).

Para a determinação do teor de antocianinas monoméricas totais foi preparado um extrato, com cada amostra de farinha de mirtilo, em triplicata. O solvente extrator foi definido conforme planejamento experimental descrito no item 3.2.14. Utilizando uma proporção de 1:10 de amostra:solvente extrator, ou seja, 5 gramas de farinha e 50 mL de solvente, a mistura foi homogeneizada em agitador magnético (AA 1030B, Wea, SP, Brasil) com auxílio de barra magnética, por um período de duas horas, ao abrigo da luz. Após, a suspensão foi filtrada a vácuo em funil de Büchner com papel filtro qualitativo, utilizando-se de bomba para vácuo (DVR II, Dosivac, Buenos Aires, Argentina). A quantificação das antocianinas monoméricas totais foi realizada conforme explicado anteriormente no item 3.2.15.

Para a determinação dos carotenoides totais das amostras de farinha de fisális utilizou-se o método descrito por Rodrigues-Amaya (1999), citado anteriormente no item 3.2.13, modificando apenas o peso da amostra para 1 g.

### 3.3.4 Caracterização físico-química das farinhas de mirtilo e fisális

As amostras de farinhas de mirtilo e fisális resultantes das condições otimizadas do processo de desenvolvimento foram submetidas a análises físico-químicas para sua caracterização.

A análise instrumental de cor foi realizada utilizando-se o sistema CIE-Lab ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), através de leitura em colorímetro (Chroma Meter CR-400 – Konica Minolta Sensing, Inc. - JP), conforme descrição anterior no item 3.2.3. A determinação do pH foi realizada de acordo com o método 943.02 (AOAC, 2005), através do uso de pHmetro (MA 522, Marconi, Piracicaba/SP, Brasil), conforme descrito no item 3.2.4. Para a determinação da atividade de água utilizou-se o equipamento analisador de atividade de água LabTouch - LabMasteraw (Novasina, Lachen, Suíça), conforme descrição no item 3.2.5. A acidez das farinhas foi determinada por titulometria (AOAC, 2005), utilizando a potenciometria para verificação do ponto final no caso da farinha de mirtilo, e a quantidade utilizada das amostras foi de 1 g. Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico.

Para as análises de composição proximal das farinhas, as determinações de umidade foram realizadas de acordo com o método da AACC (1999), e gordura, proteína e cinzas de acordo com AOAC (2005). Os carboidratos totais foram calculados por diferença. A determinação do conteúdo de fibra dietética (solúveis e insolúveis) das farinhas foi realizada seguindo o método AOAC 991.43 (AOAC, 2005). Todas as metodologias destes ensaios foram descritas anteriormente no item 3.2.8.

A determinação do teor de fenólicos totais das farinhas foi realizada espectrofotometricamente pelo método de Singleton e Rossi (1965), conforme descrito no item 3.2.9. A extração dos compostos das amostras foi feita de acordo com método sugerido por Granato e Nunes (2016), explicada também no item citado, porém, com a utilização de 5 g de amostra de cada farinha. A análise do perfil de fenólicos também foi realizada por LC-MS/MS, a partir da extração dos compostos realizada com 5 g de cada farinha, pesados em tubos de polipropileno de 50 mL, conforme descrito no item 3.2.10.

A análise para determinação de flavonoides totais das farinhas foi realizada por meio de método espectrofotométrico (ZHISHEN; MENGSHENG; JIANMING, 1999), descrito no item 3.2.11. O teor de ácido ascórbico foi medido através do método de Tillmans modificado, de acordo com AOAC (1990) descrito anteriormente no item 3.2.12.

A extração e quantificação das antocianinas monoméricas totais na farinha de mirtilo e de carotenoides totais na farinha de fisális, foram realizadas da mesma maneira como descrito nos itens 3.3.3, 3.2.15 e 3.2.13, respectivamente.

#### *3.3.4.1 Avaliação da estabilidade dos pigmentos*

As farinhas de mirtilo e fisális foram avaliadas quanto à estabilidade dos pigmentos e manutenção da cor durante um período de 120 dias. Para isso, as amostras foram acondicionadas em embalagens de polietileno hermeticamente fechadas, ao abrigo da luz, em temperatura ambiente, sendo avaliadas durante os dias 0, 30, 60, 90 e 120 após a produção. Para esta avaliação, a farinha de mirtilo foi produzida com frutos da safra de 2020 e a farinha de fisális com um lote de frutos diferente daquele utilizado anteriormente.

Para a avaliação da estabilidade dos pigmentos foi realizada a determinação de antocianinas monoméricas totais na farinha de mirtilo e carotenoides totais na farinha de fisális. Como medida de avaliação da manutenção da cor realizou-se a análise instrumental de cor, em ambas as farinhas.

A extração e quantificação das antocianinas monoméricas totais na farinha de mirtilo e de carotenoides totais na farinha de fisális, foram realizadas da mesma maneira como descrito nos itens 3.3.3, 3.2.15 e 3.2.13, respectivamente. A análise instrumental de cor foi realizada utilizando-se o sistema CIE-Lab ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), através de leitura em colorímetro (Chroma Meter CR-400 – Konica Minolta Sensing, Inc. - JP), conforme descrição anterior no item 3.2.3.

### **3.3.5 Caracterização tecnológica das farinhas de mirtilo e fisális**

#### *3.3.5.1 Determinação da capacidade de retenção de água*

Esta análise foi realizada de acordo com o método 56.30 da AACC (1999). A capacidade de retenção de água (absorção de água ou ligação de água) é determinada como a máxima quantidade de água que 1 grama de material pode absorver e manter após centrifugação em baixa velocidade. Para isso, foram pesados 5 gramas de amostra de cada farinha em um tubo de centrífuga de 50 mL previamente pesado. Cerca de 30 mL de água destilada foram adicionados para completa hidratação. Os tubos com as amostras hidratadas foram submetidos à agitação em um agitador de tubos (ATS 100, Arsec, SP, Brasil) para homogeneização total. A seguir, os mesmos foram centrifugados (2000 x g, por 10 minutos) em centrífuga (SL-700,

Solab, Piracicaba/SP, Brasil). O sobrenadante foi descartado e o tubo foi novamente pesado. As análises foram realizadas em triplicata. A capacidade de retenção de água (CRA) foi quantificada através da Equação 3 e expressa em gramas de água/gramas de sólido.

$$CRA = \frac{(\text{peso do tubo} + \text{sedimento}) - (\text{peso do tubo} + \text{peso da amostra})}{\text{peso da amostra}} \quad (3)$$

### 3.3.5.2 Determinação da capacidade de retenção de óleo

Foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Huber *et al.* (2016). Aproximadamente 2 gramas da amostra de cada farinha foram acondicionados em um tubo de centrífuga graduado de 50 mL. Foram adicionados à amostra 20 mL de óleo de milho (Salada, Bunge), cuja densidade foi previamente determinada. Os tubos foram submetidos à agitação em um agitador de tubos (ATS 100, Arsec, SP, Brasil) para homogeneização total, por um tempo de aproximadamente 10 minutos cada. Em seguida, os mesmos foram centrifugados (2000 x g, por 30 minutos) em centrífuga (SL-700, Solab, Piracicaba/SP, Brasil). O sobrenadante (excesso de óleo) foi descartado e o tubo foi novamente pesado. A capacidade de retenção de óleo (CRO) de cada amostra de farinha foi expressa como a quantidade de gramas de óleo retida por 1 grama da correspondente farinha, e calculada da mesma forma que a CRA.

### 3.3.5.3 Determinação da densidade aparente (bulk)

A densidade aparente (bulk) é a razão entre a massa da amostra por seu volume total exterior. Nesta definição de densidade se enquadram as situações reais, nas quais a amostra é composta por poros, trincas, defeitos cristalinos ou fases amorfas.

A metodologia utilizada foi a empregada por Huber *et al.* (2016). Uma proveta graduada previamente pesada foi preenchida com 50 mL de amostra e suavemente vibrada por 2 segundos. O volume foi registrado, o conteúdo da proveta foi pesado e a densidade aparente foi expressa como massa por volume.

### 3.3.5.4 Determinação da atividade emulsionante e estabilidade de emulsão

Estas análises também foram realizadas seguindo a metodologia descrita em Huber *et al.* (2016). Cerca de 1 grama de cada amostra de farinha foi pesado em um tubo de centrífuga

de 50 mL. Em seguida, foram adicionados 12,5 mL de água destilada e a mistura foi homogeneizada em um agitador de tubos (ATS 100, Arsec, SP, Brasil) por um minuto. Feita a homogeneização, 12,5 mL de óleo de milho (Salada, Bunge) foram adicionados e a mistura foi novamente agitada por um minuto no agitador de tubos. A emulsão formada foi centrifugada (500 x g, por 10 minutos) em centrífuga de tubos (SL-700, Solab, Piracicaba/SP, Brasil) e a atividade emulsionante, expressa em percentual, foi calculada pela divisão entre a altura da camada emulsionada e a altura do volume total do tubo.

A determinação da estabilidade da emulsão formada em cada tubo foi verificada através de aquecimento em banho-maria a 80°C por 30 minutos, seguido de resfriamento até atingir a temperatura de 25°C. A amostra foi submetida à centrifugação nas mesmas condições anteriores. A estabilidade da emulsão foi calculada da mesma forma que a atividade emulsionante e também expressa em percentual.

### **3.3.6 Ensaios *in vitro* para determinação da atividade antioxidante: captura do radical livre ABTS<sup>+</sup>, captura do radical livre DPPH e poder antioxidante de redução do ferro (FRAP)**

Para a avaliação da atividade antioxidante das farinhas de mirtilo e fisális utilizou-se três metodologias: ABTS (RE *et al.*, 1999), DPPH (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995) e FRAP (BENZIE; STRAIN, 1996), todas descritas anteriormente no item 3.2.16. Para obtenção dos extratos das farinhas, utilizou-se método descrito em 3.2.9, modificando apenas o peso das amostras para 5 g.

### **3.3.7 Análise estatística**

As análises foram realizadas em triplicata. Os resultados foram submetidos a testes de normalidade. O desempenho dos processos para a elaboração das farinhas foi avaliado analisando as respostas (Y), que dependem dos fatores de entrada  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_k$  e a relação entre a resposta e os parâmetros do processo, sendo descrito pela Equação 4.

$$Y = f(x_1, x_2 \dots x_k) + e \quad (4)$$

onde “f” é a real função de resposta cujo formato é desconhecido e “e” é o erro que descreve a diferenciação. O comportamento da superfície de resposta foi investigado para a função de

resposta ( $Y_i$ ) utilizando uma equação polinomial de segunda ordem, cujo modelo de superfície de resposta generalizada é expresso na Equação 5.

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \sum_i \sum_{<j=2}^k \beta_{ij} x_i x_j + e_i \quad (5)$$

onde  $Y$  é a resposta;  $x_i$  e  $x_j$  são variáveis ( $i$  e  $j$  variam de 1 a  $k$ );  $\beta_0$  é o coeficiente de interceptação do modelo;  $\beta_j$ ,  $\beta_{jj}$  e  $\beta_{ij}$  são coeficientes de interação lineares, quadráticos e de segunda ordem, respectivamente;  $k$  é o número de parâmetros independentes ( $k = 2$  neste estudo); e  $e_i$  é o erro (SRIDHAR *et al.*, 2012).

Os cálculos necessários para a determinação do modelo, para a comparação dos resultados experimentais com os preditos e para a geração das superfícies de resposta foram realizados através do software Statistica versão 12 (*Statsoft Inc.*, USA). As análises de variância foram realizadas com um nível  $\alpha$  de 0,05 para determinação da significância estatística.

### **3.3.8 Verificação de condições otimizadas e modelo preditivo para produção de farinhas de mirtilo e fisális**

As condições ideais de tempo e temperatura para uma melhor preservação dos compostos antociânicos na produção de farinha de mirtilos e de carotenoides na farinha de fisális, foram obtidos através de metodologia de superfície de resposta. O conteúdo de antocianinas monoméricas (farinha de mirtilo) e de carotenoides totais (farinha de fisális) foi determinado após produção das farinhas nas condições otimizadas. O valor experimental e o previsto foram também comparados para determinar a validade dos modelos.

### 3.4 CAPÍTULO 4: DESENVOLVIMENTO DE MORTADELAS COM APLICAÇÃO DE FARINHAS DE MIRTILO E DE FISÁLIS COMO FONTES DE ANTIOXIDANTES NATURAIS E AVALIAÇÃO DE SUAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E ESTABILIDADE OXIDATIVA, ANTES E APÓS SIMULAÇÃO DE DIGESTÃO *IN VITRO*

#### 3.4.1 Desenvolvimento do produto

Com o propósito de verificar a ação das farinhas de mirtilo e fisális como antioxidantes naturais foram elaboradas sete formulações de mortadelas tipo Bologna, modificando-se o tipo de antioxidante e a concentração utilizada:

- Controle 1 (C1: sem antioxidante);
- Controle 2 (C2: 0,25% de antioxidante à base de eritorbato de sódio);
- Farinha de mirtilo em baixa concentração (FM1: 0,05% de farinha de mirtilo, equivalente a ~360 mg AGE/kg);
- Farinha de mirtilo em média concentração (FM2: 0,075% de farinha de mirtilo, equivalente a ~540 mg AGE/kg);
- Farinha de mirtilo em alta concentração (FM3: 0,10% de farinha de mirtilo, equivalente a ~720 mg AGE/kg);
- Farinha de fisális em baixa concentração (FF1: 0,53% de farinha de fisális, equivalente a ~360 mg AGE/kg);
- Farinha de fisális em média concentração (FF2: 0,795% de farinha de fisális, equivalente a ~540 mg AGE/kg);
- Farinha de fisális em alta concentração (FF3: 1,06% de farinha de fisális, equivalente a ~720 mg AGE/kg);
- Farinha de fisális e mirtilo em média concentração (FFM: 0,40% de farinha de fisális e 0,04% de farinha de mirtilo, equivalente a ~540 mg AGE/kg);

As concentrações das farinhas foram definidas de acordo com valores utilizados na literatura (BURRI *et al.*, 2020; RIBEIRO *et al.*, 2019) e a lista de ingredientes com suas respectivas proporções estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Lista de ingredientes e formulações de mortadelas.

<b>Ingredientes (%)</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>FM1</b>	<b>FM2</b>	<b>FM3</b>	<b>FF1</b>	<b>FF2</b>	<b>FF3</b>	<b>FFM</b>
Carne suína	60,30	60,05	60,25	60,23	60,20	59,77	59,50	59,24	59,24
Toucinho	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Gelo	14,50	14,50	14,50	14,50	14,50	14,50	14,50	14,50	14,50
Sal	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Estabilizante à base de polifosfato	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Conservante à base de nitrito e nitrato	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Açúcar	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Condimento	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Fécula de mandioca	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Alho	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Antioxidante à base de eritorbato		0,25							
Farinha de mirtilo			0,05	0,075	0,10				0,04
Farinha de fisális						0,53	0,795	1,06	0,40

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

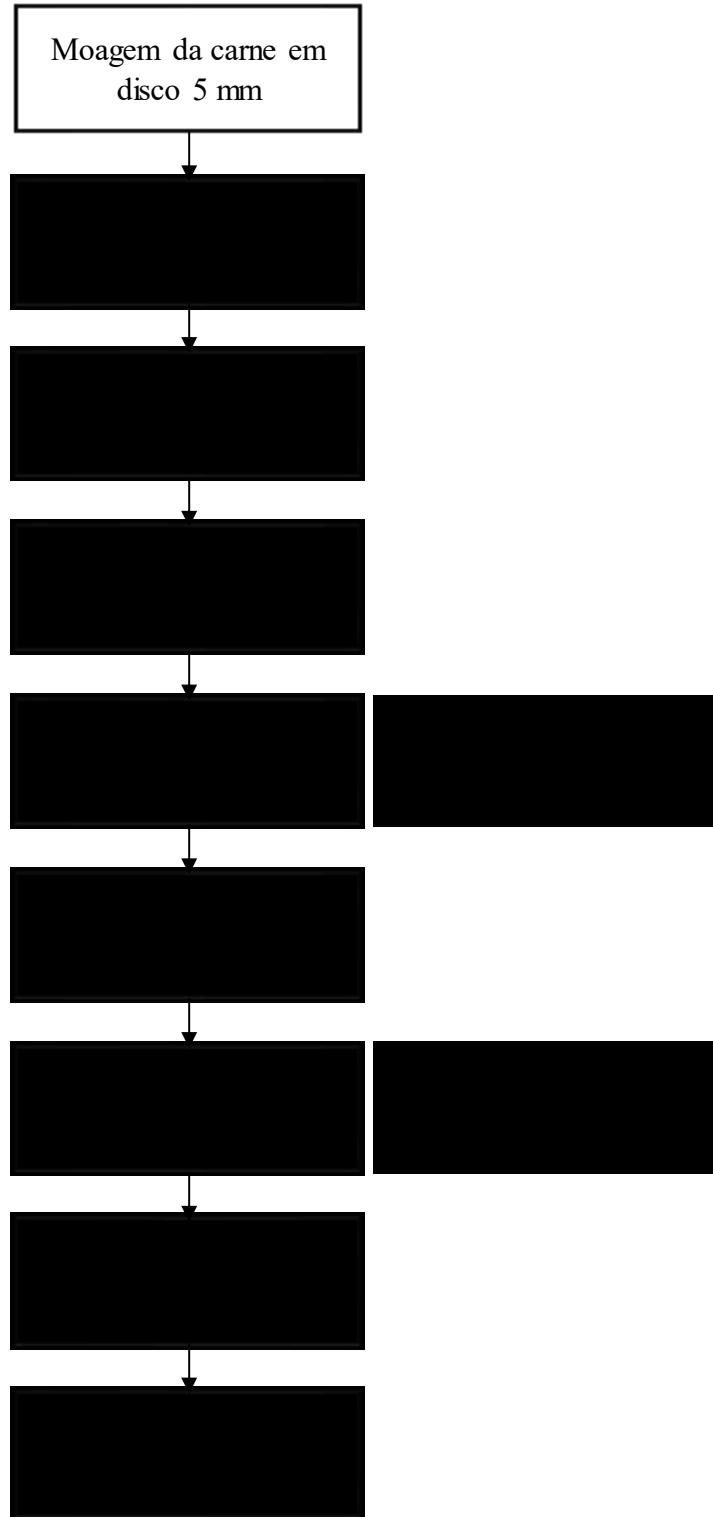
C1: sem antioxidante; C2: 0,25% de antioxidante à base de eritorbato de sódio; FM1: 0,05% de farinha de mirtilo (~360 mg AGE/kg); FM2: 0,075% de farinha de mirtilo (~540 mg AGE/kg); FM3: 0,10% de farinha de mirtilo (~720 mg AGE/kg); FF1: 0,53% de farinha de fisális (~360 mg AGE/kg); FF2: 0,795% de farinha de fisális (~540 mg AGE/kg); FF3: 1,06% de farinha de fisális (~720 mg AGE/kg); FFM: 0,04% de farinha de mirtilo e 0,40% de farinha de fisális (~540 mg AGE/kg).

A produção das mortadelas foi realizada de acordo com metodologia sugerida por Pires *et al.* (2019). Inicialmente a carne foi triturada em cutter (Cutter 5L, G. Paniz, Caxias do Sul, RS, Brasil) juntamente com o sal e a metade da água (gelo). Após a completa extração das proteínas miofibrilares foram adicionados os demais ingredientes (conforme cada formulação) e a gordura a ser emulsionada. Durante o processamento, a temperatura foi controlada e mantida abaixo de 12 °C para garantir a estabilidade da emulsão. Após a massa atingir o aspecto desejado foi embutida, na ausência de vácuo, em tripas de polietileno previamente clipadas (Poly-Clip System, São Paulo, SP, Brasil) próprias para mortadela, e o produto foi levado para tanque de cozimento (Elvi, São Bernardo do Campo, SP, Brasil). A aplicação do calor foi gradativa, iniciando em 60 °C por um período de 30 minutos, sendo posteriormente aumentada para 80 °C mantendo-se o cozimento até que o centro geométrico do produto atingisse 73 °C. Logo após, as mortadelas foram resfriadas até temperatura ambiente e armazenadas em câmara fria (MBP Isoblock, Barra do Piraí, RJ, Brasil) a 2 °C. Este procedimento foi realizado em triplicata, em



dias diferentes. A Figura 5 ilustra o fluxograma de produção para o desenvolvimento dos produtos.

Figura 5 - Fluxograma das etapas para a produção das mortadelas.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

### 3.4.2 Avaliação físico-química

Após a produção, as mortadelas foram caracterizadas através de análises de composição proximal, a fim de atender aos requisitos exigidos no Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Mortadela (BRASIL, 2000). Dessa forma foram realizadas as análises de determinação de umidade, gordura, proteína e carboidratos totais (AOAC, 2005) logo após a produção.

Para avaliação da qualidade das mortadelas foram verificados instrumentalmente os valores de  $A_w$  (descrição do método no item 3.2.5) e textura (no dia 0); pH (AOAC, 2005) e cor (SILVA, J., *et al.*, 2020) nos dias 0, 7, 15, 30, 60 e 90, após a produção. A diferença global de cor ( $\Delta E$ ) foi calculada usando a Equação 6, onde  $\Delta E$  corresponde à raiz quadrada da soma dos quadrados das diferenças entre as coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  dos tratamentos e do controle (C2).

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (6)$$

Os resultados de  $\Delta E^*$  foram avaliados de acordo com a classificação apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 - Percepção subjetiva da diferença de cor de amostras com diferenças globais ( $\Delta E^*$ ) determinadas.

Diferença global ( $\Delta E^*$ )	Avaliação da diferença de cor
< 0,2	Não perceptível
0,2 a 0,5	Muito pouco perceptível
0,5 a 1,5	Pouco perceptível
1,5 a 3,0	Percepção clara
3,0 a 6,0	Percepção muito clara
6,0 a 12	Percepção bastante clara
> 12	Facilmente perceptível

Fonte: Ramos e Gomide (2007).

As amostras também foram avaliadas quanto à atividade antioxidante, através dos testes de ABTS, DPPH e FRAP (descritos anteriormente no item 3.2.16) e teor de fenólicos totais (descrição no item 3.2.9).

Para avaliação da estabilidade frente à oxidação lipídica foram realizadas as determinações de índice de peróxido, índice de acidez e teste do ácido tiobarbitúrico nos dias 0, 7, 15, 30, 60 e 90. As amostras foram mantidas sob refrigeração (2 – 8°C) durante o período de armazenamento de 90 dias.

#### 3.4.2.1 *Análise do perfil de textura (TPA)*

O perfil de textura das amostras de mortadelas foi determinado utilizando o texturômetro Stable Micro System Mod. TA. XT 2i/25 (Texture Technologies Corp., Scarsdale, NY, USA), de acordo com método descrito por Silva, J., *et al.* (2020), com algumas modificações. A temperatura das amostras foi ajustada até a temperatura ambiente. As amostras foram cortadas em formato cilíndrico, com tamanhos de 2 cm altura x 2 cm diâmetro e obtidas da região central das peças de mortadelas. A sonda utilizada foi a TA-4 (Texture Technologies Corp., Scarsdale, NY, USA), composta por um cilindro de acrílico, com 3,8 cm de diâmetro x 2 cm de altura. Os parâmetros de análise foram: velocidade de compressão de 0,2 cm/s, percentual de compressão de 70% em relação à altura da amostra e tempo entre ciclos de 5 segundos. Os parâmetros de textura avaliados foram dureza, coesividade, adesividade, elasticidade e mastigabilidade.

#### 4.4.2.2 *Índice de peróxidos*

Este método se baseia no princípio de que os peróxidos orgânicos formados no início da rancificação atuam sobre o iodeto de potássio liberando iodo, que é então titulado com tiosulfato de sódio na presença de amido como indicador. A análise foi realizada seguindo método descrito em Aguirrezábal *et al.* (2000). A extração dos compostos foi feita com clorofórmio e o índice de peróxidos expresso em miliequivalente (mEq) O<sub>2</sub>/kg de gordura.

#### 4.2.2.3 *Índice de acidez*

O índice de acidez foi determinado através de método volumétrico ácido/base, no qual se refere à quantidade em miligramas de base necessária para neutralizar os ácidos graxos livres em 1 g de amostra. A análise seguiu método descrito em Granato e Nunes (2016) com pequenas modificações, e o resultado expresso em g/100 g de amostra.

#### 4.4.2.4 Teste do ácido tiobarbitúrico

O teste do ácido tiobarbitúrico ou análise de substâncias reativas ao ácido 2-tiobarbitúrico (TBARS) é usado para avaliar os produtos secundários de oxidação lipídica. A reação é baseada entre o malondialdeído (e outras substâncias reativas) com o ácido tiobarbitúrico, produzindo um complexo de coloração rosa que absorve em 532 nm (ARAÚJO, 2011).

O ensaio de TBARS foi realizado conforme descrição de Bellucci *et al.* (2021b), evitando-se a interferência dos pigmentos das frutas nos resultados. Para isso, 5 g de amostra foram homogeneizados com ácido tricloroacético (TCA) e hidroxitolueno (BHT). A mistura foi centrifugada e filtrada. O filtrado foi submetido a duas condições distintas: 1) seguindo a metodologia mencionada, adicionando solução de ácido tiobarbitúrico em ácido acético (50% v/v), e 2) com adição de ácido acético apenas (50 % v/v), sem a presença de ácido tiobarbitúrico. A reação com ácido 2-tiobarbitúrico ocorreu a 80°C por 30 min. Ambos foram lidos a 532 nm e os valores da condição 2 foram deduzidos da condição 1. Os resultados foram expressos em miligrama (mg) de malondialdeído (MDA) /kg de amostra.

### 3.4.3 Simulação de digestão *in vitro*

A digestão gastrointestinal *in vitro* de cada mortadela foi realizada para simular as condições prevalentes na boca humana, bem como no estômago e etapas do intestino delgado, conforme protocolo de simulação da digestão gastrointestinal definida pela INFOGEST e descrita por Minekus *et al.* (2014) e Brodkorb *et al.* (2019) com pequenas modificações. A simulação foi realizada em banho à 37 °C com agitação, utilizando os seguintes fluidos de simulação:

- Fluido de simulação salivar (SSF): 15,1 mM KCl, 3,7 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 13,6 mM NaHCO<sub>3</sub>, 0,15 mM MgCl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O), 0,06 mM (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 1,1 mM HCl e 1,5 mM CaCl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>;
- Fluido de simulação gástrica (SSG): 6,9 mM KCl, 0,9 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 25 mM NaHCO<sub>3</sub>, 47,2 mM NaCl, 0,12 mM MgCl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O), 0,5 mM (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 15,6 mM HCl e 0,15 mM CaCl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>;
- Fluido de simulação intestinal (SIF): 6,8 mM KCl, 0,8 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 85 mM NaHCO<sub>3</sub>, 38,4 mM NaCl, 0,33 mM MgCl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O), 8,4 mM HCl e 0,6 mM CaCl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>;

Inicialmente, para simular a etapa oral, as amostras foram trituradas em um processador elétrico com o fluido de simulação salivar (SSF) na proporção 1:1 (m/m), à 37 °C e pH 7,0, contendo a enzima  $\alpha$ -amilase (75 U/mL), por um período de dois minutos. Conforme o

protocolo, o fluido final da fase oral deve apresentar uma consistência não mais espessa que de uma massa de tomate, o que foi seguido no presente estudo.

Em seguida, o fluido resultante da fase oral foi misturado com o fluido de simulação gástrica (SGF) na proporção de 1:1 (v/v), adicionado de pepsina de origem suína, resultando em uma atividade de 2000 U mL<sup>-1</sup> no fluido final da fase gástrica. A simulação da fase gástrica foi conduzida à 37 °C por 2 h, com agitação à 45 rpm, em pH 3 (ajustado com HCl 1M). Posteriormente, o quimo resultante da fase gástrica foi misturado ao fluido de simulação intestinal (SIF) na proporção de 1:1 (v/v), contendo sais de bile e pancreatina, com uma concentração e atividade de 10 mM e 100 U mL<sup>-1</sup> (baseada na atividade da tripsina), respectivamente, no fluido final da fase intestinal. O pH da fase intestinal foi ajustado para 7,0 com NaOH 1M. A simulação da fase intestinal foi conduzida durante 3 h, à 37 °C, com agitação à 45 rpm.

Assim como acontece naturalmente durante a digestão, os volumes em cada etapa digestiva aumentaram. Portanto, todas as etapas foram corrigidas a fim de que a diluição final apresentasse a porcentagem de matéria seca igual para todas as amostras. Para cessar a reação enzimática, as alíquotas retiradas durante a digestão foram tratadas com etanol 1:4 (v/v) (BRODKORB *et al.*, 2019) e centrifugadas (4000 x g, por 10 min). O sobrenadante foi utilizado para medição da atividade antioxidante, através dos ensaios de ABTS, DPPH e FRAP, e do teor de fenólicos totais, conforme descrições já citadas anteriormente.

#### **3.4.4 Análise estatística**

As análises experimentais foram realizadas em triplicata. Os resultados das análises de composição proximal, Aw e textura foram avaliados por ANOVA com fator único, seguida de Teste de Tukey, com um nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Os resultados de pH, cor, peróxido, acidez, TBARS, e atividade antioxidante (ABTS, DPPH e FRAP) e teor de fenólicos totais (antes e após digestão *in vitro*) foram avaliados por ANOVA com fator duplo, seguida de Teste de Tukey, com um nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ), através do software Statistica versão 12 (Statsoft Inc., USA).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CAPÍTULO 1: PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA E CIENTÍFICA

#### 4.1.1 Prospecção tecnológica e científica: o mirtilo e suas aplicações em produtos cárneos

Através das buscas nas bases de dados com o uso dos termos “*Vaccinium corymbosum*” and “meat products”; “blueberry flour”; “blueberry powder” and “sausage”; e “blueberry flour” and “sausage”, foram selecionadas 39 patentes das bases do *European Patent Office* (*Espacenet*®) e do *Patentscope* para avaliação. Além destas, foram avaliadas todas as patentes encontradas no INPI, para que fosse possível ter uma ideia geral do que é produzido no Brasil a partir do mirtilo. Também foram avaliadas as patentes provenientes das buscas realizadas com a palavra “mirtilo” em português, resultando em um total de 54 patentes. As palavras-chave utilizadas e os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 8, com os respectivos números de patentes.

Tabela 8 - Escopo das buscas realizadas nas bases de dados de patentes.

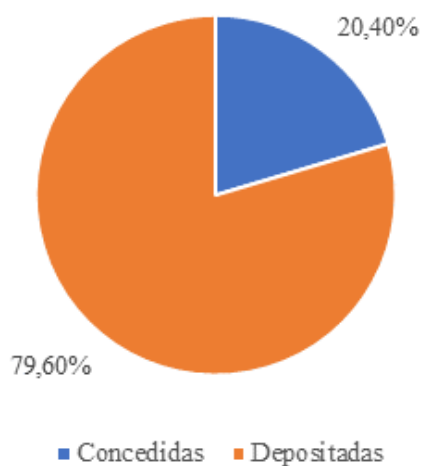
Mirtilo	Blueberry	<i>Vaccinium corymbosum</i>	Flour	Powder	Meat Products	Sausage	N.º de patentes		
							INPI	Espacenet	Patentscope
x							<b>7</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
	x						<b>3</b>	30.068	31719
	x			x			0	789	13606
	x				x		0	852	5068
	x					x	0	896	1160
		x					0	691	1086
	x		x				0	<b>21</b>	<b>0</b>
		x			x		0	<b>10</b>	<b>6</b>
	x			x		x	0	0	<b>1</b>
	x		x			x	0	<b>1</b>	<b>0</b>

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Através dos dados apresentados, pode-se observar que a maior parte das patentes selecionadas (63%), foram extraídas da base de dados europeia, *Espacenet*. Após a seleção das 54 patentes (em negrito na Tabela 8), os resumos foram lidos e a primeira observação realizada foi o número de patentes concedidas e o número de patentes depositadas. Apenas 20,40% dos depósitos de patentes foram concedidos (Figura 6), o que pode ser ocasionado por vários eventos legais. Dentre eles, cita-se, a rejeição de aplicação de patente de invenção; rescisão do

direito de patente por não pagamento da taxa anual, durante o processo avaliativo; inconsistências nas descrições; desistências, entre outros.

Figura 6 - Percentual de patentes concedidas e de patentes depositadas.



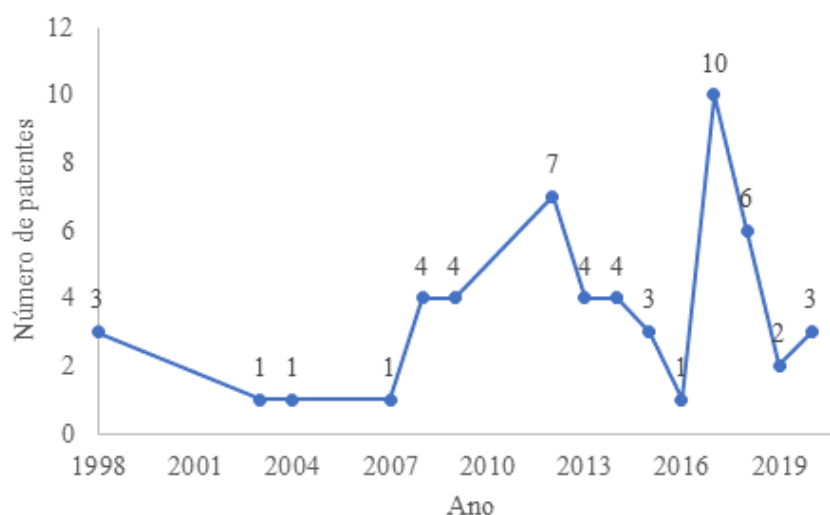
Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Também se observa que os depósitos de patentes, em sua maioria, foram feitos nos últimos 10 anos, conforme mostra a Figura 7, com ascensão a partir de 2016. Esse também provavelmente, possa ser um motivo pelo baixo número de patentes concedidas, pois geralmente esses processos avaliativos podem perdurar por anos, dependendo das condições. Analisando a evolução anual de patentes, é possível compará-la com o crescente aumento da busca por produtos alimentares mais saudáveis e nutracêuticos nos últimos anos. O pico de depósitos ocorreu em 2017, com contribuições de patentes da República da Coreia, na área de alimentos, mais especificamente com produtos de panificação utilizando como base de cereal, o arroz.

O tópico de alimentos naturais tem sido objeto de várias pesquisas nos últimos 30 anos e tem recebido atenção crescente nos últimos 15 anos. Na verdade, o interesse do consumidor por esses alimentos vem sendo abordado pela indústria como uma tendência atual e futura no mercado. A saudabilidade alimentar pode ser considerada como uma percepção e diferentes aspectos contribuem para o seu desenvolvimento junto aos consumidores (BATTACCHI *et al.*, 2020).

Ainda de acordo com a evolução anual de patentes, verificou-se que a primeira patente depositada teve como data o ano de 1998. Seu conteúdo é sobre a síntese de um medicamento manipulado à base de antocianinas provenientes de frutos como o mirtilo.

Figura 7 - Número de depósitos de patentes por ano em diferentes bases de dados (INPI, Espacenet e *Patentscope*).



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

De acordo com os países de origem dos depósitos de patentes avaliados, a China apresenta-se na primeira posição, seguida da República da Coreia (Figura 8).

Figura 8 - Distribuição das patentes avaliadas por país ou território.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A China e a República da Coreia apresentam a maior parte destas patentes na área de alimentos, principalmente em formulações de produtos à base de arroz, cultura bastante desenvolvida e apreciada nestes países. Segundo dados da Organização para a Cooperação e



Desenvolvimento Econômico (OCDC) de 2016, a China tem os maiores potenciais de inovação tecnológica do mundo, ao lado dos Estados Unidos. Segundo dados dessa mesma pesquisa, a China tem avançado de forma rápida, deixando de ser dependente em manufatura e se tornando uma potência em inovação.

Apesar de o mirtilo não ser ainda muito conhecido e explorado no Brasil, o país apresenta-se na 5ª posição no ranking. As patentes relacionadas às aplicações do mirtilo nacional em alimentos são referentes à produção de licores, cerveja e bala de gelatina. Entretanto, conforme mencionado anteriormente, utilizou-se neste estudo prospectivo o número total das patentes brasileiras encontradas. Essa escolha foi feita para identificar todos os usos e/ou métodos relacionados ao fruto produzido nacionalmente. A Tabela 9 contém os títulos das patentes brasileiras e seus respectivos depositantes.

Dentre as patentes brasileiras depositadas, apenas uma foi concedida. A mesma é referente a um equipamento utilizado para colheita de frutos de café e similares como, azeitonas, mirtilo, uvas, entre outros. Esta patente foi depositada pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) em 2013 e teve seu depósito concedido em 2020. Entretanto, observa-se que esta patente tem relação indireta com o mirtilo e sua principal aplicação provavelmente seria para a colheita de café, já que seu depositante se localiza em Minas Gerais, estado com expressiva produção cafeeira.

Observa-se também que a maioria dos depósitos (55,5%) foram feitos por Universidades Federais ou Instituições de ensino e pesquisa, sendo algumas em conjunto com fundações ou empresas privadas. Em seguida, tem-se as patentes depositadas por pessoas físicas ou inventores individuais, representando 33,3% do total, e por último, as empresas privadas, com 22,2% das patentes. A partir destes dados, nota-se que no Brasil, as empresas ainda não demonstraram muito interesse no desenvolvimento de produtos a partir de mirtilo, o que provavelmente tenha relação direta com sua produção em pequena escala no país.

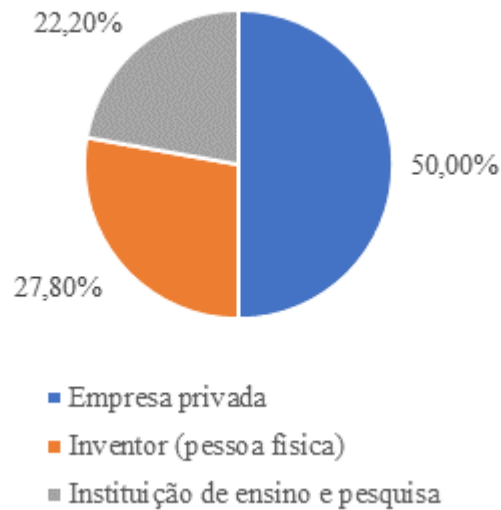
Tabela 9 - Lista com depositantes e títulos de patentes brasileiras relacionados ao fruto mirtilo.

<b>Depositante</b>	<b>Título da patente</b>
Universidade Federal do Paraná / Universidade Estadual de Ponta Grossa	Processo de fabricação de licor
Pessoa física	Cerveja enriquecida com suco ou extrato de blueberry
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas / MD Moraes dos Santos - ME	Balas de gelatina sem açúcar e com polpa de frutas e seu processo de produção
Universidade Federal de Sergipe	Potencial antimicrobiano de extratos de resíduos de frutas exóticas (tamarindo ( <i>Tamarindus indica</i> ), granadilla ( <i>Passiflora ligularis</i> ), noni ( <i>Morinda citrifolia</i> ), dekopon ( <i>Citrus reticulata 'shiranui'</i> ), sapoti ( <i>Manilkara zapota</i> ), tamarillo ( <i>Solanum betaceum</i> ) e mirtilo ( <i>Vaccinium myrtillus</i> ))
Pessoa física	Pó instantâneo para o preparo de bebida à base de colágeno hidrolisado e mirtilo e seu respectivo processo de obtenção
Biotecnológica Empresarial Del Sur SPA	Método para propagação de plantas lenhosas de cortes de folha
Universidade Federal Viçosa / FAPEMIG - Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais	Máquina derriçadora articulada tratorizada de frutos de café e similares
Osmopharm US ALLC	Composições e métodos para a liberação regulada de suplementos nutricionais solúveis em água
Pessoa física	Formulação antiestrias para uso doméstico

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Em relação ao número total de patentes avaliadas neste estudo, verificou-se que a maior parte dos depósitos foi realizada por empresas privadas, seguida de inventores individuais, e por fim, instituições de ensino e pesquisa, conforme apresentado na Figura 9. As empresas privadas geralmente são as detentoras de modernos equipamentos e processos padronizados, o que facilita a implantação da produção de um novo produto. Ao contrário de instituições de ensino e inventores individuais, que para colocar em prática as suas invenções necessitam passar por processo de transferência de tecnologia.

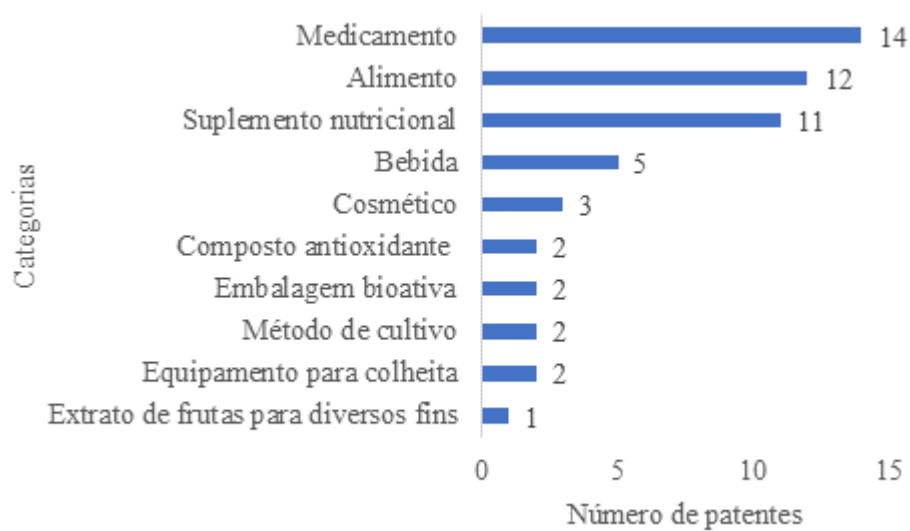
Figura 9 - Grupos depositantes de patentes em diferentes bases de dados (INPI, Espacenet e *Patentscope*).



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A partir da análise dos resumos dos depósitos de patentes selecionados foi também possível classificá-los em categorias, de acordo com o tipo de aplicação do fruto em cada um (Figura 10).

Figura 10 - Divisão das patentes em categorias conforme utilização do fruto em diferentes aplicações.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Em todas as aplicações, os frutos e/ou folhas foram utilizados na forma desidratada e/ou transformados em pó através de diferentes operações. Seu principal uso, dentre as patentes selecionadas, é como medicamento, geralmente encapsulado, atuando em conjunto com outras substâncias bioativas em composições farmacêuticas. Suas principais funções são (de acordo com o estudo das patentes) regular a reação inflamatória ou reação imunomoduladora, inibir a elevação da pressão sanguínea e atuar como antioxidante.

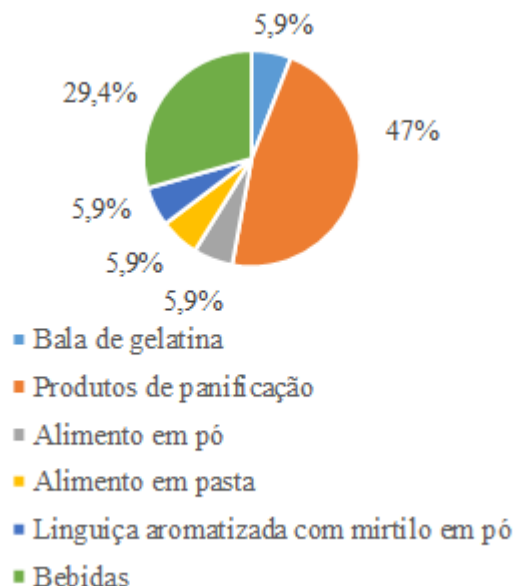
De acordo com um estudo sobre o potencial de inovação de compostos fenólicos, realizado por ARAÚJO *et al.* (2021), alguns pedidos de patentes avaliados envolvem o uso de compostos fenólicos para a elaboração de medicamentos terapêuticos para o tratamento e prevenção de distúrbios como câncer, doenças cardíacas, tumores e obesidade. Os autores ainda citam, que uma invenção australiana demonstrou que a combinação de ácido ascórbico, lisina, prolina e pelo menos um composto fenólico pode ser usado como agente para prevenção e tratamento de câncer (AU2003235762B2, 2008). Da mesma forma, uma combinação balanceada contendo super nutrientes, compostos fenólicos, elementos anti-degenerativos e micronutrientes essenciais podem ser usados na prevenção de doenças cardiovasculares, doença de Alzheimer, diabetes, regulação e redução do açúcar no sangue e resistência à insulina.

Em especial as antocianinas, presentes em altas concentrações nos mirtilos, demonstraram atributos preventivos do câncer gastro-intestinal, principalmente devido a suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antiproliferativas, além da capacidade de regular a expressão gênica e vias metabólicas e induzir a inibição de células cancerosas (DHARMAWANSA; HOSKI; RUPASINGHE, 2020).

Na segunda posição estão as aplicações alimentícias, com a incorporação de mirtilo em alimentos processados, seguido de uso em suplementos nutricionais e, a seguir, em bebidas. O restante das aplicações refere-se a outras áreas, com aplicações diversas, além de manejo de plantio e colheita dos frutos.

Pela afinidade com o objetivo deste estudo prospectivo, deu-se maior enfoque às patentes da área de alimentos. Como pode-se observar na Figura 11, destaca-se a aplicação do fruto em produtos de panificação, sendo as principais patentes representadas neste grupo oriundas da China e República da Coreia, associadas na maior parte ao uso de cereais, como o arroz. Em segundo lugar, está a utilização em bebidas, podendo-se citar cervejas e licores. As demais aplicabilidades igualam-se em número de patentes, com uma em cada, sendo elas: bala de gelatina, alimento em pó (mistura em pó com mirtilo para adição em alimentos variados), alimento em pasta (pasta de pimenta saborizada com mirtilo) e linguiça aromatizada com mirtilo em pó.

Figura 11 - Tipos de alimentos descritos nas patentes relacionadas à categoria “Alimentos”.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Na maioria dos produtos, o mirtilo foi aplicado como fonte de compostos bioativos, atuando geralmente em conjunto com outras fontes vegetais ou frutos também ricos em compostos fenólicos, com atividade antioxidante e/ou antimicrobiana. As propriedades antioxidantes das frutas dependem da concentração de vitaminas C e E, bem como de carotenoides, flavonoides e outros polifenóis. As demandas do consumidor moderno por autenticidade e produtos naturais está impulsionando o desenvolvimento e a inovação na indústria (MAR *et al.*, 2020).

Grande relevância foi dada à patente relacionada a produção de uma linguiça com adição de mirtilo em pó, principalmente por seu aspecto inovador. Este produto é diferenciado e com apelo saudável por conter além da adição do fruto, ingredientes não convencionais na indústria cárnea. Dentre eles destaca-se amido de batata-doce, farinha de arroz, anis estrelado em pó e outros extratos vegetais. O objetivo era a fabricação de um produto cárneo altamente nutritivo, com efeitos protetores à saúde e com disponibilidade para ser produzido em grande escala. Esse depósito de patente foi realizado por uma empresa privada na China, em 2017, sem concessão ainda aprovada até o momento.

Em seguida, com a finalidade de identificar os principais códigos IPC utilizados nas patentes de produtos alimentícios, foi organizada a Tabela 10, com seus respectivos significados. A seção A refere-se às necessidades humanas e a seção C, à química e metalurgia. Na sequência tem-se o significado das classes A23C: alimentos ou produtos alimentícios; seu beneficiamento; A23G: cacau; produtos de cacau, p. ex. chocolate; substitutos de cacau ou

produtos de cacau; confeitos; goma de mascar; sorvetes; preparações dos mesmos; e, A23L: alimentos, produtos alimentícios ou bebidas não alcoólicas. Outra classe encontrada foi a A21D, e seu significado é associado ao preparo ou tratamento, p. ex. cozimento, modificação das qualidades nutritivas, tratamento físico; conservação de alimentos ou produtos alimentícios, em geral; tratamento, p. ex. conservação, de farinhas ou massas, p. ex. pela adição de materiais; cozimento; produtos de panificação; conservação dos mesmos.

Tabela 10 - Códigos IPC utilizados nas patentes da área de alimentos.

<b>Código</b>	<b>Significado</b>
A23C9/133	Frutas ou legumes.
A23G 3/38	Livre de produtos de sacarose.
A23G 3/44	Contendo peptídeos ou proteínas.
A23G 3/48	Contendo plantas ou partes desta, p. ex. frutos, sementes, extratos.
A23L 2/02	Bebidas não alcoólicas; composições secas ou seus concentrados; sua preparação; contendo sucos de frutas ou vegetais.
A23L7/10	Produtos derivados de cereais.
A23L11/20	Produtos à base de malte; produtos fermentados à base de malte (agentes flavorizantes ou condimentos A23L 27/00); produtos à base de malte de cereais.
A23L 13/40	Produtos de carne; refeição com carne; preparação ou tratamento; contendo aditivos.
A23L19/00	Produtos à base de frutas ou legumes; seu preparo ou tratamento.
A23L21/10	Doces em pasta; geleias; gelatinas; outras composições similares de frutas ou legumes; produtos artificiais de frutas.
A23L33/00	Modificações nas qualidades nutritivas de alimentos; produtos dietéticos; seu preparo ou tratamento.
A23L33/10	Modificações nas qualidades nutritivas de alimentos; produtos dietéticos; seu preparo ou tratamento; usando aditivos.
A23L33/105	Modificações nas qualidades nutritivas de alimentos; produtos dietéticos; seu preparo ou tratamento; extratos de plantas, suas duplicatas artificiais ou seus derivados.
A21D2/36	Tratamento de farinhas ou massas pela adição de materiais às mesmas antes ou durante o cozimento; material vegetal.
A21D10/00	Tratamento de farinhas ou massas pela adição de materiais às mesmas antes ou durante o cozimento; massas moles, massas consistentes ou misturas antes do cozimento.
A21D13/00	Produtos de panificação acabados ou semiacabados.
A21D13/06	Produtos de panificação acabados ou semiacabados; produtos com valor nutritivo modificado, p. ex. com conteúdo de amido modificado.
A21D13/80	Produtos de pastelaria não previstos em outro local, p. ex. bolos, biscoitos ou cookies.
C12G 3/04	Por mistura, p. ex. para preparação de licores.
C12C 5/02	Materiais aditivos para a preparação de cerveja; aditivos para a cerveja.

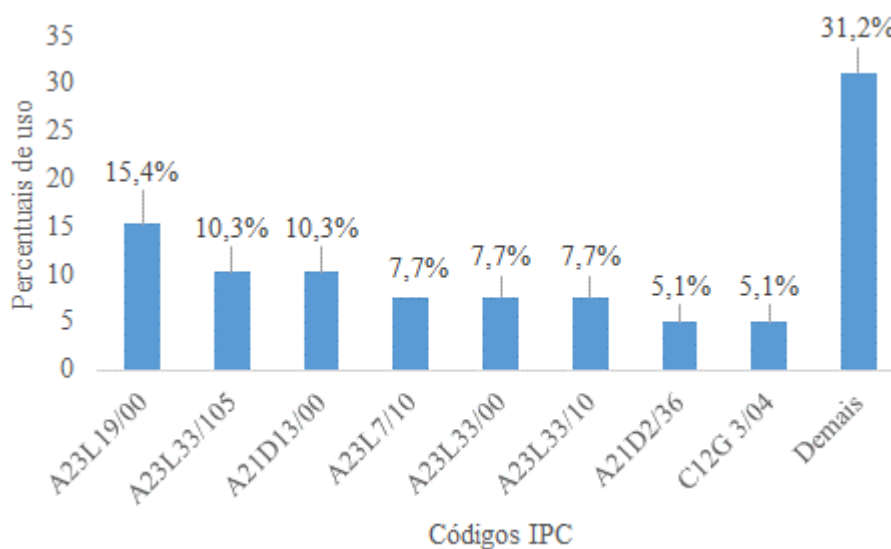
Fonte: WIPO (2022).

Também foram observados os códigos C12C (cerveja; produção de cerveja por fermentação; preparação de malte para produzir cerveja; preparação de lúpulo para produzir

cerveja) e C12G (bioquímica; cerveja; álcool; vinho; vinagre; microbiologia; enzimologia; engenharia genética ou de mutação; vinho; sua preparação; bebidas alcoólicas; preparação de bebidas alcoólicas não contempladas nas subclasses).

Os índices em percentual dos códigos utilizados nas patentes relacionadas a alimentos estão apresentados na Figura 12. Observa-se que os códigos que apareceram em maior número nas patentes representam produtos à base de frutas, vegetais ou cereais e com modificações nutritivas nos alimentos provenientes de extratos de plantas.

Figura 12 - Percentual de uso dos principais códigos relacionados às aplicações de mirtilo em produtos alimentícios.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A partir da análise dos dados foi possível verificar que a maioria das patentes com aplicação de mirtilo está relacionada a produtos de origem vegetal e seus diferentes métodos de preparo ou beneficiamento. Há uma lacuna quanto à sua aplicação em produtos de origem animal, em depósitos de patentes. Como exemplo, foi verificado apenas um código (A23L 13/40), o qual consta na patente relacionada a produção de uma linguiça adicionada de mirtilo em pó.

A partir dos dados extraídos das 54 patentes foi possível verificar que a maioria dos depósitos foram realizados nos últimos 10 anos e por empresas privadas. O país que lidera o ranking é a China, seguida da República da Coreia e dos Estados Unidos. As aplicações de mirtilos em produtos, se dá principalmente nas áreas de medicamentos e alimentos, nesta

última, especialmente em produtos de panificação. No Brasil, o fruto ainda é pouco empregado e seu principal uso é dado em bebidas.

Em relação à prospecção científica, a partir das buscas realizadas nos sites de pesquisa *Science Direct*, Periódicos Capes e *Scopus* foram selecionados 117 artigos. Os mesmos foram provenientes das buscas com as palavras-chave “blueberry” e “sausage”; “*Vaccinium corymbosum*” e “meat products; “blueberry flour”, e “blueberry powder” e “sausage”, através do uso do operador booleano, “and”. As combinações de palavras-chave e resultados das buscas podem ser visualizadas na Tabela 11.

Após a eliminação de publicações que se repetiam dentro das bases de dados, restaram 106 artigos. Realizou-se então a leitura dos resumos destes artigos e a primeira classificação feita foi sobre a área temática das publicações. A Figura 13 apresenta esta distribuição.

Tabela 11 - Resultados das buscas por artigos científicos nas bases de dados *Science Direct*, Periódicos Capes e *Scopus*.

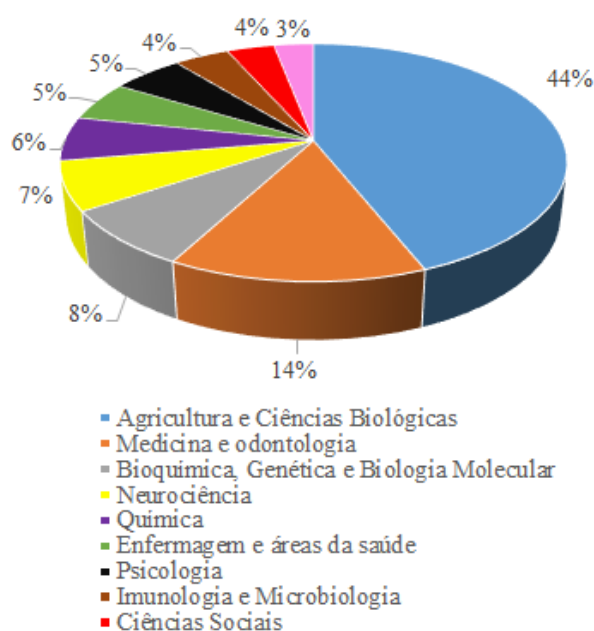
Mirtilo	Blueberry	<i>Vaccinium corymbosum</i>	Flour	Powder	Meat Products	Sausage	<i>Science Direct</i>	Periódicos Capes	<i>Scopus</i>
x							1	141	16
	x						8322	14375	4529
		x					663	2003	850
	x			x			111	291	57
	x				x		96	155	9
	x					x	95	222	3
		x			x		6	15	1
	x		x				0	1	0
	x			x		x	2	4	1

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A maioria dos artigos enquadra-se na área de Agricultura e Ciências Biológicas, seguida das áreas de Medicina e Odontologia, e Bioquímica, Genética e Biologia Molecular. A área temática principal tem relação direta com aplicações em alimentos. As respectivas áreas seguintes referem-se ao uso do fruto e/ou folhas de mirtilo como medicamentos e uso relacionado a áreas de saúde.



Figura 13 - Divisão dos artigos recuperados nas bases de dados *Science Direct*, Periódicos Capes e *Scopus* entre áreas temáticas.

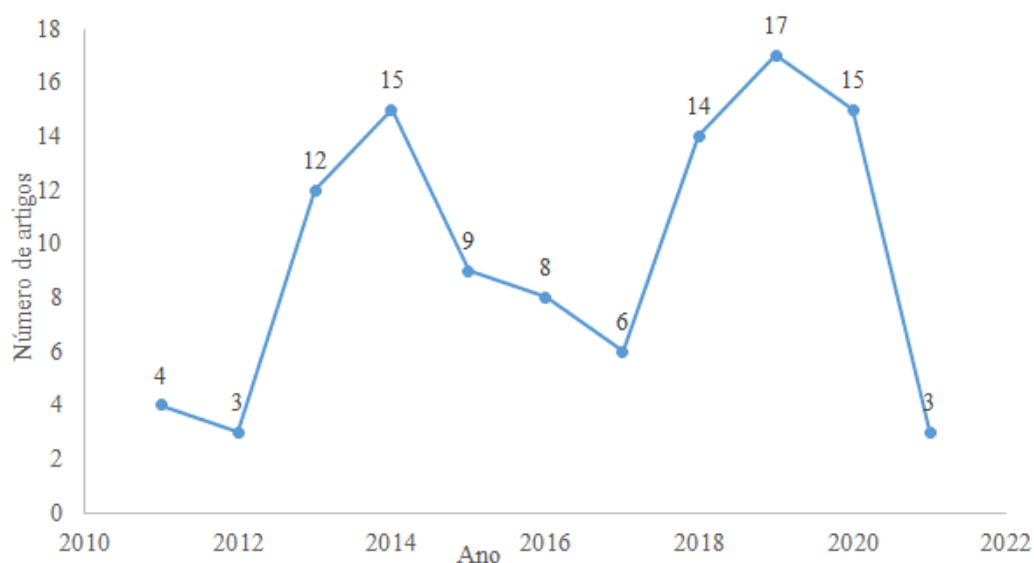


Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Através destes dados, é possível verificar que os estudos científicos com a utilização de mirtilo aplicam-se na maioria em matrizes alimentares. Muitas plantas (e seus extratos) comumente usados como condimentos no processamento de alimentos apresentam atividade antioxidante (adequada para aditivo alimentar) e, ao mesmo tempo, trazem benefícios à saúde. Neste contexto, as *berries*, seus sucos e extratos são ricos em polifenóis e benefícios à saúde já bastante documentados, portanto, adequadas para uso em alimentos processados de forma geral, especialmente em carnes e produtos cárneos (LORENZO *et al.*, 2018).

Com base na Figura 14, é possível observar que nos últimos 10 anos, o pico de pesquisas com mirtilo se deu em 2019. O número de artigos publicados nas diferentes bases de dados estava se elevando a partir do ano de 2017, obtendo uma queda no ano de 2020, o que provavelmente possa ser explicado pela diminuição e/ou paralisação dos trabalhos laboratoriais nos centros de pesquisa e universidades, ocasionada pela pandemia da COVID 19. Em relação aos valores de 2021, os dados mostram-se ainda inconclusivos, pois a busca foi realizada em outubro de 2020.

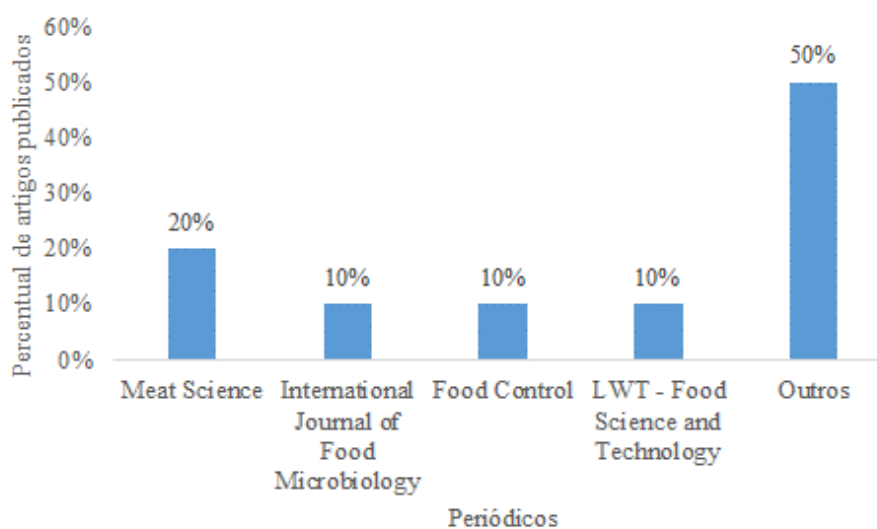
Figura 14 - Evolução anual de artigos publicados nas bases de dados *Science Direct*, Periódicos Capes e *Scopus* durante o período de 2011 a 2021.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Após a avaliação dos resumos, verificou-se que 20 artigos tinham relação direta com a aplicação de mirtilo em alimentos e em embalagens alimentícias, das mais variadas formas, com a função de aditivo alimentar (antioxidante, e/ou antimicrobiana e/ou fonte natural de nitrato). Como esse é o objetivo principal desta prospecção, foi dada maior ênfase a estes estudos. A Figura 15 apresenta o percentual de artigos publicados em diferentes periódicos.

Figura 15 - Distribuição dos artigos de aplicações de mirtilo como aditivo alimentar entre os periódicos.

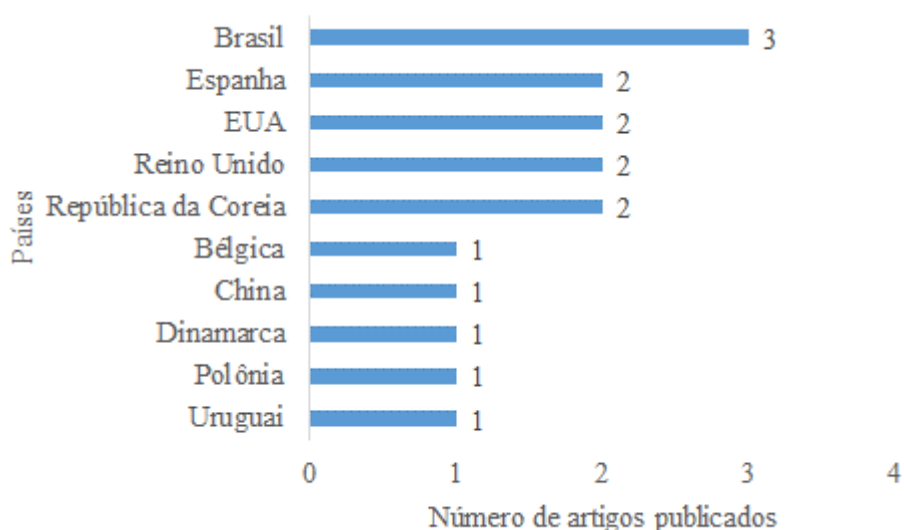


Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A maior parte destes artigos (20%) foram publicados no periódico “Meat Science”, muito conhecido na área de produtos cárneos e com Qualis A1. Em segundo lugar, as publicações avaliadas dividiram-se entre os periódicos *International Journal of Food Microbiology*, *Food Control* e *LWT – Food Science and Technology*, muito conhecidos e de grande renome na área de Alimentos. Os demais artigos foram publicados em diferentes periódicos da mesma área.

O maior número de publicações de artigos científicos com essa temática está no Brasil, como mostra a Figura 16. No Brasil, país onde apesar de inúmeros problemas orçamentários e falta de incentivo às instituições de pesquisa, os dados mostram que as publicações sobre o tema de aplicações de mirtilo como aditivo alimentar são superiores aos da Espanha, onde as pesquisas com produtos cárneos são tradicionais e bastante expressivas. Os Estados Unidos, apesar de liderarem a produção mundial de mirtilos, também estão em segundo lugar, juntamente com o Reino Unido e a República da Coreia.

Figura 16 - Distribuição de artigos publicados relativos às aplicações de mirtilo como aditivo alimentar por países.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Analisando as publicações brasileiras, observou-se que todas foram realizadas por Universidades Federais, como mostra a Tabela 12. Duas delas são da região Sul, local onde foram introduzidas as primeiras mudas de mirtilos no Brasil. O fruto foi introduzido em 1983, pela Embrapa Clima Temperado (Pelotas, RS), a partir de uma coleção de cultivares

provenientes da Universidade da Flórida, entretanto, o cultivo comercial se iniciou em 1990, no município de Vacaria, RS (MADAIL; SANTOS, 2004).

Tabela 12 - Artigos científicos de pesquisas brasileiras publicadas em periódicos referentes a aplicações de mirtilos.

<b>Título</b>	<b>Instituição</b>	<b>Periódico</b>	<b>Ano</b>	<b>Referência</b>
Características físico-químicas e propriedades funcionais tecnológicas do bagaço de mirtilo fermentado e suas farinhas	Universidade Federal de Santa Maria	Revista Brasileira de Fruticultura	2014	Goldmeyer <i>et al.</i>
Avaliação de resíduo de mirtilo incorporado a filme de amido de mandioca como indicador de pH em diferentes simulantes e alimentos	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Food Hydrocolloids	2018	Luchese <i>et al.</i>
Encapsulação de sucos de mirtilo amazônico: avaliação de compostos bioativos e estabilidade	Universidade Federal do Amazonas	LWT - Food Science and Technology	2020	Mar <i>et al.</i>

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

O terceiro artigo refere-se à utilização de um fruto conhecido como mirtilo amazônico. Ele é proveniente de arbustos da família *Melastomataceae*, popularmente chamado de buxixu no Brasil. As aplicações deste fruto ainda são escassas e representam uma possibilidade interessante de aplicação na indústria alimentícia (MAR *et al.*, 2020).

Avaliando as utilizações do mirtilo como aditivo alimentar nos artigos selecionados, foram listadas as aplicações em produtos cárneos (Tabela 13).

Em relação à prospecção científica, verificou-se que a maioria dos estudos, entre os 106 analisados, com aplicações de mirtilos está inserido na área temática de Agricultura e Ciências Biológicas e a ascensão das publicações se deu a partir de 2017. Em relação às pesquisas de aplicação de mirtilo como aditivo alimentar, a China ocupa o primeiro lugar do ranking de publicações, seguida pelo Brasil, onde o fruto vem sendo bastante estudado nos últimos anos.

Tabela 13 - Artigos científicos referentes as aplicações de mirtilos em produtos cárneos.

<b>Título</b>	<b>Periódico</b>	<b>Ano</b>	<b>Referência</b>
Alterações antioxidantes de extratos de folhas de mirtilo em linguiças emulsionadas durante a digestão in vitro	Korean Journal of Food Science and Technology	2013	Hur <i>et al.</i>
Será que as inovações em produtos suínos tradicionais podem ajudar a prosperar as raças de suínos inexploradas da UE? Um experimento de escolha discreta não hipotética com avaliação hedônica	Meat Science	2019	Kallas <i>et al.</i>
Agentes de cura natural como alternativas de nitrito e seus efeitos sobre propriedades físico-químicas, microbiológicas e avaliação sensorial de salsichas durante o armazenamento	Meat Science	2018	Jin <i>et al.</i>
Efeito de mirtilo fermentado na estabilidade oxidativa e perfis de moléculas voláteis de linguiça emulsionada durante armazenamento refrigerado	Asian-Australasian Journal of Animal Sciences	2020	Zhou <i>et al.</i>
Inovação saudável em Patty produtos. O papel da neofobia alimentar em consumidores não hipotéticos com intenção de pagamento, compra e avaliação hedônica	Nutrients	2019	Kallas, Vitale e Gil.

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

#### 4.1.2 Conclusões

Para a realização deste estudo prospectivo foram utilizadas 54 patentes e 106 artigos científicos. A partir dos dados extraídos da análise das patentes foi possível verificar que a maioria dos depósitos foram realizados nos últimos 10 anos e por empresas privadas. O país que lidera o ranking é a China, seguida da República da Coreia e dos Estados Unidos. As aplicações de mirtilos em produtos, se dá principalmente nas áreas de medicamentos e alimentos, nesta última, especialmente em produtos de panificação. No Brasil, o fruto ainda é pouco empregado e seu principal uso é dado em bebidas.

Em relação à prospecção científica, verificou-se que a maioria dos estudos com aplicações de mirtilos está inserido na área temática de Agricultura e Ciências Biológicas e a ascensão das publicações se deu a partir de 2017. Em relação às pesquisas de aplicação de

mirtilo como aditivo alimentar, a China ocupa o primeiro lugar do ranking de publicações, seguida pelo Brasil, onde o fruto vem sendo bastante estudado nos últimos anos. A partir destes dados foi possível verificar que as pesquisas realizadas sobre a adição de *berries* como o mirtilo, em produtos cárneos, ainda são bem recentes, oferecendo uma extensa linha de pesquisa a ser explorada.

#### 4.1.3 Fisális e suas potencialidades como ingrediente alimentar: uma prospecção tecnológica e científica

Através das buscas nas bases de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), *European Patent Office (Espacenet®)* e *Patentscope* foram selecionadas 70 patentes para avaliação. As palavras-chave utilizadas e os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 14, com os respectivos números de patentes. Os números que estão em negrito são de patentes que foram lidas. Entretanto para a seleção, foram eliminadas todas que se repetiam e/ou que não tinham relação direta com o objetivo do trabalho, como por exemplo, as patentes relacionadas ao cultivo e manejo da planta *Physalis*.

Tabela 14 - Escopo das buscas realizadas nas bases de dados de patentes.

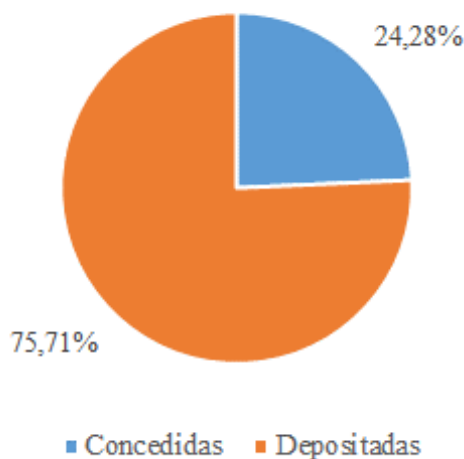
Fisális	Physalis	<i>Physalis peruviana</i>	Flour	Powder	Meat Products	Sausage	N.º de patentes		
							INPI	<i>Espacenet</i>	<i>Patentscope</i>
x							0	<b>8</b>	<b>3</b>
	x						<b>4</b>	5.620	4662
	x			x			0	3619	1197
	x				x		0	157	564
	x					x	0	<b>131</b>	<b>39</b>
		x					<b>2</b>	131	<b>307</b>
	x		x				0	1134	731
		x			x		0	<b>1</b>	<b>9</b>
	x			x		x	0	121	<b>25</b>
	x		x			x	0	<b>66</b>	<b>15</b>

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Através dos dados avaliados, observou-se que a maior parte das patentes selecionadas (68,5%) foram extraídas da base de dados *Patentscope*. Após a seleção das 70 patentes, os resumos foram lidos e observou-se a relação entre o número de patentes concedidas e o número de patentes depositadas. Apenas 24,28% dos depósitos de patentes obtiveram sua concessão, conforme apresentando na Figura 17. Isso pode ser ocasionado por vários eventos legais, como

a rejeição de aplicação de patente de invenção; rescisão do direito de patente por não pagamento da taxa anual; inconsistências nas descrições; desistências, e ainda demora no processo avaliativo.

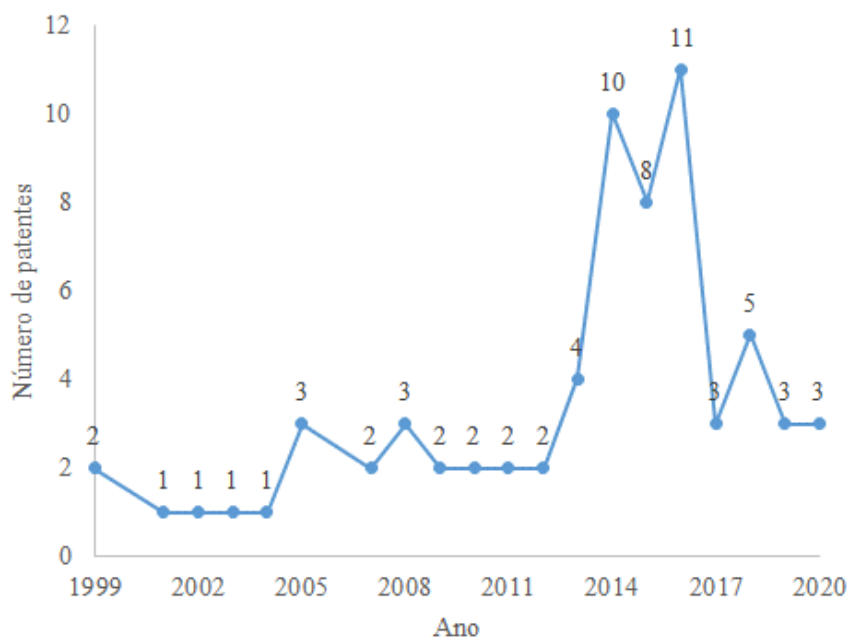
Figura 17 - Percentual de patentes concedidas e de patentes depositadas.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

De acordo com a pesquisa, as primeiras patentes depositadas são provenientes do ano de 1999 (Figura 18). Referem-se a um processo para obtenção de extratos de *Physalis* e à composição de um medicamento baseado em extrato de *Physalis*, especificamente, de esteroides derivados do ergostano, como as fisalinas, que podem ser usadas no tratamento ou profilaxia de doenças autoimunes. Ainda de acordo com a evolução anual de patentes (Figura 18), verificou-se que os depósitos de patentes, em sua maioria (67%), foram feitos nos últimos 8 anos, observando-se a ascensão a partir de 2013. Analisando esta evolução, é possível compará-la com o crescente aumento da busca por produtos alimentares mais saudáveis e nutracêuticos nos últimos anos, em todo o mundo. O pico de depósitos ocorreu em 2016 e a maior parte das contribuições de patentes deste ano são provenientes da China, principalmente relacionadas às áreas de medicamentos e de alimentos.

Figura 18 - Número de depósitos de patentes por ano em diferentes bases de dados (INPI, Espacenet e *Patentscope*).



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

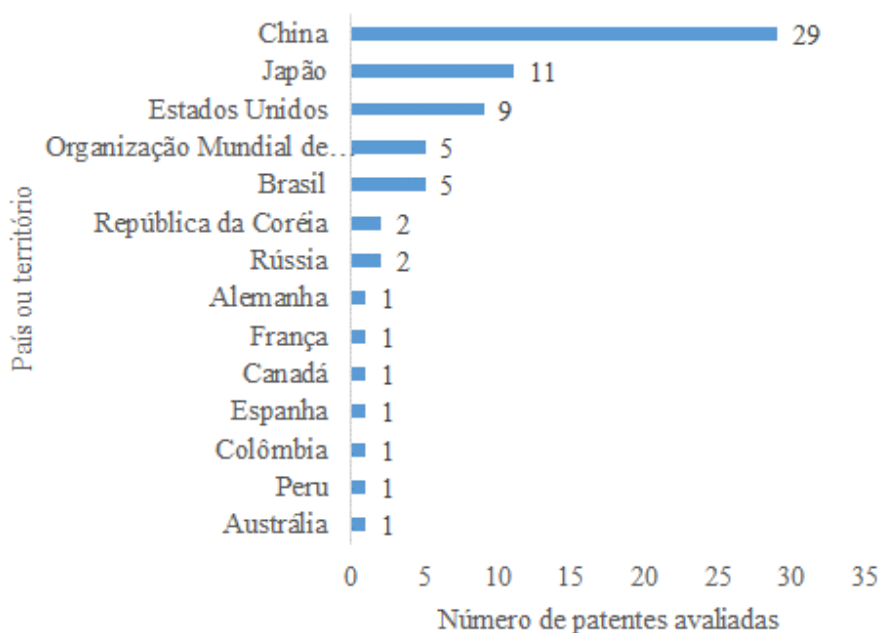
A questão envolvendo a alimentação saudável tem sido objeto de várias pesquisas nos últimos 30 anos e tem recebido atenção crescente nos últimos 15 anos. Há um grande interesse do consumidor em saber como o alimento foi cultivado, como foi produzido e quais são as suas características como produto final. A busca por alimentos saudáveis pode ser considerada como uma percepção e diferentes aspectos contribuem para o seu desenvolvimento junto aos consumidores (BATTACCHI *et al.*, 2020).

De acordo com os países de origem dos depósitos de patentes avaliados, a China apresenta-se na primeira posição, seguida pelo Japão e Estados Unidos (Figura 19). O Brasil vem na quarta posição, juntamente com a Organização Mundial de Propriedade Intelectual (WIPO). A China apresenta a maior parte destas patentes na área de medicamentos (55%), principalmente relacionada à medicina preventiva. As demais distribuem-se entre o setor alimentício (alimentos e bebidas) e nutrição animal. Segundo dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) de 2016, a China tem os maiores potenciais de inovação tecnológica do mundo, ao lado dos Estados Unidos. Segundo dados dessa mesma pesquisa, o país tem avançado de forma rápida, deixando de ser dependente em manufatura e se tornando uma potência em inovação.



O Japão, com expressivo número de depósitos de patentes, também é um importante centro tecnológico mundial. As áreas das patentes avaliadas distribuem-se entre medicamentos, cosméticos e obtenção de extratos de fisális para diversos fins.

Figura 19 - Distribuição das patentes avaliadas por país ou território.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Apesar de a fruta fisális não ser ainda muito conhecida e explorada no Brasil, o país possui cinco depósitos de patentes relacionadas a ela. Verificou-se que, dentre elas, há aplicações de fisális em alimentos, como em iogurte, bebida alcoólica e a produção de fisális em passas. Na área de medicamentos existem dois depósitos de patentes com utilização do extrato de fisális. A Tabela 15 contém os títulos das patentes brasileiras relacionadas a produtos alimentícios e seus respectivos depositantes.

Tabela 15 - Lista com depositantes e títulos de patentes brasileiras relacionadas a aplicações de fisális no setor alimentício.

<b>Depositante</b>	<b>Título da patente</b>
Fundação Universidade de Caxias do Sul (RS)	Formulação de alimento funcional com componente de planta do gênero <i>Physalis</i> e do gênero <i>Salvia</i>
Universidade Federal do Paraná	Tecnologia de obtenção de bebida alcoólica de <i>Physalis</i> light
Universidade Federal do Paraná	Processo de fabricação de passas de <i>Physalis peruviana</i> desidratada osmoticamente

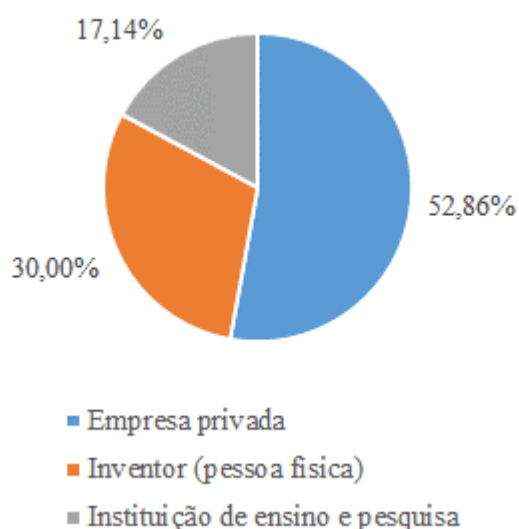
Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Dentre estas patentes, apenas uma foi concedida. A invenção trata de passas de *Physalis* desidratada osmoticamente com solução de sacarose concentrada. Ela promove o aproveitamento da matéria prima que é sazonal, para o ano inteiro, e desenvolve um produto concentrado com baixo teor de umidade. Esta patente foi depositada pela Universidade Federal do Paraná, em 2011 e teve seu depósito concedido em 2019. Também é importante destacar que a concessão se deu através de pedido de depósito internacional (PI 1106027-1 B1), tornando o produto desenvolvido ainda mais relevante.

A Colômbia, maior produtor mundial, possui uma patente referente a um produto em pó de fisális, homogêneo, solúvel em água, útil para a preparação de produtos alimentares para administração oral, suplementos alimentares ou como ingrediente alimentar funcional. O depósito foi feito pela Universidade Nacional da Colômbia, juntamente com a companhia Tecnacol S.A., no ano de 2014, entretanto, ainda não obteve concessão.

Em relação ao número total de patentes avaliadas neste estudo, verificou-se que a maior parte dos depósitos foi realizada por empresas privadas, seguida de inventores individuais, e por fim, instituições de ensino e pesquisa, conforme apresentado na Figura 20. As empresas privadas geralmente são as detentoras de modernos equipamentos e processos padronizados, o que facilita a implantação da produção de um novo produto. Ao contrário de instituições de ensino e inventores individuais, que para colocar em prática as suas invenções necessitam passar por processo de transferência de tecnologia.

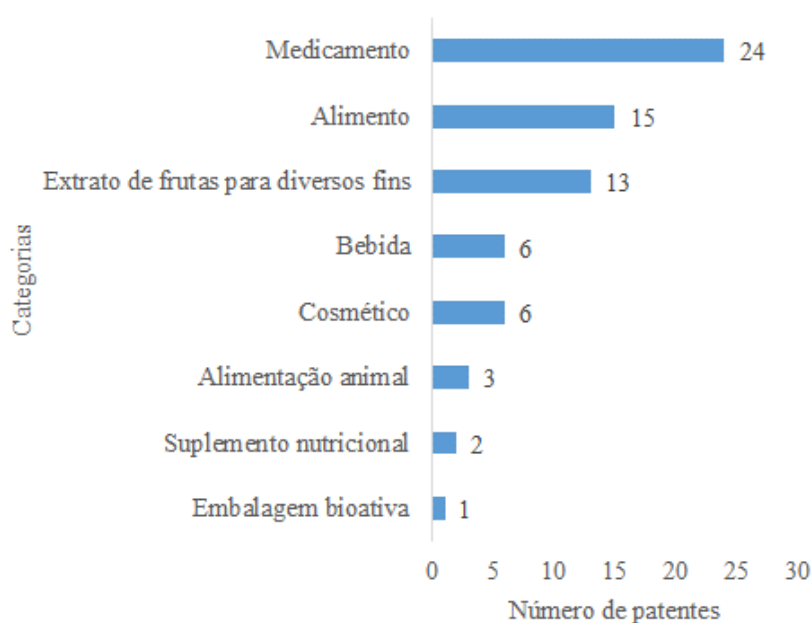
Figura 20 - Grupos depositantes de patentes em diferentes bases de dados (INPI, Espacenet e *Patentscope*).



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A partir da análise dos resumos dos depósitos de patentes selecionados também foi possível classificá-los em categorias, de acordo com o tipo de aplicação do fruto em cada um (Figura 21).

Figura 21 - Divisão das patentes em categorias conforme utilização do fruto em diferentes aplicações.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Observou-se que sua utilização como medicamento ou em composições de medicamentos juntamente com outras plantas, apresenta o maior número de depósito de patentes, principalmente na China. Como exemplos, têm-se medicamentos utilizados para prevenção de câncer e doenças degenerativas, para tratamento de úlceras gástricas, pancreatite, mastite, artrite e deficiência nos rins, relacionados especialmente à *Physalis angulata*.

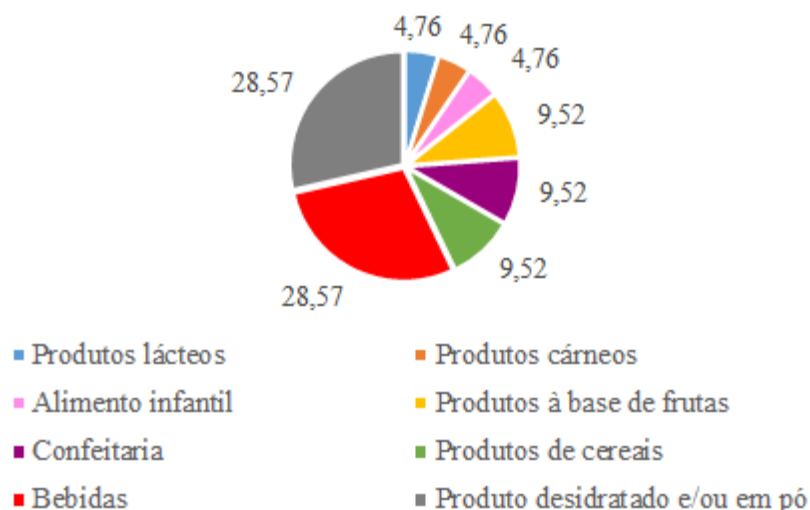
Os vitanolídeos, compostos com distribuição limitada no reino vegetal que ocorrem predominantemente em gêneros de *Solanaceae*, dos quais o gênero *Physalis* é uma fonte importante, são considerados candidatos promissores a drogas, particularmente para o desenvolvimento de agentes anticâncer e anti-inflamatórios. Devido à sua estrutura única possuem potentes bioatividades (HUANG *et al.*, 2020).

Na segunda posição estão as aplicações alimentícias, com a incorporação de fisális em alimentos processados, seguido da utilização em formulações de extrato de frutas com ou sem combinação com outras espécies vegetais para aplicações nas diversas áreas. Também se tem a aplicação de fisális na produção de bebidas e cosméticos e, em menor número, em formulações de alimentos para nutrição animal e suplemento alimentar. Por último, uma aplicação de extrato de fisális em embalagem bioativa.

Pela afinidade com o objetivo deste estudo prospectivo, deu-se maior enfoque às patentes da área de alimentos. Como pode-se observar na Figura 22, destacam-se as aplicações do fruto como alimento desidratado ou em pó, podendo atuar desta forma como ingrediente alimentar e em bebidas. Como exemplos de bebidas, pode-se citar o uso em licores, vinhos, chás e cafés. Outras aplicações que merecem destaque são da área de confeitaria e em produtos à base de cereais e frutas, como doces, balas de goma, frutas em calda e bolos. Os demais alimentos com aplicação de fisális são citados como purê de frutas para alimentação de bebês, iogurte e um produto cárneo.

Este último, refere-se a um produto formulado com aglomerados de carne bovina, arroz negro, queijo em pó, extratos vegetais (dentre eles, o de *Physalis peruviana*) e demais ingredientes. A adição dos extratos tem como intuito atuar como fonte de compostos bioativos, tornando o produto mais saudável. Esse depósito de patente foi realizado por uma empresa privada na China, em 2014, sem concessão aprovada até o momento.

Figura 22 - Tipos de alimentos descritos nas patentes relacionadas à categoria “Alimentos”.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Na maioria dos produtos alimentícios, a fisalis foi aplicada em conjunto com outras fontes vegetais ou frutos também ricos em compostos fenólicos, com atividade antioxidante e/ou antimicrobiana. As propriedades antioxidantes das frutas dependem da concentração de vitaminas C e E, bem como de carotenoides, flavonoides e outros polifenóis. As demandas do consumidor moderno por autenticidade e produtos naturais está impulsionando o desenvolvimento e a inovação na indústria (MAR *et al.*, 2020).

Em seguida, com a finalidade de identificar os principais códigos IPC (*International Patent Classification*) utilizados nas patentes de produtos alimentícios foi organizada a Tabela 16. A seção “A” refere-se a necessidades humanas; a classe A23, a alimentos ou gêneros alimentícios e tratamento dos mesmos; e a classe A21, refere-se a cozimento; equipamento para fazer ou processar molhos; massas para assar. Os demais significados dos códigos, correspondentes às subclasses, estão apresentados na Tabela 16.

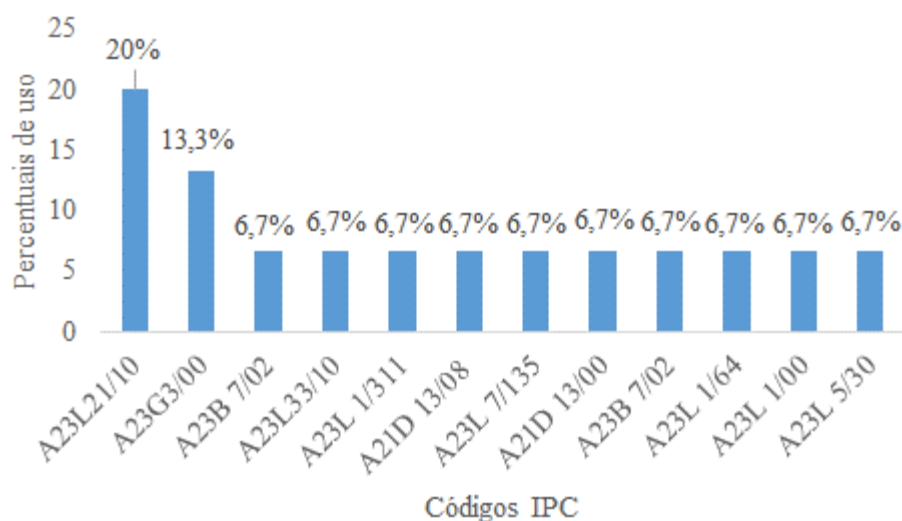
Tabela 16 - Códigos IPC utilizados nas patentes da área de alimentos.

<b>Código</b>	<b>Significado</b>
A23G3/00	Cacau; Produtos de cacau, por exemplo, chocolate; substitutos para o cacau ou produtos de cacau; confeitaria; goma de mascar; sorvete.
A23B 7/02	Conservação ou amadurecimento químico de frutas ou legumes; desidratação; reidratação subsequente.
A23L33/10	Alimentos, produtos alimentícios ou bebidas não alcoólicas, não abrangidos pelas subclasses A23B - A23J; sua preparação ou tratamento, por ex. cozinha, modificação de qualidades nutritivas, tratamento físico (modelagem ou trabalho, não totalmente abrangido por esta subclasse, A23P); preservação de alimentos ou alimentos, em geral
A23L21/10	Tratamento de frutas ou vegetais colhidos a granel.
A23L 1/311	Farinha ou pó de carne; grânulos, aglomerados ou flocos.
A21D 13/08	Massas, massa ou misturas antes de assar, pastelaria, por ex. bolo, biscoito, massa folhada.
A23L 7/135	Produtos derivados de cereais; produtos de malte (produtos de malte de leguminosas A23L 11/70); a sua preparação ou tratamento (preparação de malte para infusão C12C) flocos, grânulos ou formas individuais ou não extrudidas com tamanho semelhante, e. cereais do café da manhã.
A21D 13/00	Tratamento, por ex. preservação de farinha ou massa para assar, por ex. por adição de materiais; cozimento; produtos de confeitaria; preservação dos mesmos produtos de panificação acabados ou parcialmente acabados.
A23B 7/02	Conservação ou amadurecimento químico de frutas ou vegetais; desidratantes; reconstituição subsequente.
A23L 1/64	Derivado de frutas ou vegetais sólidos
A23L 1/00	Alimentos ou gêneros alimentícios; sua preparação ou tratamento.
A23L 5/30	Preparação ou tratamento de alimentos ou gêneros alimentícios em geral; alimentos ou produtos alimentares obtidos desse modo, tratamento físico, e. meios elétricos ou magnéticos, energia das ondas ou irradiação (preservação A23L 3/00, A23B); cozinhar.

Fonte: WIPO (2022).

Os índices em percentual dos códigos utilizados nas patentes relacionadas a alimentos estão apresentados na Figura 23. Observa-se que os códigos que apareceram em maior número nas patentes representam métodos de tratamento de frutas ou vegetais colhidos a granel (A23L21/10) e produtos de cacau, por exemplo, chocolate; substitutos para o cacau ou produtos de cacau; confeitaria; goma de mascar; sorvete (A23G3/00), confirmando as principais aplicações alimentícias do fruto, citadas anteriormente, como alimento desidratado ou em pó podendo compor formulações como um ingrediente alimentar.

Figura 23 - Percentual de uso dos principais códigos relacionados às aplicações de fisális em produtos alimentícios.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A partir da análise dos dados foi possível verificar que a maioria das patentes com aplicação de fisális está relacionada a produtos de origem vegetal e seus diferentes métodos de preparo ou beneficiamento. Há uma lacuna quanto à sua aplicação em produtos de origem animal, em depósitos de patentes. Como exemplo, foi verificado apenas um código (A23L 1/311), o qual consta na patente relacionada a um produto de carne bovina.

Em relação à prospecção científica, a partir das buscas realizadas nos sites de pesquisa *Science Direct*, Periódicos Capes e *Scopus* foram selecionados 366 artigos, os quais estão destacados em negrito na Tabela 4. Os mesmos foram provenientes das buscas com as palavras-chave “fisális”; “goldenberry”; “*Physalis*” e “meat products”; “*Physalis*” e “sausage”; “*Physalis peruviana*” e “meat products”; “*Physalis*” e “flour”; “*Physalis powder*” e “sausage”; “*Physalis flour*” e “sausage”; e, “*Physalis flour*” e “meat products”, através do uso do operador booleano, “and”. As combinações de palavras-chave e resultados das buscas podem ser visualizadas na Tabela 17.

Após a eliminação de publicações que se repetiam dentro das bases de dados e de artigos relacionados ao plantio e cultivo da planta, restaram 61 artigos. Realizou-se então a leitura dos resumos destes artigos e a primeira classificação realizada foi sobre a área temática das publicações.

Tabela 17 - Resultados das buscas por artigos científicos nas bases de dados *Science Direct*, Periódicos Capes e *Scopus*.

Fisális	<i>Physalis</i>	<i>Physalis peruviana</i>	Flour	Powder	Meat Products	Sausage	Goldenberry	Cape gooseberry	Science Direct	Periódicos Capes	Scopus
x									<b>2</b>	<b>22</b>	<b>0</b>
	x								750	2456	4929
		x							184	888	1941
							x		<b>49</b>	<b>103</b>	<b>371</b>
								x	143	433	1115
	x			x					232	363	495
	x				x				<b>32</b>	<b>82</b>	<b>114</b>
	x					x			<b>6</b>	<b>10</b>	<b>29</b>
		x			x				<b>11</b>	<b>37</b>	<b>71</b>
	x		x						<b>31</b>	<b>58</b>	<b>217</b>
	x			x		x			<b>1</b>	<b>5</b>	<b>12</b>
	x		x			x			<b>1</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
	x		x		x				<b>9</b>	<b>19</b>	<b>21</b>

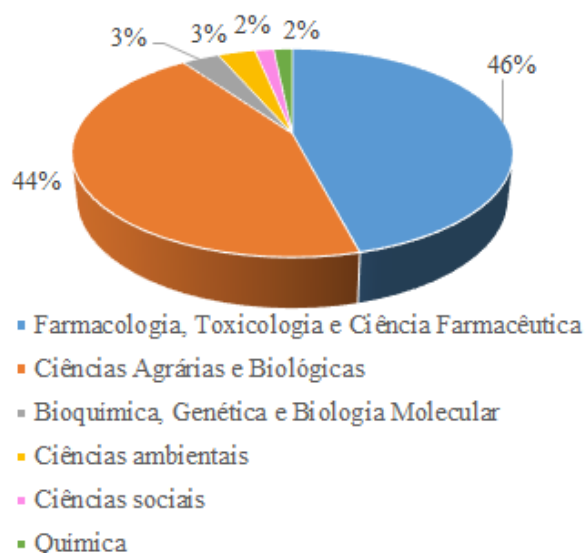
Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A maioria dos artigos enquadra-se na área de Farmacologia, Toxicologia e Ciência Farmacêutica, seguida da área de Agricultura e Ciências Biológicas. As demais áreas apresentam-se em menor número, como pode ser visualizado na Figura 24. A área temática principal tem relação direta com aplicações do fruto como medicamento.

Através destes dados, é possível verificar que os estudos científicos com a utilização de fisális aplicam-se na maioria em formulações medicamentosas. Espécies de *Physalis*, principalmente a *Physalis angulata*, são amplamente aplicados na medicina popular devido às propriedades terapêuticas, tanto da planta inteira, como de algumas partes. Extratos e infusões desta planta têm sido amplamente aplicados na medicina popular em todo o mundo para tratar de doenças imunomediadas, incluindo condições inflamatórias orais, como dor de garganta e gengivite (VIECELI *et al.*, 2021).



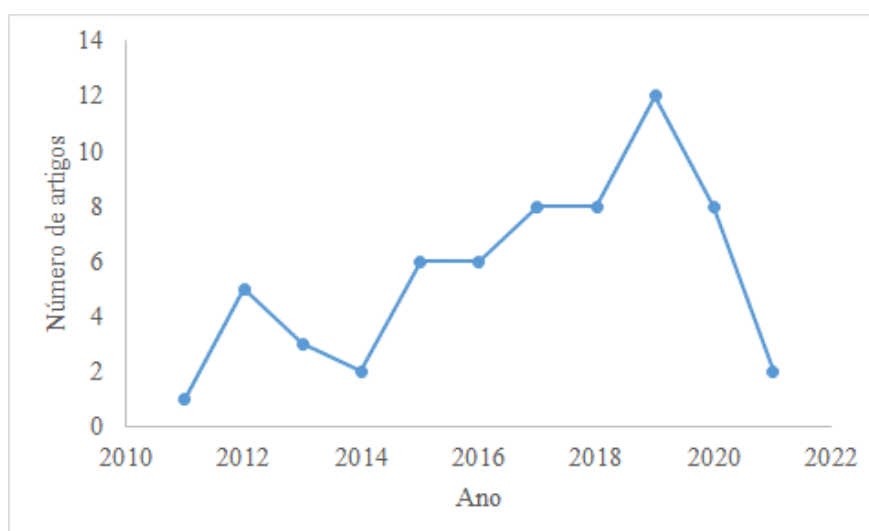
Figura 24 - Divisão dos artigos recuperados nas bases de dados *Science Direct*, Periódicos Capes e *Scopus* entre áreas temáticas.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Com base na Figura 25, que apresenta a evolução anual dos artigos selecionados, é possível observar que houve um aumento nas publicações, a partir de 2016, com o pico de pesquisas no ano de 2019. A queda observada nos anos seguintes, provavelmente pode ser explicada pela diminuição e/ou paralisação dos trabalhos laboratoriais nos centros de pesquisa e universidades, em função da pandemia de COVID 19.

Figura 25 - Evolução anual de artigos publicados nas bases de dados *Science Direct*, Periódicos Capes e *Scopus* durante o período de 2011 a 2021.

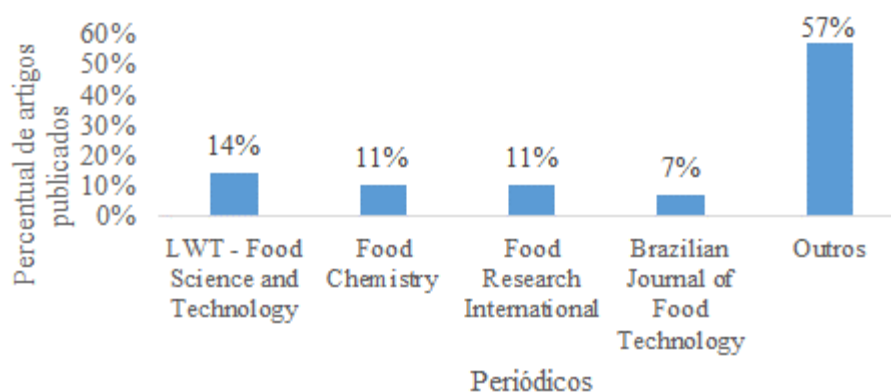


Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Após a avaliação dos resumos, verificou-se que 28 artigos se enquadravam na área de Ciência de Alimentos. Como esse é o objetivo principal desta prospecção, foi dada maior relevância a estes estudos.

A Figura 26 apresenta o percentual de artigos publicados em diferentes periódicos. A maior parte destes artigos (14%) foi publicada no periódico “LWT – Food Science and Technology”. Esta revista científica, revisada por pares e publicada pela editora Elsevier, é o jornal oficial da Sociedade Suíça de Ciência e Tecnologia de Alimentos e da União Internacional de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com alto fator de impacto (6.056 em 2022). Em segundo lugar, as publicações avaliadas dividiram-se entre os periódicos *Food Chemistry* e *Food Research International*, ambos de alto fator de impacto na área de Ciência de Alimentos. O periódico *Brazilian Journal of Food Technology* ficou na terceira posição, com 7% das publicações, e os demais artigos foram publicados em 16 diferentes periódicos relacionados à área.

Figura 26 - Distribuição dos artigos relacionados à Ciência de Alimentos entre os periódicos.



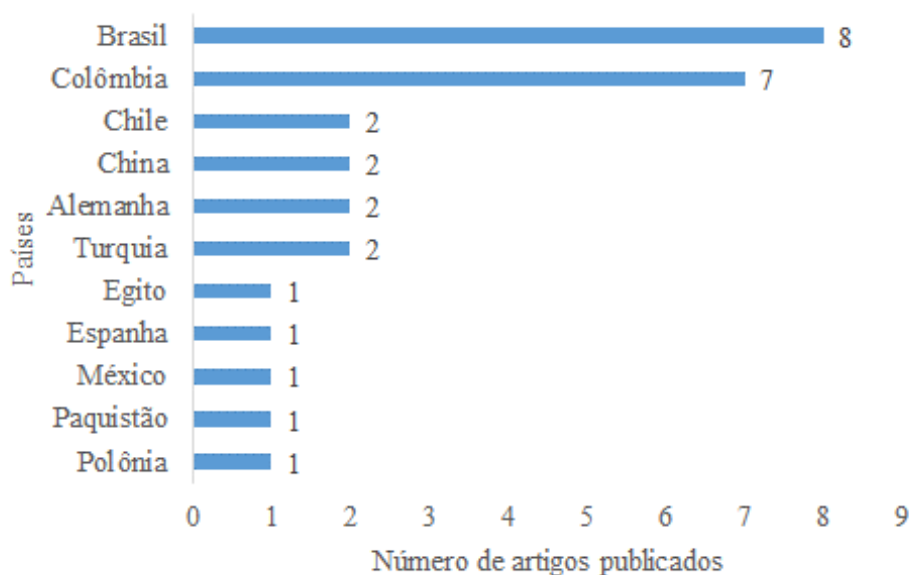
Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Outra observação constatada foi de que na área de Ciência de Alimentos, as publicações de artigos científicos são feitas em maior número pelo Brasil, seguido pela Colômbia (maior produtor mundial de fisális), como mostra a Figura 27. Como a produção de fisális no Brasil vem aumentando e sendo incentivada entre os produtores, a investigação científica também cresce e desperta interesse dos pesquisadores, principalmente pelas suas propriedades nutracêuticas.

Todas as demais publicações avaliadas desta área apresentam-se distribuídas entre outros nove países, conforme pode-se verificar na Figura 27. Nestes locais, principalmente na

China, a maioria dos artigos publicados relacionados ao gênero *Physalis*, estão associados à utilização da planta como medicamento.

Figura 27 - Distribuição dos artigos relacionados à Ciência de Alimentos por países.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Analisando as publicações brasileiras, observou-se que todas foram realizadas por Universidades ou Instituições públicas, como mostra a Tabela 18. A maior parte dos estudos concentra-se na Região Sul do país. No Brasil, o cultivo de *Physalis* iniciou em 1999 na Estação Experimental Santa Luzia (São Paulo, Brasil), apresentando ótimos resultados. A partir de 2008, novos fruticultores começaram a cultivar a fruta e esta melhoria trouxe boas perspectivas e sucesso para a agricultura familiar. Ainda assim, o cultivo de *Physalis* é recente no Brasil, com expansão nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (MUNIZ *et al.*, 2014).

Dentre os oito artigos destacados, seis referem-se à qualidade dos frutos diante de diferentes formas de cultivo, locais de produção e formas de armazenamento. Os outros dois estão associados à extração e identificação de compostos bioativos. Não houve registro da utilização de fisális como ingrediente alimentar.

Tabela 18 - Artigos científicos de pesquisas brasileiras sobre fisális, publicadas em periódicos, referentes à Ciência de Alimentos.

<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Instituição</b>	<b>Periódico</b>	<b>Ano</b>
Conservação pós-colheita de fisális e desempenho produtivo em condições edafoclimáticas de Minas Gerais	Silva <i>et al.</i>	Universidade Estadual do Oeste do Paraná	Revista Ceres	2013
Desenvolvimento de <i>Physalis</i> de acordo com a estação de crescimento na região semi-árida do estado da Bahia, Brasil	Barroso <i>et al.</i>	Universidade Estadual de Feira de Santana	Pesquisa Agropecuária Tropical	2018
Extração líquida pressurizada de polifenóis de fisális: influência na atividade antioxidante e composição química	Corazza <i>et al.</i>	Instituto Federal do Rio Grande do Sul	Food and Bioproducts Processing	2018
Produção e caracterização dos frutos de espécies de <i>Physalis</i> cultivadas no semiárido baiano	Tanan; Nascimento; Leite	Universidade Estadual de Feira de Santana	Colloquium Agrariae	2018
Identificação e quantificação da composição de carotenoides nativos em frutas da Amazônia brasileira por HPLC-DAD-APCI/MS	Anunção <i>et al.</i>	Universidade Federal de Viçosa	Journal of Food Composition and Analysis	2019
Estabilidade química, físico-química e antioxidante de polpa de <i>Physalis</i> pasteurizada e não pasteurizada sob congelamento	Machado; Monteiro; Tiecher	Universidade Federal do Pampa	Brazilian Journal of Food Technology	2019
Qualidade de frutos de <i>Physalis peruviana L.</i> em função de diferentes tipos de tutoramento e poda	Pellizzaro <i>et al.</i>	Universidade Estadual de Londrina	Brazilian Journal of Food Technology	2020
Fenologia e qualidade de frutos de acessos de <i>Physalis spp.</i>	Santana <i>et al.</i>	Universidade Federal da Fronteira Sul	Revista Agrarian	2020

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Avaliando as utilizações de fisális como aditivo alimentar nos artigos selecionados, foram listados aqueles onde houve a aplicação em alimentos. Os títulos dos trabalhos, os periódicos e o ano de publicação estão na Tabela 19.

No primeiro artigo, a adição de fisális mostrou-se como boa fonte natural de ingredientes nutritivos na produção de sorvetes. O fruto seco, adicionado em pequenos pedaços, melhorou a viscosidade, tempos de gotejamento e de fusão completos, composição mineral e propriedades sensoriais dos sorvetes. O segundo trabalho avaliou o efeito de diferentes métodos de conservação na composição química de purês de fisális, os quais podem ser utilizados como ingredientes alimentares. O terceiro estudo teve como objetivo preparar um queijo *Petit Suisse* adicionado de fisális e suplementado com folha de moringa em pó e gelatina. O resultado foi um produto alimentar inovador com boa qualidade microbiológica, bromatológica e físico-química.

Tabela 19 - Artigos científicos referentes às aplicações de fisális como produtos alimentícios.

<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Periódico</b>	<b>Ano</b>
Influência da adição de fisális ( <i>Physalis peruviana L.</i> ) nas características químicas, sensoriais e concentrações minerais de sorvetes	Erkaya; Dağdemir; Şengül	Food Research International	2012
Efeitos da pasteurização térmica e do tratamento com ultrassom sobre a atividade da peroxidase, composição de carotenoides e propriedades físico-químicas de purê de fisális ( <i>Physalis peruviana L.</i> )	Etzbach <i>et al.</i>	LWT - Food Science and Technology	2019
Queijo Petit Suisse de fisális incorporado com pó de folha de moringa e gelatina	Bermudez-Beltrán <i>et al.</i>	LWT - Food Science and Technology	2020

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

#### 4.1.4 Conclusões

Para a realização deste estudo prospectivo foram utilizadas 70 patentes e 61 artigos científicos. A partir dos dados extraídos da análise das patentes foi possível verificar que a maioria dos depósitos foram realizados nos últimos 8 anos e por empresas privadas. O país que lidera o ranking é a China, seguida de Japão e Estados Unidos. As aplicações de fisális em produtos, se dá principalmente nas áreas de medicamentos e alimentos, nesta última, especialmente em produtos lácteos. No Brasil, o fruto ainda é pouco empregado e os depósitos de patentes são relacionados à aplicação em iogurte e bebida alcoólica, além da produção de fisális em passas.

Em relação à prospecção científica, verificou-se que a maioria dos estudos com aplicações de fisális está inserido na área temática de Farmacologia, Toxicologia e Ciência

Farmacêutica e a ascensão das publicações se deu a partir de 2016. Em relação às pesquisas com fisális, na área de Ciência de Alimentos, o Brasil ocupa o primeiro lugar do ranking de publicações, dos últimos dez anos. Não houve relato de adição do fruto como ingrediente ou aditivo em formulações de produtos cárneos. Observou-se, entretanto, que o fruto e outras partes das plantas do gênero *Physalis* são muito utilizados como medicamento. A partir destes dados foi possível verificar que as pesquisas realizadas sobre a adição de fisális em produtos alimentícios, ainda são em pequeno número, oferecendo uma ampla linha de pesquisa a ser explorada.

## 4.2 CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS FRUTOS

### 4.2.1 Delineamento experimental para extração de antocianinas

Após a aplicação dos testes de normalidade, os valores de  $p$  determinados através do teste de Shapiro-Wilk para os resultados de antocianinas monoméricas das amostras de mirtilos foram de 0,6987. Desta forma, os dados apresentam-se em uma curva de distribuição normal, uma vez que  $p > 0,05$ .

Os experimentos foram realizados de acordo com o delineamento a fim de encontrar as melhores condições e estudar o efeito das variáveis de processo na extração das antocianinas dos mirtilos frescos. Os valores previstos foram obtidos por uma técnica de ajuste de modelo do software *Statistica* e mostraram-se correlacionados com os valores observados (Tabela 20). É importante confirmar o ajuste do modelo para ter certeza que ele fornece uma aproximação suficiente dos valores reais. O resultado sugere que o modelo utilizado neste estudo foi capaz de identificar condições operacionais para extração de antocianinas em mirtilos frescos com otimização do conteúdo de antocianinas.

Tabela 20 - Matriz do delineamento experimental com os respectivos valores experimentais e os valores preditos de antocianinas monoméricas totais, a partir da extração em mirtilos.

Ensaio	Etanol (% v/v)	pH	Antocianinas (mg/100g)		
			Experimental	Predito	% Erro
1	25	1,5	1325,00 ± 79,2	1302,79	1,70
2	15	2,5	1117,00 ± 9,9	1149,83	-2,86
3	75	3,5	1350,50 ± 12,0	1379,38	-2,09
4	25	3,5	1288,50 ± 27,6	1266,65	1,73
5	85	2,5	1313,00 ± 72,1	1273,36	3,11
6	75	1,5	1338,00 ± 14,1	1366,52	-2,09
7	50	1,0	1450,50 ± 3,5	1447,77	0,19
8	50	4,0	1433,50 ± 0,7	1430,30	0,22
9	50	2,5	1576,50 ± 47,4	1567,80	0,56
10	50	2,5	1569,50 ± 82,7	1567,80	0,11
11	50	2,5	1558,00 ± 17,0	1567,80	-0,62

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os mirtilos apresentaram altos valores de antocianinas monoméricas totais, em concordância com teores encontrados em outros frutos de mirtilo cultivados no Brasil. Como exemplos, tem-se o estudo realizado por Faion *et al.* (2016), no qual foram avaliados mirtilos do grupo *Highbush*, e o teor de antocianinas totais foi de 1419,62 mg/100g de frutos. Mirtilos do grupo *Rabbiteye (Vaccinium ashei)*, variedade *Bluegem*, apresentaram valor de 1182 mg/100g de antocianinas totais (ROCHA, 2009). Frutos de mirtilo cv. '*Bluegem*' mostraram teores de 716 mg/100g de antocianinas totais (SEVERO *et al.*, 2009) e mirtilos orgânicos da cultivar *Delite* (grupo *Rabbiteye*) apresentaram teor total de antocianinas de 1775,75 mg/100g (REQUE *et al.*, 2014).

Assim como o genótipo, a capacidade antioxidante e o teor de antocianinas pode ser afetada pela localização, estação de crescimento, manejo cultural, maturidade, manuseio, armazenamento pós-colheita (RETAMALES; HANCOCK, 2018), além do sistema de produção, orgânico e convencional (ÇELIK; ÖSGEN; SARAÇOĞLU, 2012). O mirtilo do tipo *Highbush (Vaccinium corymbosum L.)* é uma das mais ricas fontes de antioxidantes entre todas as frutas frescas e legumes (WANG; HE; LI, 2010).

#### 4.2.2 Construção do modelo de segunda ordem e análise estatística

A relação entre os resultados experimentais obtidos com base no DCCR e as variáveis de entrada foram expressas por uma equação polinomial de segunda ordem com termos de interação. A equação final obtida (Equação 8) em termos de fatores não codificados está apresentada a seguir.

$$\text{Antocianinas monoméricas totais} \left( \frac{\text{mg}}{100\text{g}} \text{ de mirtilo fresco} \right) = 1567,798 + 44,116 x_1 - 181,735 x_1^2 - 5,824 x_2 - 57,228 x_2^2 + 12,25 x_1 x_2 \quad (8)$$

A adequação e o ajuste do modelo foram testados por análise de variância (ANOVA) e análise de regressão. Os resultados da ANOVA (Apêndice C) indicaram que a equação representou adequadamente o valor real da relação entre as variáveis independentes e as respostas. Os valores de p foram menores do que 0,05, indicando que os termos são estatisticamente significativos. Assim a variável pH ( $x_2$ ) no modelo linear e o efeito da interação não foram considerados estatisticamente significativos. Esses fatores não exercem influência significativa nas respostas, porém fazem parte do modelo. ANOVA é uma técnica estatística que permite a análise de amostras independentes e o teste F é amplamente utilizado para testar hipóteses sobre médias amostrais (KIM; CRIBBIE, 2018).

O ajuste do modelo de regressão obtido foi verificado pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ). O valor de  $R^2$  para conteúdo de antocianinas em mirtilos frescos ( $R^2 = 0,9164$ ) indicou um alto grau de correlação entre a resposta e as variáveis independentes (valores experimentais e previstos). Em geral, um alto valor de  $R^2$  (próximo a 1,0) indica que o modelo é um bom ajuste para os dados.

O coeficiente de determinação ou  $R^2$  é uma ferramenta simples, mas muito utilizada pelos profissionais para avaliar a qualidade do ajuste em uma regressão linear múltipla. Fornece uma indicação da adequação das variáveis explicativas escolhidas na previsão da resposta (RENAUD; VICTORIA-FESER, 2010).

#### 4.2.3 Efeitos das variáveis de processo na extração das antocianinas em mirtilos frescos

Os coeficientes de regressão e as análises de variância das variáveis do modelo matemático estão descritos na Tabela 21. Com base nos coeficientes, foi gerada uma superfície



de resposta em função das variáveis (Figura 28). Os valores de p mostram que não houve interação significativa entre as variáveis (concentração de etanol e pH) no processo de extração de antocianinas dos mirtilos frescos, mas ambas foram significativas isoladamente tanto no modelo linear quanto no quadrático, influenciando no rendimento da extração.

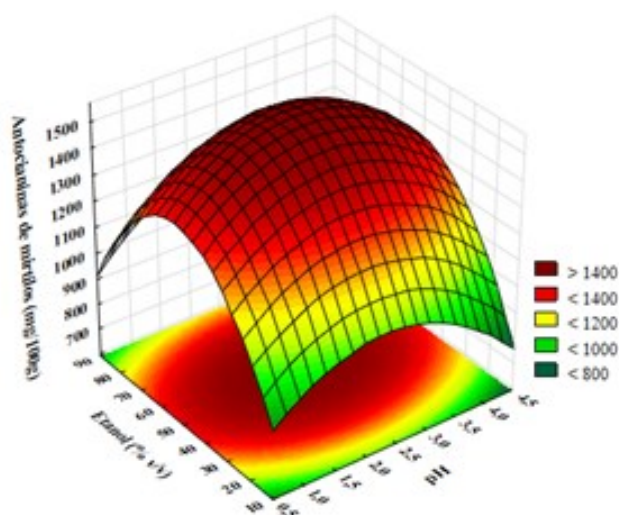
Tabela 21 - Coeficiente de regressão (CR) e análise de variância dos modelos de regressão para o conteúdo de antocianinas de mirtilos frescos.

Fator	Antocianinas mirtilos frescos	
	CR	p-valor
Constante ( $\beta_0$ )	470,7588	0,002137
( $x_1$ ) Etanol (L)	29,6173	<0,00001
Etanol (Q)	-0,2908	<0,00001
( $x_2$ ) pH (L)	255,8160	0,002320
pH (Q)	-57,2279	0,000334
$x_1x_2$	0,4900	0,443072

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A Figura 28 apresenta a superfície de resposta e foi usada para representar o efeito das variáveis de processo na extração de antocianinas de mirtilos frescos. Observa-se que tanto o pH quanto a concentração de etanol são influentes na extração do pigmento, em uma região ótima de aproximadamente 45 a 60% de etanol e valores de pH entre 2,0 e 3,0. Valores abaixo ou acima dessa região diminuem o rendimento da extração, estando de acordo com o comportamento observado por outros autores (BORDIGNON *et al.*, 2009; KECHINSKI, 2011).

Figura 28 - Superfície de resposta para o conteúdo de antocianinas monoméricas totais (mg/100 g) dos mirtilos frescos de acordo com as diferentes concentrações de etanol (% v/v) e valores de pH do solvente. Antocianinas monoméricas totais =  $470,7588 + 29,6173 x_1 - 0,2908 x_1^2 + 255,8160 x_2^2 - 57,2279 x_2^2 + 0,4900 x_1 x_2$ ;  $R^2 = 0,9164$ ;  $x_1$  = variável codificada para concentração de etanol e  $x_2$  = variável codificada para pH.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

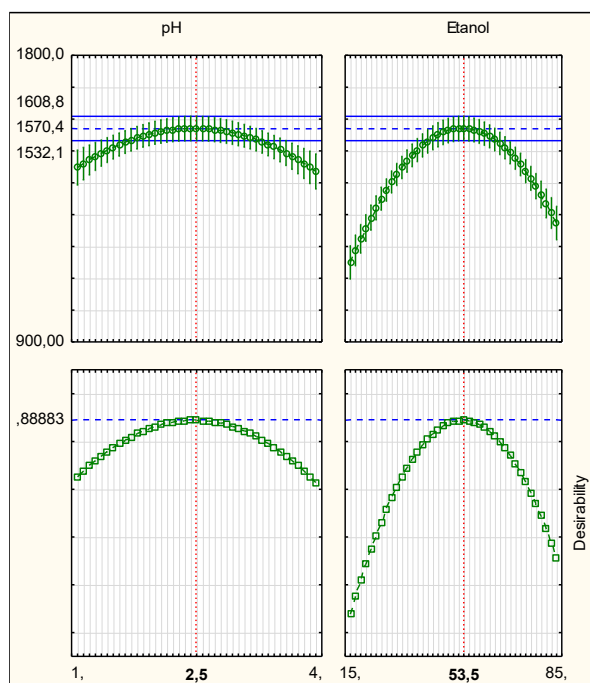
#### 4.2.4 Determinação das condições ótimas para extração de antocianinas

Uma condição ideal para a extração de antocianinas nos mirtilos frescos foi determinada para a obtenção de seu teor máximo. Para isso foi utilizada a função *desirability*, onde primeiramente, converte-se cada resposta ( $Y_i$ ) em uma função individual *desirability* ( $d_i$ ), que varia em uma faixa de  $0 \leq d_i \leq 1$ . Então, combinam-se as necessidades individuais para obter a função de *desirability* global ( $D$ ) e, finalmente, deve-se maximizar o  $D$  e identificar as configurações ótimas dos fatores. A função varia entre 0 (resposta completamente indesejável) e 1 (resposta totalmente desejada) (CALADO; MONTGOMERY, 2003).

Para otimizar a extração de antocianinas, as seguintes restrições foram tomadas: (1) concentração de etanol (15 - 85 %) e (2) pH (1,00 - 4,00), respectivamente, para máxima conveniência. Aplicando a metodologia da função *desirability*, o nível ótimo dos parâmetros foi obtido e indicou que a concentração de etanol de 53,5% (v/v) e pH de 2,5 podem fornecer um teor de antocianinas de 1570,41 mg/100g em mirtilos frescos, com um valor da função

*desirability* global de 0,88883. A Figura 29 apresenta a curva que foi desenvolvida a partir de pontos ótimos via otimização numérica.

Figura 29 - Função *Desirability* para otimização de DCCR na extração de antocianinas em mirtilos frescos.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

#### 4.2.5 Verificação das condições otimizadas e validação do modelo preditivo

A adequação da equação do modelo para prever os melhores valores de resposta foi testada nas seguintes condições: concentração de etanol de 53,5 % (v/v) e pH 2,5 para a extração de antocianinas em mirtilos frescos. Esta condição foi determinada como ótima pela análise de superfície de resposta e utilizada para confirmar a validade do processo otimizado. Os experimentos foram realizados para comparar o resultado com o valor previsto das respostas usando a equação do modelo.

Tabela 22 - Valores preditos e experimentais das respostas em condições ideais.

Níveis ótimos de parâmetros de processo	Valor otimizado <sup>a</sup> (valor predito)	Valor experimental <sup>b</sup>
	Antocianinas monoméricas totais (mg/100g)	
Concentração de etanol (% v/v) = 53,5 pH = 2,5	1570,41 (1532,06 - 1608,76) <sup>c</sup>	1538,39 ± 25,63

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

<sup>a</sup> Valor predito pelo modelo quadrático de superfície de resposta

<sup>b</sup> Média ± desvio padrão das determinações em triplicata dos experimentos

<sup>c</sup> Intervalo de confiança

Observa-se que o valor experimental obtido está de acordo com a faixa do intervalo de confiança de 95% do valor predito (Tabela 22). Isso indica a adequação do sistema desenvolvido pelo modelo e verifica-se que os valores dessas condições ideais são válidos dentro do intervalo especificado pelos parâmetros do processo.

#### 4.2.6 Composição físico-química e atividade antioxidante dos frutos

A Tabela 23 mostra os resultados de composição físico-química e atividade antioxidante dos frutos e compara com valores disponíveis na literatura. Ambos os frutos apresentaram altos teores de umidade e baixo conteúdo de gorduras, proteínas e cinzas. A fisális apresentou um valor de carboidratos totais um pouco inferior aos demais e o mirtilo, um conteúdo de fibra dietética total ligeiramente acima da faixa da literatura. De maneira geral, os frutos mirtilo e fisális cultivados na Região Sul do Brasil indicaram composição proximal semelhantes aos demais, provenientes de outros locais. Dessa forma, embora o clima, solo, manejo, insolação e outras condições fossem diferentes, essas diferenças podem não afetar significativamente a composição dessas frutas.

Tabela 23 - Resultados de composição físico-química e atividade antioxidante dos frutos de mirtilo e fisális e comparação com dados da literatura.

Composição físico-química	Mirtilo	Literatura <sup>(a)</sup>	Fisális	Literatura <sup>(b)</sup>	
Umidade (g/100g)	84,57 ± 1,99	84,21 - 87,7	83,35 ± 0,36	76,9 - 85,9	
Lipídios (g/100g)	0,24 ± 0,04	0,19 - 0,33	1,69 ± 0,20	0,2 - 5,70	
Proteína (g/100g)	0,55 ± 0,01	0,48 - 0,74	0,46 ± 0,08	0,3 - 1,9	
Cinzas (g/100g)	0,06 ± 0,01	0,08	0,78 ± 0,04	0,7 - 1,0	
Carboidratos totais (g/100g)	12,33 ± 1,32	11,54 - 14,49	8,35 ± 0,30	11,0 - 19,6	
Fibra dietética total (g/100g)	3,14 ± 0,09	1,9 - 2,4	5,58 ± 0,04	0,4 - 6,33	
Fibra solúvel (g/100g)	0,36 ± 0,06	0,3	0,10 ± 0,00	-	
Fibra insolúvel (g/100g)	2,78 ± 0,04	2,4	5,48 ± 0,04	-	
Sólidos solúveis totais (°Brix)	12,5 ± 0,00	10,9 - 15,2	11,5 ± 0,00	7,33 - 14,3	
Acidez titulável (% ácido cítrico)	0,52 ± 0,00	0,3 - 1,7	0,91 ± 0,03	0,90 - 1,76	
Razão SST/AT	24,0	10,00 - 33,0	12,64	5,12 - 11,88	
pH	2,33 ± 0,02	2,25 - 3,9	3,66 ± 0,02	3,50 - 4,06	
Aw	0,916 ± 0,001	0,982	0,930 ± 0,001	≤0,989	
Cor	L*	23,06 ± 0,9	21,94 - 31,73	58,10 ± 0,39	47,24 - 71,37
	a*	2,57 ± 0,42	(-0,78) - (+5,02)	11,87 ± 1,32	10,37 - 19,93
	b*	0,76 ± 0,13	(-0,99) - (-4,90)	55,68 ± 1,00	40,88 - 61,76
Diâmetro longitudinal (mm)	13,4 ± 0,24	>10	15,7 ± 0,21	13,58 - 18	
Massa (g)	1,2826 ± 0,463	0,65 - 2,7	2,822 ± 1,097	2,77 - 10	
CFT (mg AGE/g)	79,72 ± 2,70	2,06 - 285,14	12,67 ± 0,90	0,29 - 5,5	
FT (mg CE/g)	60,48 ± 2,36	0,47 - 36,08	8,99 ± 0,41	0,23 - 4,87	
Ácido ascórbico (mg/100g)	11,82 ± 0,16	11,7 - 73,21	26,73 ± 3,34	11,00 - 43,00	
AMT (mg/100g)	1538,39 ± 25,63	93,00 - 1375,15	-	-	
CAR (µg/100g)	-	-	2966,28 ± 116,13	900 - 10864	
<b>Atividade antioxidante</b>					
ABTS (mM TE/g)	2,60 ± 0,04	0,005 - 3,39	1,03 ± 0,01	0,007 - 0,225	
DPPH (mM TE/g)	2,25 ± 0,11	0,30 - 1,2	0,12 ± 0,01	0,02 - 0,07	
FRAP (µM TE/g)	63,09 ± 0,45	53,8 - 83,3	1,36 ± 0,00	1,1 - 27,63	

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Valor médio ± desvio padrão (n = 3); SST/AT: sólidos solúveis totais/acidez titulável; CFT: compostos fenólicos totais; FT: flavonoides totais; AMT: antocianinas monoméricas totais; CAR: carotenoides totais.

<sup>a</sup> **Literatura para mirtilo:** Bunea *et al.* (2011); Drózdź; Šežienė; Pyrzynska (2017); Gündüz; Serce; Hancock (2015); Kim (2018); Priatková; Hlaváčová; Kertész (2010); Retamales; Hancock (2018); Schmidt; Fontana (2007); Tagliani *et al.* (2019); USDA (2020); Souza *et al.* (2014); Wang *et al.* (2017).

<sup>b</sup> **Literatura para fisális:** Cuenca; Gómez; Sánchez (2014); Einhardt; Lima; Andrade (2017); Areiza-Mazo; Maldonado; Rojano (2013); Eitzbach *et al.* (2020); Junqueira *et al.* (2017); Puente *et al.* (2021); Puente *et al.* (2011); Silva *et al.* (2016); Carrillo-Perdomo *et al.* (2015); Oliveira *et al.* (2016); Ramadan (2011); Vega-Gálvez *et al.* (2016); Yıldız *et al.* (2015).

Os valores de sólidos solúveis, relacionados com o teor de açúcares dos frutos, e de acidez titulável, que expressa o teor de acidez em gramas de ácido orgânico por 100 gramas de

amostra, mostraram-se adequados em relação à literatura. O conteúdo de açúcares totais dos mirtilos aumenta principalmente devido ao aumento dos açúcares redutores, à medida que as bagas se aproximam da maturidade e passam da fase vermelha para a fase azul. Neste fruto, o ácido orgânico predominante é geralmente o cítrico, seguido pelo succínico, quínico e málico (RETAMALES; HANCOCK, 2018). Da mesma forma, há o aumento dos açúcares na fisális, geralmente até o dia 77 após a floração, como consequência da hidrólise do amido. Quanto aos principais ácidos orgânicos presentes na fisális (cítrico, málico e oxálico), estes diminuem durante o período de maturação, devido à atividade das desidrogenases (GALVIS; FISCHER; GORDILLO, 2005).

A relação SST/AT é um indicador utilizado para determinar o estágio de maturação e estabelece o balanço do sabor doce/ácido. Esse sabor pode variar em acidez dependendo da região produtora ou das características de cada cultivar. Em cultivares de mirtilo *Highbush* recomenda-se uma proporção SST/AT igual ou inferior a 6,5, para resistência a organismos de decomposição pós-colheita. Foram estabelecidas três classes para mirtilos: SST/AT < 18, que indica boa qualidade de conservação; SST/AT entre 18 e 32, indicando qualidade de conservação média; e, SST/AT > 32, que indica qualidade de manutenção baixa (RETAMALES; HANCOCK, 2018). Dessa forma, o resultado de 24,04 encontrado para o mirtilo, pressupõe que a amostra avaliada está na faixa de conservação de média qualidade. Nos frutos de fisális esta proporção foi menor, em razão da acidez titulável ser mais elevada.

De acordo com os resultados de pH, ambos os frutos podem ser considerados como muito ácidos (pH < 3,7) de acordo com a classificação proposta pela USA Food and Drug Administration (FDA, 2018). O pH baixo é importante para conservação dos frutos e, no caso dos mirtilos, na retenção das antocianinas, que são mais estáveis em valores de pH inferiores a 3,5 (ZHANG *et al.*, 2014). Os valores de atividade de água encontrados (>0,9) indicam a alta precibibilidade dos frutos, pois há grande disponibilidade e mobilidade de água molecular nestas condições.

Os resultados dos parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) também estão apresentados na Tabela 23. Em relação ao mirtilo, o valor de  $L^*$  mais baixo é característico de frutas mais escuras, assim como o valor (+) positivo de  $a^*$  indica uma tendência ao vermelho e o baixo valor de  $b^*$ , ao tom azulado. A cor do mirtilo *Highbush* é um atributo altamente complexo afetado por parâmetros químicos e físicos. A cor azul claro dos mirtilos frescos é determinada pela cera (quantidade e estrutura) e o teor de antocianina da casca. A maioria dos pigmentos de antocianina são formados durante os 6 dias após o desenvolvimento da cor vermelha (RETAMALES; HANCOCK, 2018). A casca do fruto de fisális é de cor amarela intensa a

amarelo alaranjado, de acordo com o grau de maturidade (GALVIS; FISCHER; GORDILLO, 2005). O valor positivo de  $a^*$  e o alto valor de  $b^*$  apresentados, confirmam a coloração amarela forte, tendendo ao alaranjado, indicativo de frutos maduros. A casca e a polpa da fisális são coloridas simultaneamente. O fruto geralmente apresenta coloração verde intenso durante os primeiros 35 dias; começa a mudar para cor amarela; e, por volta do dia 60, tanto a casca quanto a polpa apresentam uma coloração amarela característica da maturação de consumo, como consequência da degradação da clorofila pela ação das enzimas clorofilases, que em meio ácido aumentam sua atividade. Por sua vez, isso torna mais visíveis os carotenoides, que estavam mascarados, já que são sintetizados durante o desenvolvimento do fruto. Com 80 dias, a cor apresenta-se laranja, o que indica que a fruta está madura demais (GALVIS; FISCHER; GORDILLO, 2005). Em relação ao tamanho, os frutos de fisális indicaram valores maiores de diâmetro e massa do que os mirtilos. Para ambos os frutos, os dados obtidos foram semelhantes aos relatados na literatura.

Os resultados encontrados para os principais compostos bioativos dos frutos (fenólicos totais, flavonoides totais, ácido ascórbico, antocianinas e carotenoides) também estão na Tabela 23. Apesar de haver grande variação entre os métodos de extração e de análise para a determinação destes compostos, foi realizada uma busca na literatura a fim de avaliar os resultados obtidos neste trabalho em relação a uma faixa de dados existentes. Desta forma, a maioria dos valores apresentaram-se dentro dos limites encontrados. Como exceções, o teor de fenólicos totais da fisális mostrou-se acima, assim como o conteúdo de antocianinas monoméricas totais do mirtilo e o total de flavonoides de ambos os frutos.

Apesar do teor de fenólicos totais da fisális mostrar-se superior à faixa encontrada na literatura, o valor é baixo ( $12,67 \pm 0,90$  mg AGE/g) quando comparado com outras frutas e, principalmente com o mirtilo. Utilizando o teor de polifenóis totais e a capacidade antioxidante, avaliada pelos mesmos métodos utilizados neste artigo (ABTS, DPPH e FRAP), Vasco, Ruales e Kamal-Eldin (2008) classificaram a *Physalis peruviana* como uma fruta com baixo conteúdo de fenólicos e baixa atividade antioxidante, a partir de uma classificação dividida em três grupos: alto ( $> 400$  mg AGE/100 g), médio (250 - 400 mg AGE/100 g) e baixo ( $< 100$  mg AGE/100 g).

O mirtilo apresentou um alto teor de antocianinas ( $1538,39 \pm 25,63$  mg/100 g), mostrando-se inclusive acima dos valores obtidos de frutos cultivados em clima temperado. Da mesma forma, o conteúdo de flavonoides totais mostrou-se acima da faixa de resultados obtida por outros autores, para os dois frutos. Existem variações relevantes no conteúdo de

antocianinas, TPC e TAC entre espécies de mirtilo, bem como entre variedades e dentro de outras espécies de *Vaccinium* (SKROVANKOVA *et al.*, 2015).

O conteúdo de ácido ascórbico encontrado nos frutos e de carotenoides totais na fisális também estão de acordo com a faixa observada na literatura e podem indicar ação antioxidante. O ácido ascórbico (AA) é uma vitamina solúvel em água que desempenha um papel fisiológico fundamental na eliminação de espécies reativas de oxigênio (ROS) (FANG *et al.*, 2017). As condições climáticas, a composição do solo e o manejo dos frutos são os principais fatores que podem explicar a variação dos compostos bioativos (SOUZA *et al.*, 2014).

Os resultados dos ensaios para avaliar a atividade antioxidante (ABTS, FRAP e DPPH) estão na Tabela 23. O mirtilo apresentou maior atividade antioxidante do que a fisális. Os valores para os três métodos estão dentro dos limites encontrados na literatura, com exceção da atividade frente ao radical DPPH de ambos os frutos, e ao radical ABTS da fisális que foram maiores do que a faixa estipulada. De acordo com Wang, He e Li (2010) o mirtilo do tipo *Highbush* (*Vaccinium corymbosum* L.) é uma das mais ricas fontes de antioxidantes entre todas as frutas frescas e legumes. As variações nos resultados de atividade antioxidante podem ser influenciadas pelos métodos de extração dos compostos utilizados durante os ensaios que devem ser planejados e otimizados individualmente (BOULEKBACHE-MAKHLOUF *et al.*, 2013).

#### 4.2.7 Perfil de fenólicos dos frutos por LC-MS/MS

Polifenóis naturais são os antioxidantes mais abundantes nas dietas humanas e podem ser classificados em cinco classes: flavonoides, ácidos fenólicos, estilbenos, taninos e cumarinas (ZHANG *et al.*, 2015). A Tabela 24 apresenta o perfil fenólico dos frutos mirtilo e fisális. Neste estudo, um total de 23 compostos fenólicos foram identificados no mirtilo (*Vaccinium corymbosum*), sendo o ácido clorogênico, o composto em maior proporção. O ácido clorogênico é um dos principais fenólicos incolores dos mirtilos, formado por esterificação dos ácidos quínico e cafeico, sendo degradado ou isomerizado por temperaturas elevadas (DAWIDOWICZ; TYPEK, 2014).

Na sequência, os compostos encontrados em maior quantidade foram 2,4 - DHBA (2,4 - ácido dihidroxibenzoico), rutina, isoquercetina, 2,5 - DHBA (2,5 - ácido dihidroxibenzoico), catequina, naringina e 3,4 - ácido dihidroxibenzoico. Os derivados do ácido hidroxibenzoico ocorrem como derivados de açúcar e de ácidos orgânicos em vegetais, além de estarem presentes em ligninas e taninos hidrolisáveis, enquanto os derivados do ácido hidroxicinâmico



(como o ácido clorogênico) estão presentes na celulose, lignina e proteínas por meio de ligações de éster (NAYAK; LIU; TANG, 2015). Os flavonoides (como a rutina, isoquercetina, catequina e naringina) são potentes antioxidantes que protegem as plantas de condições ambientais desfavoráveis, e responsáveis por características de sabor, cor e atividades farmacológicas (CHAVES *et al.*, 2020).

Tabela 24 - Perfil fenólico dos frutos mirtilo e fisális.

Compostos fenólicos (mg/g)	Mirtilo	Fisális
Ácido benzoico	1,20 ± 0,04	1,82 ± 0,19
Siringaldeído	0,50 ± 0,01	<LOQ
Ácido ferúlico	1,02 ± 0,07	0,54 ± 0,00
Ácido siríngico	1,19 ± 0,02	<LOQ
Pinocembrim	0,22 ± 0,04	<LOQ
Galangina	0,36 ± 0,00	<LOQ
Apigenina	0,40 ± 0,00	<LOQ
Kaempferol	0,82 ± 0,00	<LOQ
Epicatequina	1,44 ± 0,21	<LOQ
Catequina	1,93 ± 0,18	<LOQ
Ácido clorogênico	35,57 ± 8,09	2,57 ± 0,19
Hesperidina	0,36 ± 0,06	<LOQ
2,5 - DHBA (2,5 - ácido dihidroxibenzoico)	3,11 ± 0,57	0,51 ± 0,10
2,4 - DHBA (2,4 - ácido dihidroxibenzoico)	8,82 ± 1,12	4,44 ± 0,10
Ácido salicílico	n.d.	0,16 ± 0,01
3,4 - ácido dihidroxibenzoico	1,69 ± 0,05	0,16 ± 0,00
Ácido p-cumárico	0,81 ± 0,01	<LOQ
Ácido gálico	0,45 ± 0,01	<LOQ
Ácido cafeico	1,36 ± 0,10	<LOQ
Sinapaldeído	n.d.	0,19 ± 0,00
Ácido sináptico	n.d.	0,71 ± 0,04
Naringenina	0,41 ± 0,01	<LOQ
Pinobanksin	n.d.	n.d.
Quercetina	1,22 ± 0,11	<LOQ
Isoramnetina	n.d.	n.d.
Isoquercetina	3,4 ± 0,38	<LOQ
Naringina	1,72 ± 0,06	n.d.
Rutina	6,59 ± 0,32	0,44 ± 0,03

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Valor médio ± desvio padrão (n = 3); <LOQ: abaixo do limite de quantificação (50 µg/mL); n.d: não detectado.

O mirtilo foi popularizado como uma "superfruta", pela sua abundância em compostos polifenólicos (KALT *et al.*, 2020). O conteúdo de ácido clorogênico foi maior do que o de alguns mirtilos cultivados no Canadá e o total de catequinas menor (NEMZER *et al.*, 2018).

O número de fenólicos encontrados na fisális (*Physalis peruviana*) foi menor do que no mirtilo (Tabela 24). Um total de 10 compostos foram identificados e quantificados, sendo o 2,4 - DHBA (2,4 - ácido dihidroxibenzoico) o de maior concentração, seguido pelos ácidos clorogênico, benzoico, sináptico e ferúlico. O perfil de fenólicos analisado em *P. peruviana* por Dag, Kilercioglu e Oztop (2017) através de LC-MS/MS, também mostrou como principais compostos, ácidos fenólicos (clorogênico, p-cumárico e ferúlico), apesar de que na literatura, geralmente os principais sejam flavonoides. Dentre os flavonoides analisados, apenas a rutina ficou acima do limite de quantificação do método (50 µg/mL) nas amostras de frutos de fisális.

#### 4.2.8 Conclusões

A ferramenta estatística DCCR e a análise de superfície de resposta demonstraram ser eficazes em encontrar as condições ideais para a extração de antocianinas em frutos de mirtilo (*Vaccinium corymbosum*). Os resultados mostraram que, as condições de extração (concentração de etanol e pH) tiveram efeitos significativos no conteúdo de antocianinas monoméricas totais de mirtilos frescos. Um modelo de equação polinomial de segunda ordem foi desenvolvido para prever o conteúdo de antocianinas monoméricas totais em mirtilos e a análise de variância mostrou um alto coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o modelo (0,9164). A condição ótima de extração de antocianinas em mirtilos frescos foi encontrada com solvente na concentração de etanol de 53,5 % (v/v) e pH no valor de 2,5. Nesta condição, foi obtido um rendimento de antocianinas monoméricas totais de  $1538,39 \pm 25,63$  mg/100g, concordando com o valor previsto pelo modelo.

Foram caracterizados frutos de mirtilo (*Vaccinium corymbosum*) e fisális (*Physalis peruviana*) cultivados na Região Sul do Brasil, em clima subtropical. Quanto à composição proximal, os dois frutos apresentaram características semelhantes aos demais relatados na literatura, em regiões de clima temperado e tropical. Apenas, o mirtilo mostrou um conteúdo de fibra dietética total e insolúvel, um pouco acima e a fisális, um total de carboidratos, um pouco abaixo. As demais características físico-químicas, em sua maioria, enquadraram-se na faixa relatada por outros autores. Os valores dos compostos bioativos e dos ensaios de atividade antioxidante, estiveram em acordo com os encontrados em outros frutos da mesma espécie, destacando-se pequenas variações: o conteúdo de flavonoides totais e antocianinas

monoméricas totais do mirtilo, que se mostraram superiores; o conteúdo de compostos fenólicos e flavonoides totais, bem como a capacidade de capturar o radical ABTS apresentado pelos frutos de fisális, também foi superior aos pesquisados na literatura.

No mirtilo, foram quantificados 23 compostos fenólicos, sendo predominante o ácido clorogênico. Na fisális, foram detectados 25 compostos, mas apenas 10 quantificados (50 µg/mL). Dentre esses, 9 ácidos fenólicos (sendo o 2,4 – DHBA, o principal) e um flavonoide (rutina). Os frutos de mirtilo e fisális cultivados na Região Sul do Brasil apresentaram altas concentrações de compostos bioativos, superando em alguns deles, os valores de frutos cultivados em seus locais nativos.

### 4.3 CAPÍTULO 3: DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, TECNOLÓGICA E ANTIOXIDANTE DE FARINHAS DE MIRTILO E FISÁLIS

#### 4.3.1 Delineamento experimental para produção de farinha de mirtilo

Após a aplicação dos testes de normalidade, os valores de p determinados através do teste de Shapiro-Wilk foram de 0,0605 para o teor de antocianinas das farinhas de mirtilo e para os resultados de umidade das farinhas, o valor encontrado foi de 0,053. Desta forma, os dados apresentam-se em uma curva de distribuição normal ( $p > 0,05$ ).

Os valores previstos após os experimentos foram obtidos por uma técnica de ajuste de modelo do software *Statistica* e mostraram-se correlacionados com os valores observados.

Os resultados observados experimentalmente e os valores previstos para antocianinas monoméricas totais e umidade das farinhas de mirtilos apresentam-se na Tabela 25. O resultado sugere que os modelos utilizados neste estudo foram capazes de identificar condições operacionais para o desenvolvimento de uma farinha de mirtilo, com otimização do conteúdo de antocianinas e teor de umidade adequado.

As farinhas de mirtilo também apresentaram valores elevados de antocianinas, assim como os frutos, variando de  $2040,74 \pm 20,42$  a  $3138,11 \pm 56,80$  mg/100g, o que demonstra potencial para tornar-se um ingrediente com alto efeito antioxidante. Além disso, os teores de umidade mantiveram-se todos de acordo com a Legislação Brasileira (BRASIL, 2005), caracterizando-se como farinha de fruta.

Tabela 25 - Matriz do delineamento experimental com os respectivos valores experimentais (médias  $\pm$  desvio padrão) e preditos de antocianinas monoméricas totais e de umidade em farinhas de mirtilo.

Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (h)	Antocianinas (mg/100g)			Umidade (%)		
			Experimental	Predito	% Erro	Experimental	Predito	% Erro
1	55	44	2615,05 $\pm$ 11,56	2745,93	-4,77	14,43 $\pm$ 0,78	14,16	1,93
2	65	44	2304,45 $\pm$ 3,34	2416,34	-4,63	11,60 $\pm$ 0,13	11,71	-0,97
3	55	48	2821,14 $\pm$ 31,60	2742,38	2,87	14,38 $\pm$ 0,71	13,76	4,53
4	65	48	2259,51 $\pm$ 14,00	2194,35	2,97	10,55 $\pm$ 0,12	10,5	0,44
5	53	46	3138,11 $\pm$ 56,80	3110,96	0,87	13,45 $\pm$ 0,25	14,01	-3,97
6	67	48	2230,97 $\pm$ 12,04	2207,68	1,05	9,51 $\pm$ 0,21	9,38	1,42
7	60	43,2	2491,47 $\pm$ 51,41	2325,77	7,12	13,63 $\pm$ 0,46	13,64	-0,10
8	60	48,8	2040,74 $\pm$ 20,42	2167,89	-5,86	12,05 $\pm$ 0,59	12,52	-3,78
9	60	46	2563,50 $\pm$ 27,81	2552,79	0,42	13,04 $\pm$ 0,23	12,98	0,46
10	60	46	2543,11 $\pm$ 14,00	2552,79	-0,38	13,07 $\pm$ 0,59	12,98	0,72
11	60	46	2561,64 $\pm$ 8,50	2552,79	0,35	12,92 $\pm$ 0,15	12,98	-0,49

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

De acordo com Khanal, Howard e Prior (2010), aquecimentos de 40 a 60 °C não afetam significativamente os níveis de antocianinas, enquanto altas temperaturas por tempos prolongados se mostram como causa da degradação desses pigmentos. Reque *et al.* (2014) avaliaram o teor de antocianinas totais em farinha produzida a partir do bagaço de mirtilos do grupo *Rabbiteye*, encontrando o valor de 1061,64  $\pm$  6,0 mg/100g. Neste caso, a temperatura de secagem utilizada foi mais alta (80 °C) e a farinha não foi produzida com mirtilos íntegros, o que possivelmente justifica o menor teor de antocianinas totais.

#### 4.3.2 Construção dos modelos de segunda ordem e análise estatística

A relação entre os resultados experimentais obtidos com base no DCCR e as variáveis de entrada foram expressas por uma equação polinomial de segunda ordem com termos de interação. As equações finais obtidas (Equação 9 e Equação 10) em termos de fatores não codificados estão apresentadas a seguir.

$$\text{Antocianinas monoméricas totais} \left( \frac{\text{mg}}{100\text{g}} \text{ de farinha de mirtilo} \right) = 2552,794 - 219,407 x_1 + 128,060 x_1^2 - 56,386 x_2 - 156,103 x_2^2 - 54,608 x_1 x_2 \quad (9)$$

$$\text{Umidade (\% de farinha de mirtilo)} = 12,98 - 2,85400 x_1 - 0,49611 x_1^2 - 0,40099 x_2 + 0,05037 x_2^2 - 0,20235 x_1 x_2 \quad (10)$$

A adequação e o ajuste do modelo foram testados por análise de variância (ANOVA) e análise de regressão. Os resultados da ANOVA (Apêndice C) indicaram que a equação representou adequadamente o valor real da relação entre as variáveis independentes e as respostas. Os valores de p foram menores do que 0,05, indicando que os termos são estatisticamente significativos. O teor de umidade não influenciou significativamente o tempo ( $x_2$ ) no modelo quadrático, nem o efeito da interação no planejamento experimental para produção de farinha de mirtilo. Os altos valores de F dos modelos encontrados indicam que grande parte da variação nas respostas pode ser explicada pela equação de regressão. A partir dos valores de p do modelo, pode-se verificar que estes foram altamente significativos do ponto de vista estatístico ( $p < 0,05$ ).

O ajuste do modelo de regressão obtido foi verificado pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e os valores,  $R^2 = 0,9007$ , para conteúdo de antocianinas em farinhas de mirtilo e  $R^2 = 0,9008$  para a umidade de farinhas de mirtilo indicaram um alto grau de correlação entre a resposta e as variáveis independentes (valores experimentais e previstos).

#### **4.3.3 Efeitos das variáveis de processo na extração das antocianinas e na umidade das farinhas de mirtilo**

Os coeficientes de regressão e as análises de variância das variáveis dos modelos matemáticos estão descritos na Tabela 26. Com base nos coeficientes, foi gerada uma superfície de resposta em função das variáveis (Figura 30). Ambas as variáveis independentes (tanto no modelo linear, quadrático e a interação) foram significativas estatisticamente em relação ao conteúdo de antocianinas, mas somente a temperatura apresentou significância estatística em relação ao conteúdo de umidade ( $p < 0,05$ ). O tempo não teve influência sobre a umidade das farinhas e nem o efeito interativo entre os dois fatores.

Tabela 26 - Coeficiente de regressão (CR) e análise de variância dos modelos de regressão para o conteúdo de antocianinas de mirtilos frescos e conteúdo de antocianinas e umidade de farinhas de mirtilo.

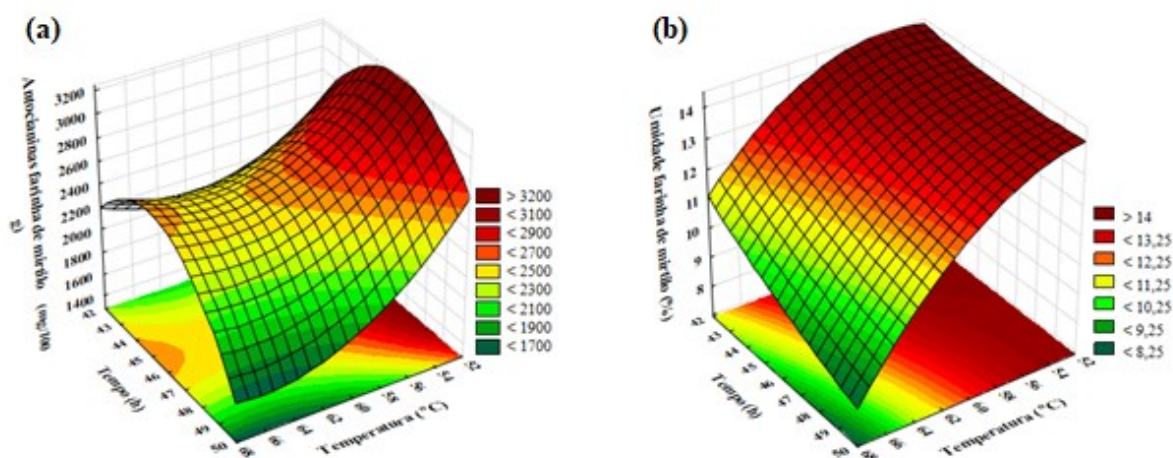
Fator	Antocianinas	farinhas de mirtilo	Umidade	farinhas de mirtilo
	CR	p-valor	CR	p-valor
Constante ( $\beta_0$ )	-72727,1	<0,00001	-61,3127	0,369699
( $x_1$ ) Temperatura (L)	-407,4	<0,00001	3,0267	0,000065
Temperatura (Q)	5,1	<0,00001	-0,0198	0,000126
( $x_2$ ) Tempo (L)	3889,8	<0,00001	-0,1450	0,956198
Tempo (Q)	-39,0	<0,00001	0,0126	0,650558
$x_1x_2$	-5,5	<0,00001	-0,0202	0,089830

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

As superfícies de resposta (Figura 30) foram usadas para representar o efeito das variáveis de processo no conteúdo de antocianinas nas farinhas de mirtilo (a) e no teor de umidade das farinhas (b).

A estabilidade das antocianinas é afetada pela temperatura e pelo tempo de exposição, degradando-se com o aumento destes dois fatores, como é possível visualizar na superfície de resposta do teor de antocianinas das farinhas de mirtilo (Figura 30 a). Em temperaturas acima de 55 °C ocorreu uma gradativa diminuição de seu conteúdo, mesmo com pequenas variações no tempo do processo de secagem. Como as antocianinas são termossensíveis, sua degradação é observada durante processamento térmico, especialmente em temperaturas acima de 70 °C (ROUTRAY; ORSAT, 2011), pois favorece a abertura do anel heterocíclico e maior clivagem (SANTOS-BUELGA; GONZÁLEZ-PARAMÁS, 2019). A condição ótima mostrou-se entre um tempo de 45 a 48 horas, com temperaturas entre 52 a 55 °C, onde também se atingiu o teor de umidade limitante ao cumprimento da Legislação (<15%).

Figura 30 - (a) Superfície de resposta para o conteúdo de antocianinas monoméricas totais (mg / 100 g) das farinhas de mirtilo de acordo com as diferentes condições de temperatura (°C) e tempo (h). Antocianinas monoméricas totais =  $-72727,1 - 407,4 x_1 + 5,1 x_1^2 + 3889,8 x_2^2 - 39,0 x_2^2 - 5,5 x_1 x_2$ ;  $R^2 = 0,9007$ ;  $x_1$  = variável codificada para temperatura e  $x_2$  = tempo. (b) Superfície de resposta para o conteúdo de umidade (%) das farinhas de mirtilo de acordo com as diferentes condições de temperatura (°C) e tempo (h). Umidade =  $- 61,3127 + 3,0267 x_1 - 0,0198 x_1^2 - 0,1450 x_2^2 + 0,0126 x_2^2 - 0,0202 x_1 x_2$ ;  $R^2 = 0,9008$ ;  $x_1$  = variável codificada para temperatura e  $x_2$  = tempo.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

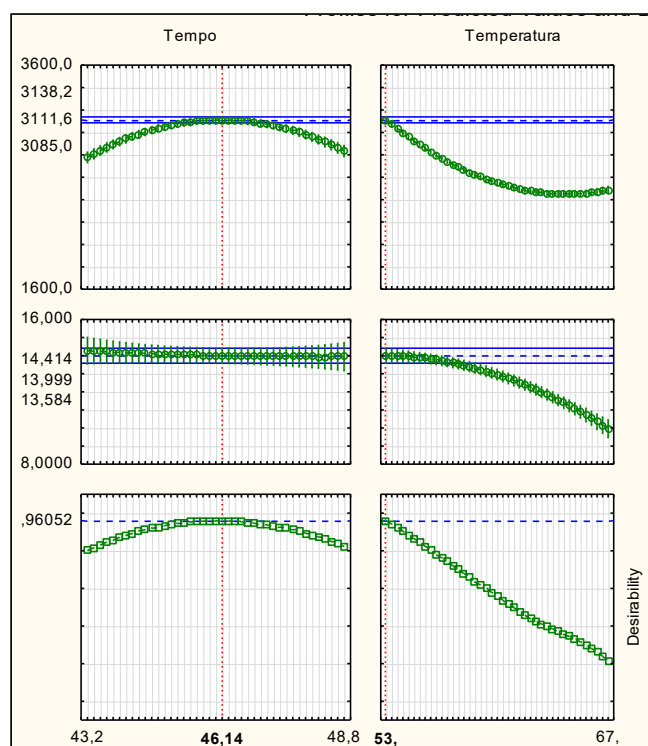
#### 4.3.4 Determinação das condições ótimas

Foram determinadas condições ideais de tempo e temperatura para se atingir a maior proporção em antocianinas e um conteúdo de umidade máximo de 15%, na produção da farinha de mirtilo. Para isso foi utilizada a função *desirability* utilizando-se como parâmetros: (1) temperatura (53 °C - 67 °C) e (2) tempo (43,2h - 48,8h), respectivamente, para a maior eficiência no teor de antocianinas com limitação do conteúdo de umidade (máximo 14%).

O nível ótimo foi estabelecido na temperatura de 53 °C e por um tempo de 46 horas, obtendo-se a partir destas condições um conteúdo de antocianinas de 3111,6 mg/100g e 13,99% de umidade. Para esta otimização, o valor *desirability* global foi de 0,96052. A Figura 31 apresenta curvas que foram desenvolvidas a partir de pontos ótimos via otimização numérica.

De acordo com Martín-Gómez (2020) os melhores valores de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante, concentração de antocianinas e parâmetros de cor foram obtidos a partir de mirtilos secos a 50 °C, mostrando-se como o processo mais eficaz na remoção do conteúdo de água.

Figura 31 - Funções *Desirability* para otimização em DCCR de desenvolvimento de farinhas de mirtilo.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

#### 4.3.5 Verificação das condições otimizadas e validação do modelo preditivo

A adequação das equações do modelo para prever os melhores valores de resposta foi testada na seguinte condição: temperatura de 53 °C e tempo de 46 horas. Esta foi a condição ótima determinada pela análise de superfície de resposta e utilizada para confirmar a validade do processo otimizado. Após o experimento, observou-se que os valores experimentais obtidos estão de acordo com a faixa do intervalo de confiança de 95% dos valores preditos (Tabela 27). Isso indica a adequação do sistema desenvolvido pelos modelos e verifica-se que os valores dessas condições ideais são válidos dentro do intervalo especificado pelos parâmetros do processo.



Tabela 27 - Valores preditos e experimentais das respostas em condições ideais.

Níveis ótimos de parâmetros de processo	Valor otimizado <sup>a</sup> (valor predito)	Valor experimental <sup>b</sup>
	Antocianinas monoméricas totais (mg/100g)	
Temperatura (°C) = 53 Tempo (h) = 46	3111,6 (3085,0 - 3138,2) <sup>c</sup>	3101,04 ± 11,57
	Umidade (%)	
Temperatura (°C) = 53 Tempo (h) = 46	13,99 (13,58 - 14,41) <sup>c</sup>	13,98 ± 1,23

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

<sup>a</sup> Valor predito pelo modelo quadrático de superfície de resposta

<sup>b</sup> Média ± desvio padrão das determinações em triplicata dos experimentos

<sup>c</sup> Intervalo de confiança

#### 4.3.6 Delineamento experimental para produção de farinha de fisális

A Tabela 28 apresenta os resultados observados experimentalmente e os valores previstos para conteúdo de carotenoides totais e teor de umidade das farinhas de fisális.

Tabela 28 - Matriz do delineamento experimental com os respectivos valores experimentais (médias ± desvio padrão) e os valores preditos de carotenoides totais e de umidade em farinhas de fisális.

Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (h)	Carotenoides totais (µg/100g)			Umidade (%)		
			Experimental	Predito	% Erro	Experimental	Predito	% Erro
1	53	28	12088,93 ± 21,39	12297,99	-1,70	14,9 ± 0,32	14,86	0,28
2	67	28	10870,46 ± 64,86	10883,75	-0,12	10,98 ± 0,16	10,56	4,01
3	53	32	11482,25 ± 74,98	11525,35	-0,37	13,00 ± 0,63	13,8	-5,80
4	67	32	11092,60 ± 36,67	10939,93	1,39	9,34 ± 0,25	9,76	-4,28
5	50	30	12372,98 ± 163,73	12208,31	1,35	15,24 ± 0,37	14,79	3,05
6	70	30	10670,57 ± 10,21	10779,98	-1,01	8,75 ± 0,10	8,83	-0,94
7	60	27,18	11732,00 ± 48,57	11585,93	1,26	12,92 ± 0,18	13,33	-3,06
8	60	32,82	10991,48 ± 99,96	11080,82	-0,81	12,80 ± 0,21	12,01	6,54
9	60	30	11226,65 ± 167,74	11276,26	-0,44	11,60 ± 0,32	11,96	-3,01
10	60	30	11243,43 ± 186,51	11276,26	-0,29	12,05 ± 0,07	11,96	0,77
11	60	30	11359,48 ± 38,93	11276,26	0,74	12,23 ± 0,15	11,96	2,28

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os resultados sugerem que os modelos utilizados neste estudo foram capazes de identificar condições operacionais para o desenvolvimento de farinha de fisális, com otimização do conteúdo de carotenoides totais e teor de umidade adequado.

As farinhas de fisális apresentaram valores de carotenoides totais variando de  $10670,57 \pm 10,21$  a  $12372,98 \pm 163,73$   $\mu\text{g}/100\text{g}$ , o que demonstra potencial para tornar-se um ingrediente com bioatividade. Os frutos utilizados para a produção das farinhas exibiram um valor total de carotenoides de  $2966,28 \pm 116,13$   $\mu\text{g}/100\text{g}$ . Os resultados obtidos na literatura para carotenoides totais em *P. peruviana* apresentam uma ampla faixa de variação, com valores de  $1240$   $\mu\text{g}/100\text{g}$  a  $25500$   $\mu\text{g}/100\text{g}$  (LUCHESE; GURAK; MARCZAK, 2015; PEREDA; NAZARENO; VITURRO, 2019). A alta variação no teor de carotenoides nos frutos é influenciada por sua variedade, maturação, condições de crescimento e estação do ano em que são produzidos. Além disso, há grande variabilidade nos resultados de acordo com o método de determinação utilizado (RODRIGUEZ-AMAYA, 2010).

De acordo com Rodriguez-Amaya, Kimura e Amaya-Farfan (2008) alimentos que contêm mais de  $20$   $\mu\text{g}/\text{g}$  de carotenoides são fontes ricas deste pigmento. Para obter produtos com altas concentrações de carotenoides, o estágio de amadurecimento das frutas deve ser considerado. Devido aos processos de degradação, o valor nutricional em termos de conteúdo de carotenoides de frutos de fisális é afetado durante o amadurecimento. Em um estudo de avaliação da maturação, frutos maduros e muito maduros de *P. peruviana*, apresentaram valores de  $200$  e  $140$   $\text{ug.g}^{-1}$  (base seca), respectivamente, para carotenoides totais (ETZBACH *et al.*, 2018).

Em comparação com suco de fisális ( $4134$   $\mu\text{g}/100$  g de suco), um estudo realizado por Etbach *et al.* (2020) mostrou que houve uma redução significativa ( $38,9\%$  -  $69,7\%$ ) no conteúdo total de carotenoides após os frutos serem pulverizados através de *spray dryer* (ETZBACH *et al.*, 2020), o que mostra a influência da utilização de temperaturas mais altas no processo, nesse caso de  $140$  °C. Na produção das farinhas de fisális houve uma concentração de carotenoides totais, disponibilizando maior teor destes compostos.

Em relação aos teores de umidade, somente o ensaio 5 (temperatura de  $50$  °C e tempo de  $30$  h) forneceu um valor acima do percentual exigido pela Legislação Brasileira (BRASIL, 2005). Todos os demais, caracterizaram-se como farinha de fruta, apresentando teores abaixo de  $15\%$ .

#### 4.3.7 Construção dos modelos de segunda ordem e análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos a testes de normalidade. E de acordo com o teste de Shapiro-Wilk os dados apresentaram-se em uma curva de distribuição normal. Para os resultados de carotenoides totais e umidade das amostras de farinha de fisális, os valores de p foram de 0,0604 e 0,1391, respectivamente. Sendo assim, foi possível verificar a distribuição normal dos dados ( $p > 0,05$ ).

A relação entre os resultados experimentais obtidos com base no DCCR e as variáveis de entrada foram expressas por uma equação polinomial de segunda ordem com termos de interação. As equações finais obtidas (Equação 11 e Equação 12) em termos de fatores codificados estão apresentadas a seguir.

$$\begin{aligned} \text{Carotenoides totais } \left( \frac{\mu\text{g}}{100\text{g}} \text{ de farinha de fisális} \right) = & 11276,26 - 499,92 x_1 + \\ & 106,77 x_1^2 - 179,12 x_2 + 28,73 x_2^2 + 207,21 x_1 x_2 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{Umidade (\% de farinha de fisális)} = & 11,96 - 2,08 x_1 - 0,07 x_1^2 - 0,47 x_2 + 0,36 x_2^2 + \\ & 0,07 x_1 x_2 \end{aligned} \quad (12)$$

A adequação e o ajuste do modelo foram testados por análise de variância (ANOVA) e análise de regressão. Os resultados da ANOVA (Apêndice D) indicaram que a equação representou adequadamente o valor real da relação entre as variáveis independentes e as respostas. Os valores de p foram menores do que 0,05, indicando que os termos são estatisticamente significativos, com exceção do tempo ( $x_2$ ) no modelo quadrático em relação ao conteúdo de carotenoides totais e da temperatura ( $x_1$ ) no modelo quadrático, assim como a interação entre os fatores ( $x_1.x_2$ ) em relação ao teor de umidade das farinhas. Esses fatores citados não exercem influência significativa nas respostas, porém fazem parte do modelo.

Os altos valores de F dos modelos encontrados indicam que grande parte da variação nas respostas pode ser explicada pela equação de regressão. A partir dos valores de p do modelo, pode-se verificar que estes foram altamente significativos do ponto de vista estatístico ( $p < 0,05$ ).

A verificação do ajuste do modelo através do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) mostrou um alto grau de correlação entre a resposta e as variáveis independentes (valores experimentais e previstos). Os valores de  $R^2$  para o conteúdo de carotenoides totais e para o teor de umidade

das farinhas de fisális foram de 0,9179 e 0,9302, respectivamente, indicando que o modelo é um bom ajuste para os dados.

#### 4.3.8 Efeitos das variáveis de processo no conteúdo de carotenoides totais e umidade das farinhas de fisális

Os coeficientes de regressão e as análises de variância das variáveis dos modelos matemáticos estão descritos na Tabela 29. Com base nos coeficientes, foram geradas superfícies de resposta em função das variáveis (Figura 1). Os valores de p mostram que houve influência das variáveis (temperatura e tempo) no conteúdo de carotenoides totais ( $p < 0,05$ ), tanto de forma isolada quanto entre a interação de ambas, com exceção do fator “tempo” no modelo quadrático. Isso pode ser visualizado também na Figura 1, que não apresentou curvatura, evidenciando a não dependência deste modelo.

Já em relação ao teor de umidade das farinhas de fisális somente o tempo apresentou significância estatística ( $p < 0,05$ ), em ambos os modelos (linear e quadrático). A temperatura não exerceu influência significativa sobre a umidade das farinhas e nem o efeito interativo entre os dois fatores.

Tabela 29 - Coeficientes de regressão (CR) e valores de p do modelo de regressão para o conteúdo de carotenoides totais e umidade das farinhas de fisális.

Fator	Carotenoides farinhas de fisális		Umidade farinhas de fisális	
	CR	p-valor	CR	p-valor
Constante ( $\beta_0$ )	59197,41	0,000000	120,0756	0,000032
( $x_1$ ) Temperatura (L)	-776,90	0,000000	-0,2535	0,368436
Temperatura (Q)	2,18	0,000264	-0,0015	0,343793
( $x_2$ ) Tempo (L)	-1408,56	0,001923	-5,8722	0,000095
Tempo (Q)	7,18	0,271705	0,0893	0,000146
$x_1 \cdot x_2$	14,80	0,000000	0,0046	0,494348

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

As superfícies de resposta (Figura 32) também foram usadas para representar o efeito das variáveis de processo no conteúdo de carotenoides totais (a) e no teor de umidade das farinhas (b).

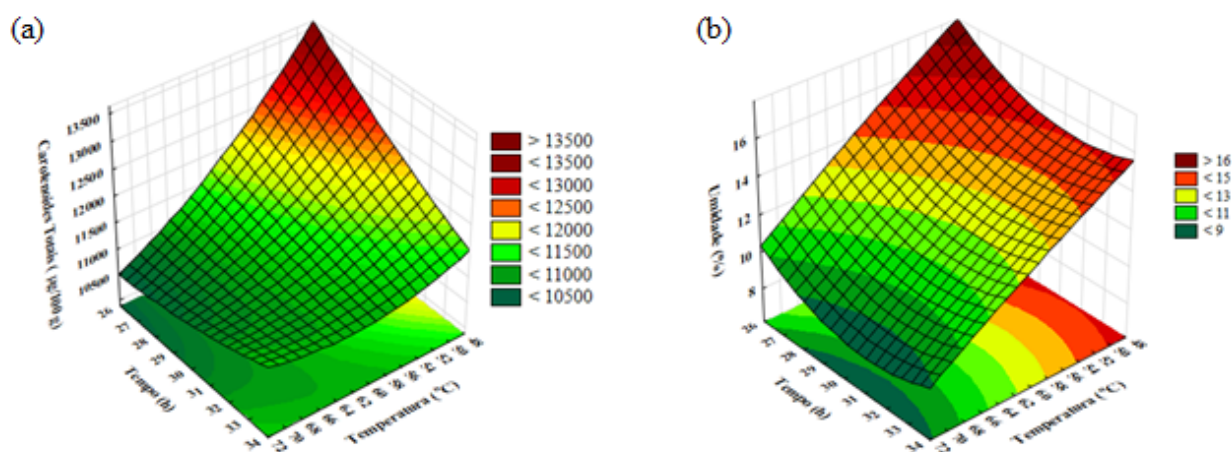
Figura 32 - (a) Superfície de resposta para o conteúdo de carotenoides totais ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) das farinhas de fisális de acordo com as diferentes condições de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e tempo (h).

Carotenoides totais =  $59197,41 - 776,90 x_1 + 2,18 x_1^2 - 1408,56 x_2^2 + 7,18 x_2^2 + 14,80 x_1 x_2$ ;

$R^2 = 0,9179$ ;  $x_1$  = variável codificada para temperatura e  $x_2$  = tempo. (b) Superfície de

resposta para o teor de umidade (%) das farinhas de fisális de acordo com as diferentes condições de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e tempo (h). Umidade =  $120,0756 - 0,2535 x_1 - 0,0015 x_1^2 - 5,8722 x_2^2 + 0,0893 x_2^2 + 0,0046 x_1 x_2$ ;  $R^2 = 0,9302$ ;  $x_1$  = variável codificada para temperatura

e  $x_2$  = tempo.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A estabilidade dos carotenoides é afetada pela temperatura e pelo tempo de exposição, degradando-se com o aumento destes dois fatores, como é possível visualizar na Figura 32. Em temperaturas acima de  $64\text{ }^{\circ}\text{C}$  ocorreu uma gradativa diminuição de seu conteúdo, mesmo com intervalos pequenos de variação no tempo do processo de secagem. Essa degradação é causada principalmente por reações de oxidação e isomerização. A maioria dos carotenoides em plantas são isômeros trans e a isomerização de trans para cis ocorre durante o processamento de alimentos. O calor e a luz, assim como ácidos, são os principais fatores que podem promover essa isomerização, o que leva a atividades biológicas ligeiramente reduzidas e saturação de cor. Já a oxidação leva à perda completa nas atividades e cor de carotenoides (NGAMWONGLUMLERT; DEVAHASTIN; CHIEWCHAN, 2019). Elevados tempos de exposição ao oxigênio também aumentam a degradação dos carotenoides por oxidação (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA, 2004), já que a secagem foi realizada com circulação de ar.

A condição ótima mostrou-se entre um tempo de 27 a 28 horas, com temperaturas entre 50 a 52 °C, onde também se atingiu o teor de umidade limitante ao cumprimento da Legislação (<15%).

Durante um processo de aquecimento, Olivares-Tenorio *et al.* (2017b) avaliaram o comportamento de  $\beta$ -caroteno em *P. peruviana*. À temperatura de 40 °C, não houve mudança em seu conteúdo. Entre 60 e 80 °C, ocorreu um leve aumento aparente com também sugestão de isomerização da forma trans para a forma cis. Já em temperaturas entre 100 e 120 °C houve sinais claros de isomerização, levando a um equilíbrio entre as duas formas. O aparente aumento de  $\beta$ -caroteno é provavelmente atribuível à liberação da matriz alimentar após o tratamento térmico. À 100 °C constatou-se que ácido ascórbico,  $\beta$ -caroteno, catequina e epicatequina ainda estavam presentes após o tratamento térmico, bem como as propriedades antioxidantes. Dessa forma, torna-se evidente de que a fisális possui compostos bioativos que não são totalmente degradados após o aquecimento, podendo ser uma fonte potencial de tais compostos.

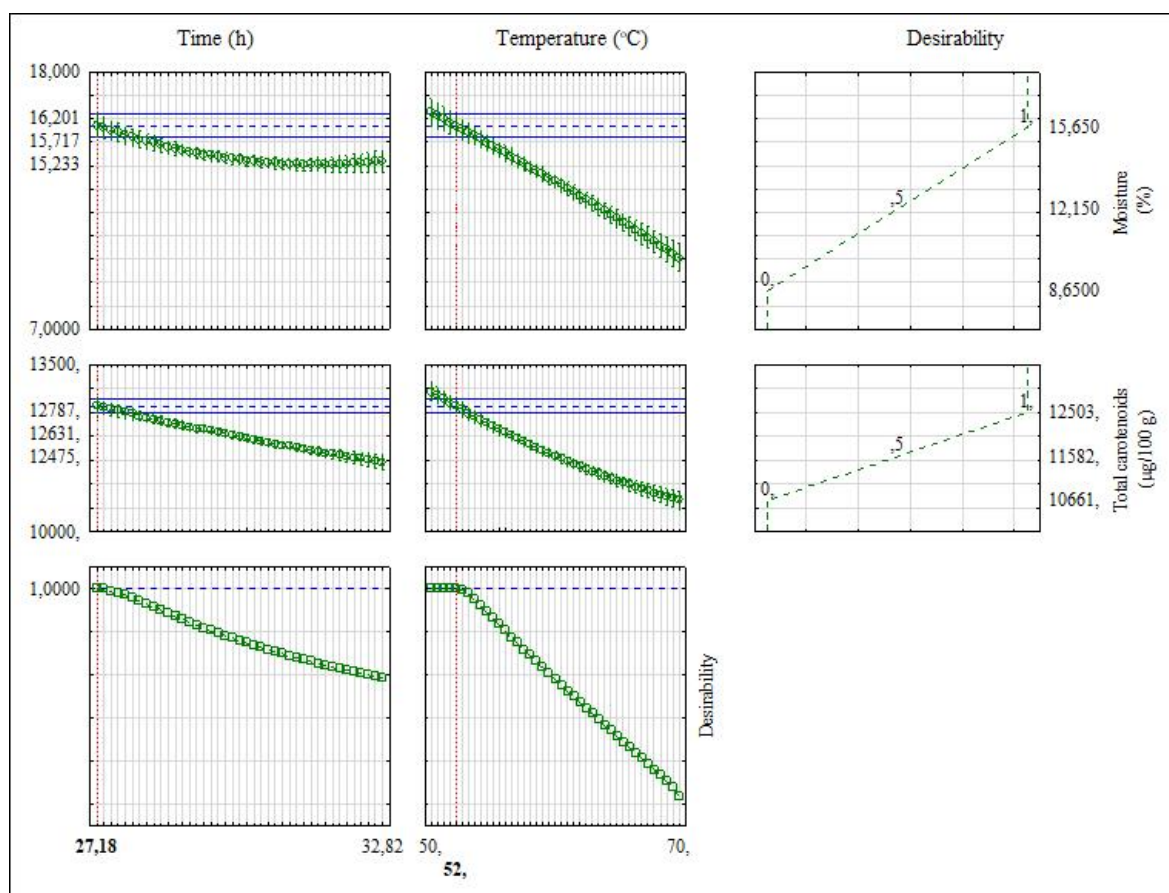
#### 4.3.9 Determinação das condições ótimas

Foram determinadas condições ideais de tempo e temperatura para se atingir a maior proporção em carotenoides e um conteúdo de umidade máximo de 15% para a produção da farinha de fisális.

Para isso também foi utilizada a função *desirability*, utilizando-se como parâmetros: (1) temperatura (50 - 70 °C) e (2) tempo (27,18 - 32,82h), respectivamente, para a maior eficiência no teor de carotenoides com limitação do conteúdo de umidade (máximo 15%). O nível ótimo foi estabelecido na temperatura de 52 °C e por um tempo de 27,18 horas, obtendo-se teoricamente a partir destas condições um conteúdo de carotenoides totais de 12630,61  $\mu\text{g}/100\text{g}$  e 15,72 % de umidade. Para esta otimização, o valor *desirability* global foi de 1,0000. A Figura 33 apresenta curvas que foram desenvolvidas a partir de pontos ótimos via otimização numérica.

Nessa condição ótima, atingiu-se o valor *desirability* global máximo (1,0000). Para que o teor de umidade da farinha atinja níveis desejáveis (< 15%), valores inferiores a este índice podem ser considerados.

Figura 33 - Função *Desirability* para otimização do DCCR para o desenvolvimento de farinha de fisális.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

#### 4.3.10 Verificação das condições otimizadas e validação do modelo preditivo

A adequação das equações do modelo para prever os melhores valores de resposta no desenvolvimento da farinha de fisális foi testada na seguinte condição: temperatura de 52 °C e tempo de 27,18 horas. Esta condição foi determinada como ótima pela análise de superfície de resposta e utilizada para confirmar a validade do processo otimizado. O experimento foi realizado para comparar os resultados com os valores previstos das respostas usando as equações do modelo (Tabela 30).

Tabela 30 - Valores preditos e experimentais das respostas na condição ideal.

Níveis ótimos de parâmetros de processo	Valor otimizado <sup>a</sup> (valor predito)	Valor experimental <sup>b</sup>
<b>Farinha de fisális</b>	<b>Carotenoides totais (µg/100g)</b>	
Temperatura (°C) = 52	12630,61 (12474,69 - 12786,53) <sup>c</sup>	12656,5 ± 527,52
Tempo (h) = 27,18	<b>Umidade (%)</b>	
Temperatura (°C) = 52	15,72 (15,23 - 16,20) <sup>c</sup>	15,00 ± 0,26
Tempo (h) = 27,18		

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

<sup>a</sup> Valor predito pelo modelo de superfície de resposta; <sup>b</sup> Média ± desvio padrão das determinações em triplicata dos experimentos; <sup>c</sup> Intervalo de confiança

Observa-se que o valor experimental obtido para conteúdo de carotenoides totais está de acordo com a faixa do intervalo de confiança de 95 % dos valores preditos (Tabela 30). O resultado experimental do teor de umidade da farinha de fisális apresentou-se ligeiramente menor do que a faixa estipulada pelo intervalo de confiança, porém, está de acordo com o valor estabelecido pela Legislação Brasileira (BRASIL, 2005). Apesar dessa pequena variação, é possível verificar a adequação do sistema desenvolvido pelo modelo.

#### 4.3.11 Composição físico-química e atividade antioxidante das farinhas

A Figura 34 mostra as imagens dos frutos, mirtilo (*Vaccinium corymbosum*) e fisális (*Physalis peruviana*) descongelados e desidratados, e de suas respectivas farinhas. Os valores obtidos para a composição físico-química das farinhas são mostrados na Tabela 31.

O conteúdo de umidade apresentou-se dentro do limite exigido (<15 g/100g) pela Legislação Brasileira para ambas as farinhas (BRASIL, 2005). Da mesma forma, os valores de  $A_w$  obtidos ( $0,293 \pm 0,006$  para FM e  $0,320 \pm 0,002$  para FF) estão abaixo do limite de 0,600, que é a menor  $A_w$  em que ocorre o crescimento de microrganismos em alimentos (SAGRIN; CHONG, 2013); portanto, as amostras de farinhas neste experimento podem ser consideradas microbiologicamente estáveis.

Assim como na polpa das frutas, o conteúdo de lipídios da FF (12,19 g/100 g) foi consideravelmente maior do que o da FM (0,82 g/100 g), porém, próximo ao valor encontrado em resíduo de suco de fisális desidratado (13,72 g/100 g) (MOKHTAR; SWAILAM; EMBABY, 2017). O fruto de *P. peruviana* contém aproximadamente 2% de óleo, do qual 1,8% é extraído das sementes e 0,2% da polpa e casca do fruto. O óleo extraído é formado por 15



ácidos graxos, entre os quais estão ácido linoleico, ácido oleico, palmítico e esteárico, que constituem 95% dos ácidos graxos totais. A proporção de ácido linoleico e oleico na polpa e na pele é de 2:1 e, na semente, 5:1 (RAMADAN; MORSEL, 2003).

Figura 34 - Imagens de: (a) Da esquerda para a direita: mirtilos descongelados, mirtilos desidratados e farinha de mirtilo; (b) Da esquerda para a direita: fisális descongelados, fisális desidratados e farinha de fisális.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os teores de proteína (10,96 g/100 g) e cinzas (3,45 g/100 g) da FF também se mostraram em maior proporção do que na FM (3,10 g e 1,07 g/100 g, respectivamente), porém, menores do que os encontrados em resíduo de suco de fisális desidratado (~15,89g/100 g de proteína e ~3,52g/ 100 g de cinzas). A FM apresentou maior quantidade de carboidratos totais (45,43 g/100 g) do que a FF (22,06 g/100 g), da mesma forma como ocorreu nas polpas dos frutos, entretanto, o valor é menor do que o relatado por TAGLIANI *et al.* (2019) em bagaço de mirtilo em pó (60,94 g/100 g). O nível de açúcar dos frutos é afetado por fatores genéticos e pode estar sob forte influência das técnicas de cultivo e diferentes condições pré-colheita (AKŠI' *et al.*, 2019).

Tabela 31 - Composição físico-química, capacidade antioxidante e propriedades tecnológicas das farinhas de mirtilo (FM) e de fisális (FF).

<b>Composição (g/100g), acidez titulável (AT) (% ácido cítrico), pH e Aw</b>											
<b>Amostra</b>	<b>Umidade</b>	<b>Gordura</b>	<b>Proteína</b>	<b>Cinzas</b>	<b>FDT</b>	<b>FDS</b>	<b>FDI</b>	<b>CT</b>	<b>AT</b>	<b>pH</b>	<b>A<sub>w</sub></b>
FM	14,71 ± 0,19	0,82 ± 0,06	3,10 ± 0,11	1,07 ± 0,02	34,9 ± 0,00	2,0 ± 0,04	32,9 ± 0,04	45,43 ± 0,29	2,4 ± 0,07	3,37 ± 0,01	0,293 ± 0,006
FF	14,54 ± 0,30	12,19 ± 0,33	10,96 ± 0,20	3,45 ± 0,09	36,8 ± 0,00	2,5 ± 0,04	34,3 ± 0,04	22,06 ± 0,76	3,65 ± 0,14	3,72 ± 0,06	0,320 ± 0,002

<b>Teor de compostos fenólicos totais (CFT), flavonoides totais (FT), ácido ascórbico (AA), antocianinas monoméricas totais (AMT), carotenoides totais (CAR) e atividade antioxidante (ABTS, DPPH e FRAP)</b>								
<b>Amostra</b>	<b>CFT (mg AGE/g)</b>	<b>FT (mg CE/g)</b>	<b>AA (mg/100g)</b>	<b>AMT (mg/100g)</b>	<b>CAR (µg/100g)</b>	<b>ABTS (mM TE/g)</b>	<b>DPPH (mM TE/g)</b>	<b>FRAP (µM TE/g)</b>
FM	714,30 ± 62,58	310,14 ± 0,66	150,70 ± 8,81	3742,78 ± 43,46	-	6,49 ± 0,01	17,79 ± 0,16	98,39 ± 3,72
FF	67,58 ± 2,35	47,30 ± 0,25	184,53 ± 5,44	-	13030,16 ± 9,66	5,20 ± 0,03	0,94 ± 0,02	14,16 ± 0,45

<b>Propriedades tecnológicas</b>					
<b>Amostra</b>	<b>CRA (g água/g)</b>	<b>CRO (g óleo/g)</b>	<b>CE (%)</b>	<b>EE (%)</b>	<b>Densidade Bulk (g/L)</b>
FM	0,9451 ± 0,25	0,6911 ± 0,03	50,00 ± 0,40	20,16 ± 0,21	626,03 ± 3,25
FF	0,9607 ± 0,02	0,9019 ± 0,02	4,44 ± 0,00	4,44 ± 0,00	667,18 ± 0,70

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Valor médio ± desvio padrão (n = 3); FDT = fibra dietética total; FDS = fibra dietética solúvel; FDI = fibra dietética insolúvel; CT = carboidratos totais; CRA = capacidade de retenção de água; CRO = capacidade de retenção de óleo; CE = capacidade emulsionante; EE = estabilidade de emulsão.

Em relação aos resultados de FDT, FDS e FDI, também contidos na Tabela 31, a FF apresentou maior conteúdo do que a FM. Os valores de FDT (34,90 g/100 g e 36,80 g/100 g, FM e FF, respectivamente) são inferiores aos encontrados em farinha de feijoa (~ 48,3 g/100 g) (ALMEIDA *et al.*, 2020) e farinha de pequi (~ 43,32 g/100 g) (LEÃO *et al.*, 2017); porém, mais elevados quando comparados com farinha de mutamba (~ 26,90 g/100 g) (ASSIS *et al.*, 2019) e farinha de lentilha (~ 13,8 g/100 g) (ROMANO *et al.*, 2021). A fração insolúvel em água (celulose, hemicelulose, lignina) está associada à porosidade, baixa densidade e capacidades de aumentar o bolo fecal e diminuir o trânsito intestinal (DHINGRA *et al.*, 2012). A FF apresentou valor mais alto (34,30 g/100 g) de FDI do que a FM (32,90 g/100 g), o que está de acordo com os resultados encontrados nas polpas dos frutos, porém, em ambas as farinhas, os teores foram superiores ao valor obtido em farinha de bagaço de kiwi (~25 g/100 g) (SOQUETTA *et al.*, 2016). Os valores de FDS foram próximos para as duas farinhas (2,00 g/100 g para FM e 2,50 g/100 g para FF) e maiores em relação ao teor encontrado em farinha de bagaço de maçã (~ 1,79 g/100 g) (JUNG; CAVENDER; ZHAO, 2015). A fração solúvel em água (pectina, gomas e mucilagens) é de interesse tanto tecnológico, pela capacidade de aumentar a viscosidade do meio, quanto funcional, na redução da resposta glicêmica e colesterol plasmático, além de ação prebiótica (DHINGRA *et al.*, 2012). De acordo com os resultados obtidos, a FM é considerada uma boa fonte de fibras e carboidratos, e a FF, boa fonte de proteína, gordura, carboidratos e fibra dietética, podendo ser incorporadas a formulações de alimentos com intuito de aumentar seu valor nutritivo.

Os resultados de AT (% de ácido cítrico) das farinhas estão na Tabela 31. Tanto na FM como na FF os valores foram mais elevados do que nas polpas, possivelmente devido à concentração dos ácidos orgânicos. Os principais ácidos orgânicos da fruta *fisalis* são cítrico, málico e oxálico (GALVIS; FISCHER; GORDILLO, 2005); e, nos mirtilos *Highbush*, o ácido orgânico predominante é geralmente o cítrico, seguido pelo succínico, quínico e málico (RETAMALES; HANCOCK, 2018). Os valores de pH (3,37 para FM e 3,72 para FF) das farinhas apresentaram-se abaixo de 4,5, o que favorece a sua conservação, já que abaixo desse limite fica restrito o crescimento de microrganismos, principalmente bactérias, por ser caracterizado como ácido.

As farinhas apresentaram alto conteúdo de CFT (Tabela 31). O valor para FM (714,30 mg AGE/g), como já era esperado, foi maior do que o da FF (67,58 mg AGE/g). Mostrou-se superior também ao valor encontrado em bagaço de mirtilo em pó (285,14 mg AGE/g) (TAGLIANI *et al.*, 2019) e em resíduo da casca de *honeyberry* em pó (221,20 mg/g), um fruto

nativo da América do Norte com forte atividade antioxidante, semelhante ao mirtilo (OSZMIANSKI; WOJDYŁO; LACHOWICZ, 2016). Os resultados da análise quantitativa de CFT em mirtilos variam dentro de um intervalo bastante amplo, podendo-se alcançar conteúdos dez vezes superiores ou inferiores, dependendo do método utilizado (SKROVANKOVA *et al.*, 2015). A FM também apresentou um alto conteúdo de AMT (3742,78 mg/100 g), que juntamente com os demais compostos fenólicos, tornam a farinha uma rica fonte de compostos bioativos. É amplamente aceito que o consumo regular de mirtilos maduros pode ser recomendado incondicionalmente para a promoção da saúde (KALT *et al.*, 2020).

Os resultados de teor de ácido ascórbico das farinhas (Tabela 31) mostraram que houve concentração do seu conteúdo em relação às polpas dos frutos. Os valores estão de acordo com a faixa encontrada para farinha da casca e do bagaço de kiwi (59,80 a 189,06 mg/100 g) (SOQUETTA *et al.*, 2016). O ácido ascórbico pode ser considerado o principal atributo de qualidade da maioria das frutas, e geralmente, sua retenção indica que outros componentes também estão bem retidos (JUNQUEIRA *et al.*, 2017). Os carotenoides totais da FF também se apresentaram em alto valor (13030,16 µg/100 g) (Tabela 31), superando o teor encontrado em fisális após processo de secagem por *spray dryer* (2524 µg/100 g) (ETZBACH *et al.*, 2020). Os polifenóis e os carotenoides são os dois principais tipos de fitoquímicos que mais contribuem para as propriedades antioxidantes dos alimentos e/ou plantas (ZHANG *et al.*, 2015).

Em relação à atividade antioxidante das farinhas, medida por ABTS, DDPH e FRAP, os valores (Tabela 31) foram maiores do que os apresentados nas polpas dos frutos. A FM apresentou resultados superiores do que a FF em todos os ensaios testados. Isso demonstra relação com o maior teor de fenólicos totais encontrada nesta farinha. Os valores para o ensaio de ABTS foram maiores em relação aos de FRAP, para as duas farinhas. Cuenca, Gómez e Sánchez (2014) também encontraram valores maiores de ABTS em frutos de fisális secos com ar a 60 °C do que nos frutos frescos. A triagem espectrofotométrica realizada através destes métodos pode ser usada para caracterizar e dar uma ideia do conteúdo fenólico total na matriz, entretanto, é indiscutível que técnicas de ponta, como LC-MS, têm exatidão e precisão necessárias para identificar e quantificar compostos fenólicos em alimentos, bebidas e extratos de plantas (GRANATO *et al.*, 2018).

#### 4.3.12 Perfil de fenólicos das farinhas de mirtilo e de fisális por LC-MS/MS

A FM apresentou um total de 28 compostos fenólicos, com grande concentração de ácido clorogênico (Tabela 32). Os demais compostos em maior quantidade foram isoquercetina, 3,4 - ácido dihidroxibenzoico, 2,5 - DHBA (2,5 - ácido dihidroxibenzoico), quercetina, ácido cafeico e rutina. Operações como processamento térmico, fermentação e o congelamento de alimentos libera os ácidos fenólicos ligados (NAYAK; LIU; TANG, 2015).

Tabela 32 - Perfil fenólico das farinhas de mirtilo (FM) e de fisális (FF).

Compostos fenólicos (mg/g)	FM	FF
Ácido benzoico	3,16 ± 0,29	16,01 ± 0,41
Siringaldeído	0,97 ± 0,04	0,85 ± 0,01
Ácido ferúlico	8,47 ± 0,61	2,86 ± 0,20
Ácido siríngico	1,41 ± 0,03	0,98 ± 0,00
Pinocembrim	0,47 ± 0,01	0,41 ± 0,09
Galangina	0,36 ± 0,00	0,36 ± 0,00
Apigenina	0,40 ± 0,00	0,40 ± 0,00
Kaempferol	2,63 ± 0,13	0,82 ± 0,01
Epicatequina	6,94 ± 0,45	0,50 ± 0,00
Catequina	7,33 ± 0,46	1,08 ± 0,00
Ácido clorogênico	239,96 ± 10,37	10,46 ± 0,63
Hesperidina	0,45 ± 0,06	0,19 ± 0,01
2,5 - DHBA (2,5 - ácido dihidroxibenzoico)	70,33 ± 4,83	4,41 ± 0,19
2,4 - DHBA (2,4 - ácido dihidroxibenzoico)	7,45 ± 1,33	3,74 ± 0,34
Ácido salicílico	1,92 ± 0,17	2,38 ± 0,20
3,4 - ácido dihidroxibenzoico	77,94 ± 0,66	4,14 ± 0,07
Ácido p-cumárico	4,23 ± 0,27	1,38 ± 0,02
Ácido gálico	0,65 ± 0,06	n.d.
Ácido cafeico	19,38 ± 1,73	1,32 ± 0,03
Sinapaldeído	2,33 ± 0,07	1,85 ± 0,02
Ácido sináptico	2,81 ± 0,09	3,21 ± 0,09
Naringenina	1,00 ± 0,07	0,37 ± 0,00
Pinobanksin	1,41 ± 0,16	n.d.
Quercetina	41,61 ± 3,95	0,89 ± 0,06
Isoramnetina	4,07 ± 0,42	n.d.
Isoquercetina	125,61 ± 2,98	n.d.
Naringina	3,40 ± 0,15	n.d.
Rutina	12,19 ± 1,04	2,90 ± 0,12

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Valor médio ± desvio padrão (n = 3); FM = Farinha de mirtilo; FF = Farinha de fisális; n.d.: não detectado.

Na FF o número de fenólicos quantificados foi bem maior em relação ao fruto, alcançando um total de 23 substâncias, entre ácidos fenólicos e flavonoides. Os compostos em maior concentração foram os ácidos benzoico, clorogênico, 2,5 - DHBA, 3,4 - ácido dihidroxibenzoico, 2,4 - DHBA, sináptico e ferúlico. Com exceção de pinobanksin, isoramnetina, isoquercetina e naringina, todos os demais apresentaram-se em concentrações superiores. Em amostras de frutos frescos de *P. peruviana* cultivados na Colômbia foram identificados vários flavonoides (catequina, epicatequina, rutina, quercetina di-hidratada, miricetina e kaempferol), entretanto, após tratamento térmico, só foram quantificados catequina e epicatequina (OLIVARES-TENORIO *et al.*, 2017a). Neste trabalho, as duas farinhas (FM e FF) apresentaram maior concentração ou manutenção dos compostos fenólicos existentes nos frutos frescos. Isso mostra que o processamento otimizado e outras variáveis, como a manutenção da casca intacta, sem cortes ou danos físicos nos frutos, além de propriedades intrínsecas da matriz alimentar evitaram perdas destes metabólitos (NAYAK; LIU; TANG, 2015).

A partir dos dados obtidos, ambas as farinhas (FM em maior proporção) podem ser consideradas fontes ricas de compostos fenólicos, contribuindo para o aumento de compostos bioativos em formulações de alimentos. Os fenólicos são classificados como antioxidantes primários, por serem, principalmente captadores de radicais livres, atrasando ou inibindo a etapa de iniciação, ou ainda, interrompendo a etapa de propagação da oxidação lipídica (SHAHIDI; AMBIGAIPALAN, 2015).

#### 4.3.13 Propriedades tecnológicas das farinhas

Os resultados da avaliação das propriedades tecnológicas das farinhas estão na Tabela 31. A CRA mostrou-se semelhante entre as duas farinhas, porém, menores do que as encontradas em farinha de feijoa (2,65 g água/g) (ALMEIDA *et al.*, 2020) e ligeiramente inferiores à de farinha de buriti (1,10 a 1,36 g água/g) (RESENDE; FRANCA; OLIVEIRA, 2019). A CRO foi menor do que a CRA em ambas as farinhas (Tabela 31), e o motivo pode ser a presença de um grande número de grupos hidrofílicos que se ligam a água, e ao teor de fibras solúveis que têm alta capacidade de absorção de água (MOKHTAR; SWAILAM; EMBABY, 2018). Entretanto, os valores de CRO, tanto da FM quanto da FM, foram maiores do que os analisados em farinha de banana verde (0,4 a 0,68 g óleo/g) (YANGILAR, 2015). A CRO é

importante, uma vez que o óleo atua como retentor de sabor e melhora a palatabilidade dos alimentos, particularmente em produtos de panificação ou carne, onde a absorção de gordura é desejada (THARISE; JULIANTI; NURMINAH, 2014). Neste índice, a FF apresentou melhor resultado. A absorção de água é fundamental para a qualidade da textura de uma ampla variedade de alimentos, especialmente produtos cárneos.

A FM apresentou CE (50%) superior à da FF (4,44%), podendo auxiliar no processamento de emulsões, bem como mostrando boa estabilidade após o aquecimento e resfriamento (Tabela 31). A forma das partículas, as propriedades hidrofílicas e lipofílicas, e os componentes das fibras podem afetar as diferenças entre os resultados das propriedades de emulsão (HUBER *et al.*, 2016). A densidade *bulk* das farinhas (Tabela 31) mostrou-se baixa, o que pode ser explicado pela grande quantidade de fibra dietética insolúvel em suas composições. Esta característica é interessante para a adição como complemento alimentar em produtos. Ambas apresentaram valor semelhante ao encontrado em resíduo de fisális em pó (630 g/L) (MOKHTAR; SWAILAM; EMBABY, 2018).

#### 4.3.14 Estabilidade de cor e pigmentos das farinhas

Os valores dos parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) das farinhas, entre os dias 0 e 120 após a produção, estão na Tabela 33. Na FM, os valores de  $a^*$  não apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) ao longo do período de armazenamento, à temperatura ambiente e ao abrigo da luz. Esse resultado é importante, pois tem relação com a estabilidade do pigmento de tom avermelhado, neste caso, as antocianinas. A luminosidade ( $L^*$ ) diminuiu durante o armazenamento, com diferença significativa a partir dos 60 dias, o que pode ser explicado por escurecimento ocasionado por reação de Maillard. É um escurecimento não enzimático, iniciado por uma condensação de grupos amino de proteínas, peptídeos e aminoácidos com grupos carbonil de açúcares redutores, que provoca alterações nas características organolépticas dos produtos (LUND; RAY, 2017). Os valores de  $b^*$  tiveram um leve aumento durante o período, com diferença significativa ( $p < 0,05$ ), a partir de 30 dias. O teor de AMT da farinha de mirtilo (Tabela 33) reduziu ao longo do período, com diferença significativa ( $p < 0,05$ ) a partir de 30 dias. Apesar dessa diferença estatística, a degradação do conteúdo de AMT variou entre 1,61% (60 dias) a 20,31% (120 dias), e a FM apresentou ainda um alto teor após 120 dias de armazenamento (2865,53 mg/100 g).

Tabela 33 - Resultados de antocianinas monoméricas totais (AMT), carotenoides totais (CT) e parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) das farinhas durante os dias de armazenamento.

<b>Farinha de mirtilo</b>				
<b>Dias</b>	<b>AMT (mg/100 g)</b>	<b><math>L^*</math></b>	<b><math>a^*</math></b>	<b><math>b^*</math></b>
<b>0</b>	3742,78 ± 43,46 <sup>a</sup>	17,54 ± 0,35 <sup>a</sup>	14,64 ± 0,14 <sup>a</sup>	5,51 ± 0,10 <sup>a</sup>
<b>30</b>	3595,83 ± 33,62 <sup>ab</sup>	16,59 ± 0,41 <sup>a</sup>	14,29 ± 0,21 <sup>a</sup>	5,40 ± 0,17 <sup>b</sup>
<b>60</b>	3537,94 ± 108,60 <sup>b</sup>	14,48 ± 0,41 <sup>b</sup>	14,18 ± 0,50 <sup>a</sup>	5,38 ± 0,02 <sup>bc</sup>
<b>90</b>	3130,48 ± 78,28 <sup>c</sup>	14,97 ± 0,41 <sup>b</sup>	13,91 ± 0,26 <sup>a</sup>	5,07 ± 0,10 <sup>bc</sup>
<b>120</b>	2865,53 ± 82,08 <sup>d</sup>	14,33 ± 0,15 <sup>b</sup>	14,49 ± 0,20 <sup>a</sup>	5,90 ± 0,17 <sup>c</sup>
<b>Farinha de fisális</b>				
<b>Dias</b>	<b>CT (µg/100 g)</b>	<b><math>L^*</math></b>	<b><math>a^*</math></b>	<b><math>b^*</math></b>
<b>0</b>	13030,16 ± 9,66 <sup>a</sup>	52,17 ± 0,43 <sup>a</sup>	12,43 ± 0,02 <sup>a</sup>	51,90 ± 0,22 <sup>a</sup>
<b>30</b>	12943,67 ± 19,29 <sup>b</sup>	51,65 ± 0,25 <sup>ab</sup>	13,17 ± 0,63 <sup>ab</sup>	52,65 ± 1,22 <sup>ab</sup>
<b>60</b>	12094,91 ± 19,29 <sup>c</sup>	50,76 ± 0,16 <sup>bc</sup>	13,25 ± 0,08 <sup>abc</sup>	52,59 ± 0,09 <sup>ab</sup>
<b>90</b>	10834,62 ± 29,47 <sup>d</sup>	51,26 ± 0,43 <sup>bc</sup>	14,31 ± 0,15 <sup>bc</sup>	54,76 ± 0,35 <sup>b</sup>
<b>120</b>	9927,98 ± 29,47 <sup>e</sup>	50,42 ± 0,34 <sup>c</sup>	13,61 ± 0,59 <sup>c</sup>	50,53 ± 1,33 <sup>b</sup>

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Valor médio ± desvio padrão (n=3); a – d: Médias ± desvio padrão com letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).

Na FF os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  mostraram-se diferentes estatisticamente ( $p < 0,05$ ) a partir de 30 dias de armazenamento, à temperatura ambiente e ao abrigo de luz. A redução dos valores de  $L^*$  e  $b^*$ , aliada ao aumento dos valores de  $a^*$ , indicaram um escurecimento na FF, a perda de carotenoides e um aumento de tons avermelhados/alaranjados. O conteúdo de carotenoides totais da FF sofreu redução, com diferença estatística ( $p < 0,05$ ) a partir de 30 dias de armazenamento. A degradação destes compostos foi um pouco maior, comparada à degradação das antocianinas na FM. O teor de carotenoides totais mostrou queda de 0,66% (30 dias) a 23,81% (120 dias), apresentando um total de 9927,98 (µg/100 g) após 120 dias de sua produção. Essa degradação é causada principalmente por reações de oxidação e isomerização, que leva a perda da atividade e cor dos carotenoides (NGAMWONGLUMLERT; DEVAHASTIN; CHIEWCHAN, 2019). Observa-se que até os 90 dias de armazenamento, as duas farinhas mostraram estabilidade semelhante em relação aos parâmetros de cor e ainda apresentaram conteúdo alto de pigmentos (antocianinas e carotenoides).



#### 4.3.15 Conclusões

O Delineamento Composto Central Rotacional e a análise de superfície de resposta demonstraram ser eficazes em encontrar a condição ideal para o desenvolvimento de farinhas a partir de frutos de mirtilo (*Vaccinium corymbosum*) e de fisális (*Physalis peruviana*). Os resultados mostraram que as condições do processo de secagem (temperatura e tempo) exerceram influência significativa no teor de antocianinas monoméricas totais e na umidade da farinha de mirtilo, bem como no teor de carotenoides totais e de umidade da farinha de fisális.

Modelos de equações polinomiais de segunda ordem foram desenvolvidos para prever o conteúdo de antocianinas monoméricas totais e de umidade em farinha de mirtilo e, o conteúdo de carotenoides totais e de umidade em farinha de fisális. A análise de variância mostrou um alto coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para os modelos: 0,9007 para antocianinas em farinha de mirtilo; 0,9008 para umidade em farinha de mirtilos; 0,9179 para carotenoides totais em farinha de fisális, e 0,9302 para umidade em farinha de fisális. Esses valores garantem um ajuste satisfatório do modelo de regressão com os dados experimentais. A condição ótima para a elaboração de farinha de mirtilo foi estabelecida na temperatura de 53 °C por um período de 46 horas. Nesta condição, obteve-se o rendimento de antocianinas monoméricas totais de  $3101,04 \pm 11,57$  mg/100g, e conteúdo de umidade da farinha de  $13,98 \pm 1,23$  %, concordando com os valores previstos pelos modelos. Já a condição ótima para a produção de farinha de fisális foi estabelecida na temperatura de 52 °C por um período de 27,18 horas. Nesta condição, o valor experimental encontrado para carotenoides totais concordou com o valor previsto pelo modelo, e o valor de umidade apresentou-se um pouco inferior, mas dentro do intervalo de confiança.

As farinhas desenvolvidas a partir de frutos íntegros de mirtilo e fisális apresentaram valores de umidade dentro do limite exigido pela Legislação Brasileira (<15%), e na sua composição proximal, destaca-se a grande quantidade de fibra dietética, principalmente, a fibra insolúvel. Ambas as farinhas se caracterizaram como ácidas e com baixa atividade de água, o que favorece a segurança alimentar. Tanto na farinha de mirtilo quanto na de fisális houve concentração da bioatividade, sem redução de fitoquímicos após o processamento. Da mesma forma, o perfil de compostos fenólicos analisado por LC-MS/MS quantificou maior número de ácidos fenólicos e flavonoides nas farinhas do que nos frutos frescos. Na farinha de mirtilo foram quantificados 28 compostos fenólicos, sendo o ácido clorogênico predominante tanto no fruto quanto na farinha. Já na farinha de fisális houve detecção e quantificação de 23 compostos,

entre ácidos fenólicos e flavonoides, com predominância do ácido benzoico. Portanto, o mirtilo e a farinha de mirtilo mostraram-se com maior quantidade e maiores concentrações de compostos bioativos do que a fisális e a farinha de fisális.

Quanto às propriedades tecnológicas, de maneira geral, as duas farinhas apresentaram valores dos parâmetros medidos menores do que os reportados para outras farinhas de frutas. Porém, ambas mostraram capacidade emulsificante e estabilidade de emulsão, sendo a farinha de mirtilo superior à farinha de fisális, também nestes quesitos. Durante o armazenamento à temperatura ambiente e ao abrigo da luz, as duas farinhas tiveram boa manutenção da cor e dos pigmentos (antocianinas na farinha de mirtilo e carotenoides na farinha de fisális) até os 90 dias, com diferença estatística ( $p < 0,05$ ).

#### 4.4 CAPÍTULO 4: DESENVOLVIMENTO DE MORTADELAS COM APLICAÇÃO DE FARINHAS DE MIRTILO E DE FISÁLIS COMO FONTES DE ANTIOXIDANTES NATURAIS E AVALIAÇÃO DE SUAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E ESTABILIDADE OXIDATIVA, ANTES E APÓS SIMULAÇÃO DE DIGESTÃO *IN VITRO*

##### 4.4.1 Composição proximal e $A_w$ das mortadelas

As mortadelas apresentaram pequenas variações em sua composição, com diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos para os valores de umidade, proteína e  $A_w$  (Tabela 34). Essa diferença pode ser explicada pela variação destes parâmetros na matéria-prima utilizada, não estando relacionada com a concentração de farinhas adicionada nas formulações. Apesar disso, todos os tratamentos atenderam aos limites exigidos pela Legislação Brasileira (BRASIL, 2000; BRASIL, 2011) para mortadela tipo Bologna. A determinação de cálcio não foi necessária devido à ausência de CMS na formulação (Tabela 6).

Tabela 34 - Composição proximal (g/100 g) e Aw de mortadelas com diferentes concentrações de farinha de mirtilo (FM) e de fisális (FF).

Testes	Umidade	Lipídios	Proteína	Cinzas	CT	Aw
<b>C1</b>	62,16 ± 0,04 <sup>abc</sup>	19,62 ± 0,49 <sup>a</sup>	13,06 ± 0,05 <sup>bc</sup>	3,81 ± 0,05 <sup>a</sup>	1,36 ± 0,44 <sup>a</sup>	0,896 ± 0,001 <sup>ab</sup>
<b>C2</b>	61,77 ± 0,03 <sup>bc</sup>	19,23 ± 0,27 <sup>a</sup>	13,26 ± 0,23 <sup>abc</sup>	3,69 ± 0,13 <sup>a</sup>	2,06 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,893 ± 0,001 <sup>b</sup>
<b>FM1</b>	61,98 ± 0,22 <sup>abc</sup>	19,21 ± 0,30 <sup>a</sup>	13,54 ± 0,22 <sup>ab</sup>	3,70 ± 0,04 <sup>a</sup>	1,58 ± 0,26 <sup>a</sup>	0,896 ± 0,003 <sup>ab</sup>
<b>FM2</b>	61,67 ± 0,01 <sup>c</sup>	19,47 ± 0,10 <sup>a</sup>	13,84 ± 0,01 <sup>a</sup>	3,61 ± 0,04 <sup>a</sup>	1,41 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,893 ± 0,001 <sup>b</sup>
<b>FM3</b>	62,38 ± 0,21 <sup>abc</sup>	18,91 ± 0,18 <sup>a</sup>	13,61 ± 0,18 <sup>ab</sup>	3,67 ± 0,04 <sup>a</sup>	1,44 ± 0,53 <sup>a</sup>	0,898 ± 0,002 <sup>ab</sup>
<b>FF1</b>	62,78 ± 0,05 <sup>a</sup>	19,06 ± 0,13 <sup>a</sup>	13,28 ± 0,10 <sup>abc</sup>	3,69 ± 0,02 <sup>a</sup>	1,20 ± 0,20 <sup>a</sup>	0,897 ± 0,001 <sup>ab</sup>
<b>FF2</b>	62,11 ± 0,14 <sup>abc</sup>	19,89 ± 0,18 <sup>a</sup>	13,14 ± 0,04 <sup>bc</sup>	3,73 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,14 ± 0,39 <sup>a</sup>	0,896 ± 0,003 <sup>ab</sup>
<b>FF3</b>	62,66 ± 0,04 <sup>ab</sup>	19,34 ± 0,14 <sup>a</sup>	13,26 ± 0,04 <sup>abc</sup>	3,63 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,11 ± 0,16 <sup>a</sup>	0,896 ± 0,000 <sup>ab</sup>
<b>FFM</b>	62,41 ± 0,61 <sup>abc</sup>	19,60 ± 0,37 <sup>a</sup>	12,77 ± 0,30 <sup>c</sup>	3,68 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,54 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,902 ± 0,001 <sup>a</sup>

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Valor médio ± desvio padrão (n=3); a – c: Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas (p<0,05). C1: sem antioxidante; C2: 0,25% de antioxidante à base de eritorbato de sódio; FM1: 0,05% de farinha de mirtilo; FM2: 0,075% de farinha de mirtilo; FM3: 0,10% de farinha de mirtilo; FF1: 0,53% de farinha de fisális; FF2: 0,795% de farinha de fisális; FF3: 1,06% de farinha de fisális; FFM: 0,04% de farinha de mirtilo e 0,40% de farinha de fisális; CT: carboidratos totais.

Estes resultados estiveram de acordo com os valores encontrados por outros autores, em mortadelas tipo Bologna (ALVES *et al.* 2016; FERNÁNDEZ-LÓPEZ *et al.* 2020). Na elaboração de produtos emulsionados, as proteínas são essenciais na interface lipídio-água, assim como o teor de gordura é importante para garantir a peculiaridade de textura e sabor característicos destes produtos (GUERRA *et al.* 2012). Desta forma, as formulações utilizadas e o controle do processo garantiram a estabilidade das emulsões após o cozimento das mortadelas e as mesmas não apresentaram liberação de gordura após o resfriamento.

Apesar da diferença estatística (p<0,05), os valores de Aw apresentaram-se próximos a 0,9 (entre 0,893 e 0,902) em todos os tratamentos. A Aw é um importante parâmetro quantitativo em embutidos cárneos cozidos, uma vez que valores elevados promovem o desenvolvimento de microrganismos indesejados, enquanto números baixos afetam negativamente a textura e o sabor (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2020).

#### 4.4.2 Análise do perfil de textura (TPA) das mortadelas

As análises do perfil de textura das mortadelas estão expostas na Tabela 35. Através da TPA de um alimento é possível simular as condições pelas quais ele é submetido durante o

consumo, através de instrumentos capazes de avaliar diversos parâmetros reológicos envolvidos (RAMOS; GOMIDE, 2007).

Tabela 35 – Perfil de textura de mortadelas com diferentes concentrações de farinha de mirtilo (FM) e de fisális (FF).

Testes	Dureza (N)	Adesividade (N.s)	Elasticidade (mm)	Coesividade	Mastigabilidade (N.mm)
C1	18,81 ± 2,44 <sup>abc</sup>	-0,15 ± 0,49 <sup>a</sup>	0,82 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,22 ± 0,02 <sup>a</sup>	3,42 ± 0,01 <sup>abc</sup>
C2	15,90 ± 1,50 <sup>c</sup>	-0,09 ± 0,34 <sup>a</sup>	1,00 ± 0,34 <sup>a</sup>	0,18 ± 0,01 <sup>a</sup>	2,81 ± 0,51 <sup>a</sup>
FM1	18,18 ± 0,26 <sup>abc</sup>	-0,05 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,86 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,21 ± 0,00 <sup>a</sup>	3,33 ± 0,00 <sup>abc</sup>
FM2	23,74 ± 2,18 <sup>a</sup>	-0,15 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,84 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,21 ± 0,02 <sup>a</sup>	4,12 ± 0,65 <sup>ab</sup>
FM3	22,76 ± 0,69 <sup>ab</sup>	-0,05 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,88 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,22 ± 0,02 <sup>a</sup>	4,33 ± 0,52 <sup>a</sup>
FF1	23,72 ± 2,23 <sup>a</sup>	-0,15 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,81 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,22 ± 0,01 <sup>a</sup>	4,22 ± 0,47 <sup>ab</sup>
FF2	17,77 ± 0,24 <sup>bc</sup>	-0,20 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,75 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,20 ± 0,03 <sup>a</sup>	2,70 ± 0,28 <sup>bc</sup>
FF3	17,32 ± 0,05 <sup>bc</sup>	-0,12 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,87 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,23 ± 0,02 <sup>a</sup>	3,47 ± 0,42 <sup>abc</sup>
FFM	19,47 ± 0,87 <sup>abc</sup>	-0,15 ± 0,10 <sup>a</sup>	0,72 ± 0,10 <sup>a</sup>	0,18 ± 0,01 <sup>a</sup>	2,46 ± 0,09 <sup>c</sup>

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Valor médio ± desvio padrão (n=3); N: Newton; N.s: Newton.segundo; N.mm: Newton.milímetro; a – c: Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas (p<0,05). C1: sem antioxidante; C2: 0,25% de antioxidante à base de eritorbato de sódio; FM1: 0,05% de farinha de mirtilo; FM2: 0,075% de farinha de mirtilo; FM3: 0,10% de farinha de mirtilo; FF1: 0,53% de farinha de fisális; FF2: 0,795% de farinha de fisális; FF3: 1,06% de farinha de fisális; FFM: 0,04% de farinha de mirtilo e 0,40% de farinha de fisális.

Houve diferença significativa (p<0,05) entre os tratamentos nos resultados de dureza e mastigabilidade, porém, as formulações com farinhas de mirtilo e fisális não diferiram dos controles (C1 e C2), onde as mesmas não foram adicionadas. Isso mostra que a presença das farinhas teve influência sobre a força necessária para se alcançar deformação nas amostras.

Entretanto, essas diferenças foram pequenas e possivelmente ocasionadas pela variação na quantidade de farinhas em cada amostra avaliada, o que não resultou em interferência indesejável em relação aos controles. Da mesma forma, foram relatadas diferenças significativas por Muraoka Júnior *et al.* (2019) em relação à dureza de mortadelas adicionadas de microcristais de curcumina.

Em relação à adesividade, elasticidade e coesividade, as mortadelas não apresentaram diferenças estatísticas (p<0,05). Do ponto de vista tecnológico, esses resultados evidenciam que os tratamentos adicionados de farinhas se mantiveram semelhantes aos controles no que se refere à elasticidade e aderência dos produtos.

Todos os parâmetros avaliados no perfil de textura apresentaram resultados semelhantes a outros autores (FERNÁNDEZ-LÓPEZ *et al.*, 2020; MURAOKA JÚNIOR *et al.*, 2019;

SILVA, J., *et al.*, 2020), com exceção da coesividade, que se mostrou mais baixa (0,18 a 0,23) do que a faixa relatada na literatura (0,8 – 0,87). Os resultados encontrados por Fernández-López *et al.* (2020) foram obtidos a partir de amostras refrigeradas a 4°C. Já no presente trabalho, as amostras foram avaliadas em temperatura ambiente, o que pode ter ocasionado esta diminuição nos valores de coesividade.

A coesão está relacionada com a força das ligações internas, o que possivelmente também pode estar associado a concentração de amido adicionado nas formulações (1,2 %). Este valor é considerado baixo diante dos autores citados anteriormente, que utilizaram em torno de 3,0 % de amido em suas formulações. O amido é um importante polissacarídeo adicionado em produtos cárneos utilizado como espessante, estabilizante, agente de textura, ligante de água ou de gordura. De maneira geral, a utilização de farinhas de mirtilo e fisális não influenciou negativamente a textura das mortadelas.

#### 4.4.3 Resultados de pH das mortadelas

A Tabela 36 apresenta os resultados de pH das mortadelas durante o armazenamento sob refrigeração. Houve queda de pH com diferença significativa ( $p < 0,05$ ) ao longo do período em todos os tratamentos. Observou-se um aumento dos valores no 7º dia e depois constante redução até o final (90 dias). Em mortadelas do tipo Bologna com adição de extrato de semente de manga também ocorreu um aumento de pH após 7 dias de armazenamento (PEREIRA *et al.*, 2011), assim como Muraoka Júnior *et al.* (2019) relataram aumento de pH em mortadelas com adição de microcristais de curcumina, após o 15º dia de armazenamento, com posterior queda até o final do período (90 dias).

A adição de compostos de fosfato e sal às formulações aumenta o pH da carne de 5,5-5,6 (próximo ao ponto isoelétrico da actomiosina, 5,0 (BREWER, 2010)) para 5,8-6,0, fazendo com que a miosina e as outras proteínas musculares retenham a água mais fortemente, devido ao aumento das cargas líquidas (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010), motivo pelo qual, possivelmente, tenha ocorrido esse aumento de pH nas mortadelas.

Tabela 36 - Resultados de pH das mortadelas durante o armazenamento.

Dias	C1	C2	FM1	FM2	FM3	FF1	FF2	FF3	FFM
0	6,35 ± 0,03 <sup>bcBCD</sup>	6,36 ± 0,01 <sup>cBC</sup>	6,32 ± 0,01 <sup>cD</sup>	6,40 ± 0,01 <sup>cA</sup>	6,26 ± 0,02 <sup>cE</sup>	6,35 ± 0,01 <sup>bBCD</sup>	6,32 ± 0,01 <sup>bCD</sup>	6,26 ± 0,02 <sup>bE</sup>	6,38 ± 0,01 <sup>bAB</sup>
7	6,59 ± 0,04 <sup>aA</sup>	6,55 ± 0,01 <sup>aA</sup>	6,53 ± 0,02 <sup>aABC</sup>	6,54 ± 0,01 <sup>aAB</sup>	6,53 ± 0,04 <sup>aAB</sup>	6,56 ± 0,03 <sup>aA</sup>	6,48 ± 0,01 <sup>aBC</sup>	6,46 ± 0,01 <sup>aC</sup>	6,54 ± 0,03 <sup>aAB</sup>
<b>pH</b> 15	6,37 ± 0,01 <sup>bBC</sup>	6,41 ± 0,03 <sup>bAB</sup>	6,40 ± 0,04 <sup>bAB</sup>	6,48 ± 0,02 <sup>bA</sup>	6,42 ± 0,05 <sup>bAB</sup>	6,29 ± 0,04 <sup>bCD</sup>	6,20 ± 0,04 <sup>cDE</sup>	6,15 ± 0,01 <sup>cE</sup>	6,36 ± 0,04 <sup>bBC</sup>
30	6,28 ± 0,05 <sup>cA</sup>	6,31 ± 0,03 <sup>cA</sup>	6,19 ± 0,03 <sup>dBC</sup>	6,26 ± 0,03 <sup>dAB</sup>	6,13 ± 0,01 <sup>dCDE</sup>	6,16 ± 0,01 <sup>cCD</sup>	6,15 ± 0,02 <sup>dCD</sup>	6,06 ± 0,03 <sup>dE</sup>	6,10 ± 0,03 <sup>cDE</sup>
60	6,09 ± 0,02 <sup>dA</sup>	5,95 ± 0,01 <sup>dBC</sup>	5,97 ± 0,02 <sup>eBC</sup>	6,00 ± 0,02 <sup>eAB</sup>	5,97 ± 0,04 <sup>eBC</sup>	5,95 ± 0,06 <sup>dBC</sup>	5,92 ± 0,01 <sup>eC</sup>	6,00 ± 0,03 <sup>eAB</sup>	6,00 ± 0,04 <sup>dB</sup>
90	6,05 ± 0,02 <sup>dA</sup>	5,87 ± 0,01 <sup>eBC</sup>	5,81 ± 0,03 <sup>fC</sup>	5,86 ± 0,01 <sup>fC</sup>	5,85 ± 0,03 <sup>fC</sup>	5,75 ± 0,04 <sup>eD</sup>	5,90 ± 0,01 <sup>eB</sup>	5,69 ± 0,01 <sup>fE</sup>	5,71 ± 0,01 <sup>eDE</sup>

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Valor médio ± desvio padrão (n=3); a – f: Letras sobrescritas minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas (p<0,05) entre os dias; A – E: Letras sobrescritas maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas (p<0,05) entre os tratamentos; C1: sem antioxidante; C2: 0,25% de antioxidante à base de eritorbato de sódio; FM1: 0,05% de farinha de mirtilo; FM2: 0,075% de farinha de mirtilo; FM3: 0,10% de farinha de mirtilo; FF1: 0,53% de farinha de fisális; FF2: 0,795% de farinha de fisális; FF3: 1,06% de farinha de fisális; FFM: 0,04% de farinha de mirtilo e 0,40% de farinha de fisális.

Como era esperado, a adição das farinhas (FM e FF) causou queda nos valores de pH das mortadelas em relação aos controles, devido ao seu caráter ácido (FM, pH 3,37; FF, pH 3,72). Ao final do armazenamento (90 dias), somente nos tratamentos com farinha de fisális (FF1, FF3 e FFM, que apresentaram valores menores) a diferença foi significativa ( $p < 0,05$ ) em relação ao controle com eritorbato de sódio (C2). Almeida *et al.* (2015) também constataram valores de pH mais baixos em mortadelas tipo Bologna com adição de extrato de casca de jabuticaba. A diminuição do pH também pode estar associada à presença de ácidos graxos livres liberados durante o processo oxidativo (GRANATO; NUNES, 2016).

De acordo com Allais (2010), valores de pH em torno de 6 e de  $A_w$  menores que 0,98 são considerados ideais para garantir a estabilidade microbiológica e estrutural de produtos emulsificados.

#### 4.4.4 Resultados de cor das mortadelas

A cor das mortadelas foi afetada tanto pelo tratamento quanto pelo armazenamento ( $p < 0,05$ ). A Tabela 37 mostra os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  durante o período de 90 dias. A luminosidade ( $L^*$ ) apresentou uma tendência de redução durante o armazenamento, mas ao final apenas diferiram estatisticamente ( $p < 0,05$ ) do valor de  $L^*$  inicial (0 dia), os tratamentos FM1, FF1 e FF2. De maneira geral, os valores são semelhantes aos encontrados por outros autores para mortadelas tipo Bologna (BERASATEGI *et al.*, 2014; CÂMARA *et al.*, 2021; FERNÁNDEZ-LÓPEZ *et al.*, 2020; PIRES *et al.*, 2017).

O tratamento com adição de eritorbato de sódio (C2) apresentou os maiores resultados de  $a^*$  durante todo o período de armazenamento. O uso de eritorbato aumenta a predominância de formas ferrosas de mioglobina na carne, o que se traduz em maior estabilidade ao calor após passar por tratamento térmico (SUMAN *et al.*, 2016). A medição de  $a^*$  está relacionada à cor vermelha, importante fator de qualidade e aceitação em produtos cárneos. Os valores de  $a^*$  aumentaram consideravelmente durante os 90 dias em todos os tratamentos, indicando que não houve perda da coloração típica de produto cárneo curado. Apenas os tratamentos FM3, FF3 e FFM apresentaram diferença estatística ( $p < 0,05$ ) em relação à C2 ao final do período, com valores menores. As estratégias utilizadas para inibir a oxidação dos lipídios não apenas minimizam a rancidez, mas também melhoram a estabilidade da cor (SUMAN; JOSEPH, 2013).

Tabela 37 – Parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) das mortadelas durante o armazenamento.

Dias	C1	C2	FM1	FM2	FM3	FF1	FF2	FF3	FFM	
$L^*$	0	69,48 ± 0,05 <sup>aBC</sup>	69,44 ± 0,08 <sup>bBC</sup>	69,12 ± 0,03 <sup>aBCD</sup>	70,59 ± 0,38 <sup>aA</sup>	69,74 ± 0,20 <sup>aB</sup>	68,80 ± 0,18 <sup>aCD</sup>	67,86 ± 0,12 <sup>aEF</sup>	68,46 ± 0,30 <sup>aDE</sup>	67,33 ± 0,51 <sup>aF</sup>
	7	64,09 ± 0,49 <sup>cAB</sup>	64,87 ± 0,47 <sup>cA</sup>	63,24 ± 0,69 <sup>dABC</sup>	63,90 ± 0,86 <sup>dAB</sup>	63,85 ± 0,97 <sup>bAB</sup>	61,64 ± 0,55 <sup>cCD</sup>	61,10 ± 0,70 <sup>cdD</sup>	62,34 ± 0,76 <sup>bBCD</sup>	62,77 ± 0,26 <sup>bBCD</sup>
	15	64,54 ± 0,43 <sup>bcB</sup>	64,45 ± 0,20 <sup>cB</sup>	64,03 ± 0,10 <sup>dB</sup>	66,58 ± 0,27 <sup>bcA</sup>	64,38 ± 0,18 <sup>bb</sup>	61,46 ± 0,16 <sup>cD</sup>	60,84 ± 0,33 <sup>dDE</sup>	62,99 ± 0,32 <sup>bc</sup>	60,36 ± 0,48 <sup>cE</sup>
	30	69,45 ± 0,18 <sup>aBC</sup>	70,22 ± 0,07 <sup>aA</sup>	68,58 ± 0,28 <sup>aDE</sup>	68,92 ± 0,17 <sup>aCD</sup>	69,79 ± 0,26 <sup>aAB</sup>	67,71 ± 0,23 <sup>bFG</sup>	68,27 ± 0,12 <sup>aEF</sup>	68,51 ± 0,16 <sup>aDE</sup>	67,54 ± 0,25 <sup>aG</sup>
	60	65,10 ± 0,46 <sup>bAB</sup>	64,41 ± 0,32 <sup>cAB</sup>	65,40 ± 0,09 <sup>cA</sup>	64,48 ± 0,69 <sup>cdAB</sup>	63,77 ± 0,51 <sup>bBC</sup>	60,95 ± 0,31 <sup>cE</sup>	61,96 ± 0,26 <sup>cDE</sup>	62,75 ± 1,15 <sup>bCD</sup>	61,26 ± 0,04 <sup>cDE</sup>
	90	70,30 ± 0,26 <sup>aA</sup>	69,63 ± 0,32 <sup>abAB</sup>	67,21 ± 0,87 <sup>bCD</sup>	68,33 ± 1,64 <sup>abABCD</sup>	68,88 ± 0,58 <sup>aABCD</sup>	66,81 ± 0,47 <sup>bD</sup>	66,79 ± 0,26 <sup>bD</sup>	69,15 ± 0,82 <sup>aABC</sup>	67,92 ± 0,91 <sup>aBCD</sup>
$a^*$	0	8,54 ± 0,08 <sup>dAB</sup>	8,74 ± 0,10 <sup>cA</sup>	7,54 ± 0,02 <sup>eBC</sup>	7,43 ± 0,01 <sup>dC</sup>	7,92 ± 0,06 <sup>dABC</sup>	7,49 ± 0,11 <sup>eBC</sup>	7,95 ± 0,31 <sup>dABC</sup>	8,55 ± 1,07 <sup>aAB</sup>	8,57 ± 0,19 <sup>cAB</sup>
	7	9,27 ± 0,22 <sup>cABC</sup>	10,00 ± 0,53 <sup>bA</sup>	8,96 ± 0,55 <sup>cdABC</sup>	8,33 ± 0,39 <sup>cC</sup>	9,19 ± 0,14 <sup>bcABC</sup>	8,86 ± 0,56 <sup>dBC</sup>	9,36 ± 0,36 <sup>bABC</sup>	8,70 ± 0,04 <sup>aBC</sup>	9,51 ± 0,21 <sup>abAB</sup>
	15	8,44 ± 0,09 <sup>dCD</sup>	9,94 ± 0,08 <sup>bA</sup>	8,39 ± 0,07 <sup>dCD</sup>	8,46 ± 0,06 <sup>cCD</sup>	8,68 ± 0,17 <sup>cdC</sup>	9,26 ± 0,21 <sup>cdB</sup>	9,07 ± 0,09 <sup>bcB</sup>	8,28 ± 0,04 <sup>aD</sup>	9,27 ± 0,12 <sup>bcB</sup>
	30	10,54 ± 0,08 <sup>aBC</sup>	11,14 ± 0,02 <sup>aA</sup>	9,78 ± 0,39 <sup>abDE</sup>	10,93 ± 0,03 <sup>aAB</sup>	9,58 ± 0,20 <sup>abE</sup>	10,18 ± 0,02 <sup>abCD</sup>	10,08 ± 0,11 <sup>aD</sup>	9,42 ± 0,06 <sup>aE</sup>	9,73 ± 0,11 <sup>abDE</sup>
	60	9,93 ± 0,16 <sup>bA</sup>	10,19 ± 0,18 <sup>bA</sup>	9,40 ± 0,25 <sup>bcAB</sup>	10,11 ± 0,30 <sup>bA</sup>	8,63 ± 0,53 <sup>cdB</sup>	9,71 ± 0,22 <sup>bcA</sup>	8,46 ± 0,27 <sup>cdB</sup>	8,46 ± 0,31 <sup>aB</sup>	9,78 ± 0,57 <sup>abA</sup>
	90	10,56 ± 0,32 <sup>aAB</sup>	11,30 ± 0,06 <sup>aA</sup>	10,56 ± 0,11 <sup>aAB</sup>	10,62 ± 0,42 <sup>abAB</sup>	10,13 ± 0,33 <sup>aB</sup>	10,73 ± 0,36 <sup>aAB</sup>	10,46 ± 0,04 <sup>aAB</sup>	8,71 ± 0,58 <sup>aC</sup>	10,15 ± 0,35 <sup>aB</sup>
$b^*$	0	12,03 ± 0,03 <sup>aE</sup>	12,27 ± 0,04 <sup>aE</sup>	11,73 ± 0,08 <sup>aE</sup>	12,52 ± 0,18 <sup>aDE</sup>	12,03 ± 0,08 <sup>aE</sup>	13,55 ± 0,18 <sup>aCD</sup>	14,87 ± 0,46 <sup>aAB</sup>	15,10 ± 0,95 <sup>aA</sup>	13,86 ± 0,37 <sup>aBC</sup>
	7	9,51 ± 0,02 <sup>eDE</sup>	9,82 ± 0,10 <sup>eD</sup>	9,47 ± 0,31 <sup>bcDE</sup>	9,52 ± 0,06 <sup>cDE</sup>	9,31 ± 0,11 <sup>dE</sup>	10,64 ± 0,09 <sup>cBC</sup>	10,96 ± 0,12 <sup>dAB</sup>	11,12 ± 0,11 <sup>bcA</sup>	10,26 ± 0,17 <sup>dC</sup>
	15	9,88 ± 0,06 <sup>dD</sup>	10,19 ± 0,08 <sup>dC</sup>	9,84 ± 0,05 <sup>bcD</sup>	9,43 ± 0,04 <sup>cE</sup>	9,48 ± 0,07 <sup>cdE</sup>	9,84 ± 0,17 <sup>dD</sup>	10,30 ± 0,07 <sup>dC</sup>	11,09 ± 0,03 <sup>bcA</sup>	10,65 ± 0,08 <sup>cdB</sup>
	30	10,89 ± 0,08 <sup>bDE</sup>	11,13 ± 0,03 <sup>bCD</sup>	11,27 ± 0,31 <sup>aCD</sup>	10,70 ± 0,12 <sup>bE</sup>	11,31 ± 0,11 <sup>bC</sup>	13,79 ± 0,22 <sup>aB</sup>	13,44 ± 0,06 <sup>bB</sup>	14,94 ± 0,08 <sup>aA</sup>	11,17 ± 0,02 <sup>bcCD</sup>
	60	8,94 ± 0,13 <sup>fD</sup>	9,32 ± 0,13 <sup>fCD</sup>	9,17 ± 0,09 <sup>cCD</sup>	9,09 ± 0,04 <sup>cD</sup>	8,89 ± 0,47 <sup>dD</sup>	9,88 ± 0,05 <sup>dBC</sup>	10,34 ± 0,50 <sup>dAB</sup>	10,63 ± 0,22 <sup>cA</sup>	9,53 ± 0,11 <sup>eCD</sup>
	90	10,54 ± 0,13 <sup>cCD</sup>	10,82 ± 0,08 <sup>cBCD</sup>	10,13 ± 0,45 <sup>bD</sup>	10,44 ± 0,43 <sup>bCD</sup>	10,16 ± 0,36 <sup>cD</sup>	11,71 ± 0,12 <sup>bAB</sup>	12,42 ± 0,27 <sup>cA</sup>	12,15 ± 0,88 <sup>bA</sup>	11,39 ± 0,30 <sup>bABC</sup>

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Valor médio ± desvio padrão (n=3); a – f: Letras sobrescritas minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os dias; A – F: Letras sobrescritas maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos; C1: sem antioxidante; C2: 0,25% de antioxidante à base de eritorbato de sódio; FM1: 0,05% de farinha de mirtilo; FM2: 0,075% de farinha de mirtilo; FM3: 0,10% de farinha de mirtilo; FF1: 0,53% de farinha de fisális; FF2: 0,795% de farinha de fisális; FF3: 1,06% de farinha de fisális; FFM: 0,04% de farinha de mirtilo e 0,40% de farinha de fisális.



O tratamento FF3 (com a maior concentração de farinha de fisális) apresentou os menores valores de  $a^*$  e, conseqüentemente, os maiores valores de  $b^*$ , o que está relacionado com a cor amarela da fisális. A adição de farinha de fisális (FF1, FF2, FF3 e FFM) influenciou os valores de  $b^*$ , que foram diferentes estatisticamente ( $p < 0,05$ ) em relação ao controle com eritorbato (C2), em praticamente todo o período de armazenamento. Isso mostra a influência dos carotenoides que elevaram os valores deste parâmetro nas mortadelas.

A cor interna de produtos cárneos cozidos é profundamente influenciada pela embalagem, ingredientes não cárneos, armazenamento, fonte de músculo e espécies (SUMAN *et al.*, 2016). Além disso, é relatado na literatura que a adição de vegetais e frutas altera a cor dos produtos cárneos. Exemplos incluem, pitaya vermelha (BELLUCCI *et al.*, 2021b); guaraná (PATEIRO *et al.*, 2018); extrato de semente de uva e castanhas (AQUILANI *et al.*, 2018), e extrato de cravo (ZAHID *et al.*, 2020), influenciando principalmente os parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ .

A Tabela 38 apresenta os resultados de  $\Delta E^*$  dos tratamentos em relação ao controle com eritorbato (C2). As diferenças globais foram menores no início (0 dia) e ao final do armazenamento (90 dias) entre os tratamentos com farinha de mirtilo (FM1, FM2 e FM3). Isso se deve a menor quantidade adicionada desta farinha, em relação à de fisális, devido ao maior teor de fenólicos totais. Nas formulações com farinha de fisális, os valores de  $\Delta E^*$  variaram entre 1,91 (FF1 – 0 dia) e 4,55 (FF3 – 30 dias) durante o armazenamento, e na formulação com ambas as farinhas (FFM) o maior valor foi de 4,18 (15 dias).

Tabela 38 – Resultados de  $\Delta E^*$  das mortadelas durante o armazenamento.

Dias	C1	C2	FM1	FM2	FM3	FF1	FF2	FF3	FFM
0	-	-	1,35 ± 0,13	1,79 ± 0,32	0,93 ± 0,14	1,91 ± 0,20	3,18 ± 0,32	3,18 ± 0,86	2,67 ± 0,50
7	-	-	1,99 ± 0,54	1,97 ± 0,24	1,67 ± 0,17	3,52 ± 0,61	4,07 ± 0,61	3,18 ± 0,27	2,27 ± 0,13
$\Delta E^*$ 15	-	-	1,65 ± 0,06	2,71 ± 0,42	1,49 ± 0,13	3,11 ± 0,24	3,72 ± 0,43	2,39 ± 0,16	4,18 ± 0,52
30	-	-	2,20 ± 0,31	1,40 ± 0,26	1,67 ± 0,08	3,82 ± 0,12	3,23 ± 0,05	4,55 ± 0,07	3,06 ± 0,26
60	-	-	1,29 ± 0,30	0,83 ± 0,51	1,91 ± 0,23	3,54 ± 0,20	3,25 ± 0,27	2,78 ± 0,80	3,23 ± 0,26
90	-	-	2,64 ± 1,22	1,74 ± 0,76	1,68 ± 0,18	3,05 ± 0,63	3,38 ± 0,52	3,19 ± 0,36	2,22 ± 1,10

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

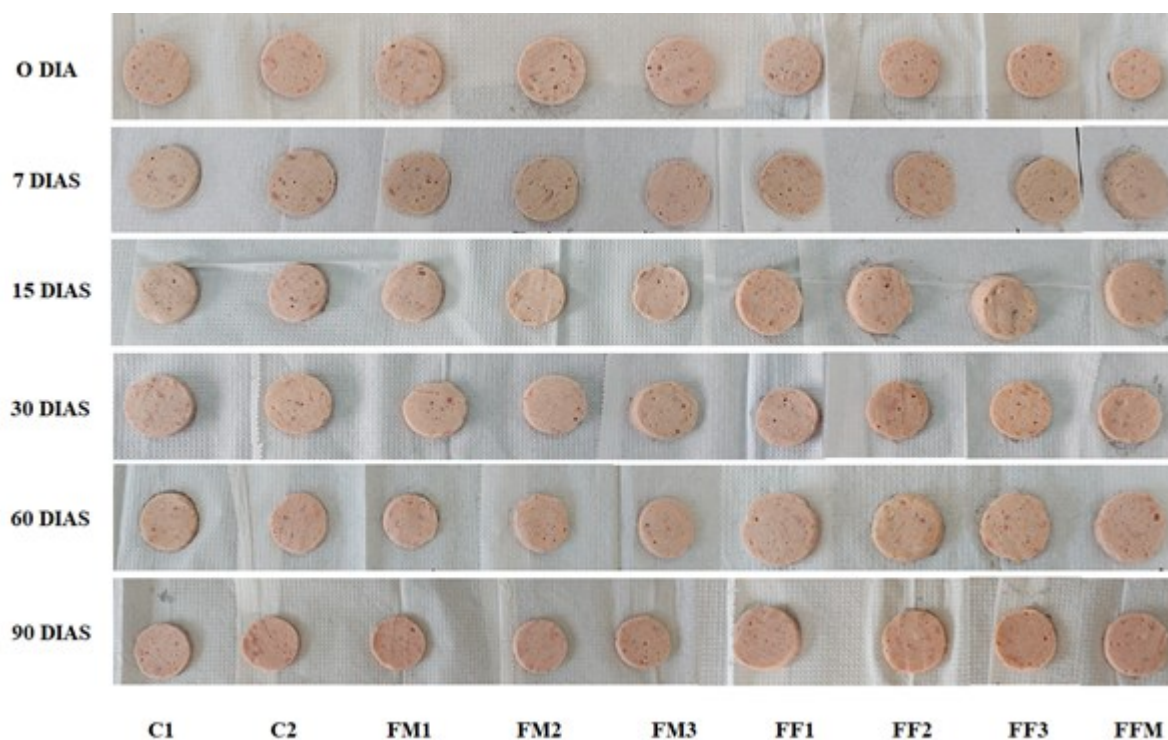
Valor médio ± desvio padrão (n=3); C1: sem antioxidante; C2: 0,25% de antioxidante à base de eritorbato de sódio; FM1: 0,05% de farinha de mirtilo; FM2: 0,075% de farinha de mirtilo; FM3: 0,10% de farinha de mirtilo; FF1: 0,53% de farinha de fisális; FF2: 0,795% de farinha de fisális; FF3: 1,06% de farinha de fisális; FFM: 0,04% de farinha de mirtilo e 0,40% de farinha de fisális.

De acordo com Ramos e Gomide (2007), diferenças globais maiores do que 5 (o que não ocorreu neste trabalho) podem ser facilmente detectáveis pelo olho humano, e valores até 1,5 são pouco perceptíveis. Diferenças podem ser notadas a partir de valores maiores do que 2,

segundo outros autores (PATEIRO *et al.*, 2018). Dessa forma, os valores de  $\Delta E^*$  encontrados sugerem que a adição das farinhas de mirtilo e fisális não proporciona diferenças visivelmente nítidas entre os tratamentos e o controle (C2). A Figura 35 permite uma visualização das mortadelas durante o armazenamento, confirmando que as farinhas não são facilmente perceptíveis pela visão humana, podendo ser até confundidas com temperos adicionados, como pimenta, por exemplo.

De maneira geral, a cor das mortadelas durante o armazenamento manteve-se estável e isso pode ser considerado um fator de qualidade. A estabilidade da cor e prolongamento de sua vida útil são fundamentais para a aceitação do consumidor e contribuem para a lucratividade do setor cárneo (SUMAN; JOSEPH, 2013).

Figura 35 – Imagem das mortadelas durante o período de armazenamento.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

#### 4.4.5 Índice de peróxidos

Os resultados de índice de peróxidos estão contidos na Tabela 39. A formação dos peróxidos começou a ser detectada a partir do 7º dia na mortadela controle (C1), na qual não houve adição de antioxidante e nos demais tratamentos, a partir de 15 dias após a produção. A exceção foi FFM (0,04% de farinha de mirtilo e 0,40% de farinha de fisális), onde detectou-se

somente a partir do 30º dia. Esses resultados evidenciam a qualidade da matéria-prima utilizada, bem como a barreira oferecida pela embalagem e a temperatura de refrigeração que evitaram o início do processo oxidativo até o 7º dia.

Os antioxidantes naturais presentes nas farinhas retardaram a etapa de iniciação da oxidação nas mortadelas até o 15º dia, e a presença das duas farinhas (mirtilo e fisális) no tratamento FFM, mostra a ação sinérgica entre tipos diferentes de antioxidantes. Os carotenoides protegem os ácidos graxos polinsaturados da oxidação através da eliminação de radicais peróxi, resultando em um radical centrado no carbono que é estabilizado por ressonância. O ácido ascórbico desempenha um papel antioxidante muito importante na restauração de  $\alpha$ -tocoferol do radical tocoferoxi. Além disso, pode eliminar o oxigênio e vários radicais livres e também manter as heme-proteínas em um estado não catalítico de forma reduzida (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2019). Por fim, compostos fenólicos como as antocianinas, mostraram-se estáveis após o processamento térmico sofrido pelas mortadelas, atuando como antioxidantes naturais. De acordo com Wang, He e Lee (2010) as antocianinas provenientes de mirtilos (*Vaccinium corymbosum*) são sensíveis a altas temperaturas (acima de 80 °C) e isso confirma o controle realizado durante o processo de elaboração da farinha e do cozimento das mortadelas, neste trabalho.

Já no controle C2, houve a atuação do eritorbato de sódio, que é um estereoisômero do ascorbato de sódio, e apresenta atividade antioxidante por extinção de oxigênio singlete, doação de hidrogênio e como agente redutor (CAROCHO; MORALES; FERREIRA, 2018). Até os 30 dias de armazenamento não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre o C2 e as formulações com farinhas, comprovando a eficiência das mesmas no controle da formação de peróxidos.

A partir dos 60 dias, os valores de peróxido declinaram, o que sugere ser o auge do processo oxidativo, onde aumenta a concentração dos produtos secundários de oxidação. Os hidroperóxidos são compostos instáveis, e em estágios mais avançados de oxidação, sua decomposição é maior do que sua formação, observando-se uma diminuição do valor de peróxido (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2019).

#### 4.4.6 TBARS

A oxidação lipídica nas mortadelas expressa através dos valores de TBARs apresentou diferenças significativas entre os tratamentos e entre os dias de armazenamento ( $p < 0,05$ ) (Tabela 39). O malondialdeído (MDA) é um dos aldeídos mais abundantes gerados durante a

oxidação lipídica secundária, e também provavelmente o mais comumente usado como marcador de oxidação (REITZNEROVÁ *et al.*, 2017).

Até o 30º dia de armazenamento os valores foram muito baixos (menores do que 0,1) em todos os tratamentos e os dois controles (C1 e C2) não diferiram entre si ( $p < 0,05$ ). Durante este período (30 dias) os tratamentos com mirtilo (FM1, FM2 e FM3) apresentaram diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ) em relação ao controle sem antioxidante (C1), com valores ligeiramente menores, assim como os tratamentos FF2, FF3 e FFM, com fisális, no 15º dia. Após 60 dias de armazenamento, os valores de TBARS aumentaram em todos os tratamentos, comprovando o declínio no valor de peróxido nesse mesmo período, com o aumento dos produtos de oxidação secundária.

O controle sem antioxidante (C1) apresentou os maiores valores até o final (90 dias), com diferença significativa em relação aos demais tratamentos ( $p < 0,05$ ). O tempo de armazenamento influencia os processos de oxidação e a possibilidade de que radicais causem danos aos lipídios aumenta com o tempo. Longos períodos de armazenamento promovem a liberação de ferro das heme-proteínas, que catalisam múltiplas reações na iniciação e fases de propagação da oxidação lipídica (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2019).

A adição das farinhas de mirtilo e fisális manteve o número de TBARS mais baixo até o final do armazenamento e o tratamento FFM (adição de farinha de mirtilo e fisális) apresentou diferença estatística ( $p < 0,05$ ) em relação ao controle com eritorbato (C2), aos 90 dias, com valor de TBARS menor. À presença de compostos fenólicos atribui-se forte atividade doadora de hidrogênio ou também alta capacidade de absorção de radicais. Alguns fenólicos previnem a geração de radicais e a formação de espécies reativas de oxigênio, enquanto outros eliminam radicais livres e quelam pró-oxidantes (metais de transição) (AMARAL; SILVA; LANNES, 2018).

Avaliando as mudanças ocorridas entre compostos polifenólicos de mirtilos e um modelo de membrana lipídica, Pruchnik *et al.* (2018) verificaram que esses compostos criaram uma camada protetora específica ao redor da membrana, interagindo com a parte polar da superfície da membrana.

Tabela 39 – Resultados de índice de peróxidos, TBARS e acidez total das mortadelas durante o armazenamento refrigerado.

Dias	C1	C2	FM1	FM2	FM3	FF1	FF2	FF3	FFM
<b>Peróxidos (meq O<sub>2</sub>/kg gordura)</b>									
0	0 ± 0 <sup>ba</sup>	0 ± 0 <sup>ca</sup>	0 ± 0 <sup>ba</sup>	0 ± 0 <sup>ca</sup>	0 ± 0 <sup>da</sup>	0 ± 0 <sup>da</sup>	0 ± 0 <sup>ca</sup>	0 ± 0 <sup>aa</sup>	0 ± 0 <sup>ca</sup>
7	0,38 ± 0,18 <sup>abA</sup>	0 ± 0 <sup>cb</sup>	0 ± 0 <sup>bb</sup>	0 ± 0 <sup>cb</sup>	0 ± 0 <sup>db</sup>	0 ± 0 <sup>db</sup>	0 ± 0 <sup>cb</sup>	0 ± 0 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>cb</sup>
15	0,42 ± 0,12 <sup>abA</sup>	0,16 ± 0 <sup>bb</sup>	0,15 ± 0 <sup>abb</sup>	0,15 ± 0 <sup>bbc</sup>	0,16 ± 0 <sup>bb</sup>	0,17 ± 0 <sup>bb</sup>	0,13 ± 0 <sup>bcBC</sup>	0,13 ± 0 <sup>abc</sup>	0 ± 0 <sup>cc</sup>
30	0,60 ± 0,19 <sup>aA</sup>	0,32 ± 0 <sup>abc</sup>	0,16 ± 0 <sup>abc</sup>	0,29 ± 0 <sup>abc</sup>	0,29 ± 0 <sup>abc</sup>	0,46 ± 0 <sup>aAB</sup>	0,39 ± 0,02 <sup>aABC</sup>	0,21 ± 0,10 <sup>abc</sup>	0,15 ± 0 <sup>bc</sup>
60	0,39 ± 0,11 <sup>abA</sup>	0,17 ± 0,02 <sup>bAB</sup>	0 ± 0 <sup>bb</sup>	0 ± 0 <sup>cb</sup>	0 ± 0 <sup>db</sup>	0 ± 0 <sup>db</sup>	0,35 ± 0,01 <sup>aA</sup>	0,28 ± 0,20 <sup>aAB</sup>	0 ± 0 <sup>cb</sup>
90	0,29 ± 0,02 <sup>abABC</sup>	0,39 ± 0,08 <sup>aA</sup>	0,22 ± 0,10 <sup>aABCD</sup>	0,08 ± 0,08 <sup>bcCD</sup>	0,03 ± 0 <sup>cd</sup>	0,16 ± 0 <sup>cBCD</sup>	0,24 ± 0,04 <sup>abABCD</sup>	0,19 ± 0,04 <sup>aABCD</sup>	0,34 ± 0,05 <sup>aAB</sup>
<b>TBARS (mg MDA/kg)</b>									
0	0 ± 0 <sup>da</sup>	0 ± 0 <sup>ca</sup>	0 ± 0 <sup>ba</sup>	0 ± 0 <sup>ca</sup>	0 ± 0 <sup>da</sup>	0 ± 0 <sup>ca</sup>	0 ± 0 <sup>ca</sup>	0 ± 0 <sup>da</sup>	0 ± 0 <sup>da</sup>
7	0,06 ± 0,01 <sup>ca</sup>	0,05 ± 0,01 <sup>bABC</sup>	0,04 ± 0 <sup>bcd</sup>	0,04 ± 0,01 <sup>bBCD</sup>	0,03 ± 0,01 <sup>cd</sup>	0,05 ± 0 <sup>bAB</sup>	0,05 ± 0 <sup>bAB</sup>	0,05 ± 0 <sup>cABC</sup>	0,05 ± 0 <sup>cABC</sup>
15	0,08 ± 0,00 <sup>ca</sup>	0,07 ± 0,01 <sup>bAB</sup>	0,07 ± 0,01 <sup>bAB</sup>	0,06 ± 0 <sup>bb</sup>	0,06 ± 0 <sup>bb</sup>	0,07 ± 0 <sup>bAB</sup>	0,06 ± 0 <sup>bb</sup>	0,06 ± 0 <sup>bb</sup>	0,06 ± 0,01 <sup>cb</sup>
30	0,07 ± 0,01 <sup>ca</sup>	0,05 ± 0,01 <sup>bAB</sup>	0,04 ± 0 <sup>bb</sup>	0,05 ± 0 <sup>bAB</sup>	0,05 ± 0 <sup>bcAB</sup>	0,05 ± 0 <sup>bAB</sup>	0,05 ± 0 <sup>bAB</sup>	0,05 ± 0 <sup>bcAB</sup>	0,05 ± 0,01 <sup>caB</sup>
60	0,40 ± 0,01 <sup>ba</sup>	0,34 ± 0,01 <sup>abc</sup>	0,32 ± 0,04 <sup>abc</sup>	0,31 ± 0,01 <sup>abc</sup>	0,31 ± 0,01 <sup>abc</sup>	0,35 ± 0,02 <sup>aAB</sup>	0,31 ± 0 <sup>abc</sup>	0,32 ± 0,01 <sup>abc</sup>	0,28 ± 0,01 <sup>bc</sup>
90	0,78 ± 0 <sup>aA</sup>	0,35 ± 0,01 <sup>abc</sup>	0,33 ± 0,02 <sup>abc</sup>	0,33 ± 0,01 <sup>abc</sup>	0,33 ± 0 <sup>ac</sup>	0,36 ± 0,01 <sup>ab</sup>	0,34 ± 0,02 <sup>abc</sup>	0,32 ± 0,01 <sup>acd</sup>	0,29 ± 0,01 <sup>ad</sup>
<b>Acidez total (g/100 g)</b>									
0	0 ± 0 <sup>ca</sup>	0 ± 0 <sup>ca</sup>	0 ± 0 <sup>ca</sup>	0 ± 0 <sup>ca</sup>	0 ± 0 <sup>ca</sup>	0 ± 0 <sup>ca</sup>	0 ± 0 <sup>ca</sup>	0 ± 0 <sup>ca</sup>	0 ± 0 <sup>ca</sup>
7	0,33 ± 0 <sup>ca</sup>	0 ± 0 <sup>cb</sup>	0 ± 0 <sup>cb</sup>	0 ± 0 <sup>cb</sup>	0 ± 0 <sup>cb</sup>	0 ± 0 <sup>cb</sup>	0 ± 0 <sup>cb</sup>	0 ± 0 <sup>cb</sup>	0 ± 0 <sup>cb</sup>
15	0,43 ± 0 <sup>ca</sup>	0,21 ± 0 <sup>dc</sup>	0,20 ± 0 <sup>ce</sup>	0,20 ± 0 <sup>cf</sup>	0,21 ± 0 <sup>cd</sup>	0,22 ± 0 <sup>cb</sup>	0,17 ± 0 <sup>ch</sup>	0,17 ± 0 <sup>cg</sup>	0 ± 0 <sup>cl</sup>
30	1,9 ± 0,00 <sup>bH</sup>	1,04 ± 0 <sup>cl</sup>	1,98 ± 0,00 <sup>bf</sup>	2,81 ± 0 <sup>ae</sup>	3,15 ± 0 <sup>ac</sup>	1,98 ± 0 <sup>ag</sup>	3,46 ± 0 <sup>ab</sup>	3,63 ± 0 <sup>aa</sup>	2,89 ± 0 <sup>ad</sup>
60	3,29 ± 0,14 <sup>aA</sup>	3,04 ± 0 <sup>aA</sup>	2,65 ± 0,14 <sup>aAB</sup>	2,31 ± 0,28 <sup>abc</sup>	1,61 ± 0,14 <sup>bd</sup>	1,73 ± 0,15 <sup>bcd</sup>	1,46 ± 0,13 <sup>bd</sup>	1,20 ± 0,26 <sup>bd</sup>	1,22 ± 0,12 <sup>bd</sup>
90	2,21 ± 0,63 <sup>ba</sup>	1,93 ± 0 <sup>bAB</sup>	1,89 ± 0,00 <sup>bAB</sup>	1,00 ± 0,13 <sup>bb</sup>	1,78 ± 0,28 <sup>bAB</sup>	2,03 ± 0 <sup>aA</sup>	1,38 ± 0 <sup>bAB</sup>	1,25 ± 0,25 <sup>bAB</sup>	1,45 ± 0,23 <sup>bAB</sup>

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Valor médio ± desvio padrão (n=3); a – d: Letras sobreescritas minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas (p<0,05) entre os dias; A – I: Letras sobreescritas maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas (p<0,05) entre os tratamentos; C1: sem antioxidante; C2: 0,25% de antioxidante à base de eritorbato de sódio; FM1: 0,05% de farinha de mirtilo; FM2: 0,075% de farinha de mirtilo; FM3: 0,10% de farinha de mirtilo; FF1: 0,53% de farinha de fisális; FF2: 0,795% de farinha de fisális; FF3: 1,06% de farinha de fisális; FFM: 0,04% de farinha de mirtilo e 0,40% de farinha de fisális.

O maior valor de número de TBARS (0,36 mg MDA/kg) entre os tratamentos com farinhas foi encontrado no tratamento FF1 (concentração mais baixa de farinha de físalis) ao final do armazenamento. Entretanto, este valor ainda pode ser considerado muito baixo quando comparado a outros autores. Em mortadela do tipo Bologna produzida com 0,2% de extrato de semente de manga foi encontrado o valor de 0,34 mg MDA/kg aos 21 dias de armazenamento refrigerado (PEREIRA *et al.*, 2011); e em outra, produzida com 1% de extrato de casca de jabuticaba, o valor de 0,37 mg MDA/kg foi detectado aos 35 dias de armazenamento refrigerado (ALMEIDA *et al.*, 2015). Após 90 dias de armazenamento, Muraoka Júnior *et al.* (2019) relataram o valor de TBARS de 1,11 em mortadelas com microcristais de curcumina.

Segundo Terra, Cichoski e Freitas (2006), os aromas de ranço em carnes são inicialmente detectados em valores de 0,5 a 2,0 mg MDA/kg. Já de acordo com Domínguez *et al.* (2019), valores entre 2 a 2,5 mg MDA/kg são considerados como limite aceito, sem percepção de ranço em carnes e produtos cárneos (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2019).

O presente estudo mostrou que mesmo em concentrações mais baixas de FM (0,05% e 0,075%) e FF (0,53% e 0,795%), houve redução da formação de produtos de oxidação medidos pelo índice de peróxidos e por TBARS.

#### **4.4.7 Índice de acidez das mortadelas**

A medida de acidez (g/100g) evidencia o estado de conservação da fração lipídica do alimento. Na Tabela 39 estão apresentados os valores de acidez total dos lipídios extraídos das mortadelas. Assim como nos outros parâmetros de controle da oxidação, houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos e entre os dias de armazenamento, principalmente após o 15º dia. A partir do 7º dia, a acidez foi mensurada no controle sem adição de antioxidantes (C1) e depois do 15º dia nos demais tratamentos (com exceção de FFM, no qual foi somente a partir dos 30 dias de armazenamento). Esses períodos concordam com os de início da mensuração de peróxidos nas amostras, indicando que o valor do índice de acidez aumenta com a incidência dos processos oxidativos.

Quando a liberação de ácidos graxos livres a partir de triacilgliceróis, a qual pode ser ocasionada por ação das lipases, resulta no desenvolvimento de sabor desagradável, ocorre a rancidez hidrolítica. Geralmente, ácidos graxos livres de baixo peso molecular geram aromas indesejados, reduzem a estabilidade oxidativa e causam problemas aos alimentos (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Aos 30 dias, com o aumento do valor de peróxidos, também houve aumento no índice de acidez, com diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos. A acidez das farinhas possivelmente tenha influenciado os valores nestes tratamentos. Ao final, o controle sem antioxidante (C1) apresentou o maior valor (2,21), porém, com diferença significativa ( $p < 0,05$ ) somente para FM2. Apesar disso, todos os valores permaneceram entre 1,00 e 2,03, com o valor de 1,93 para o controle com eritorbato (C2), indicando baixo índice de acidez. O ideal é de que não se ultrapasse o valor de 2,0% (OSAWA; GONÇALVES; RAGAZZI, 2006).

#### **4.4.8 Teor de fenólicos totais e atividade antioxidante (ABTS, DPPH E FRAP) antes e após digestão *in vitro* das mortadelas**

A incorporação das farinhas aumentou o teor de fenólicos totais e a atividade antioxidante das mortadelas antes e após digestão *in vitro* ( $p < 0,05$ ), como mostra a Tabela 40. Destaca-se a elevada atividade antioxidante apresentada pelas mortadelas em relação aos valores de ABTS após a simulação de digestão. Os valores iniciais variaram entre 1,20 (C1) a 2,01 (FM2) mmol TE/g, e após a fase intestinal entre 44,40 (C1) a 57,69 (FM3) mmol TE/g. Os tratamentos com farinhas de mirtilo e fisális apresentaram valores mais altos de ABTS ( $p < 0,05$ ) em relação aos controles (C1 e C2). Por outro lado, as amostras FM2, FF1 e FFM ( $p > 0,05$ ) não apresentaram diferença. De acordo com GALLEGO *et al.* (2020), na avaliação do perfil de peptídeos bioativos em presunto curado, a digestão gastrointestinal levou a uma diminuição na atividade antioxidante, quando medida pela atividade de eliminação do radical DPPH e pelo método FRAP, mas a um aumento quando determinada pelo ensaio de eliminação de radicais ABTS. O mesmo comportamento foi observado no presente trabalho, pois a adição de fluidos digestivos produziu um aumento significativo da atividade de eliminação do radical ABTS.

Os ácidos fenólicos liberados da farinha de mirtilo (Tabela 32), principalmente o clorogênico, o 2,5 e o 3,4-ácido dihidroxibenzoico, assim como os flavonóis (isoquercetina e quercetina) e as antocianinas, que se apresentaram em concentrações mais elevadas, foram provavelmente os maiores contribuintes para sua atividade antioxidante. Já na farinha de fisális esta ação pode ser devida, principalmente, à maior concentração dos ácidos benzoico, clorogênico e ferúlico (Tabela 32).

Tabela 40 – Resultados do teor de fenólicos totais (mg AGE/g) e atividade antioxidante (ABTS, DPPH e FRAP, em mmol TE/g) das mortadelas, antes e após digestão *in vitro*.

	Fase	C1	C2	FM1	FM2	FM3	FF1	FF2	FF3	FFM
<b>Teor de fenólicos totais</b>	Inicial	0,05 ± 0,00 <sup>eE</sup>	0,05 ± 0,00 <sup>dE</sup>	0,06 ± 0,00 <sup>dD</sup>	0,07 ± 0,00 <sup>dABC</sup>	0,08 ± 0,00 <sup>dA</sup>	0,07 ± 0,00 <sup>eBCD</sup>	0,07 ± 0,00 <sup>dAB</sup>	0,08 ± 0,00 <sup>dA</sup>	0,06 ± 0,00 <sup>dCD</sup>
	Oral	0,05 ± 0,00 <sup>cG</sup>	0,08 ± 0,00 <sup>cDE</sup>	0,08 ± 0,00 <sup>cF</sup>	0,09 ± 0,00 <sup>cCD</sup>	0,10 ± 0,00 <sup>cB</sup>	0,08 ± 0,00 <sup>eEF</sup>	0,11 ± 0,00 <sup>cA</sup>	0,10 ± 0,00 <sup>cAB</sup>	0,09 ± 0,00 <sup>cBC</sup>
	Gástrica	0,78 ± 0,02 <sup>bB</sup>	0,62 ± 0,01 <sup>bD</sup>	0,81 ± 0,01 <sup>bA</sup>	0,75 ± 0,01 <sup>bBC</sup>	0,60 ± 0,01 <sup>bDE</sup>	0,57 ± 0,02 <sup>bE</sup>	0,60 ± 0,02 <sup>bDE</sup>	0,73 ± 0,01 <sup>bC</sup>	0,74 ± 0,01 <sup>bC</sup>
	Intestinal	0,97 ± 0,01 <sup>aD</sup>	1,02 ± 0,01 <sup>aAB</sup>	1,04 ± 0,01 <sup>aA</sup>	0,99 ± 0,01 <sup>aC</sup>	1,03 ± 0,01 <sup>aAB</sup>	1,01 ± 0,01 <sup>aB</sup>	1,02 ± 0,00 <sup>aAB</sup>	0,97 ± 0,00 <sup>aCD</sup>	1,02 ± 0,01 <sup>aAB</sup>
<b>ABTS</b>	Inicial	1,20 ± 0,06 <sup>bC</sup>	1,32 ± 0,07 <sup>bBC</sup>	1,34 ± 0,09 <sup>bBC</sup>	2,01 ± 0,15 <sup>bA</sup>	1,54 ± 0,15 <sup>bB</sup>	1,25 ± 0,06 <sup>bC</sup>	1,33 ± 0,10 <sup>bBC</sup>	1,28 ± 0,09 <sup>bBC</sup>	1,27 ± 0,02 <sup>bBC</sup>
	Oral	1,12 ± 0,10 <sup>bE</sup>	1,79 ± 0,07 <sup>bA</sup>	1,44 ± 0,07 <sup>bBCD</sup>	1,65 ± 0,10 <sup>bAB</sup>	1,65 ± 0,09 <sup>bAB</sup>	1,26 ± 0,05 <sup>bDE</sup>	1,57 ± 0,06 <sup>bABC</sup>	1,41 ± 0,08 <sup>bCD</sup>	1,39 ± 0,04 <sup>bCD</sup>
	Gástrica	0,97 ± 0,07 <sup>bD</sup>	0,68 ± 0,04 <sup>bE</sup>	1,30 ± 0,07 <sup>bC</sup>	1,57 ± 0,13 <sup>bB</sup>	2,04 ± 0,09 <sup>bA</sup>	0,96 ± 0,09 <sup>bD</sup>	1,07 ± 0,03 <sup>bCD</sup>	1,20 ± 0,11 <sup>bCD</sup>	1,08 ± 0,06 <sup>bCD</sup>
	Intestinal	44,40 ± 3,74 <sup>aD</sup>	46,13 ± 4,41 <sup>aCD</sup>	55,73 ± 2,22 <sup>aAB</sup>	53,96 ± 2,80 <sup>aABC</sup>	57,69 ± 1,56 <sup>aA</sup>	50,76 ± 2,72 <sup>aABCD</sup>	56,89 ± 4,11 <sup>aAB</sup>	55,69 ± 2,59 <sup>aAB</sup>	47,69 ± 4,20 <sup>aBCD</sup>
<b>DPPH</b>	Inicial	0,24 ± 0,02 <sup>dD</sup>	0,23 ± 0,03 <sup>dD</sup>	0,44 ± 0,03 <sup>dC</sup>	0,49 ± 0,03 <sup>dBC</sup>	0,59 ± 0,03 <sup>cA</sup>	0,42 ± 0,03 <sup>dC</sup>	0,56 ± 0,05 <sup>cAB</sup>	0,54 ± 0,03 <sup>cAB</sup>	0,44 ± 0,03 <sup>dC</sup>
	Oral	0,33 ± 0,03 <sup>dD</sup>	0,32 ± 0,01 <sup>dD</sup>	0,59 ± 0,03 <sup>cC</sup>	0,64 ± 0,03 <sup>cBC</sup>	0,72 ± 0,03 <sup>cAB</sup>	0,62 ± 0,03 <sup>cC</sup>	0,66 ± 0,05 <sup>cBC</sup>	0,77 ± 0,03 <sup>bcA</sup>	0,64 ± 0,03 <sup>cBC</sup>
	Gástrica	0,94 ± 0,02 <sup>bBC</sup>	0,77 ± 0,02 <sup>bC</sup>	0,97 ± 0,06 <sup>bAB</sup>	1,11 ± 0,05 <sup>bA</sup>	1,03 ± 0,11 <sup>bAB</sup>	0,89 ± 0,06 <sup>bBC</sup>	0,88 ± 0,03 <sup>bBC</sup>	0,93 ± 0,10 <sup>bBC</sup>	0,90 ± 0,02 <sup>bBC</sup>
	Intestinal	1,94 ± 0,21 <sup>aDE</sup>	1,91 ± 0,10 <sup>aE</sup>	2,18 ± 0,06 <sup>aCDE</sup>	2,38 ± 0,06 <sup>aBC</sup>	2,81 ± 0,10 <sup>aA</sup>	2,28 ± 0,12 <sup>aCD</sup>	2,34 ± 0,06 <sup>aBC</sup>	2,68 ± 0,15 <sup>aAB</sup>	2,14 ± 0,12 <sup>aCDE</sup>
<b>FRAP</b>	Inicial	1,30 ± 0,02 <sup>cAB</sup>	1,34 ± 0,03 <sup>cA</sup>	1,17 ± 0,06 <sup>bB</sup>	1,29 ± 0,03 <sup>dAB</sup>	1,42 ± 0,04 <sup>cA</sup>	1,28 ± 0,03 <sup>cAB</sup>	1,31 ± 0,08 <sup>bAB</sup>	1,37 ± 0,10 <sup>bA</sup>	1,41 ± 0,04 <sup>bA</sup>
	Oral	1,54 ± 0,06 <sup>bcAB</sup>	1,60 ± 0,03 <sup>bcA</sup>	1,36 ± 0,04 <sup>bB</sup>	1,66 ± 0,09 <sup>cA</sup>	1,66 ± 0,05 <sup>bcA</sup>	1,53 ± 0,06 <sup>bcAB</sup>	1,62 ± 0,12 <sup>bA</sup>	1,60 ± 0,04 <sup>bA</sup>	1,63 ± 0,05 <sup>bA</sup>
	Gástrica	1,82 ± 0,04 <sup>bC</sup>	2,01 ± 0,03 <sup>bAB</sup>	1,52 ± 0,04 <sup>bD</sup>	1,89 ± 0,06 <sup>bBC</sup>	2,00 ± 0,01 <sup>bAB</sup>	1,78 ± 0,03 <sup>bC</sup>	1,89 ± 0,09 <sup>bBC</sup>	1,88 ± 0,03 <sup>bBC</sup>	2,08 ± 0,10 <sup>bA</sup>
	Intestinal	7,92 ± 0,33 <sup>aD</sup>	8,52 ± 0,39 <sup>aCD</sup>	8,54 ± 0,53 <sup>aCD</sup>	9,71 ± 0,09 <sup>aABC</sup>	9,74 ± 0,27 <sup>aABC</sup>	8,24 ± 0,36 <sup>aD</sup>	8,66 ± 0,47 <sup>aBCD</sup>	10,03 ± 0,66 <sup>aAB</sup>	10,20 ± 0,85 <sup>aA</sup>

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Valor médio ± desvio padrão (n=3); a – d: Letras sobrescritas minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas (p<0,05) entre as fases; A – F: Letras sobrescritas maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas (p<0,05) entre os tratamentos; C1: sem antioxidante; C2: 0,25% de antioxidante à base de eritorbato de sódio; FM1: 0,05% de farinha de mirtilo; FM2: 0,075% de farinha de mirtilo; FM3: 0,10% de farinha de mirtilo; FF1: 0,53% de farinha de fisális; FF2: 0,795% de farinha de fisális; FF3: 1,06% de farinha de fisális; FFM: 0,04% de farinha de mirtilo e 0,40% de farinha de fisális.



A ação antioxidante de compostos fenólicos em alimentos depende de suas estruturas químicas e do número de grupos funcionais, especialmente quando eles têm substituições orto ou para. Esses arranjos estruturais aumentam a densidade eletrônica da hidroxila e reduzem a energia da ligação hidrogênio-oxigênio, aumentando sua reatividade frente aos radicais livres. A alta capacidade antioxidante das antocianinas deve-se à sua estrutura única, que permite a fácil doação do átomo de hidrogênio do grupo hidroxila fenólica (OH) (SCHMIDT *et al.*, 2020).

Em relação à matriz alimentar, os resultados obtidos para os três ensaios (ABTS, DPPH e FRAP) indicaram claramente que a atividade antioxidante teve sua capacidade aumentada após a digestão, o que pode ser verificado através dos resultados de C1 (tratamento sem antioxidante). Esse aumento em amostras de carne digerida é devido à digestão das proteínas cárneas por proteases gastrointestinais, podendo gerar uma grande liberação de peptídeos bioativos e aminoácidos ácidos que podem apresentar capacidade antioxidante (VERCRUYSSSE; VAN CAMP; SMAGGHE, 2005). No presente trabalho, foi observado o aumento ( $p < 0,05$ ) da atividade antioxidante quando da adição das farinhas de mirtilo e fisális nas amostras. Estes resultados estão de acordo com os verificados por Pešić *et al.* (2019) na avaliação da atividade antioxidante de extratos de uva em matriz alimentar cárnea. Os fluidos digestivos e os compostos da matriz alimentar aumentaram significativamente o teor total de polifenóis das uvas digeridas e contribuíram significativamente para sua atividade de eliminação do radical ABTS e capacidade de quelção de íons ferrosos.

Houve aumento ( $p < 0,05$ ) do teor de fenólicos totais e de atividade antioxidante (ABTS, DPPH e FRAP) entre as fases da simulação de digestão, em todos os tratamentos ao final do processo de digestão. A maioria dos polifenóis (com algumas exceções) são considerados como moderada a altamente solúveis em água. Esta propriedade indica que sua bioacessibilidade depende da liberação da matriz e sua solubilização na fase aquosa, pois certos polifenóis podem ser complexados com proteínas alimentares ou durante a digestão com enzimas e minerais. Desta forma, a recuperação de polifenóis e de substâncias não fenólicas adicionais que reagem com o reagente Folin-Ciocalteu (incluindo orgânicas como aminoácidos, ácido ascórbico, frutose, sacarose e proteínas; e inorgânicas, como sulfato de ferro, fosfato de sódio e nitrito de potássio) (PRIOR; WU; SCHAICH, 2005) pode ser afetada por quase todos os principais componentes alimentares, como proteínas, carboidratos, lipídios e fibras (PEŠIĆ *et al.*, 2019). Isto pode justificar as variações encontradas nos resultados deste trabalho, entre as concentrações de farinha adicionadas nas mortadelas e o teor de fenólicos totais ou atividade antioxidante. Neste caso, incluem-se como exemplos, o teor de fenólicos totais de FM1 por

apresentar valores maiores do que o de FM2, após as fases gástrica e intestinal ( $p < 0,05$ ); e o valor de FF1 ser maior do que o de FF3 ( $p < 0,05$ ), após a fase intestinal.

Entretanto, em nenhum tratamento houve diminuição do teor de fenólicos totais ou da atividade antioxidante após as amostras passarem pelos processos de digestão oral, gástrica e intestinal. Isso mostra que a digestão pode controlar a formação de produtos de oxidação que ocasionam danos à saúde e têm potencial cancerígeno. A presença de compostos antioxidantes lipofílicos (carotenoides e tocoferóis) e hidrofílicos (flavonoides e ácido ascórbico) das *berries* pode aumentar a eficácia de sua atividade antioxidante em um sistema heterogêneo, como o encontrado em produtos cárneos (LEE *et al.*, 2020). Por exemplo, o ferro heme, cujo os produtos à base de carne são a principal fonte, induz a peroxidação de lipídios, a formação de radicais livres e múltiplas alterações genéticas que ocasionam mutações na maioria dos genes de câncer de cólon (GAMAGE *et al.* 2018). Neste sentido, a inibição da oxidação do ferro heme em produtos cárneos através do uso de produtos naturais, como no presente estudo, é importante para prevenir a formação de potenciais agentes cancerígenos.

#### 4.4.9 Conclusões

As amostras de mortadelas apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos para os valores de umidade, proteína e  $A_w$ . Em relação a TPA, houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos com farinhas, nos resultados de dureza e mastigabilidade, porém, não diferiram dos controles (C1 e C2). Os resultados do parâmetro coesividade foram menores nas mortadelas do que a faixa relatada na literatura. Como as amostras foram avaliadas em temperatura ambiente e o teor de amido adicionado (1,2 %) foi baixo, estes fatores possivelmente ocasionaram a diminuição nos valores. A cor das mortadelas também foi afetada pela adição das farinhas. A luminosidade ( $L^*$ ) apresentou uma tendência de redução ou manutenção durante o armazenamento. Os resultados de  $a^*$  foram maiores no controle com eritorbato de sódio (C2) e aumentaram consideravelmente durante os 90 dias em todos os tratamentos. A utilização de farinhas de mirtilo e fisális como antioxidante natural foi eficiente no controle da cor vermelha, o que é consideravelmente importante em produtos cárneos curados. Os valores de  $b^*$  foram influenciados pela adição de FF, pois a cor amarelada proveniente dos pigmentos de carotenoides, foi maior nestes tratamentos. Através dos resultados de  $\Delta E^*$ , observou-se que a diferença de cor entre os tratamentos com farinhas e o controle (C2) foi pouco perceptível ao olho humano.

A adição das farinhas resultou em um nível de TBARS aproximadamente 2 vezes menor nas mortadelas em relação ao nível observado no controle sem antioxidante (C1) após 90 dias de armazenamento. Entre os tratamentos com mirtilo, FM3 apresentou os menores valores de índice de peróxidos e TBARS, ao final do armazenamento (90 dias), porém, sem diferença significativa ( $p < 0,05$ ) em relação a FM1, FM2 e C2, incluindo os resultados do índice de acidez. Isso mostra que nas três concentrações (baixa, média e alta) de adição de farinha de mirtilo houve controle da oxidação lipídica. Com relação aos tratamentos com farinha de fisális, FF3 mostrou menores valores para o índice de peróxidos, TBARS e acidez, ao final do armazenamento (90 dias), porém, com diferença significativa ( $p < 0,05$ ) somente entre FF1, para o valor de TBARS. Comparando-se com C2, a adição de FF também foi eficiente no controle da oxidação lipídica nas três concentrações (baixa, média e alta). Porém, o tratamento onde houve o maior controle da oxidação lipídica, com os menores índices de peróxidos e TBARS em relação a C2, foi o tratamento FFM (adição das duas farinhas em média concentração), o que demonstra a ação sinérgica entre os compostos antioxidantes presentes nas farinhas de mirtilo e fisális.

O teor de fenólicos totais (mg AGE/g) e a atividade antioxidante das mortadelas medida por ABTS, DPPH e FRAP (mmol TE/g) aumentaram após digestão *in vitro* em todos os tratamentos. As enzimas utilizadas na digestão simulada disponibilizaram maior bioacessibilidade dos compostos fenólicos, porém, houve divergências entre os tratamentos. Isto possivelmente foi ocasionado pela reação do reagente de Folin com interferentes da matriz cárnea. O maior aumento de atividade antioxidante foi observado através dos resultados de ABTS, com diferença significativa entre todos os tratamentos com farinhas e os controles (C1 e C2), após digestão intestinal simulada. Os tratamentos FM3 e FF3 apresentaram os maiores valores de DPPH e FRAP, porém, sem diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para o valor de FRAP do tratamento FFM.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

O Capítulo 1 abordou as prospecções tecnológicas e científicas realizadas em relação à utilização dos frutos mirtilo e fisális em produtos cárneos. Verificou-se que as aplicações de mirtilos em produtos em geral, se dá principalmente nas áreas de medicamentos e alimentos, nesta última, especialmente em produtos de panificação. No Brasil, o fruto ainda é pouco empregado e seu principal uso é dado em bebidas. Em relação à produção científica, a adição de *berries* como o mirtilo em produtos cárneos, é ainda bem recente e com poucos dados, oferecendo uma extensa linha de pesquisa a ser explorada. O estudo prospectivo sobre a utilização de fisális mostrou que suas principais aplicações ocorrem nas áreas de medicamentos e alimentos, nesta última, especialmente em produtos lácteos. O fruto também é ainda pouco explorado no Brasil e os depósitos de patentes existentes são relacionados à aplicação em iogurte e bebida alcoólica, além da produção de fisális em passas. Na área científica, não houve relato da adição do fruto como ingrediente ou aditivo em formulações de produtos cárneos, e a maioria dos estudos baseiam-se no uso das plantas do gênero *Physalis*, como medicamento. Portanto, na área de alimentos oferece uma ampla linha de pesquisa a ser explorada.

O Capítulo 2 apresentou a caracterização físico-química e atividade antioxidante dos frutos. Foram caracterizados frutos de mirtilo (*Vaccinium corymbosum*) e fisális (*Physalis peruviana*) cultivados na Região Sul do Brasil, em clima subtropical. Quanto à composição proximal, os dois frutos apresentaram características semelhantes aos demais relatados na Literatura, em regiões de clima temperado e tropical. Os valores dos compostos bioativos e dos ensaios de atividade antioxidante, estiveram em acordo com os encontrados em outros frutos da mesma espécie, com pequenas variações. O mirtilo apresentou valores maiores do que a fisális, em relação a estes parâmetros.

O Capítulo 3 descreveu a elaboração e a caracterização das farinhas. As farinhas, produzidas a partir de frutos íntegros de mirtilo e fisális, apresentaram valores de umidade dentro do limite exigido pela Legislação Brasileira (<15%), e na sua composição proximal, destaca-se a grande quantidade de fibra dietética, principalmente, a insolúvel. Os valores de compostos bioativos e de atividade antioxidante foram maiores na farinha de mirtilo do que na de fisális, da mesma forma que nas polpas dos frutos. Tanto na farinha de mirtilo quanto na de fisális houve concentração da bioatividade, sem redução de fitoquímicos após o processamento. Da mesma forma, o perfil de compostos fenólicos analisado por LC-MS/MS quantificou maior número de ácidos fenólicos e flavonoides nas farinhas do que nos frutos frescos. Quanto às

propriedades tecnológicas, de maneira geral, as duas farinhas apresentaram valores dos parâmetros medidos menores do que os reportados para outras farinhas de frutas. Porém, ambas mostraram capacidade emulsionante e estabilidade de emulsão, sendo a FM superior a FF, também nestes quesitos. Durante o armazenamento à temperatura ambiente e ao abrigo da luz, as duas farinhas tiveram boa manutenção da cor e dos pigmentos (antocianinas na FM e carotenoides na FF) até os 90 dias, com pequenas diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ). A produção das farinhas através de processo otimizado de desidratação mostrou-se uma técnica com elevada preservação dos compostos antioxidantes e de fácil reprodutibilidade. Tanto a farinha de mirtilo quanto a de fisális (esta última, em menor proporção) mostraram possuir propriedades antioxidantes e tecnológicas necessárias para atuarem como um ingrediente bioativo promissor em formulações de produtos cárneos e/ou alimentícios em geral.

O Capítulo 4 apresentou a produção de mortadelas tipo Bologna com diferentes concentrações de farinha de mirtilo (baixa, média e alta) e de fisális (baixa, média e alta), além de uma formulação com a mistura das duas farinhas, em média concentração. Em relação à caracterização físico-química, todos os tratamentos atenderam os limites exigidos pela Legislação Brasileira e os demais parâmetros, como  $A_w$ , pH e cor, estiveram de acordo com outros autores. Através da TPA verificou-se que a textura das mortadelas não sofreu influência negativa pela adição das farinhas em relação aos controles ( $p < 0,05$ ). Em relação à oxidação lipídica, avaliada por um período de 90 dias sob armazenamento refrigerado, a adição das farinhas mostrou-se como uma estratégia eficaz ao reduzir TBARS e níveis de peróxidos lipídicos nas amostras de mortadelas. A incorporação das farinhas de mirtilo e fisális, nos três níveis, foi eficiente no controle da oxidação lipídica. A digestibilidade aumentou a atividade antioxidante nas mortadelas e não houve perdas de compostos bioativos após a digestão intestinal simulada. Levando em consideração o controle da oxidação lipídica, a formulação FFM (mistura das farinhas de mirtilo e fisális, em média concentração) apresentou os melhores resultados em relação ao controle com eritorbato de sódio. Porém, em relação à bioaccessibilidade dos fenólicos totais e atividade antioxidante após digestão *in vitro*, a formulação FM3 (farinha de mirtilo em concentração alta) obteve os melhores resultados. Por fim, a otimização do processo de desidratação dos frutos mirtilo e fisális e a aplicação em forma de farinha em mortadela tipo Bologna possibilitou a atuação como antioxidante natural, podendo substituir antioxidantes sintéticos.

Estudos potenciais futuros de análise sensorial podem ser conduzidos, a fim de avaliar a influência da adição das farinhas no produto cárneo. Além disso, a determinação do perfil de compostos fenólicos pode ser realizada nas mortadelas através de método cromatográfico.

## REFERÊNCIAS

- AACC. American Association of Cereal Chemists. *Approved Methods of Analysis*. 11 ed. St. Paul, MN. 1999. 1089 p.
- ABDEL-NAEEM, H. H. S.; MOHAMED, H. M. H. Improving the physico-chemical and sensory characteristics of camel meat burger patties using ginger extract and papain. **Meat Science**, v. 118, p. 52–60, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.021>. Acesso em: 23 jun. 2022.
- AGRMC. Agricultural Marketing Resource Center. **Blueberries**. Washington, 2021. Disponível em: <https://www.agmrc.org/commodities-products/fruits/blueberries>. Acesso em: 23 jun. 2022.
- AGUIRREZÁBAL, M. M. *et al.* The effect of paprika, garlic and salt on rancidity in dry sausages. **Meat Science**, v. 54, p. 77-81, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00074-1](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00074-1). Acesso em: 23 jun. 2022.
- AKŠI', M. F. *et al.* Comparison of sugar profile between leaves and fruits of blueberry and strawberry cultivars grown in organic and integrated production system. **Plants**, v. 8(7), n. 205, p. 1-16, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants8070205>. Acesso em: 23 jun. 2022.
- ALASALVAR, C.; SALVADÓ, J-S; ROS, E. Bioactives and health benefits of nuts and dried fruits. **Food Chemistry**, v. 314, p. 1-8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126192>. Acesso em: 13 jun. 2022.
- ALLAIS, Irene. Emulsification. *In*: TOLDRÁ, Fidel. (org). **Handbook of meat processing**. Ames, Iowa, USA: Wiley-Blackwell, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9780813820897.ch7>. Acesso em: 24 jun. 2022.
- ALMEIDA, J. dos S. O. de. *et al.* Feijoa (*Acca sellowiana*) peel flours: a source of dietary fibers and bioactive compounds. **Food Bioscience**, v. 38, 100789, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100789>. Acesso em: 25 mai. 2022.
- ALMEIDA, P. L. de *et al.* Effect of jabuticaba peel extract on lipid oxidation, microbial stability and sensory properties of Bologna-type sausages during refrigerated storage. **Meat Science**, v. 110, p. 9-14, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.06.012>. Acesso em: 25 mai. 2022.
- ALVES, L. A. A. dos S. *et al.* Production of healthier bologna type sausages using pork skin and green banana flour as a fat replacers. **Meat Science**, v. 121, p. 73-78, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.06.001>. Acesso em: 24 jun. 2022.
- AMALIA, U. *et al.* Chemical characteristics of fish nugget with mangrove fruit flour substitution. **Aquatic Procedia**, v. 7, p. 265 – 270, 2016. Disponível em: <https://10.1016/j.aqpro.2016.07.037>. Acesso em: 26 maio 2022.

- AMARAL, A. B.; SILVA, M. V. da; LANNES, S. C. da S. Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors – a review. **Food Science and Technology**, v. 38, p. 1-15, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/fst.32518>. Acesso em: 23 maio. 2022.
- AMINZARE, M. *et al.* Using natural antioxidants in meat and meat products as preservatives: a review. **Advances in Animal and Veterinary Sciences**, v. 7, n. 5, p. 417-426, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2019/7.5.417.426>. Acesso em: 14 jun. 2022.
- ANTUNES, L. E. C. *et al.* Fenologia, produção e qualidade de frutos de mirtilo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.8, p.1011-1015, 2008. Disponível em: 10.1590/S0100-204X2008000800009. Acesso em: 24 jun. 2022.
- ANTUNES, L. E. C. Sistema de produção do mirtilo (*Vaccinium spp*). Em: ANTUNES, L. E. C.; RASEIRA, M. do C. B. **Cultivo do mirtilo (*Vaccinium spp*)**. Sistemas de produção, EMBRAPA ISSN 1676-7683: Pelotas, 2006.
- ANTUNES, L. E. C.; RASEIRA, M. C. B. **Sistemas de produção: cultivo de mirtilo (*Vaccinium spp*)**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2006.
- ANYASI, T. A.; JIDEANI, A. I. O.; MCHAU, G. R. A. Phenolics and essential mineral profile of organic acid pretreated unripe banana flour. **Food Research International**, 104, p. 100–109, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.063>. Acesso em: 24 jun. 2022.
- A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of the AOAC International**. 15 th ed., v. 2. Arlington/USA: A.O.A.C., 1990. p. 1058-1059
- A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of the AOAC International**, 18 th ed. Maryland/USA: A.O.A.C., 2005.
- AQUILANI, C. *et al.* Effect of natural antioxidants from grape seed and chestnut in combination with hydroxytyrosol, as sodium nitrite substitutes in Cinta Senese dry-fermented sausages. **Meat Science**, v. 145, p. 389-398, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.07.019>. Acesso em: 21 jun. 2022.
- ARAÚJO, F. F. de *et al.* Polyphenols and their applications: an approach in food chemistry and innovation potential. **Food Chemistry**, v. 338, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127535>. Acesso em: 24 jun. 2022.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 5. Ed. Viçosa: Editora UFV, 2011.
- AREIZA-MAZO, N.; MALDONADO, M. E.; ROJANO, B. Extracto acuoso de uchuva (*Physalis peruviana*): actividades antiproliferativa, apoptótica y antioxidante. **Perspectivas en Nutrición Humana**, v.15, p. 41-55, 2013. Disponível em: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-41082013000100003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-41082013000100003&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 02 jun. 2022.



ARMENTEROS, M. *et al.* Application of natural antioxidants from Strawberry Tree (*Arbutus unedo L.*) and Dog Rose (*Rosa canina L.*) to frankfurters subjected to refrigerated storage. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 12, n.11, p. 1972-1981, 2013. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60635-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60635-8). Acesso em: 23 jun. 2022.

ASBRAER. Associação Brasileira das Entidades Estaduais de Assistência Técnica e Extensão Rural. **Cultivo de mirtilo: Conheça um dos maiores produtores do Brasil, Brasília**, 2017. Disponível em: <http://www.asbraer.org.br/index.php/rede-de-noticias/item/2962-cultivo-de-mirtilo-conheca-um-dos-maiores-produtores-do-brasil>. Acesso em: 24 jun. 2022.

ASGARY, S. *et al.* Anti-hyperglycemic and anti-hyperlipidemic effects of *Vaccinium myrtillus* fruit in experimentally induced diabetes (antidiabetic effect of *Vaccinium myrtillus* fruit). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 96, p. 764 – 768, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7144>. Acesso em: 24 jun. 2022.

ASSIS, R. Q. *et al.* Characterization of mutamba (*Guazuma ulmifolia LAM.*) fruit flour and development of bread. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 19, p. 1-7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101120>. Acesso em: 12 jun. 2022.

AURIEMA B. D. *et al.* Green banana biomass: physicochemical and functional properties and its potential as a fat replacer in a chicken mortadella. **LWT - Food Science and Technology**, v. 140, p. 1-9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110686>. Acesso em: 16 jun. 2022.

BALDIN, J. C. *et al.* Effect of microencapsulated Jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) extract on quality and storage stability of mortadela sausage. **Food Research International**, v. 108, p. 551-557, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.076>. Acesso em: 16 jun. 2022.

BALLESTEROS-VIVAS, D. *et al.* Anti-proliferative bioactivity against HT-29 colon cancer cells of a withanolides rich extract from goldenberry (*Physalis peruviana L.*) calyx investigated by Foodomics. **Journal of Functional Foods**, v. 63, p. 1-14, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103567>. Acesso em: 08 jun. 2022.

BARRETO, E. H. *et al.* Parâmetros de qualidade no processamento de mortadelas. **Revista Espacios**, v. 38, n. 24, 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n24/a17v38n24p02.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2022.

BATTACCHI, D. *et al.* The state of the art of food ingredients' naturalness evaluation: A review of proposed approaches and their relation with consumer trends. **Trends in Food Science & Technology**, v. 106, p. 434-444, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.013>. Acesso em: 10 jun. 2022.

BAZANA, M. T. *et al.* Development of nanoemulsions containing *Physalis peruviana* calyx extract: a study on stability and antioxidant capacity. **Food Research International**, v. 125, p. 1-8, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108645>. Acesso em: 14 jun. 2022.

BELLUCCI, E. R. B. *et al.* Natural colorants improved the physicochemical and sensorial properties of frozen Brazilian sausage (linguiça) with reduced nitrite. **Scientia Agricola**, v.78,

n.3, p. 1-7, 2021a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0211>. Acesso em: 01 jun. 2022.

BELLUCCI, E. R. B. *et al.* Red pitaya extract as natural antioxidant in pork patties with total replacement of animal fat. **Meat Science**, v. 171, p. 1-9, 2021b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108284>. Acesso em: 15 jun. 2022.

BENSALEM, J. *et al.* Protective effects of berry polyphenols against age-related cognitive impairment. **Nutrition and Aging**, 3, p. 89–106, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3233/NUA-150051>. Acesso em: 24 jun. 2022.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “Antioxidant Power”: the FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, n. 292, p. 70–76, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>. Acesso em: 21 jun. 2022.

BERASATEGI, I. *et al.* Healthy reduced-fat Bologna sausages enriched in ALA and DHA and stabilized with *Melissa officinalis* extract. **Meat Science**, v. 96, p. 1185–1190, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.10.023>. Acesso em: 19 jun. 2022.

BERNAL, C-A. *et al.* Peruvioses A to F, sucrose esters from the exudate of *Physalis peruviana* fruit as  $\alpha$ -amylase inhibitors. **Carbohydrate Research**, v. 461, p. 4-10, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2018.03.003>. Acesso em: 08 jun. 2022.

BETT-GARBER, K. L. *et al.* Flavor of fresh blueberry juice and the comparison to amount of sugars, acids, anthocyanidins, and physicochemical measurements. **Journal of Food Science**, 80, (4), p. 818-827, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12821>. Acesso em: 17 jun. 2022.

BORDIGNON, C. L. Jr. *et al.* Influência do pH da solução extrativa no teor de antocianinas em frutos de morango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 29(1), p. 183-188, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/KRsJwnjrHnwdg3JcWKkjk3C/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 24 jun. 2022.

BOTSARIS, G. *et al.* Antioxidant and antimicrobial effects of *Pistacia lentiscus L.* extracts in pork sausages. **Food Technology and Biotechnology**, v. 53, n. 4, p. 472–478, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.17113/ft b.53.04.15.4051>. Acesso em: 23 jun. 2022.

BOULEKBACHE-MAKHLOUF, L. *et al.* Effect of solvents extraction on phenolic content and antioxidant activity of the byproduct of eggplant. **Industrial Crops and Products**, v. 49, p. 668– 674, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.009>. Acesso em: 24 jun. 2022.

BRACKMANN, A. *et al.* Armazenamento de mirtilo ‘Bluegem’ em atmosfera controlada e refrigerada com absorção e inibição do etileno. **Revista Ceres**, v. 57, n.1, p. 06-11, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000100002>. Acesso em: 24 jun. 2022.

BRAND-WILLIAMS, E.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, p. 25-30, 1995. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5). Acesso em: 24 jun. 2022.

BRASIL. **Resolução da Diretoria Colegiada, n.º 263, de 22 de setembro de 2005**. Aprova o Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2005. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0263\\_22\\_09\\_2005.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0263_22_09_2005.html). Acesso em: 24 jun. 2022.

BRASIL. **Resolução da Diretoria Colegiada, n.º 272, de 14 de março de 2019**. Estabelece os aditivos alimentares autorizados para uso em carnes e produtos cárneos. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2019. Disponível em: [https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/67378977/do1-2019-03-18-resolucao-da-diretoria-colegiada-rdc-n-272-de-14-de-marco-de-2019-67378770](https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/67378977/do1-2019-03-18-resolucao-da-diretoria-colegiada-rdc-n-272-de-14-de-marco-de-2019-67378770). Acesso em: 24 jun. 2022.

BRASIL. **Instrução Normativa n.º 4, de 31 de março de 2000**. Aprovar os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Carne Mecanicamente Separada, de Mortadela, de Linguiça e de Salsicha, em conformidade com os Anexos desta Instrução Normativa. Anexo II. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Mortadela. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento, 2000. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=05/04/2000&jornal=1&pagina=54&totalArquivos=73>. Acesso em: 24 jun. 2022.

BRASIL. **Instrução Normativa n.º 36, de 13 de outubro de 2011**. Alterar a redação dos açúcares totais constante dos subitens 4.2.2 dos Anexos II e IV da Instrução Normativa n.º 4, de 31 de julho de 2000. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento, 2011. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=14/10/2011&jornal=1&pagina=2&totalArquivos=168>. Acesso em: 24 jun. 2022.

BRAVO, K.; OSORIO E. Characterization of polyphenol oxidase from Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruit. **Food Chemistry**, v. 197, p. 185–190, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.126>. Acesso em: 16 jun. 2022.

BREWER, G.J., *et al.* Age-related toxicity of amyloid-beta associated with increased pERK and pCREB in primary hippocampal neurons: reversal by blueberry extract. **J Nutr Biochem**, 21, p. 991–998, 2010. Disponível em: 10.1016/j.jnutbio.2009.08.005 Acesso em: 16 jun. 2022.

BREWER, Susan. Technological quality of meat for processing. *In*: TOLDRÁ, Fidel. (org). **Handbook of meat processing**. Ames, Iowa, USA: Wiley-Blackwell, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9780813820897.ch7>. Acesso em: 20 jul. 2022.

BRIONES-LABARCA, V. *et al.* Extraction of  $\beta$ -carotene, vitamin C and antioxidant compounds from *Physalis peruviana* (Cape Gooseberry) assisted by high hydrostatic pressure. **Food and Nutrition Sciences**, v. 4, p. 109-118, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2013.48A014>. Acesso em: 24 jun. 2022.

BRITTON, G. UV-visible spectroscopy. *In*: BRITTON, G., LIAAEN-JENSEN, S., PFANDER, H. (org.) **Carotenoids: spectroscopy**. Switzerland: Birkh user Publishing, 1995. p. 13-63.

BRODKORB, A. *et al.* INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. **Nature Protocols**, v. 14, p. 991-1014, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>. Acesso em: 24 jun. 2022.

BUNEA, A. *et al.* Comparative polyphenolic content and antioxidant activities of some wild and cultivated blueberries from Romania. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici**, v. 39, n. 2, p. 70-76, 2011. Disponível em: <https://10.15835/nbha3926265>. Acesso em: 13 jun. 2022.

BURRI, S. C. M. *et al.* Lipid oxidation inhibition capacity of plant extracts and powders in a processed meat model system. **Meat Science**, v. 162, 108033, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108033>. Acesso em: 24 jun. 2022.

CALADO, V.; MONTGOMERY, D. **Planejamento de experimentos usando o Statistica**. Rio de Janeiro: E-Papers, 2003. 260 p.

CÂMARA, A. K. F. I. *et al.* Olive oil-based emulsion gels containing chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage delivering healthy claims to low-saturated fat Bologna sausages. **Food Structure**, v. 28, 100187, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2021.100187>. Acesso em: 19 jun. 2022.

CANTUARIAS-AVILÉS, T. *et al.* Cultivo do mirtilo: atualiza es e desempenho inicial de variedades de baixa exigência em frio no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 139-147, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-453/13>. Acesso em 22 jun. 2022.

CAROCHO, M.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R. Antioxidants: Reviewing the chemistry, food applications, legislation and role as preservatives. **Trends in Food Science & Technology**, v. 71, p. 107–120, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.008>. Acesso em: 15 jun. 2022.

CARRILLO-PERDOMO, E. *et al.* Andean berries from Ecuador: a review on botany, agronomy, chemistry and health potential. **Journal of Berry Research**, v. 5, p. 49-69, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3233/JBR-140093>. Acesso em 18 jun. 2022.

CARVALHO, M. M.; FLEURY, A. LOPES, A. P. An overview of the literature on technology roadmapping (TRM): contributions and trends. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 80, p. 1418-1437, 2013. Disponível em: <https://10.1016/j.techfore.2012.11.008>. Acesso em: 24 jun. 2022.

CASSIDY, A.; MINIHANE, A. M. The role of metabolism (and the microbiome) in defining the clinical efficacy of dietary flavonoids. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 105, p. 10–22, 2017. Disponível em: <https://10.3945/ajcn.116.136051>. Acesso em 15 jun. 2022.

ÇELİK, H.; ÖZGEN, M.; SARAÇOG˘LU, O. Comparison of phytochemicals and antioxidant capacities of some standard and organically grown highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). **Journal of Agricultural Science**, 18, p. 167–176, 2012.

CHAVES, J. O. *et al.* Extraction of flavonoids from natural sources using modern techniques. **Frontiers in Chemistry**, v. 8, 507887, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.507887>. Acesso em: 08 ago. 2022.

CHEN, X. *et al.* Application of combining ozone and UV-C sterilizations in the artificial drying of persimmon fruits. **LWT - Food Science and Technology**, v. 134, p. 1-9, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110205>. Acesso em: 13 jun. 2022.

CHENG, Z. *et al.* Blueberry malvidin-3-galactoside modulated gut microbial dysbiosis and microbial TCA cycle KEGG pathway disrupted in a liver cancer model induced by HepG2 cells. **Food Science and Human Wellness**, 9(3), p. 245–256, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2020.04.006>. Acesso em: 16 jun. 2022.

CHU, W. *et al.* Effects of cuticular wax on the postharvest quality of blueberry fruit. **Food Chemistry**, 239, p. 68–74, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.024>. Acesso em: 24 jun. 2022.

COLORETTI, F. *et al.* Effect of wine addition on microbiological characteristics, volatile molecule profiles and biogenic amine contents in fermented sausages. **Meat Science**, v. 96, p. 1395–1402, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.11.027>. Acesso em: 22 jun. 2022.

CÖMERT, E. D.; GÖKMEN, V. Evolution of food antioxidants as a core topic of food science for a century. **Food Research International**, v. 105, p. 76–93, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.056>. Acesso em: 14 jun. 2022.

COULTATE, T. P. **Alimentos: a química de seus componentes**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

CUNHA, I. P. da. *et al.* Bioaccessibility of phenolic compounds of *Araucaria angustifolia* from seed water extracts during in vitro simulated gastrointestinal conditions. **Food and Nutrition Sciences**, v. 9, p. 1137-1146, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/fns.2018.910082>. Acesso em: 20 jun. 2022.

DAG, D.; KILERCIOGLU, M.; OZTOP, M. H. Physical and chemical characteristics of encapsulated goldenberry (*Physalis peruviana* L.) juice powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 83, p. 86-94, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.007>. Acesso em: 12 jun. 2022.

DAGLIA, M. Polyphenols as antimicrobial agents. **Current Opinion in Biotechnology**, 23, p. 174–181, 2012. Disponível em: [10.1016/j.copbio.2011.08.007](https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.08.007). Acesso em: 30 jun. 2022.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**, 4ª ed. Tradução de Adriano Brandelli et al. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

DASTMALCHI, K. et al. Edible neotropical blueberries: antioxidant and compositional fingerprint analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 59, p. 3020–3026, 2011. Disponível em: <https://10.1021/jf200367j>. Acesso em: 24 jun. 2022.

DAWIDOWICZ, A. L.; TYPEK, R. Transformation of 5-o-caffeoylquinic acid in blueberries during high-temperature processing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, p. 10889-10895, 2014. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1021/jf503993q>. Acesso em: 15 jun. 2022.

DELFANIAN, M; SAHARI, M. Improving functionality, bioavailability, nutraceutical and sensory attributes of fortified foods using phenolics-loaded nanocarriers as natural ingredients. **Food Research International**, v. 137, p. 1-23, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109555>. Acesso em: 12 jun. 2022.

DHARMAWANSA, K. V. S.; HOSKIN, D. W.; RUPASINGHE, H. P. V. Chemopreventive effect of dietary anthocyanins against gastrointestinal cancers: a review of recent advances and perspectives. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, p. 2-36, 2020. Disponível em: <https://10.3390/ijms21186555>. Acesso em: 24 jun. 2022.

DHINGRA, D. *et al.* Dietary fibre in foods: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 3, p. 255–266, 2012. Disponível em: <https://10.1007/s13197-011-0365-5>. Acesso em: 18 jun. 2022.

DIEZ-SÁNCHEZ, E. *et al.* Extruded flour as techno-functional ingredient in muffins with berry pomace. **LWT - Food Science and Technology**, 113, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108300>. Acesso em: 30 jun. 2022.

DOMÉNECH-ASENSI, G. *et al.* Effect of the addition of tomato paste on the nutritional and sensory properties of mortadella. **Meat Science**, 93, p. 213-219, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.08.021>. Acesso em: 16 jun. 2022.

DOMÍNGUEZ, R. *et al.* A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. **Antioxidants**, v. 8, n. 429, p. 1-31, 2019. Disponível em: <https://10.3390/antiox8100429>. Acesso em: 24 jun. 2022.

DOMÍNGUEZ, R. *et al.* Immobilization of oils using hydrogels as strategy to replace animal fats and improve the healthiness of meat products. **Current Opinion in Food Science**, v. 40, p. 135–144, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.005>. Acesso em: 16 jun. 2022.

DONG, B. *et al.* Withanolides from *Physalis peruviana* showing nitric oxide inhibitory effects and affinities with iNOS. **Bioorganic Chemistry**, 87, p. 585–593, 2019. Disponível em: [10.1016/j.bioorg.2019.03.051](https://10.1016/j.bioorg.2019.03.051). Acesso em: 24 jun. 2022.

DRÓZDŹ, P.; ŠĚŽIENĚ, V.; PYRZYNSKA, K. Phytochemical properties and antioxidant activities of extracts from wild blueberries and lingonberries. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 72, p. 360-364, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11130-017-0640-3>. Acesso em: 24 jun. 2022.

ECHEGARAY, N. *et al.* Chestnuts and by-products as source of natural antioxidants in meat and meat products: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 82, p. 110–121, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.10.005>. Acesso em: 15 jun. 2022.

EGGERSDORFER, M; WYSS, A. Carotenoids in human nutrition and health. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 652, p. 18–26, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.abb.2018.06.001>. Acesso em: 11 jun. 2022.

EINHARDT, M.; LIMA, C. S. M.; ANDRADE, S. B. de. Ácido salicílico na conservação pós-colheita de frutos de *Physalis peruviana* L. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 18, n. 1, p. 53-59, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/813/81351597008.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2022.

EL- BELTAGI, H. S. Chemical composition and biological activity of *Physalis peruviana* L. **Gesunde Pflanzen**, v.71, n. 2, p. 113-122, 2019. Disponível em: <https://10.1007/s10343-019-00456-8>. Acesso em: 24 jun. 2022.

EMATER. EMATER-DF. **Emater-DF testa cultivo de fruta usada em doces finos e que custa até R\$ 70 o quilo**. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2019/07/12/emater-df-testa-cultivo-de-fruta-usada-em-doces-finos-e-que-custa-ate-r-70-o-quilo/>. Acesso em: 24 jun. 2022.

ESTÉVEZ, M. Critical overview of the use of plant antioxidants in the meat industry: opportunities, innovative applications and future perspectives. **Meat Science**, v. 181, 108610, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108610>. Acesso em: 22 jun. 2022.

ESTÉVEZ M.; LORENZO, J. M. Impact of antioxidants on oxidized proteins and lipids in processed meats. **Encyclopedia of Food Chemistry**, p. 600-608, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.21501-1>. Acesso em: 24 jun. 2022.

ETZBACH, L. *et al.* Characterization of carotenoid profiles in goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruits at various ripening stages and in different plant tissues by HPLC-DADAPCI- MSn. **Food Chemistry**, v. 245, p. 508–517, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.120>. Acesso em: 11 jun. 2022.

ETZBACH, L. *et al.* Effects of carrier agents on powder properties, stability of carotenoids, and encapsulation efficiency of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) powder produced by co-current spray drying. **Current Research in Food Science**, v.3, p. 73–81, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.03.002>. Acesso em: 24 jun 2022.

FACHINELLO, J. C. Mirtilo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, p. 285-576, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000200001>. Acesso em: 24 jun. 2022.

FACHINELLO, J.C. *et al.* Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, vol. Especial, p. 109-120, 2011.

FAION, A. M. *et al.* Determinação dos teores de polifenóis, antocianinas totais, vitamina c, teores de macroelementos e oligoelementos em mirtilos do grupo *Highbush*. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 25., 2016, Gramado, RS. **Anais**. Gramado, RS: FAURGS, 2016.

FANG, S-T.; LIU, K-K.; LI, B. Ten new withanolides from *Physalis peruviana*. **Steroids**, v. 77, p. 36–44, 2012. Disponível em: <https://10.1016/j.steroids.2011.09.011>. Acesso em: 08 jun. 2022.

FAO. FAOSTAT: Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Production crops**. Blueberry. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em 24 jun. 2022.

FAO. FAO-PRODAR. **Productos frescos de frutas**. Fichas técnicas. FAO, 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-au173s.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2022.

FDA. Food and Drug Administration. **Hazard analysis and risk-based preventive controls for human food**: guidance for industry, 2018. Disponível em: <https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/ucm517412.htm>. Acesso em: 28 jun. 2022.

FELOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos**: princípios e prática. Tradução de Florencia Cladera Oliveira; Jane Maria Rubensan; Julio Alberto Nitzke; Roberta Cruz Silveira Thys. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. *et al.* Chemical and technological properties of bologna-type sausages with added black quinoa wet-milling coproducts as binder replacer. **Food Chemistry**, v. 310, 125936, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125936>. Acesso em: 16 jun. 2022.

FERREIRA, M. S. L. *et al.* Formulation and characterization of functional foods based on fruit and vegetable residue flour. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n.2, p. 822–830, 2015. Disponível em: <https://10.1007/s13197-013-1061-4>. Acesso em: 12 jun. 2022.

FIEDOR, J.; BURDA, K. Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease. **Nutrients**, v. 6, p. 466–488, 2014. Disponível em: <https://10.3390/nu6020466>. Acesso em 19 jun. 2022.

FISCHER, G.; ALMANZA-MERCHÁN, P. J.; MIRANDA, D. Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 001-015, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-441/13>. Acesso em: 20 jun. 2022.

FISK, J. *et al.* Effect of 4 weeks daily wild blueberry supplementation on symptoms of depression in adolescents. **British Journal of Nutrition**, v. 10, p. 1 – 8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s0007114520000926>. Acesso em: 24 jun. 2022.

FLORES, M.; TOLDRÁ, F. Chemistry, safety, and regulatory considerations in the use of nitrite and nitrate from natural origin in meat products - invited review. **Meat Science**, v. 171, 108272, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108272>. Acesso em: 23 jun. 2022.



FRAQUEZA, M. J. *et al.* Microbiological hazards associated with salt and nitrite reduction in cured meat products: control strategies based on antimicrobial effect of natural ingredients and protective microbiota. **Current Opinion in Food Science**, v. 38, p. 32-39, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.027>. Acesso em: 15 jun. 2022.

GALLEGO, M. *et al.* Antioxidant peptides profile in dry-cured ham as affected by gastrointestinal digestion. **Journal of Functional Foods**, v. 69, p. 1-8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103956>. Acesso em: 01 jun. 2022.

GALVIS, J. A.; FISCHER, G. F.; GORDILLO, O. P. Cosecha y poscosecha de la uchuva. *In*: FISCHER, G. *et al.* (ed.). **Avances en cultivo, poscosecha y exportación de *Physalis peruviana* en Colombia**. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2005. p. 165-188. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Gerhard-Fischer-2/publication/258052317\\_Avances\\_en\\_cultivo\\_poscosecha\\_y\\_exportacion\\_de\\_la\\_uchuva\\_Physalis\\_peruviana\\_L\\_en\\_Colombia/links/0deec526dc02585545000000/Avances-en-cultivo-poscosecha-y-exportacion-de-la-uchuva-Physalis-peruviana-L-en-Colombia.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Gerhard-Fischer-2/publication/258052317_Avances_en_cultivo_poscosecha_y_exportacion_de_la_uchuva_Physalis_peruviana_L_en_Colombia/links/0deec526dc02585545000000/Avances-en-cultivo-poscosecha-y-exportacion-de-la-uchuva-Physalis-peruviana-L-en-Colombia.pdf). Acesso em: 24 jun. 2022.

GAMAGE, S. M. K. *et al.* The role of heme iron molecules derived from red and processed meat in the pathogenesis of colorectal carcinoma. **Critical Reviews in Oncology / Hematology**, v. 126, p. 121–128, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2018.03.025>. Acesso em: 24 jun. 2022.

GANHÃO, R. *et al.* Mediterranean berries as inhibitors of lipid oxidation in porcine burger patties subjected to cooking and chilled storage. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 12, n. 11, p. 1982-1992, 2013. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60636-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60636-X). Acesso em: 23 jun. 2022.

GAO, C. *et al.* Cytotoxic withanolides from *Physalis angulata*. **Natural Product Research**, v. 32, n.6, p. 676-681, 2018. Disponível em: <https://10.1080/14786419.2017.1338281>. Acesso em: 08 jun. 2022.

GAPSKI, A. Digestion behavior and antidepressant-like effect promoted by acute administration of blueberry extract on mice. **Food Research International**, 125, p. 1-9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108618> Acesso em: 16 jun. 2022.

GIRÓN, J. M. *et al.* Pigmentos vegetales y compuestos naturales aplicados en productos cárnicos como colorantes y/o antioxidantes: revisión. **Uniminuto**, v. 11, n. 21, p. 51 - 62, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.11.21.2016.51-62>. Acesso em: 24 jun. 2022.

GOLDMEYER, B. *et al.* Características físico-químicas e propriedades funcionais tecnológicas do bagaço de mirtilo fermentado e suas farinhas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 4, p. 980-987, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-380/13>. Acesso em: 12 jun. 2022.

GOMES, S. M. C. *et al.* Flavonoids electrochemical detection in fruit extracts and total antioxidant capacity evaluation. **Talanta**, v. 154, p. 284-291, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2016.03.083>. Acesso em: 22 jun. 2022.

GONZALEZ, M.; VILLENA, G. K.; KITAZONO, A.A. Evaluation of the antioxidant activities of aqueous extracts from seven wild plants from the Andes using an in vivo yeast assay. **Results in Chemistry**, v. 3, 100098, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2021.100098>. Acesso em: 24 jun. 2022.

GONZÁLEZ-MENDOZA, D. *et al.* Phenolic compounds and physiochemical analysis of *Physalis ixocarpa* genotypes. **Scientific Research and Essays**, v. 6, n. 17, p. 3808-3814, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/SRE11.570>. Acesso em: 07 jun. 2022.

GRANATO, D. *et al.* Antioxidant activity, total phenolics and flavonoids contents: Should we ban in vitro screening methods? **Food Chemistry**, v. 264, p. 471-475, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.012>. Acesso em: 18 jun. 2022.

GRANATO, D.; NUNES, D. S. **Análises químicas, propriedades funcionais e controle da qualidade de alimentos e bebidas: uma abordagem teórico-prática**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

GRASSO, S. *et al.* Reformulating meat products to allow healthier claims therefore represents an opportunity for the meat industry to improve consumer perception. **Trends in Food Science & Technology**, v. 39, p. 4-17, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2014.06.006>. Acesso em: 15 jun. 2022.

GUERRA, I. C. D. *et al.* Carne de ovinos de descarte na elaboração de mortadelas com diferentes teores de gordura suína. **Ciência Rural**, v.42, n.12, p. 2288-2294, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000113>. Acesso em: 16 jun. 2022.

GÜNDÜZ, K.; SERÇE, S.; JAMES F. HANCOCK, J. F. Variation among highbush and rabbiteye cultivars of blueberry for fruit quality and phytochemical characteristics. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 38, p. 69–79, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2014.09.007>. Acesso em: 13 jun. 2022.

HASSAN, H. A. *et al.* Cape gooseberry (*Physalis peruviana*) juice as a modulator agent for hepatocellular carcinoma-linked apoptosis and cell cycle arrest. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 94, p. 1129–1137, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopha.2017.08.014>. Acesso em: 08 jun. 2022.

HASSANIEN, M. F. R. *Physalis peruviana*: a rich source of bioactive phytochemicals for functional foods and pharmaceuticals. **Food Reviews International**, 27, p. 259–273, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/87559129.2011.563391>. Acesso em: 24 jun. 2022.

HE, J.; GIUSTI, M. M. Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 1, p. 163-187, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100754>. Acesso em: 24 jun. 2022.

HEINONEN, M. Antioxidant activity and antimicrobial effect of berry phenolics – a finnish perspective. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 51, n. 6, p. 684-691, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700006>. Acesso em: 24 jun. 2022.

HERRERO, A. M.; RUIZ-CAPILLAS, C. Novel lipid materials based on gelling procedures as fat analogues in the development of healthier meat products. **Current Opinion in Food**

**Science**, v. 40, p.1-6, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.12.010>. Acesso em: 16 jun. 2022.

HOFFMANN, A.; ANTUNES, L. E. C. Grande potencial. **Revista Cultivar Hortaliças e Frutas**, p. 28-31, 2004.

HOTCHKISS, A. T. *et al.* Structure and composition of blueberry fiber pectin and xyloglucan that bind anthocyanins during fruit puree processing. **Food Hydrocolloids**, v. 116, 106572, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106572>. Acesso em: 08 jun. 2022.

HU, X-F. *et al.* Evaluation of in vitro/in vivo anti-diabetic effects and identification of compounds from *Physalis alkekengi*. **Fitoterapia**, 127, p. 129-137, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2018.02.015>. Acesso em: 22 jun. 2022.

HUANG, M. *et al.* Withanolides from the genus *Physalis*: a review on their phytochemical and pharmacological aspects. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 72, p. 649–669, 2020. Disponível em: <https://10.1111/jphp.13209>. Acesso em: 08 jan. 2022.

HUANG, S. *et al.* The effect of extruded breadfruit flour on structural and physicochemical properties of beef emulsion modeling systems. **Meat Science**, v. 172, p. 1-10, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108370>. Acesso em: 12 jun. 2022.

HUBER, E. *et al.* Characterization of vegetable fiber and its use in chicken burger formulation. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n.7, p. 3043-3052, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2276-y>. Acesso em: 10 jun. 2022.

HUR, S-J. *et al.* Antioxidative changes of blueberry leaf extracts in emulsion-type sausage during in vitro digestion. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, v. 33, n. 6, p. 689-695, 2013. Disponível em: <http://dx.do.org/10.5851/kosfa.2013.33.6.689>. Acesso em 13 set. 2022.

HWANG, S. J. *et al.* Radical-scavenging-linked antioxidant activities of extracts from black chokeberry and blueberry cultivated in Korea. **Food Chemistry**, 146, p. 71-77, 2014. Disponível em: <https://10.1016/j.foodchem.2013.09.035>. Acesso em: 20 jun. 2022.

IACCHERI, E. *et al.* New insights into the glass transition of dried fruits and vegetables and the effect of pulsed electric field treatment. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 67, 102566, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102566>. Acesso em: 24 jun. 2022.

IARC. Red meat and processed meat. **Monograph of International Agency for Research on Cancer**, WHO. Vol. 114. Lyon. France, 2018. Disponível em: <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono114.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de orçamentos familiares 2017-2018: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101742.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2022.

ISTEK, N.; GURBUZ, U. Investigation of the impact of blueberries on metabolic factors influencing health. **Journal of Functional Foods**, 38, 298-307, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.09.039>. Acesso em: 24 jun. 2022.

JIANG, H-L.; YANG, J-L.; SHI, Y-P. Optimization of ultrasonic cell grinder extraction of anthocyanins from blueberry using response surface methodology. **Ultrasonics Sonochemistry**, 34, p. 325 - 331, 2017. Disponível em: <https://10.1016/j.ultsonch.2016.06.003>. Acesso em: 24 jun. 2022.

JIN, S-K. *et al.* Natural curing agents as nitrite alternatives and their effects on the physicochemical, microbiological properties and sensory evaluation of sausages during storage. **Meat Science**, v. 146, p. 34-40, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.07.032>. Acesso em: 13 set. 2022.

JO, K. *et al.* Nitrite sources for cured meat products. **LWT - Food Science and Technology**, v. 129, 109583, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109583>. Acesso em: 22 jun. 2022.

JOHNSON, S. A. *et al.* Daily blueberry consumption improves blood pressure and arterial stiffness in postmenopausal women with pre- and stage 1- hypertension: a randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. **Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics**, 115, p. 369-377, 2015. Disponível em: [10.1016/j.jand.2014.11.001](https://doi.org/10.1016/j.jand.2014.11.001). Acesso em: 24 jun. 2022.

JUNG, J.; CAVENDER, G.; ZHAO, Y. Impingement drying for preparing dried apple pomace flour and its fortification in bakery and meat products. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n.9, p. 5568–5578, 2015. Disponível em: <https://10.1007/s13197-014-1680-4>. Acesso em: 18 jun. 2022.

JUNQUEIRA, J. R. de J. *et al.* Convective drying of cape gooseberry fruits: effect of pretreatments on kinetics and quality parameters. **LWT - Food Science and Technology**, v. 82, p. 404-410, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.072>. Acesso em: 02 jun. 2022.

KALLAS, Z. *et al.* Can innovations in traditional pork products help thriving EU untapped pig breeds? A non-hypothetical discrete choice experiment with hedonic evaluation. **Meat Science**, v. 154, p. 75-85, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.011>. Acesso em: 13 set. 2022.

KALLAS, Z.; VITALE, M.; GIL, J. M. Health innovation in patty products. The role of food neophobia in consumers' non-hypothetical. Willingness to pay, purchase intention and hedonic evaluation. **Nutrients**, v. 11, n. 444, p. 1-15, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu11020444>. Acesso em: 13 set. 2022.

KALT, W. *et al.* Recent research on the health benefits of blueberries and their anthocyanins. **Advances in Nutrition**, v. 11, p. 224-236, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/advances/nmz065>. Acesso em 19 maio 2022.

KASALI, F. M. *et al.* Assessment of antidiabetic activity and acute toxicity of leaf extracts from *Physalis peruviana L.* in guinea-pig. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**,

v. 3, n. 11, p. 841-846, 2013. Disponível em: [https://10.1016/S2221-1691\(13\)60166-5](https://10.1016/S2221-1691(13)60166-5). Acesso em: 08 jun. 2022.

KAUR, R.; SHARMA, M. Cereal polysaccharides as sources of functional ingredient for reformulation of meat products: a review. **Journal of Functional Foods**, v. 62, p. 1-11, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103527>. Acesso em: 20 jun. 2022.

KECHINSKI, C. P. **Estudo de diferentes formas de processamento do mirtilo visando à preservação dos compostos antociânicos**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

KHALIFA, H. O. *et al.* Antimicrobial effects of blueberry, raspberry, and strawberry aqueous extracts and their effects on virulence gene expression in vibrio cholerae. **Phytotherapy Research**, v. 29, p. 1791–1797, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ptr.5436>. Acesso em: 04 jan. 2021.

KHANAL, R. C.; HOWARD, L. R.; PRIOR, R. L. Effect of heating on the stability of grape and blueberry pomace procyanidins and total anthocyanins. **Food Research International**, 43, n. 5, p. 1464–1469, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.04.018>. Acesso em: 24 jun. 2022.

KIM, J-S. Antioxidant activities of selected berries and their free, esterified, and insoluble-bound phenolic acid contents. **Preventive Nutrition and Food Science**, v. 23, n. 1, p. 35-45, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3746/pnf.2018.23.1.35>. Acesso em: 01 jun. 2022.

KIM, Y. J.; CRIBBIE, R. A. ANOVA and the variance homogeneity assumption: exploring a better gatekeeper. **British Journal of Mathematical and Statistical Psychology**, 71, pag. 1-12, 2018. Disponível em: <https://10.1111/bmsp.12103>. Acesso em: 24 jun. 2022.

KHOO, H. E. *et al.* Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. **Food & Nutrition Research**, v. 61, p. 1-21, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>. Acesso em: 09 jun. 2022.

KOWALSKA, H. *et al.* What's new in biopotential of fruit and vegetable by-products applied in the food processing industry. **Trends in Food Science e Technology**, 67, p. 150 – 159, 2017. Disponível em: [10.1016/j.tifs.2017.06.016](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.016). Acesso em: 24 jun. 2022.

LEÃO, D. P. *et al.* Physicochemical characterization, antioxidant capacity, total phenolic and proanthocyanidin content of flours prepared from pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*) fruit by-products. **Food Chemistry**, v. 225, p. 146–153, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.027>. Acesso em: 12 jun. 2022.

LEE, J.; DURST, R. W. WROLSTAD, R. E. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 88, n. 5, p. 1269-1278, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269>. Acesso em: 24 jun. 2022.

LEE, J.; WROLSTAD, R. E. Extraction of anthocyanins and polyphenolics from blueberry processing waste. **Journal of Food Science**, v. 69, n.7, p. 564-572, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb13651.x> Acesso em: 25 mai. 2022.

LEE, S. *et al.* Blueberry supplementation influences the gut microbiota, inflammation and insulin resistance in high-fat-diet-fed rats. **The Journal of Nutrition**, 148, p. 209-219, 2018. Disponível em: <https://10.1093/jn/nxx027>. Acesso em: 24 jun. 2022.

LEE, S. Y. *et al.* Overview of the effect of natural products on reduction of potential carcinogenic substances in meat products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 99, p. 568–579, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.034>. Acesso em: 14 jun. 2022.

LIANG, L. *et al.* In vitro bioaccessibility and antioxidant activity of anthocyanins from mulberry (*Morus atropurpurea* Roxb.) following simulated gastro-intestinal digestion. **Food Research International**, v. 46, p. 76–82, 2012. Disponível em: <https://10.1016/j.foodres.2011.11.024>. Acesso em: 04 jun. 2022.

LI, F. *et al.* Current applications and new opportunities for the thermal and non-thermal processing technologies to generate berry product or extracts with high nutraceutical contents. **Food Research International**, 100, p. 19 - 30, 2017. Disponível em: [10.1016/j.foodres.2017.08.035](https://10.1016/j.foodres.2017.08.035). Acesso em: 24 jun. 2022.

LIMA, C. S. M. *et al.* Qualidade pós-colheita de *Physalis* sob temperatura ambiente e refrigeração. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.3, p. 311-317, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000300002>. Acesso em: 24 jun. 2022.

LORENZO, J. M.; CARBALLO, J.; FRANCO, D. Effect of the inclusion of chestnut in the finishing diet on volatile compounds of dry-cured ham from Celta pig breed. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 12, n. 11, 2013. Disponível em: [https://10.1016/S2095-3119\(13\)60638-3](https://10.1016/S2095-3119(13)60638-3). Acesso em: 22 jun. 2022.

LORENZO J. M. *et al.* Berries extracts as natural antioxidants in meat products: a review. **Food Research International**, v. 106, p. 1095-1104, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.005>. Acesso em: 22 jun. 2022.

LOURENÇO, S. C.; MOLDÃO-MARTINS, M.; ALVES, V. D. Antioxidants of natural plant origins: from sources to food industry applications. **Molecules**, v. 24, p. 1-25, 2019. Disponível em: <https://10.3390/molecules24224132>. Acesso em: 14 jun. 2022.

LU, L. *et al.* Theoretical investigation on the antioxidative activity of anthocyanidins: a DFT/B3LYP study. **Dyes and Pigments**, v. 103, p. 175-182, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dyepig.2013.12.015>. Acesso em: 14 jun. 2022.

LUCHESE, C. L. *et al.* Valorisation of blueberry waste and use of compression to manufacture sustainable starch films with enhanced properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 115, p. 955-960, 2018. Disponível em: <https://10.1016/j.ijbiomac.2018.04.162>. Acesso em: 27 jun. 2022.

- LUCHESE, C. L.; GURAK, P. D.; MARCZAK, L. D. F. Osmotic dehydration of physalis (*Physalis peruviana* L.): evaluation of water loss and sucrose incorporation and the quantification of carotenoids. **LWT - Food Science and Technology**, v. 63, p. 1128-1136, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.060>. Acesso em: 25 jun. 2022.
- LUND, M. N.; RAY, C. A. Control of Maillard reactions in foods: strategies and chemical mechanisms. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, p. 4537-4552, 2017. Disponível em: <https://10.1021/acs.jafc.7b00882>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- MADAIL, J. C. M.; SANTOS, A. M. Aspectos econômicos. In: RASEIRA, M. C. B.; ANTUNES, E. C. (ed.) **A cultura do mirtilo**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. p. 63-69. Disponível em: [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPACT/9476/1/documento\\_121.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPACT/9476/1/documento_121.pdf). Acesso em: 27 jun. 2022.
- MAR, J. M. *et al.* Encapsulation of amazonian blueberry juices: evaluation of bioactive compounds and stability. **LWT - Food Science and Technology**, v. 124, p. 1-8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109152>. Acesso em: 22 jun. 2022.
- MARAN, J. P; MANIKANDAN, S. Response surface modeling and optimization of process parameters for aqueous extraction of pigments from prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit. **Dyes and Pigments**, 95, p. 465-472, 2012. Disponível em: <https://10.1016/j.dyepig.2012.06.007>. Acesso em: 25 mai. 2022.
- MARIEM, C. *et al.* Antioxidant and antimicrobial properties of the extracts from *Nitraria retusa* fruits and their applications to meat product preservation. **Industrial Crops and Products**, v. 55, p. 295–303, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.036>. Acesso em: 23 jun. 2022.
- MARTÍN-GÓMEZ, J. *et al.* Influence of drying processes on anthocyanin profiles, total phenolic compounds and antioxidant activities of blueberry (*Vaccinium corymbosum*). **LWT - Food Science and Technology**, v. 120, 108931, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108931>. Acesso em: 27 jun. 2022.
- MINEKUS, M. *et al.* A standardised static in vitro digestion method suitable for food – an international consensus. **Food and Function**, v. 5, p. 1113–1124, 2014. Disponível em: <https://10.1039/c3fo60702j>. Acesso em: 24 jun. 2022.
- MOHAMMED, S.; EDNA, M.; SIRAJ, K. The effect of traditional and improved solar drying methods on the sensory quality and nutritional composition of fruits: a case of mangoes and pineapples. **Heliyon**, v. 6, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04163>. Acesso em: 13 jun. 2022.
- MOKHTAR, S. M., SWAILAM, H. M., EMBABY, H. E-S. Physicochemical properties, nutritional value and techno-functional properties of goldenberry (*Physalis peruviana*) waste powder concise title: composition of goldenberry juice waste. **Food Chemistry**, v. 248, p. 1-7, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.117>. Acesso em: 26 jun. 2022.

MOREIRA, G. C. *et al.* Phenolic compounds and photosynthetic activity in *Physalis angulata* L. (*Solanaceae*) in response to application of abscisic acid exogenous. **Phytochemistry Letters**, v. 40, p. 96–100, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2020.09.018>. Acesso em: 07 jun. 2022.

MOREIRA, G. C. DIAS, F. de. Mixture design and Doehlert matrix for optimization of the ultrasonic assisted extraction of caffeic acid, rutin, catechin and trans-cinnamic acid in *Physalis angulata* L. and determination by HPLC DAD. **Microchemical Journal**, v. 141, p. 247-252, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.04.035>. Acesso em: 07 jun. 2022.

MOUTINHO, D.; FILIPE, J.; CABRAL, R. **A cultura de Physalis**. Caderno Técnico: Portugal, 2020. Disponível em: [http://inforcna.pt/Media/Files/2019122\\_Vt89CadernoTecnico.pdf](http://inforcna.pt/Media/Files/2019122_Vt89CadernoTecnico.pdf). Acesso em: 27 jun. 2022.

MUNEKATA, P. E. S. *et al.* Cruciferous vegetables as sources of nitrate in meat products. **Current Opinion in Food Science**, v. 40, p. 1-7, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.021>. Acesso em: 16 jun. 2022.

MUNIZ, J. *et al.* General aspects of physalis cultivation. **Ciência Rural**, v.44, n.6, p. 964-970, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014005000006>. Acesso em: 27 jun. 2022.

MUNIZ, J. **Sistemas de condução e espaçamentos para o cultivo de physalis (*Physalis peruviana* L.) no planalto catarinense**. 2011. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2011.

MUNIZ, J.; MOLINA, A. R.; MUNIZ, J. *Physalis*: panorama produtivo e econômico no Brasil. **Horticultura Brasileira.**, v. 33, n.2, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620150000200023>. Acesso em: 27 jun. 2022.

MURAOKA JÚNIOR, M. *et al.* Substitution of synthetic antioxidant by curcumin microcrystals in mortadella formulations. **Food Chemistry**, v. 300, p. 1-7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125231>. Acesso em: 16 jun. 2022.

NAGWEKAR, N. N.; TIDKE, V. B.; THORAT, B. N. Seasonal nutritional food security to indian women through community-level implementation of domestic solar conduction dryer. **Ecology of Food and Nutrition**, v. 59, n. 5, p. 525-551, 2020. Disponível em: <https://10.1080/03670244.2020.1752686>. Acesso em 13 jun. 2022.

NARVÁEZ-CUENCA, C. E.; MATEUS-GÓMEZ, A.; RESTREPO-SÁNCHEZ, L. P. Antioxidant capacity and total phenolic content of air-dried cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) at different ripeness stages. **Agronomía Colombiana**, v. 32, n. 2, p. 232-237, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n2.43731>. Acesso em: 02 jun. 2022.

NASCIMENTO, R. S. do *et al.* The purification of pectin from commercial fruit flours results in a jaboticaba fraction that inhibits galectin-3 and colon cancer cell growth. **Food Research**



**International**, v. 137, p. 1-8, 2020. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109747>. Acesso em: 27 jun. 2022.

NAYAK, B.; LIU, R. H.; TANG, J. Effect of processing on phenolic antioxidants of fruits, vegetables, and grains - a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, n.7, p. 887-918, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.654142>. Acesso em: 15 jun. 2022.

NEMZER, B. *et al.* Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. **Food Chemistry**, v. 262, p. 242-250, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.047>. Acesso em: 21 jun. 2022.

NERI-NUMA, I. A. *et al.* Natural prebiotic carbohydrates, carotenoids and flavonoids as ingredients in food systems. **Current Opinion in Food Science**, v. 33, p. 98–107, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.03.004>. Acesso em: 12 jun. 2022.

NGAMWONGLUMLERT, L. *et al.* Plant carotenoids evolution during cultivation, postharvest storage, and food processing: a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, p. 1561–1604, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12564>. Acesso em: 11 jun. 2022.

NGAMWONGLUMLERT, L.; DEVAHASTIN, L. Carotenoids. *In*: MELTON, L., SHAHIDI, F.; VARELIS, P. (org.), **Encyclopedia of Food Chemistry**, Elsevier, 2019. p. 40-52. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21608-9>. Acesso em: 27 jun. 2022.

NGAMWONGLUMLERT, L.; DEVAHASTIN, S.; CHIEWCHAN, N. Natural colorants: pigment stability and extraction yield enhancement via utilization of appropriate pretreatment and extraction methods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 5, p. 3243-3259, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1109498>. Acesso em: 27 jun. 2022.

NIKMARAM, N. *et al.* Application of plant extracts to improve the shelf-life, nutritional and health-related properties of ready-to-eat meat products. **Meat Science**, v. 145, p. 245-255, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.031>. Acesso em: 15 jun. 2022.

NUNES, L. N. *et al.* Germination eco-physiology and emergence of *Physalis peruviana* seedlings. **Journal of Agricultural Science and Technology B**, v. 8, p. 352-359, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.17265/2161-6264/2018.06.002>. Acesso em: 26 jun. 2022.

NÚÑEZ-GÓMEZ, D. *et al.* Optimization of acid mine drainage remediation with central composite rotatable design model. **Energy Procedia**, v. 136, p. 233-238, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.248>. Acesso em: 27 jun. 2022.

OLIVARES-TENORIO, M-L. *et al.* Evaluating the effect of storage conditions on the shelf life of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 80, p. 523-530, 2017a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.027>. Acesso em: 26 jun. 2022.

- OLIVARES-TENORIO, M-L. *et al.* Thermal stability of phytochemicals, HMF and antioxidant activity in cape gooseberry (*Physalis peruviana L.*). **Journal of Functional Foods**, v. 32, p. 46-57, 2017b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2017.02.021>. Acesso em: 06 nov. 2022.
- OLIVEIRA, S. F. *et al.* Physical properties of *Physalis peruviana L.* **Open Agriculture**, v. 1, p. 55-59, 2016. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1515/opag-2016-0007>. Acesso em: 13 jun. 2022.
- OROIAN, M.; ESCRICHE, I. Antioxidants: characterization, natural sources, extraction and analysis. **Food Research International**, v. 74, p. 10-36, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.018>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- OSAWA, C. C.; GONÇALVES, L. A. G.; RAGAZZI, S. Titulação potenciométrica aplicada na determinação de ácidos graxos livres de óleos e gorduras comestíveis. **Química Nova**, v. 29, n. 3, p. 593-599, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000300031>. Acesso em: 25 jun. 2022
- OSWELL, N. J.; THIPPAREDDI, H.; PEGG, R. B. Practical use of natural antioxidants in meat products in the U.S.: a review. **Meat Science**, v. 145, p. 469-479, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.07.020>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- OSZMIANSKI, J.; WOJDYŁO, A.; LACHOWICZ, S. Effect of dried powder preparation process on polyphenolic content and antioxidant activity of blue honeysuckle berries (*Lonicera caerulea L. var. kamtschatica*). **LWT - Food Science and Technology**, v. 67, p. 214-222, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.051>. Acesso em: 12 jun. 2022.
- PAP, N. *et al.* Berry polyphenols and human health: evidence of antioxidant, anti-inflammatory, microbiota modulation, and cell-protecting effects. **Current Opinion in Food Science**, v. 38, p. 167–186, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.003>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- PAPUC, C. *et al.* Comparative study of the influence of hawthorn (*Crataegus monogyna*) berry ethanolic extract and butylated hydroxyanisole (BHA) on lipid peroxidation, myoglobin oxidation, consistency and firmness of minced pork during refrigeration. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, p. 1346–1361, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8599>. Acesso em: 23 jun. 2022.
- PARDI, M. C. *et al.* **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. Goiânia: Editora da UFG, 2007. v. 2. 1152 p.
- PATEIRO, M. *et al.* Application of essential oils as antimicrobial agents against spoilage and pathogenic microorganisms in meat products. **International Journal of Food Microbiology**, v. 337, p. 1-13, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108966>. Acesso em: 16 jun. 2022.
- PEREDA, M. S. B.; NAZARENO, M. A.; VITURRO, C. I. Nutritional and antioxidant properties of *Physalis peruviana L.* fruits from the Argentinean Northern Andean Region.

**Plant Foods for Human Nutrition**, v. 74, p. 68–75, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0702-1>. Acesso em: 06 jun. 2022.

PEREIRA, A. L. F. *et al.* Antioxidant effect of mango seed extract and butylated hydroxytoluene in bologna-type mortadella during storage. **Food Science and Technology**, v. 31, n. 1, p. 135-140, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000100019>. Acesso em: 18 jun. 2022.

PERTUZATTI, P. B. *et al.* Antimicrobial activity and differentiation of anthocyanin profiles of rabbiteye and highbush blueberries using HPLC–DAD–ESI–MSn and multivariate analysis. **Journal of Functional Foods**, 26, p. 506-516, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.07.026>. Acesso em: 27 jun. 2022.

PERTUZATTI, P. B. *et al.* Antioxidant activity of hydrophilic and lipophilic extracts of Brazilian blueberries. **Food Chemistry**, v.164, p. 81–88, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.114>. Acesso em: 27 jun. 2022.

PERTUZATTI, P. B. *et al.* Phenolics profiling by HPLC-DAD-ESI-MSn aided by principal component analysis to classify Rabbiteye and Highbush blueberries. **Food Chemistry**, 340, p. 1-10, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127958> Acesso em: 17 jun. 2022.

PESCIE, M.A. *et al.* Absorption, distribution and accumulation of nitrogen applied at different phenological stages in southern highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum interspecific hybrid*). **Scientia Horticultura**, v. 230, p. 11-17, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.005>. Acesso em: 27 jun. 2022.

PEŠIĆ, M. B. *et al.* In vitro digestion of meat- and cereal-based food matrix enriched with grape extracts: how are polyphenol composition, bioaccessibility and antioxidant activity affected? **Food Chemistry**, v. 284, p. 28–44, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.107>. Acesso em: 27 jun. 2022.

PIRES, M. A. *et al.* Effect of replacing pork backfat with Echium oil on technological and sensory characteristics of bologna sausages with reduced sodium content. **LWT - Food Science and Technology**, v. 109, p. 47-54, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.009>. Acesso em: 27 jun. 2022.

PIRES, M. A. *et al.* Improving the lipid profile of bologna type sausages with Echium (*Echium plantagineum L.*) oil and chia (*Salvia hispanica L.*) flour. **LWT - Food Science and Technology**, v. 119, p. 1-6, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108907>. Acesso em: 16 jun. 2022.

PIRES, M. A. *et al.* The effect of sodium reduction on the microstructure, texture and sensory acceptance of Bologna sausage. **Food Structure**, v. 14, p. 1–7, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foostr.2017.05.002>. Acesso em: 21 jun. 2022.

POULOSE, S. M. *et al.* Protective effects of blueberry- and strawberry diets on neuronal stress following exposure to 56-Fe particles. **Brain Research**, 1593, p. 9-18, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.brainres.2014.10.028>. Acesso em: 27 jun. 2022.

PRIATKOVÁ, L.; HLAVÁČOVÁ, Z.; KERTÉSZ, Á. Hunter colour determination of blueberry cultivars. **Journal of Food Physics**, v. 23, p. 18-21, 2010. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/235707636\\_Hunter\\_Colour\\_Determination\\_of\\_Blueberry\\_Cultivars](https://www.researchgate.net/publication/235707636_Hunter_Colour_Determination_of_Blueberry_Cultivars). Acesso em: 27 jun. 2022.

PRIOR, R. L. *et al.* Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium* species. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.46, n. 7, p. 2686-2693, 1998. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf980145d?rand=u4ga1qat&>. Acesso em: 27 jun. 2022.

PRIOR, R. L.; WU, X.; SCHAICH, K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 4290-4302, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf0502698>. Acesso em: 27 jun. 2022.

PRUCHNIK, H. *et al.* Application of the DSC and spectroscopy methods in the analysis of the protective effect of extracts from the blueberry fruit of the genus *Vaccinium* in relation to the lipid membrane. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 134, p.679–689, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7493-3>. Acesso em: 23 jun. 2022.

PUENTE, L. A. *et al.* *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: a review. **Food Research International**, v. 44, p. 1733–1740, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.034>. Acesso em: 27 jun. 2022.

PUENTE, L. *et al.* Effects of drying methods on the characterization of fatty acids, bioactive compounds and antioxidant capacity in a thin layer of physalis (*Physalis peruviana* L.) pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 4, p. 1470–1479, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04659-0>. Acesso em: 27 jun. 2022.

RAMADAN, M. F. Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): an overview. **Food Research International**, v. 44, p. 1830–1836, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.042>. Acesso em: 27 jun. 2022.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. 599 p.

RATHER, S. A. *et al.* Advances in use of natural antioxidants as food additives for improving the oxidative stability of meat products. **Madridge Journal of Food Technology**, v. 1, p. 10-17, 2016. Disponível em: <https://10.18689/mjft-1000102>. Acesso em: 14 jun. 2022.

RE, R. *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 26, n. 9/10, p. 1231–1237, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3). Acesso em: 21 jun. 2022.

REBELLATO, A. P. *et al.* Static in vitro digestion methods for assessing essential minerals in processed meat products. **Food Research International**, v. 155, p. 1-8, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111121>. Acesso em: 01 jun. 2022.

REITZNEROVÁ, A. *et al.* Lipid peroxidation process in meat and meat products: a comparison study of malondialdehyde determination between modified 2-thiobarbituric acid spectrophotometric method and reverse-phase high-performance liquid chromatography. **Molecules**, v. 22, p. 1-12, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules22111988>. Acesso em: 27 jun. 2022.

RENAUD, O.; VICTORIA-FESER, M-P. A robust coefficient of determination for regression. **Journal of Statistical Planning and Inference**, 140, p. 1852 - 1862, 2010. Disponível em: <https://10.1016/j.jspi.2010.01.008>. Acesso em: 27 jun. 2022.

REQUE, P. M. *et al.* Characterization of blueberry fruits (*Vaccinium spp.*) and derived products. **Food Science and Technology**, v. 34, n. 4, p. 773-779, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6470>. Acesso em: 27 jun. 2022.

RESENDE, L. M.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. Buriti (*Mauritia flexuosa L. f.*) fruit by-products flours: evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. **Food Chemistry**, v. 270, p. 53–60, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.079>. Acesso em: 27 jun. 2022.

RETAMALES, J. B.; HANCOCK, J. F. **Blueberries**. 2nd edition. Boston, MA: CABI, 2018.

RIBEIRO, D. *et al.* Antioxidant and pro-oxidant activities of carotenoids and their oxidation products. **Food and Chemical Toxicology**, 120, p. 681-699, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.07.060>. Acesso em: 22 jun. 2022.

RIBEIRO, J. S. *et al.* Natural antioxidants used in meat products: a brief review. **Meat Science**, v. 148, p. 181-188, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.10.016>. Acesso em: 22 jun. 2022.

RIEL, G. *et al.* Effects of parsley extract powder as an alternative for the direct addition of sodium nitrite in the production of mortadela-type sausages – impact on microbiological, physicochemical and sensory aspects. **Meat Science**, 131, p. 166-175, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.05.007>. Acesso em: 16 jun. 2022.

RIOS-MERA, J. D. *et al.* Advances and gaps in studies on healthy meat products and their relationship with regulations: The Brazilian scenario. **Trends in Food Science & Technology**, v. 110, p. 833–840, 2021a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.092>. Acesso em: 27 jun. 2022.

RIOS-MERA, J. D. *et al.* Modification of NaCl structure as a sodium reduction strategy in meat products: an overview. **Meat Science**, v. 174, p. 1-8, 2021b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108417>. Acesso em: 27 jun. 2022.

ROCHA, F. I. G. da. **Avaliação da cor e da atividade antioxidante da polpa e extrato de mirtilos (*Vaccinium myrtillus*) em pó**. 2009. Dissertação. (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington, DC, USA: International Life Sciences Institute (ILSI) Press, 1999.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Quantitative analysis, in vitro assessment of bioavailability and antioxidant activity of food carotenoids e a review. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, p. 726-740, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.03.008>. Acesso em: 27 jun. 2022.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **Harvestplus Handbook for Carotenoid Analysis**. Washington: HarvestPlus, 2004.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. **Fontes brasileiras de carotenoides**: tabela brasileira de composição de carotenoides em alimentos. Brasília: MMA/SBF, 2008. 100 p. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf\\_agrobio/\\_publicacao/89\\_publicacao09032009113306.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_agrobio/_publicacao/89_publicacao09032009113306.pdf). Acesso em: 27 jun. 2022.

ROMANO, A. Lentil flour: nutritional and technological properties, in vitro digestibility and perspectives for use in the food industry. **Current Opinion in Food Science**, v. 40, p. 157–167, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.04.003>. Acesso em: 15 jun. 2022.

RORATTO, T. B. *et al.* An innovative hybrid-solar-vacuum dryer to produce high-quality dried fruits and vegetables. **LWT - Food Science and Technology**, v. 140, p. 1-11, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110777>. Acesso em: 13 jun. 2022.

ROUTRAY, W; ORSAT, V. Blueberries and their anthocyanins: factors affecting biosynthesis and properties. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 10, p. 303 – 320, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00164.x>. Acesso em: 27 jun. 2022.

ROWLES, J. L.; ERDMAN Jr, J. W. Carotenoids and their role in cancer prevention. **BBA - Molecular and Cell Biology of Lipids**, v. 1865, p. 1-9, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2020.158613>. Acesso em: 27 jun. 2022.

RUFATO, A. de R. *et al.* **A cultura da Physalis**. Série fruticultura – pequenas frutas. CAV UDESC, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/108653/1/RUFATO-Cultura-Physalis.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2022.

RUFINO, M. S. M.; BRITO, E. S. B.; ALVES, R. E. Ensaio *in vitro* de determinação da atividade antioxidante: captura do radical livre ABTS<sup>+</sup>, captura do radical livre DPPH e poder de redução do ferro (FRAP). *In*: GRANATO, D.; NUNES, D. S. (org). **Análises químicas, propriedades funcionais e controle da qualidade de alimentos e bebidas**: uma abordagem teórico-prática. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. p. 289-308.

SAAVEDRA, J. del C. M. *et al.* Agromorphological characterization of wild and weedy populations of *Physalis angulata* in Mexico. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 86–94, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.055>. Acesso em: 20 jun. 2022.

- SADEGHINEJAD, N. *et al.* Pistachio green hull extract as a natural antioxidant in beef patties: effect on lipid and protein oxidation, color deterioration, and microbial stability during chilled storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 102, p. 393-402, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.060>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- SAGRIN, M. S.; CHONG, G. H. Effects of drying temperature on the chemical and physical properties of *Musa acuminata Colla* (AAA Group) leaves. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 430-434, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.12.036>. Acesso em: 17 jun. 2022.
- SAINI, R. K.; NILE, S. H.; PARK, S. W. Carotenoids from fruits and vegetables: chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. **Food Research International**, v. 76, p. 735-750, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.047>. Acesso em: 08 jun. 2022.
- SALEHI, F.; AGHAJANZADEHB, S. Effect of dried fruits and vegetables powder on cakes quality: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 95, p. 162-172, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.011>. Acesso em: 27 jun. 2022.
- SANG-NGERN, M. *et al.* Withanolides derived from *Physalis peruviana* (Poha) with potential anti-inflammatory activity. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, v. 26, p. 2755-2759, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bmcl.2016.04.077>. Acesso em: 27 jun. 2022.
- SANTOS, A. M. dos S.; RASEIRA, M. do C. B. **Cultivo do mirtilo**. Documentos EMBRAPA ISSN 1516-8840: Pelotas, 2002. 17 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/32395/1/documento-96.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2022.
- SANTOS-BUELGA, C.; GONZÁLEZ-PARAMÁS, A. M. Anthocyanins. **Encyclopedia of Food Chemistry**, p. 10-21, 2019. Disponível em: <https://10.1016/B978-0-08-100596-5.21609-0>. Acesso em: 27 jun. 2022.
- SANTOS JUNIOR, A. C. do. *et al.* Physicochemical composition, lipid oxidation, and microbiological quality of ram mortadella supplemented with *Smilax sonchifolius* meal. **Food Science and Nutrition**, v. 8, p. 5953-5961, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/fsn3.1880>. Acesso em: 26 jun. 2022.
- SCHMIDT, H. de O. *et al.* New insights into the phenolic compounds and antioxidant capacity of feijoa and cherry fruits cultivated in Brazil. **Food Research International**, v. 136, p. 1-13, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109564>. Acesso em: 27 jun. 2022.
- SCHMIDT, S. J.; FONTANA, A. J. Jr. Water Activity Values of Select Food Ingredients and Products. In: BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. *et al.* (org). **Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications**. 1 ed., 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781118765982.app5>. Acesso em: 27 jun. 2022.
- SCHOTSMANS, W.; MOLAN, A.; MACKAY, B. Controlled atmosphere storage of rabbiteye blueberries enhances postharvest quality aspects. **Postharvest Biology and Technology**, v. 44,

p. 277–285, 2007. Disponível em: <https://doi:10.1016/j.postharvbio.2006.12.009>. Acesso em: 05 jun. 2022.

SEERAM, N. P. *et al.* Blackberry, black raspberry, blueberry, cranberry, red raspberry, and strawberry extracts inhibit growth and stimulate apoptosis of human cancer cells in vitro. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 54, p. 9329-9339, 2006. Disponível em: <https://10.1021/jf061750g>. Acesso em: 25 jun. 2022.

SEO, H-S. *et al.* Children's liking and wanting of foods vary over multiple bites/sips of consumption: a case study of foods containing wild blueberry powder in the amounts targeted to deliver bioactive phytonutrients for children. **Food Research International**, 131, p. 108981, 2020. Disponível em: <https://10.1016/j.foodres.2020.10898>. Acesso em: 27 jun. 2022.

SERAGLIO, S. K. T. *et al.* Development and validation of a LC-ESI-MS/MS method for the determination of phenolic compounds in honeydew honeys with the diluted and shoot approach. **Food Research International**, v. 87, p. 60-67, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.06.019>. Acesso em: 27 jun. 2022.

SEVERO, J. *et al.* Avaliação de compostos fenólicos, antocianinas, vitamina C e capacidade antioxidante em mirtilo armazenado em atmosfera controlada. **Brazilian Journal of Food Technology**, II SSA, 2009.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects - a review. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 820–897, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SHARIF, I. *et al.* Microwave pretreatment and optimization of osmotic dehydration of wild blueberries using response surface methodology. **Food Chemistry**, 269, p. 300 - 310, 2018. Disponível em: <https://10.1016/j.foodchem.2018.06.087>. Acesso em: 27 jun. 2022.

SHEN, X. *et al.* Antimicrobial effect of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) extracts against the growth of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella Enteritidis*. **Food Control**, v. 35, p. 159-165, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.06.040>. Acesso em: 24 jun. 2022.

SHI M., *et al.* Blueberry as a source of bioactive compounds for the treatment of obesity, type 2 diabetes and chronic inflammation. **Journal of Functional Foods**, 30, p. 16–29, 2017. Disponível em: [10.1016/j.jff.2016.12.036](https://10.1016/j.jff.2016.12.036). Acesso em: 27 jun. 2022.

SHIN, D. M. *et al.* Effect of swiss chard (*Beta vulgaris* var. *cicla*) as nitrite replacement on color stability and shelf life of cooked pork patties during refrigerated storage. **Korean Journal for Food Science and Animal Resources**, 37, p. 418-428, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.3.418>. Acesso em: 22 jun. 2022.

SHUKITT-HALE, B. *et al.* Beneficial effects of fruit extracts on neuronal function and behavior in a rodent model of accelerated aging. **Neurobiology of Aging**, 28, p. 1187–94, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2006.05.031>. Acesso em: 27 jun. 2022.



SIDDIQ, M. *et al.* Effect of pectinolytic and cellulolytic enzymes on the physical, chemical, and antioxidant properties of blueberry (*Vaccinium corymbosum L.*) juice. **LWT - Food Science and Technology**, 92, p. 127-132, 2018. Disponível em: <https://10.1016/j.lwt.2018.02.008>. Acesso em: 30 jul. 2021.

SILVA, D. F. da *et al.* Light spectrum on the quality of fruits of physalis species in subtropical area. **Bragantia**, v. 75, n. 3, p. 1-6, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.463>. Acesso em: 28 jun. 2022.

SILVA, D. T. da *et al.* Natural deep eutectic solvent (NADES) -based blueberry extracts protect against ethanol-induced gastric ulcer in rats. **Food Research International**, v. 138, p. 1-12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109718>. Acesso em: 16 jun. 2022.

SILVA, J. S. da *et al.* Is it possible to reduce the cooking time of mortadellas using ultrasound without affecting their oxidative and microbiological quality? **Meat Science**, v. 159, p. 1-7, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107947>. Acesso em: 27 jun. 2022.

SILVESTRE, F. K. *et al.* Análise do teor de sódio em rótulos de mortadelas comercializadas no Brasil. **Revista do Instituto Adolfo Lutz.**, v. 74, n. 3, p. 239-246, 2015.

SIMÕES, C. M. O. *et al.* **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 6ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2007. 1102 pag.

SINGH, D. B. *et al.* Growth and developmental changes of cape gooseberry (*Physalis peruviana L.*) fruits. **The Asian Journal of Horticulture**, v. 7, n. 2, p. 374-378, 2012.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, p. 144-158, 1965.

SIOC. Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas. **Cadena de la Uchuva**. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Colômbia, 2019. Disponível em: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales%20UCHUVA.pdf#search=uchuva>. Acesso em: 27 jun. 2022.

SKROVANKOVA, S. *et al.* Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, p. 24673-24706, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms161024673>. Acesso em: 15 jun. 2022.

SMAOUI, S. *et al.* Recent advancements in encapsulation of bioactive compounds as a promising technique for meat preservation. **Meat Science**, v. 181, 108585, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108585>. Acesso em: 27 jun. 2022.

SOQUETTA M. B. *et al.* Characterization of physicochemical and microbiological properties, and bioactive compounds, of flour made from the skin and bagasse of kiwi fruit (*Actinidia*

*deliciosa*). **Food Chemistry**, v. 199, p. 471–478, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.022>. Acesso em: 27 jun. 2022.

SOUZA, V. R. de. *et al.* Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. **Food Chemistry**, v.156, p. 362–368, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.125>. Acesso em: 27 jun. 2022.

SRIDHAR, R. *et al.* Development of model for treatment of pulp and paper industry bleaching effluent using response surface methodology. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, 31, n.4, p. 558 – 565, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ep.10581>. Acesso em: 27 jun. 2022.

SRIWICHAI, T. *et al.* Aromatic profiling of *Zanthoxylum myriacanthum* (makwhaen) essential oils from dried fruits using different initial drying techniques. **Industrial Crops & Products**, v. 133, p. 284-291, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.031>. Acesso em: 13 jun. 2022.

SUMAN, S. P. *et al.* Factors influencing internal color of cooked meats. **Meat Science**, v. 120, p. 133–144, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.006>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SUMAN, S. P.; JOSEPH, P. Myoglobin chemistry and meat color. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 4, p. 79–99, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030212-182623>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SUN, C. *et al.* Processing, quality, safety, and acceptance of meat analogue products. **Engineering**, v. 7, p. 674–678, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.10.011>. Acesso em: 22 jun. 2022.

SUN, X-H. *et al.* Antibacterial effect and mechanism of anthocyanin rich Chinese wild blueberry extract on various foodborne pathogens. **Food Control**, v. 94, p. 155–161, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.012>. Acesso em: 27 jun. 2022.

TAGLIANI, C. *et al.* Blueberry pomace, valorization of an industry by-product source of fibre with antioxidant capacity. **Food Science and Technology**, v. 39, n.3, p. 644-651, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/fst.00318>. Acesso em: 10 jun. 2022.

TAMKUTÉ, L. *et al.* Effect of cranberry pomace extracts isolated by pressurized ethanol and water on the inhibition of food pathogenic/spoilage bacteria and the quality of pork products. **Food Research International**, v. 120, p. 38–51, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.02.025>. Acesso em: 23 jun. 2022.

TAN, S. *et al.* The effects of drying methods on chemical profiles and antioxidant activities of two cultivars of *Psidium guajava* fruits. **LWT - Food Science and Technology**, v. 118, p. 1-7, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108723>. Acesso em: 13 jun. 2022.

TEIXEIRA, A.; RODRIGUES, S. Consumer perceptions towards healthier meat products. **Current Opinion in Food Science**, v. 40, p.147–154, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.12.004>. Acesso em: 16 jun. 2022.

TERRA, N. N.; CICHOSKI, A. J.; FREITAS, R. J. S. de. Valores de nitrito e TBARS durante o processamento e armazenamento da paleta suína curada, maturada e fermentada. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 965-970, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000300037>. Acesso em: 25 jun. 2022.

THARISE, N.; JULIANTI, E.; NURMINAH, M. Evaluation of physico-chemical and functional properties of composite flour from cassava, rice, potato, soybean and xanthan gum as alternative of wheat flour. **International Food Research Journal**, v.21, n.4, p. 1641-1649, 2014. Disponível em: [http://www.ifrj.upm.edu.my/21%20\(04\)%202014/53%20IFRJ%2021%20\(04\)%202014%20Julianti%20706.pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/21%20(04)%202014/53%20IFRJ%2021%20(04)%202014%20Julianti%20706.pdf). Acesso em: 19 jun. 2022.

TÜRCK, P. *et al.* Blueberry extract decreases oxidative stress and improves functional parameters in lungs from rats with pulmonary arterial hypertension. **Nutrition**, 70, 110579, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2019.110579>. Acesso em: 16 jun. 2022.

TURGUT, S. S.; İŞIKÇI, F.; SOYER, A. Antioxidant activity of pomegranate peel extract on lipid and protein oxidation in beef meatballs during frozen storage. **Meat Science**, v. 129, p. 111–119, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.02.019>. Acesso em: 15 jun. 2022.

URSACHI, C. S.; PERTA-CRISAN, S.; MUNTEANU, F-D. Strategies to improve meat products' quality. **Foods**, v. 9, 1883, 2020. Disponível em: <https://10.3390/foods9121883>. Acesso em: 22 jun. 2022.

USDA. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Food Data Central, **Blueberries and others berries**, 2020. Disponível em: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/1102702/nutrients>. Acesso em: 27 jun. 2022.

VAITHIYANATHAN, S. *et al.* Effect of dipping in pomegranate (*Punica granatum*) fruit juice phenolic solution on the shelf life of chicken meat under refrigerated storage (4 °C). **Meat Science**, v.88, p. 409-414, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.01.019>. Acesso em: 23 jun. 2022.

VASCO, C.; RUALES, J.; KAMAL-ELDIN, A. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. **Food Chemistry**, v. 111, p. 816-823, 2008. Disponível em: <https://10.1016/j.foodchem.2008.04.054>. Acesso em: 18 jun. 2022.

VEGA-GÁLVEZ, A. *et al.* Assessment of quality parameters and microbial characteristics of Cape gooseberry pulp (*Physalis peruviana L.*) subjected to high hydrostatic pressure treatment. **Food and Bioprocess Processing**, v. 97, p. 30–40, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2015.09.008>. Acesso em: 13 jun. 2022.

VELASQUEZ, H. J. C. *et al.* Estudio preliminar de la resistencia mecânica a la fractura y fuerza de firmeza para fruta de uchuva (*Physalis peruviana L.*). **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín.**, v. 60, n.1, p.3785-3796, 2007. Disponível em:

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0304-28472007000100011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472007000100011&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 27 jun. 2022.

VERCRUYSSSE, L.; CAMP, J. V.; SMAGGHE, G. ACE inhibitory peptides derived from enzymatic hydrolysates of animal muscle protein: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 8106-8115, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/jf0508908>. Acesso em: 27 jun. 2022.

VETTER, L. W. *et al.* Opportunities and challenges of organic Highbush blueberry production in Washington State. **Hort Technology**, v. 25, n. 6, p. 796-804, 2015. Disponível em: <http://horttech.ashspublishings.org/>. Acesso em: 27 jun. 2022.

VIECELLI, P. S. *et al.* *Physalis angulata* reduces the progression of chronic experimental periodontitis by immunomodulatory mechanisms. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 273, 113986, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.113986>. Acesso em: 22 jun. 2022.

WANG, B. C.; HE, R.; LI, Z. M. The stability and antioxidant activity of anthocyanins from blueberry. **Food Technology and Biotechnology**, v. 48, n. 1, p. 42-49, 2010. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/file/74733>. Acesso em: 09 ago. 2022.

WANG, H. *et al.* Comparison of phytochemical profiles, antioxidant and cellular antioxidant activities of different varieties of blueberry (*Vaccinium spp.*). **Food Chemistry**, 217, p. 773 - 781, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.002>. Acesso em: 27 jun. 2022.

WANG, Q. *et al.* Quality evaluation and drying kinetics of shitake mushrooms dried by hot air, infrared and intermittent microwave-assisted drying methods. **LWT - Food Science and Technology**, v. 107, p. 236-242, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.020>. Acesso em: 27 jun. 2022.

WATANABE, H. S.; OLIVEIRA, S. L. de. Comercialização de frutas exóticas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, n.1, p. 23-38, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-443/13>. Acesso em: 27 jun. 2022.

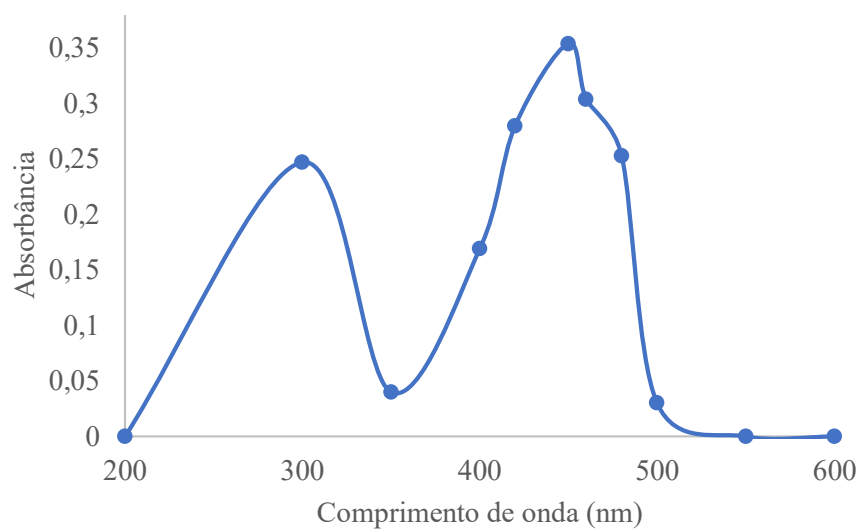
WEI, Y. *et al.* Exploring the biochemical properties of three polyphenol oxidases from blueberry (*Vaccinium corymbosum L.*). **Food Chemistry**, v. 344, p. 1-10, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128678>. Acesso em: 28 jun. 2022.

WEN, X. *et al.* Physicochemical characteristics and phytochemical profiles of yellow and red *Physalis* (*Physalis alkekengi L.* and *P. pubescens L.*) fruits cultivated in China. **Food Research International**, v. 120, p. 389–398, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.002>. Acesso em: 21 jun. 2022.

WIPO. WIPO IP PORTAL. **IPC Publication**. 2022. Disponível em: <https://ipcpub.wipo.int/?notion=scheme&version=20220101&symbol=none&menulang=en&lang=en&viewmode=f&fipcp=no&showdeleted=yes&indexes=no&headings=yes&notes=yes&direction=o2n&initial=A&cwid=none&tree=no&searchmode=smart>. Acesso em: 27 jun. 2022.

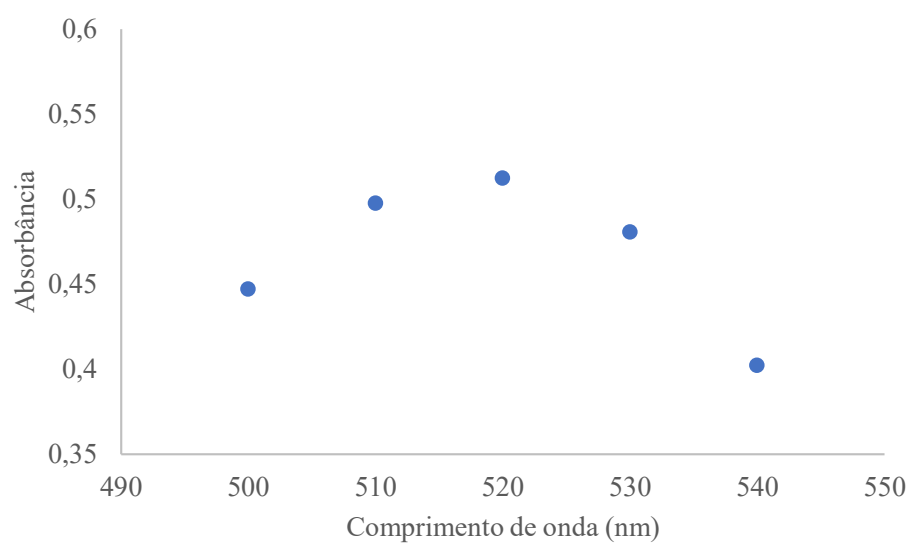
- WOJCIESZEK, J.; RUZIK, L. Operationally defined species characterization and bioaccessibility evaluation of cobalt, copper and selenium in Cape gooseberry (*Physalis Peruviana L.*) by SEC-ICP MS. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 34, p. 15–21, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtemb.2015.12.001>. Acesso em: 08 jun. 2022.
- WROLSTAD, R. E. Anthocyanin pigments - bioactivity and coloring properties. **Journal of Food Science**, v. 69, n.5, p. 419-421, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb10709.x>. Acesso em: 17 dez. 2020.
- WU, S-J. *et al.* Supercritical carbon dioxide extract of *Physalis peruviana* induced cell cycle arrest and apoptosis in human lung cancer H661 cells. **Food and Chemical Toxicology**, v. 47, p. 1132–1138, 2009. Disponível em: <https://10.1016/j.fct.2009.01.044>. Acesso em: 27 jun. 2022.
- YANGILAR, F. Effects of green banana flour on the physical, chemical and sensory properties of ice cream. **Food Technology and Biotechnology**, v. 53, n.3, pag. 315-323, 2015. Disponível em: <https://10.17113/ftb.53.03.15.3851>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- YILDIZ, G. *et al.* Physical and chemical characteristics of goldenberry fruit (*Physalis peruviana L.*). **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 4, p. 2320–2327, 2015. Disponível em: <https://10.1007/s13197-014-1280-3>. Acesso em: 13 jun. 2022.
- ZAHID, M. A. *et al.* Effects of clove extract on oxidative stability and sensory attributes in cooked beef patties at refrigerated storage. **Meat Science**, v. 161, p. 1-8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107972>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- ZHANG, J. *et al.* Evaluation of sugar and organic acid composition and their levels in highbush blueberries from two regions of China. **Journal of Integrative Agriculture**, v.19, n. 9, p. 2352–2361, 2020. Disponível em <https://10.15414/jmbfs.2015.4.special3.109-113>. Acesso em: 17 jun. 2022.
- ZHANG, Y. *et al.* Antioxidant phytochemicals for the prevention and treatment of chronic diseases. **Molecules**, v. 20, p. 21138–21156, 2015. Disponível em: <https://10.3390/molecules201219753>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- ZHANG, Y. *et al.* Low medium pH value enhances anthocyanin accumulation in malus crabapple leaves. **Plos one**, v. 9, n.6, e97904, 2014. Disponível em: <https://10.1371/journal.pone.0097904>. Acesso em: 19 jun. 2022.
- ZHISHEN, J.; MENGSHENG, T.; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and theirs scavenging effects on superoxide radicals. **Food Chemistry**, v. 64, p. 555–559, 1999.
- ZHOU, H. *et al.* Effect of fermented blueberry on the oxidative stability and volatile molecule profiles of emulsion-type sausage during refrigerated storage. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 33, n. 5, p. 812-824, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0094>. Acesso em: 13 set. 2022.

**APÊNDICE A - Espectro de absorvância do extrato de fisális entre os comprimentos de onda de 200 a 600 nm**



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

**APÊNDICE B - Espectro de absorbância do extrato de mirtilo entre os comprimentos de onda de 500 a 540 nm**



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

**APÊNDICE C - ANOVA e parâmetros estatísticos do modelo para extração de antocianinas e desenvolvimento de farinha de mirtilo**

<b>Fator</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Antocianinas mirtilo fresco</b>						
(x <sub>1</sub> ) Etanol (L)	44,116	30828,37	1	30828,37	16,07	0,001487
Etanol (Q)	-181,735	355778,50	1	355778,50	185,48	<0,00001
(x <sub>2</sub> ) pH (L)	-5,824	576,53	1	576,53	0,30	0,592819
pH (Q)	-57,228	44575,48	1	44575,48	23,24	0,000334
x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	12,250	1200,50	1	1200,50	0,63	0,443072
Falta de ajuste		10571,30	3	3523,77	1,84	0,190189
Erro puro		24936,00	13	1918,15		
Total SQ		424480,36	21			
Modelo	1567,798				74,90	< 0,001
<b>Antocianinas farinhas de mirtilo</b>						
(x <sub>1</sub> ) Temperatura (L)	-219,407	979087,49	1	979087,49	1277,89	<0,00001
Temperatura (Q)	128,060	259371,76	1	259371,76	338,53	<0,00001
(x <sub>2</sub> ) Tempo (L)	-56,386	78760,07	1	78760,07	102,80	<0,00001
Tempo (Q)	-156,103	377655,63	1	377655,63	492,91	<0,00001
x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	-54,608	42528,41	1	42528,41	55,51	<0,00001
Falta de ajuste		255106,66	3	85035,55	110,99	<0,00001
Erro puro		18388,19	24	766,17		
Total SQ		2754342,58	32			
Modelo	2552,794				453,50	< 0,0001
<b>Umidade farinhas de mirtilo</b>						
(x <sub>1</sub> ) Temperatura (L)	-1,42700	41,42	1	41,42	221,61	<0,00001
Temperatura (Q)	-0,49611	3,89	1	3,89	20,83	0,000126
(x <sub>2</sub> ) Tempo (L)	-0,40099	3,98	1	3,98	21,31	0,000110
Tempo (Q)	0,05037	0,04	1	0,04	0,21	0,650558
x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	-0,20235	0,58	1	0,58	3,12	0,089830
Falta de ajuste		3,07	3	1,02	5,47	0,005196
Erro puro		4,49	24	0,19		
Total SQ		76,14	32			
Modelo	12,98				87,90	< 0,0001

Fonte: Elaborada pela autora (2022).



**APÊNDICE D - ANOVA e parâmetros estatísticos do modelo para desenvolvimento de  
farinha de fisális**

<b>Fator</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<u>Carotenoides farinhas de fisális</u>						
(x <sub>1</sub> ) Temperatura (L)	-499,92	6059237,10	1	6059237,10	554,94	0,000000
Temperatura (Q)	106,77	199269,05	1	199269,05	18,25	0,000264
(x <sub>2</sub> ) Tempo (L)	-179,12	767695,49	1	767695,49	70,31	0,000000
Tempo (Q)	28,73	13819,60	1	13819,60	1,27	0,271705
x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	207,21	515211,09	1	515211,09	47,19	0,000000
Falta de ajuste		412364,39	3	137454,80	12,59	0,000038
Erro puro		262049,38	24	10918,72		
Total SQ		8216079,28	32			
Modelo	11276,26					
<u>Umidade farinhas de fisális</u>						
(x <sub>1</sub> ) Temperatura (L)	-2,084	105,33	1	105,33	1000,59	0,000000
Temperatura (Q)	-0,075	0,10	1	0,10	0,93	0,343793
(x <sub>2</sub> ) Tempo (L)	-0,466	5,19	1	5,19	49,33	0,000000
Tempo (Q)	0,357	2,14	1	2,14	20,31	0,000146
x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	0,065	0,05	1	0,05	0,48	0,494348
Falta de ajuste		5,97	3	1,99	18,91	0,000002
Erro puro		2,53	24	0,11		
Total SQ		121,82	32			
Modelo	11,96					

Fonte: Elaborada pela autora (2022).