



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

Victor Guilherme Sebastião

**CEREAL MATINAL COLORIDO NATURALMENTE UTILIZANDO FARINHAS DE
VEGETAIS**

Campinas, SP, Brasil

2021

VICTOR GUILHERME SEBASTIÃO

**CEREAL MATINAL COLORIDO NATURALMENTE UTILIZANDO FARINHAS DE
VEGETAIS**

Dissertação apresentada à Faculdade
Engenharia de Alimentos da
Universidade Estadual de Campinas
como parte dos requisitos exigidos para
a obtenção do título de MESTRE EM
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS.

Orientador (a): Profa. Dra. Caroline Joy Steel

ESTE TRABALHO CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO
VICTOR GUILHERME SEBASTIÃO, E ORIENTADO
PELA PROFESSORA CAROLINE JOY STEEL.

Campinas, SP, Brasil

2021

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Engenharia de Alimentos
Claudia Aparecida Romano - CRB 8/5816

Se21c Sebastião, Victor Guilherme, 1993-
Cereal matinal colorido naturalmente utilizando farinhas de vegetais / Victor
Guilherme Sebastião. – Campinas, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: Caroline Joy Steel.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade
de Engenharia de Alimentos.

1. Cereal matinal. 2. Pigmentos. 3. Processo de extrusão. 4. Antioxidantes.
5. Compostos fenólicos. I. Steel, Caroline Joy. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Naturally colored morning cereal using vegetable flours

Palavras-chave em inglês:

Breakfast cereals

Pigments

Extrusion process

Antioxidants

Phenolic compounds

Área de concentração: Tecnologia de Alimentos

Titulação: Mestre em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora:

Caroline Joy Steel [Orientador]

José Luis Ramirez Ascheri

Juliana Alves Macedo

Data de defesa: 23-03-2021

Programa de Pós-Graduação: Tecnologia de Alimentos

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0002-5216-6732>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/7718680749265598>

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Caroline Joy Steel

Orientadora

Prof. Dr. José Luis Ramírez Ascheri

Pesquisador da Embrapa Agroindústria de Alimentos (RJ)

Membro Titular

Profa. Dra. Juliana Alves Macedo

Universidade Estadual de Campinas

Membro Titular

A ata de defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação e Secretaria do Programa da Unidade.

*Aos meus pais Isaac e Mirna, que tanto admiro e amo,
dedico o resultado do esforço realizado ao longo
deste percurso.*

AGRADECIMENTOS

Ao Deus Pai, Filho e Espírito Santo por ter sido minha inspiração, estando comigo todos os dias e me dando todo respaldo necessário.

Aos meus pais Isaac e Mirna que compartilharam do meu sonho e proporcionaram auxílio e suporte durante esta jornada. À minha amada esposa Carolina Helena, por toda a paciência e amor me dividindo com a pesquisa e sempre me incentivando. Às minhas irmãs Janaina e Jessica, ao meu cunhado Luiz Paulo e a todos meus familiares pelo apoio.

Aos meus amigos que sempre acreditaram em mim e sempre me deram palavras de ânimo e de incentivo.

À Profa. Dra. Caroline por toda orientação, suporte, conhecimentos transferidos sempre sendo um grande exemplo de profissional.

À Dra. Ana Paula pela parceria e suporte no desenvolvimento do projeto.

À técnica do laboratório Izilda Santos, pelos treinamentos e auxílios fornecidos durante as atividades em laboratório.

À Ludmila, Aline e Ulliana pelas orientações no manuseio da extrusora.

Aos colegas de laboratório Ana Lídia, Jeferson, Adrielle, Gisela, Rebeca, Amanda, Michele, Guilherme pelo companheirismo de sempre.

Ao Daniel e à professora Juliana pela parceria e auxílio nas análises realizadas no Departamento de Alimentos e Nutrição (DEPAN).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), à Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA), em especial ao Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) pelo suporte institucional.

À banca de qualificação e à banca examinadora pelas contribuições, permitindo um enriquecimento para a qualidade do trabalho científico.

Muito obrigado!

RESUMO

A visão é um dos sentidos mais influentes em nossas decisões, o que nos leva a escolher ou não um alimento de acordo com as suas características visuais. Isto constantemente induz as indústrias de alimentos a utilizarem corantes como aditivos para intensificar a cor dos alimentos. Entretanto, a busca dos consumidores por uma alimentação mais saudável, próxima do natural, usando produtos que não contenham aditivos químicos em sua composição, tem sido uma realidade crescente do mercado alimentício. Além de saudabilidade, os consumidores também estão à procura por alimentos práticos, de rápido preparo ou prontos para o consumo, cujo processamento não afete o meio ambiente. Assim, o aproveitamento de diferentes vegetais na produção dos alimentos é uma excelente alternativa para agregar valor nutricional aos produtos processados e, simultaneamente, evitar o desperdício. Além dos vegetais possuírem diferentes nutrientes também são ricos em pigmentos naturais como clorofilas, carotenoides e betalaínas, que além de conferirem cor, possuem funções bioativas benéficas, como capacidade antioxidante. O cereal matinal é uma excelente alternativa para quem busca praticidade, e tem adquirido um diferente perfil devido à incorporação de ingredientes funcionais em sua composição, o que proporciona seu enriquecimento nutricional. A extrusão termoplástica é uma das tecnologias utilizadas para a produção de cereais matinais, que possui vantagens como versatilidade de produtos obtidos, baixo custo de produção com alto rendimento, e pela não geração de resíduos industriais. Sendo assim, este trabalho avaliou a aplicabilidade de farinhas de vegetais (cenoura, espinafre e beterraba), ricos em pigmentos naturais, no processo de extrusão termoplástica para obtenção de cereal matinal colorido à base de quirera de arroz. Os vegetais utilizados foram escolhidos devido à classificação de “vegetais não aptos para a comercialização no varejo”, pelos seus aspectos indesejáveis de tamanho e formato. Esses vegetais foram processados a fim de se obter farinhas de cenoura (FC), espinafre (FE), e beterraba (FB), para a utilização como ingredientes em cereais matinais. As matérias-primas foram caracterizadas quanto à composição centesimal (teor de cinzas, proteínas, lipídios, fibras totais, carboidratos digeríveis e umidade), conteúdo de minerais (ferro, zinco, cálcio, e magnésio), fenólicos totais e atividade antioxidante (DPPH). Para a elaboração dos cereais coloridos foi utilizada uma mistura de quirera de arroz (QA) com as farinhas dos vegetais (FC, FE e FB) (90:10). Os cereais obtidos foram avaliados quanto às suas propriedades físicas (expansão, densidade, dureza, *bowl-life* e cor), tecnológicas (índice de absorção e solubilidade em água), e nutricionais (composição centesimal, conteúdo de minerais, fenólicos totais, e atividade antioxidante). As farinhas dos vegetais mostraram-se como uma excelente alternativa

para conferir cor, e podem ser utilizados como ingredientes para agregar valor nutricional e funcional nos produtos extrusados. Os cereais CFE e CFC apresentaram maiores teores de fibras totais, assim como exibiram maiores conteúdos de cálcio. CFB apresentou maior teor de ferro, zinco, fenólicos totais e atividade antioxidante, quando comparado aos demais cereais. Todos os cereais apresentaram atividade antioxidante e teor de fenólicos maior do que o cereal controle (CQA). A utilização das farinhas de vegetais afetou a estrutura física e as características tecnológicas dos cereais, evidenciadas pelo aumento da densidade, redução da expansão, diminuição da dureza nos cereais secos, e também uma maior interação com a água presente no leite em condições de consumo. Contudo, a utilização de farinhas de vegetais como ingredientes na elaboração de cereais extrusados coloridos naturalmente mostrou-se promissora para o desenvolvimento de produtos de maior valor agregado.

Palavras-chave: Cereal matinal, pigmentos, processo de extrusão, antioxidantes, compostos fenólicos.

ABSTRACT

Vision is one of the most influential senses in our decisions, which leads us to choose or not a food according to its visual characteristics. This constantly induces the food industries to use dyes as additives to enhance the color of foods. However, the search for consumers for a healthier food, closer to natural, using products that do not contain chemical additives in their composition, has been a growing reality in the food market. In addition to healthiness, consumers are also looking for practical, fast-prepared or ready-to-eat foods whose processing does not affect the environment. Thus, the use of different vegetables in the production of food is an excellent alternative to add nutritional value to processed products and, simultaneously, avoid waste. In addition to vegetables having different nutrients, they are also rich in natural pigments such as chlorophylls, carotenoids and betalains, which in addition to providing color, have beneficial bioactive functions such as antioxidant capacity. Breakfast cereals are an excellent alternative for those looking for practicality, and have acquired a different profile due to the incorporation of functional ingredients in their composition, which provides their nutritional enrichment. Thermoplastic extrusion is one of the technologies used for the production of breakfast cereals, which has advantages such as the versatility of products obtained, low production cost with high yield, and the non-generation of industrial waste. Therefore, this work evaluated the applicability of vegetable flours (carrots, spinach and beets), rich in natural pigments, in the thermoplastic extrusion process to obtain a colorful breakfast cereal based on broken rice. The vegetables used were chosen due to the classification of “vegetables not apt for commercialization in markets”, due to their undesirable aspects of size and shape. These vegetables were processed to obtain carrot (FC), spinach (FE), and beet (FB) flours, for use as ingredients in breakfast cereals. The raw materials were characterized in terms of their centesimal composition (ash content, protein, lipids, total fibers, digestible carbohydrates and moisture), mineral content (iron, zinc, calcium, and magnesium), total phenolics and antioxidant activity (DPPH) . For the preparation of colored cereals, a mixture of broken rice (QA) with vegetable flours (FC, FE and FB) (90:10) was used. The obtained cereals were evaluated for their physical properties (expansion, density, hardness, bowl-life and color), technological (absorption index and water solubility), and nutritional (centesimal composition, mineral content, total phenolics, and activity antioxidant). Vegetable flours showed to be an excellent alternative to imparting color, and can also be used as ingredients to add nutritional and functional value to extruded products. CFE and CFC cereals showed higher levels of total fibers, as well as higher calcium content. CFB showed higher content of iron, zinc, total

phenolics and antioxidant activity, when compared to the other cereals. All cereals had higher antioxidant activity and phenolics content than the control cereal (CQA). The use of vegetable flours affected the physical structure and technological characteristics of the cereals, evidenced by increase density, reduction in expansion, decrease in hardness in dry cereals, and also a greater interaction with the water present in milk under consumption conditions. However, the application of vegetable flours as ingredients in the production of naturally colored extruded cereals has shown to be promising for the development of greater added-value products.

Key words: Breakfast cereals, pigments, extrusion process, antioxidants, phenolic compounds.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. VEGETAIS COLORIDOS	21
FIGURA 2. ESTRUTURA DOS PRINCIPAIS CAROTENOIDES	22
FIGURA 3. LIGAÇÃO CABEÇA-CAUDA E ESTRUTURA DO ISOPRENO.....	23
FIGURA 4. ANEL PIRROL.....	24
FIGURA 5. ESTRUTURA DAS PORFIRINAS	24
FIGURA 6. ESTRUTURA DA CLOROFILA A.....	25
FIGURA 7. ESTRUTURA DA CLOROFILA B.....	25
FIGURA 8. FONTES DE BETACIANINAS.....	26
FIGURA 9. FONTES DE BETAXANTINAS.....	27
FIGURA 10. FÓRMULA GERAL DAS BETALAÍNAS.....	27
FIGURA 11. FÓRMULA DA BETANIDINA E BETANINA	27
FIGURA 12. EXTRUSORA DUPLA ROSCA.....	32
FIGURA 13. FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE OBTENÇÃO DAS FARINHAS DE VEGETAIS.....	38
FIGURA 14. FLUXOGRAMA DO PROCESSAMENTO DOS CEREAIS MATINAIS	38
FIGURA 15. PROCESSAMENTO DAS CENOURAS (FC).....	40
FIGURA 16. PROCESSAMENTO DOS ESPINAFRES (FE)	40
FIGURA 17. PROCESSAMENTO DAS BETERRABAS (FB)	40
FIGURA 18. CONFIGURAÇÃO DA ROSCA	46
FIGURA 19. VEGETAIS IN NATURA.....	50
FIGURA 20. VEGETAIS SECOS	50
FIGURA 21. FARINHAS DOS VEGETAIS RECÉM PRODUZIDA	54
FIGURA 22. FARINHA DE VEGETAIS APÓS O ARMAZENAMENTO	54
FIGURA 23. PROPRIEDADES DE PASTA DA QA	57
FIGURA 24. CEREAIS EXTRUSADOS EXPANDIDOS	59

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. ENSAIOS PARA O PROCESSO DE EXTRUSÃO	45
TABELA 2. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA QUIRERA DE ARROZ E DAS FARINHAS DE VEGETAIS	51
TABELA 3. CONTEÚDO DE MINERAIS DA QUIRERA DE ARROZ E DAS FARINHAS DE VEGETAIS	52
TABELA 4. GRANULOMETRIA DA QUIRERA DE ARROZ E DAS FARINHAS DE VEGETAIS	53
TABELA 5. COR INSTRUMENTAL DAS FARINHAS DE VEGETAIS	55
TABELA 6. DADOS DE VISCOSIDADE DA QUIRERA DE ARROZ.....	56
TABELA 7. TEOR DE FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DA QA E DAS FARINHAS DE VEGETAIS	58
TABELA 8. DADOS EXPERIMENTAIS DE COR DOS EXTRUSADOS	60
TABELA 9. CARACTERÍSTICAS DOS EXTRUSADOS.....	61
TABELA 10. ÍNDICE DE ABSORÇÃO (IAA) E DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA) DOS EXTRUSADOS	62
TABELA 11. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DOS CEREAIS EXTRUSADOS	63
TABELA 12. CONTEÚDO DE MINERAIS DOS CEREAIS EXTRUSADOS.	64
TABELA 13. TEOR DE FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE NOS EXTRUSADOS	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

QA: Quirera de arroz

FC: Farinha de cenoura

FE: Farinha de espinafre

FB: Farinha de beterraba

CQA: Cereal extrusado somente de quirera de arroz

CFC: Cereal com farinha de cenoura

CFE: Cereal com farinha de espinafre

CFB: Cereal com farinha de beterraba

Fe: Ferro

Zn: Zinco

Ca: Cálcio

Mg: Magnésio

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
2.	OBJETIVOS.....	18
2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1	INFLUÊNCIA DA COR NOS ALIMENTOS	19
3.1.1	CORANTES UTILIZADOS EM ALIMENTOS.....	19
3.1.2	PIGMENTOS NATURAIS.....	20
3.1.2.1	Carotenoides.....	21
3.1.2.2	Clorofilas.....	24
3.1.2.3	Betalainas	26
3.2	INCORPORAÇÃO DE VEGETAIS EM ALIMENTOS PROCESSADOS.....	28
3.3	EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA.....	30
3.4	CEREAIS MATINAIS EXTRUSADOS EXPANDIDOS	33
3.5	CEREAIS MATINAIS FUNCIONAIS.....	34
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1	MATÉRIAS-PRIMAS	37
4.2	ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO.....	37
4.3	OBTENÇÃO DAS FARINHAS DE VEGETAIS	39
4.4	CARACTERIZAÇÃO DAS FARINHAS.....	41
4.4.1	Composição centesimal	41
4.4.2	Conteúdo de minerais (Fe, Zn, Ca, Mg)	41
4.4.3	Granulometria.....	41
4.4.4	Cor instrumental	42
4.4.5	Propriedades de pasta das farinhas (RVA)	42
4.4.6	Extração de fenólicos.....	42
4.4.7	Fenólicos totais.....	43
4.4.8	Atividade antioxidante (DPPH).....	43
4.5	PROCESSO DE EXTRUSÃO	44
4.5.1	Preparo dos mixes de farinhas	45
4.5.2	Parâmetros do processo de extrusão	45
4.5.3	Pós-extrusão	46
4.6	PROPRIEDADES FÍSICAS E TECNOLÓGICAS DOS PRODUTOS EXTRUSADOS	46
4.6.1	Cor instrumental	47

4.6.2	Índice de expansão.....	47
4.6.3	Densidade aparente.....	47
4.6.4	Atividade de água (Aw).....	47
4.6.5	Dureza	47
4.6.6	Bowl-life.....	48
4.6.7	Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA)	48
4.7	PROPRIEDADES NUTRICIONAIS E FUNCIONAIS DOS PRODUTOS EXTRUSADOS.....	48
4.7.1	Composição centesimal	49
4.7.2	Conteúdo de minerais (Fe, Zn, Ca, Mg)	49
4.7.3	Extração dos compostos fenólicos.....	49
4.7.4	Fenólicos totais	49
4.7.5	Atividade antioxidante (DPPH).....	49
4.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA	49
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1	CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DAS FARINHAS DE VEGETAIS.....	50
5.1.1	Composição centesimal	50
5.1.2	Conteúdo de minerais	52
5.1.3	Granulometria.....	53
5.1.4	Cor instrumental	54
5.1.5	Propriedades de pasta da quirera de arroz (QA)	56
5.1.6	Fenólicos totais e atividade antioxidante (DPPH) das farinhas de vegetais e da quirera.....	57
5.2	CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS CEREAIS EXTRUSADOS.....	58
5.2.1	Propriedades físicas dos extrusados.....	59
5.2.1.1	Cor instrumental.....	59
5.2.1.2	Índice de expansão, densidade, dureza e bowl-life	60
5.2.1.3	Índice de absorção e de solubilidade em água dos extrusados	61
5.2.2	Propriedades nutricionais dos cereais extrusados	62
5.2.2.1	Composição centesimal e atividade de água dos extrusados.....	62
5.2.2.2	Conteúdo de minerais dos produtos extrusados	64
5.2.2.3	Fenólicos totais e atividade antioxidante (DPPH) nos extrusados	65
6.	CONCLUSÃO	67
7.	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	67
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1. INTRODUÇÃO

A sociedade atual tem cada vez mais adotado um estilo de vida acelerado que expõe, principalmente nos centros urbanos, as pessoas a uma série de fatores prejudiciais à saúde. O consumo de dietas desequilibradas, inadequadas, somado à falta de tempo e a um ritmo de vida estressante, têm resultado em sérios problemas na saúde, como diabetes, obesidade, colesterol alto, hipertensão, entre outros. Tal fato tem favorecido à busca dos consumidores por alimentos convenientes, práticos, saudáveis, saborosos, mais próximos do natural, que venham, além de suprir as necessidades básicas, desempenhar funções benéficas no organismo humano (ITAL, 2014, 2020; INNOVA MARKET INSIGHTS, 2019; ZEGLER *et al.*, 2020).

A conscientização dos consumidores na escolha dos alimentos tem aumentado devido ao maior acesso à informação (NUNES *et al.*, 2020; ZEGLER *et al.*, 2020). Além da busca por produtos alimentícios que estejam associados a benefícios no organismo humano, pela presença em sua composição de nutrientes ou não nutrientes, os consumidores também tem se atentado para todo o processo de desenvolvimento do alimento, inclusive aqueles que causam menor impacto na natureza pela redução da geração de resíduos (INNOVA MARKET INSIGHTS, 2019). A utilização de grãos inteiros, a incorporação de vegetais e frutas em sua forma integral ou como extratos, pós/farinhas, bem como o aproveitamento de resíduos vegetais na produção de alimentos, tem sido alternativas promissoras para agregar valor nutricional aos alimentos processados (ITAL, 2020). Essas matérias-primas (grãos de cereais, frutas e outros vegetais), possuem uma composição rica em fibras, compostos bioativos, pigmentos naturais, entre outros, que estão ligados a diferentes funções benéficas no sistema fisiológico do ser humano, incluindo propriedades antioxidantes (ITAL, 2020; PIMENTEL *et al.*, 2019).

É importante salientar que, além das propriedades nutricionais, os aspectos visuais dos alimentos influenciam muito na aceitação ou rejeição pelos consumidores (BARRETT *et al.*, 2020; WADHERA & CAPALDI-PHILLIPS, 2014). A aparência dos alimentos nem sempre está ligada com o seu conteúdo nutricional, porém o aspecto visual é uma das formas que os consumidores analisam a qualidade dos alimentos processados (RAMANI *et al.*, 2020). Além dos consumidores estarem optando por produtos saudáveis, também estão à procura de alimentos com características visuais atrativas, pois além da aparência estar atrelada à qualidade do produto, também está associada à sensação de prazer em consumi-lo (DIAS *et al.*, 2012; INNOVA MARKET INSIGHTS, 2019).

Dessa forma, as indústrias alimentícias estão enfrentando cada dia novos desafios para colorir de forma natural os produtos alimentícios, evitando assim o uso de aditivos, a fim

de manter o aspecto de saudabilidade e as propriedades mais próximas do natural possível (QUIROGA, 2016). As diferentes tecnologias utilizadas no processamento de alimentos, como esterilização comercial, processo de secagem, extrusão termoplástica, entre outras, podem alterar a propriedade antioxidante de compostos fenólicos, flavonoides, pigmentos naturais, afetando negativamente a composição dos produtos alimentícios (BRASIL, 2014; FELLOWS, 2006). Alternativas que irão permitir a estabilidade do conteúdo nutricional dos alimentos, bem como as melhores condições de processamento tem sido almejada pelas indústrias que procuram produtos saudáveis mais próximos do natural (GUPTA *et al.*, 2019; ROY *et al.*, 2004; ZHANG *et al.*, 2018).

Dentre os alimentos processados, os extrusados, como o cereal matinal, aparecem como uma excelente escolha para o desenvolvimento de novos produtos com valor agregado (CAMIRE *et al.*, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2018). O processo de extrusão é caracterizado por não gerar resíduos para o meio ambiente, por outro lado, as variáveis envolvidas no processo de extrusão como altas temperaturas, alta pressão, umidade, e velocidade da rosca, podem influenciar a estabilidade de vitaminas, compostos fenólicos e inclusive dos pigmentos naturais presentes nesses produtos (STEEL *et al.*, 2012). Compreender a influência dos parâmetros de extrusão na estabilidade de pigmentos naturais e outros componentes bioativos presentes nas matérias-primas utilizadas no processo de extrusão é importante para encontrar as condições ideais de processamento e, dessa forma, permitir uma maior retenção do conteúdo nutricional, resultando assim em um produto saudável com qualidade sensorial atrativa (DURGE *et al.*, 2013; SAMPAIO, 2017).

Produzir um extrusado colorido naturalmente utilizando combinações de farinhas, obtidas a partir de vegetais com características visuais não atrativas para a comercialização e, evitar assim seu desperdício, como grãos quebrados de arroz (quirera de arroz), proveniente do processo de beneficiamento do arroz de baixo valor para o mercado, pode resultar em um novo produto colorido naturalmente com maior funcionalidade, devido às recentes descobertas científicas sobre compostos bioativos, composição nutricional, funcional e presença de pigmentos naturais cujas propriedades funcionais fisiológicas (como suas propriedades antioxidante) são vinculadas à prevenção de doenças e problemas degenerativos (ANUNCIACÃO *et al.*, 2017; CAMIRE *et al.*, 2007; NAYAK *et al.*, 2011; UTAMA-ANG *et al.*, 2017).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um cereal matinal, colorido naturalmente, à base de quirera de arroz (QA) e farinhas de vegetais como cenoura (FC), espinafre (FE), e beterraba (FB), utilizando o processo de extrusão termoplástica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar farinhas a partir de vegetais com características visuais indesejáveis para comercialização no varejo (cenoura, espinafre, beterraba) que são fontes de pigmentos naturais, como carotenoides, clorofilas e betalaínas, respectivamente;
- Caracterizar as farinhas de vegetais (FC, FE, FB) e a quirera de arroz (QA), segundo a sua composição nutricional (proteínas, lipídios, cinzas, carboidratos digeríveis, fibras totais e umidade), granulometria, cor instrumental, conteúdo de minerais (Fe, Zn, Ca e Mg), compostos fenólicos totais e atividade antioxidante;
- Verificar as propriedades de pasta (RVA) na quirera de arroz;
- Ajustar os parâmetros de extrusão, como taxa de alimentação, configuração da rosca, velocidade de rotação da rosca, temperatura nas quatro zonas da extrusora, e o tamanho da matriz de saída;
- Produzir quatro formulações de produto extrusado (1º somente com QA - controle); (2º QA + FC; 3º QA + FE; 4º QA + FB, na proporção de 90:10), para produzir cereais matinais nos tons de branco (controle), laranja, verde e vermelho/roxo;
- Avaliar os produto extrusado segundo as suas características físicas e tecnológicas (cor instrumental, índice de expansão radial, densidade aparente, atividade de água, índice de absorção e solubilidade em água, avaliação da dureza dos cereais secos e em condições de consumo – *Bowl Life*);
- Analisar suas propriedades funcionais, como o teor de fibras totais, o conteúdo de minerais (Fe, Zn, Ca e Mg), compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante dos cereais extrusados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 INFLUÊNCIA DA COR NOS ALIMENTOS

Os cinco sentidos – visão, olfato, paladar, audição e tato – fazem parte do nosso sistema sensorial, que envia as informações recebidas ao sistema nervoso central que, por sua vez, processa e analisa as informações recebidas (MØLLER, 2003a). Dentre os cinco sentidos, as cores que percebemos através de nossa visão, estão ligadas a vários aspectos do dia a dia, e influenciam as nossas escolhas e decisões, ou seja, a aceitação ou rejeição por determinado produto (BARRETT *et al.*, 2020; MØLLER, 2003b; XU *et al.*, 2020).

Cerca de 87% das percepções dos sentidos humanos se dão pela visão, outros 9% pela audição e os 4% restantes pelo olfato, paladar e tato (INGREDIENTES, 2010; VOLP *et al.*, 2009). A cor dos alimentos exerce papel determinante na escolha deles, pois além da aparência estar relacionada à qualidade do produto, também está associada ao sentimento de satisfação e prazer ao consumi-los (BARRETT *et al.*, 2020; XU *et al.*, 2020). As indústrias de alimentos, com o objetivo de intensificar a cor e melhorar o aspecto visual dos seus produtos, mantendo a estabilidade durante o processamento e suas características durante a vida de prateleira, tem se preocupado com os aspectos visuais de seus produtos, o que as levam a fazer o uso de corantes como aditivos para realçar a cor (BRASIL, 2014; POLÔNIO & PERES, 2009; PRADO & GODOY, 2003; QUIROGA, 2016).

3.1.1 Corantes utilizados em alimentos

Corantes alimentares são classificados como aditivos que têm a capacidade de conferir, intensificar ou restaurar a cor de um produto, sendo adicionados intencionalmente aos alimentos, sem o propósito de nutrir. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), no seu Informe Técnico nº 68, de 3 de setembro de 2015, classifica os corantes como: “corante orgânico natural” (aqueles obtidos a partir de vegetal, ou eventualmente, de animal, cujo princípio corante tenha sido isolado com o emprego de processo tecnológico adequado), “corante orgânico sintético” (aqueles obtidos por síntese orgânica mediante o emprego de processo tecnológico adequado), “corante artificial” (corantes orgânicos sintéticos não encontrados em produtos naturais), “corante orgânico sintético idêntico ao natural” (são os corantes orgânicos sintéticos cuja estrutura química é semelhante à do princípio ativo isolado de corante orgânico natural), “corante inorgânico” (aqueles obtidos a partir de substâncias minerais e submetidos a processos de elaboração e purificação adequados para sua utilização

em alimentos), “corante caramelo 150b, 150c, 150d” (o corante natural obtido pelo aquecimento de açúcares à temperatura superior ao ponto de fusão ou pelo processo da amônia). A classe de aditivos que conferem cor aos alimentos é utilizada em larga escala pela indústria, dentro dos limites estabelecidos pela legislação, e quando utilizados, devem ser especificados no rótulo (BRASIL, 2015).

As vantagens e desvantagens da aplicação dos diferentes tipos de corantes podem variar de acordo com o processo tecnológico empregado e as características do próprio produto. O preço também varia muito de acordo com o seu mecanismo de extração (GRUMEZESCU & HOLBAN, 2018). A maioria dos corantes artificiais apresentam alto poder corante, custo relativamente baixo, uniformidade na cor, maior estabilidade em diferentes condições de processamento, como temperatura, pH, presença de oxigênio, exposição à luz (FENNEMA *et al.*, 2010). Entretanto, o consumo de corantes artificiais tem gerado uma série de estudos e questionamentos pelas possíveis relações com a ocorrência de reações adversas à saúde em curto e longo prazos (EL-NABARAWY *et al.*, 2015; MARTINS, 2015; POLÔNIO & PERES, 2009; PRADO & GODOY, 2003; QUIROGA, 2016). Dentre os principais efeitos nocivos à saúde podemos destacar reações alérgicas como urticárias, asma, efeito carcinogênico, tumoral, e até mesmo o aumento da hiperatividade em crianças (BIOCHEM *et al.*, 2019; FEKETEÁ & TSABOURI, 2017; RANDHAWA & BAHNA, 2009; WARD, 1997). Porém, o assunto ainda é muito controverso, o que torna necessário maiores pesquisas sobre o tema.

Devido aos possíveis efeitos nocivos à saúde, ocasionados pela ingestão de produtos coloridos artificialmente, os consumidores têm buscado substituir produtos que contenham corantes artificiais por aqueles coloridos naturalmente (CONSTANT *et al.*, 2002; EL-NABARAWY *et al.*, 2015; NUNES *et al.*, 2020; VOLP *et al.*, 2009).

3.1.2 Pigmentos naturais

Os pigmentos naturais podem ser encontrados em fontes de origem animal ou vegetal. Alimentos processados coloridos naturalmente por matrizes ricas em pigmentos naturais, remetem ao consumidor o aspecto de natural e saudável (NUNES *et al.*, 2020). Dentre as fontes de pigmentos naturais, os vegetais são ricos em pigmentos que, além de terem papel fundamental na cor (Figura 1), podem contribuir também com à saúde e o bem estar do ser humano devido as suas propriedades funcionais quando ingeridos na alimentação (MORAES, 2006; QUIROGA, 2016; ROCHA & REED, 2014).

Os pigmentos naturais apresentam menor estabilidade em condições adversas durante o processamento dos alimentos. Possuem custo mais elevado, e são mais suscetíveis à degradação em diferentes condições de pH, temperatura, presença de luz, oxigênio, variando a sua estabilidade de acordo com suas características estruturais (FENNEMA *et al.*, 2010). O fato desses compostos não estarem relacionados com possíveis riscos à saúde, é a principal justificativa para a sua utilização (ALBUQUERQUE *et al.*, 2020; GIES *et al.*, 2019; OTÁLORA *et al.*, 2019).

Figura 1. Vegetais coloridos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre os pigmentos naturais encontrados na natureza, em vegetais, destacam-se os carotenoides (encontrados em vegetais amarelos e laranjas), as clorofilas (responsáveis pela pigmentação verde), as betalaínas (responsáveis pela pigmentação roxa e vermelha), e as antocianinas (que variam da cor vermelha, rosa e até mesmo azul), cada um com suas respectivas características (CARLE & SCHWEIGGERT, 2016; SOCACIU, 2008).

Nessa revisão abordaremos algumas características importantes de três dos pigmentos naturais (carotenoides, clorofilas e betalaínas) encontrados em frutas e vegetais, e especificamente nas fontes que serão utilizadas para a produção das farinhas coloridas de cenoura, espinafre e beterraba.

3.1.2.1 Carotenoides

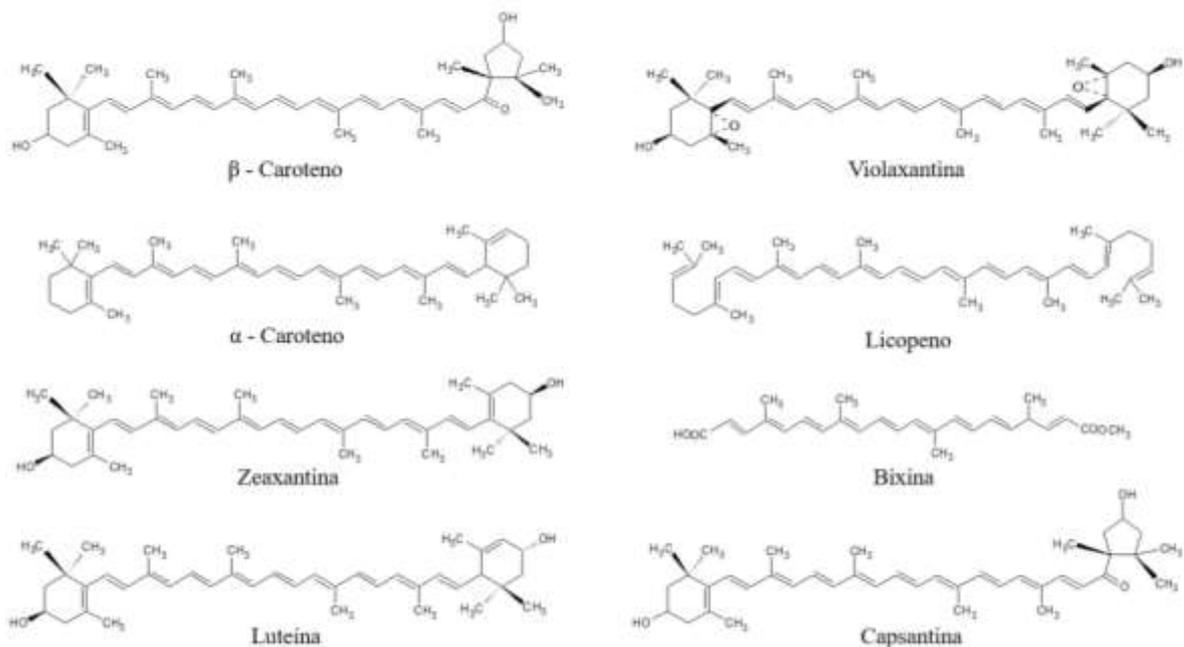
Os carotenoides formam um grupo de pigmentos naturais amplamente distribuídos na natureza. Podem ser encontrados em diversos vegetais de coloração amarela, laranja e vermelha

(por exemplo, melão, cenoura e morango), e também em produtos de origem animal, como ovos, lagostas, e alguns tipos de peixes (CARLE & SCHWEIGGERT, 2016).

Nos vegetais, são formados nos tecidos fotossintéticos e nos cloroplastos. As folhas verdes dos vegetais possuem clorofilas e carotenoides, porém a cor dos carotenoides é mascarada pela predominância das clorofilas. Quando as clorofilas se decompõem, com a senescência (processo de amadurecimento), os carotenoides são evidenciados pela coloração amarela e alaranjada persistente nas folhas e nos vegetais (FENNEMA *et al.*, 2010).

Já foram identificadas mais de 700 estruturas de carotenoides diferentes. Dentre os mais conhecidos e encontrados em maiores quantidades na natureza está, em primeiro lugar, o β -caroteno, seguido do α -caroteno, licopeno, zeaxantina, e outros derivados dos carotenoides como bixina, violaxantina e capsantina (RODRIGUEZ-AMAYA, 2019), cujas estruturas podem ser observadas na Figura 2. Os carotenoides possuem característica hidrofóbica, são insolúveis em água e altamente solúveis em solventes orgânicos apolares (DE ANDRADE *et al.*, 2018; MERCADANTE *et al.*, 2017).

Figura 2. Estrutura dos principais carotenoides

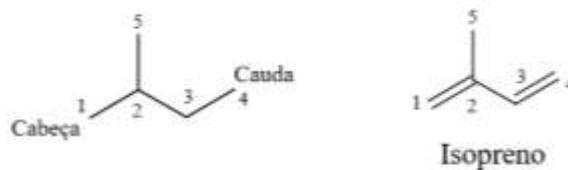


Fonte: Elaborado pelo autor.

A base estrutural do carotenoide é constituída por unidades de isopreno (hidrocarboneto insaturado), ligadas covalentemente na forma “cabeça-cauda” ou “cauda-cauda” (Figura 3), criando assim uma molécula simétrica, ou seja, uma longa cadeia alternada por duplas e simples

ligações formando o cromóforo (conjunto de átomos) na parte central da molécula. À medida que o sistema conjugado aumenta, ou seja, o número de duplas ligações, ocorre um aumento na intensidade da cor (vermelha). A maioria dos carotenoides encontrados na natureza são encontrados na forma de isômeros *trans*, e pequenas quantidades na forma de *cis*. Algumas estruturas contêm grupos cíclicos terminais, como o β -caroteno, enquanto outras possuem apenas uma ou nenhuma ciclização, como o licopeno (SOCACIU, 2008; FENNEMA *et al.*, 2010; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ *et al.*, 2020).

Figura 3. Ligação cabeça-cauda e estrutura do Isopreno



Fonte: FENEMMA *et al.* (2010).

Os carotenoides podem ser encontrados em diversas frutas e vegetais (VARGAS-MURGA *et al.*, 2016). Alguns exemplos notáveis são a cenoura (α e β -caroteno), o tomate (licopeno), a pimenta vermelha (capsantina), a abóbora e a moranga (β -caroteno), o milho (luteína e zeaxantina), e também a batata doce (β -caroteno). Cada qual exerce diferentes funções no organismo humano (CARLE & SCHWEIGGERT, 2016; SOCACIU, 2008).

Uma das principais funções dos carotenoides na dieta dos seres humanos é atuar como precursores de vitamina A, e também por sua capacidade antioxidante (GRUNE *et al.*, 2010; SALGADO *et al.*, 2017). O β -caroteno é o principal precursor com atividade de pró-vitamina A no grupo dos carotenoides, e exerce função importante na saúde dos olhos, prevenindo contra a catarata e a degeneração macular. Essa função está associada com a presença de anéis β -ionona em sua estrutura, o que os diferencia dos outros carotenoides que não possuem esses anéis (FENNEMA *et al.*, 2010). A presença desses compostos nos alimentos está associada também à prevenção de problemas como a aterosclerose (WOLAK & PARAN, 2013), diabetes (SLUIJS *et al.*, 2015), doenças cardiovasculares (KULCZYŃSKI *et al.*, 2017), e acidente vascular cerebral (AVC) (DAVOUDI-KIAKALAYEH *et al.*, 2017). As propriedades antioxidantes dos carotenoides podem evitar até mesmo certos tipos de câncer, como o de mama (HU *et al.*, 2012), e também o de próstata (ILIC & MISSO, 2012).

Devido às várias ligações duplas conjugadas, os carotenoides são suscetíveis à degradação e oxidação (RODRIGUEZ-AMAYA, 2019). A estabilidade dos carotenoides depende da exposição ao oxigênio, temperatura, luz, atividade enzimática, e acidez, que podem

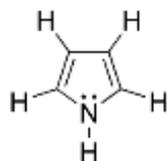
acelerar a sua oxidação e degradação, resultando na perda de cor e da atividade provitamina A. Por outro lado, esses tratamentos, quando aplicados de forma moderada, podem aumentar a biodisponibilidade dos carotenoides pelo rompimento das matrizes dos vegetais que os armazenam (BARBA *et al.*, 2017). A isomerização é a principal alteração que ocorre na estrutura dos carotenoides, permitindo assim que eles deixem a forma *trans* e adotem a forma *cis*, formando compostos como o 13-*cis*- β -caroteno, 9-*cis*- β -caroteno, o que pode ser evidenciado pela perda de cor (MELÉNDEZ-MARTÍNEZ *et al.*, 2020; RODRIGUEZ-AMAYA, 2019; SOCACIU, 2008).

3.1.2.2 Clorofilas

As clorofilas são os pigmentos mais abundantes na natureza. Localizadas e formadas nos cloroplastos das células vegetais, as clorofilas são as responsáveis pela pigmentação verde das plantas, vegetais, algas marinhas e até mesmo de alguns fungos e bactérias (LEVENT, 2017; SOCACIU, 2008).

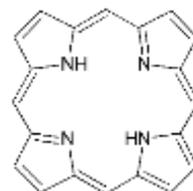
Possuem uma estrutura completamente insaturada macrocíclica tetrapirrólica (SENIGE *et al.*, 2014), ou seja, com quatro anéis pirrólicos (composto orgânico aromático insaturado - C_4H_5N), unidos por pontes metálicas (Figura 4), com quatro átomos de nitrogênio coordenados com um átomo de metal localizado no centro da molécula. Essa classe de moléculas orgânicas é chamada também de porfirinas (Figura 5). As porfirinas são precursoras cíclicas do tetrapirrol que dá origem a três grupos de moléculas, discriminados por seu estado de oxidação: porfirinas, di-hidroporfirinas e tetra-hidroporfirinas. Porfirinas reduzidas são di-hidroporfirinas, conhecidas coletivamente como clorofilas (BOBBIO & BOBBIO, 2003; CARLE & SCHWEIGGERT, 2016).

Figura 4. Anel pirrol



Fonte: FENEMMA *et al.* (2010).

Figura 5. Estrutura das porfirinas



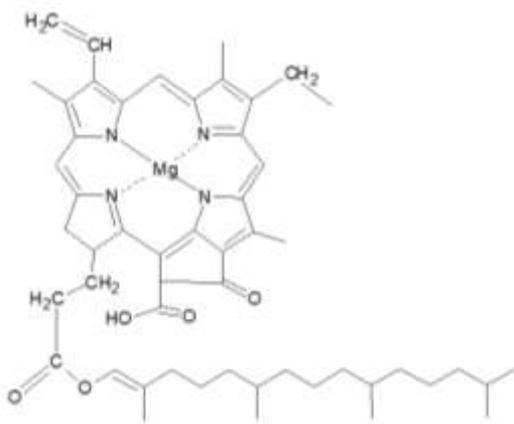
Fonte: BOBBIO & BOBBIO (2003).

As clorofilas são encontradas em diversas fontes na natureza. Em plantas e vegetais verdes podem ser encontradas como clorofilas α e β (as clorofilas α contêm um grupo metil, e as clorofilas β contêm um grupo formil) conforme ilustra as Figuras 6 e 7. Em algas marinhas

podemos encontrar clorofilas *c* e *d* (FENNEMA *et al.*, 2010). Praticamente todos os vegetais possuem diferentes quantidades de clorofila, porém as principais fontes que se destacam pelo seu alto teor, principalmente de clorofila α e β , são o espinafre, o brócolis, a couve, o repolho verde, o alface, as ervilhas e o feijão verde (LEVENT, 2017).

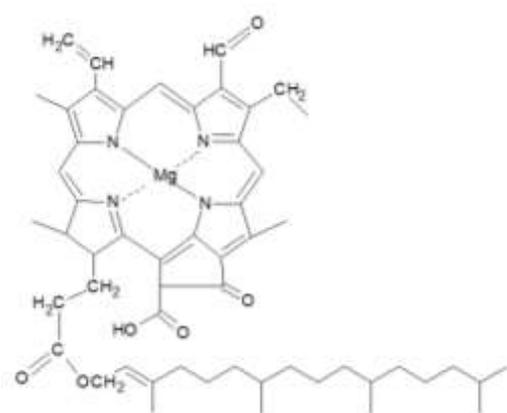
As clorofilas possuem uma grande parte hidrofílica (macromolécula tetrapirrol), e uma parte hidrofóbica (C_{17} e grupo ácido) (SOCACIU, 2008). Em geral, as clorofilas são instáveis e sensíveis à luz, ao aquecimento, e à exposição ao oxigênio. As alterações que podem ocorrer na estrutura das clorofilas são ocasionadas pela ação de enzimas como a clorofilase, que proporciona a perda do íon metálico no centro da molécula (LEVENT, 2017). Essa mudança estrutural, que será evidenciada pela perda da cor verde característica, pode ocorrer em soluções que contenham água, álcool ou acetona, e também pode ser ativada pelo calor (HÖRTENSTEINER & KRÄUTLER, 2011). A feofitina e a pirofeofitina são os principais produtos resultantes da oxidação da clorofila, e irão proporcionar a alteração da cor verde viva para a cor verde amarronzada. A adição de sais de cloreto de sódio, magnésio ou cálcio em vegetais sob aquecimento diminui a formação de feofitina, impedindo a degradação da clorofila e estabilizando a sua cor (FENNEMA *et al.*, 2010).

Figura 6. Estrutura da clorofila α



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 7. Estrutura da clorofila β



Fonte: Elaborado pelo autor.

A estabilidade das clorofilas nos alimentos é muito importante, pois além de possuírem propriedades antioxidantes (BARROS *et al.*, 2017; CHIOCHETTA *et al.*, 2018), possuem átomo de magnésio no centro na molécula (CARLE & SCHWEIGGERT, 2016). Além desses benefícios, as clorofilas também estão associadas ao fortalecimento do sistema imunológico, auxiliando até mesmo na cicatrização (SOCACIU, 2008). Também podem prevenir certos tipos

de câncer, como o de cólon (BLUM *et al.*, 2003), e o efeito tumoral no organismo causado pelo estresse oxidativo (FERRUZZI & BLAKESLEE, 2007; HAYES & FERRUZZI, 2020). Outro importante efeito no organismo do ser humano é a redução do risco de problemas como a obesidade pela regulação da microbiota intestinal (LI *et al.*, 2019). Mais pesquisas vêm sendo realizadas para avaliar as diferentes aplicabilidades das clorofilas nos alimentos, e suas respectivas funções benéficas, assim como a bioacessibilidade desses pigmentos.

3.1.2.3 Betalaínas

As betalaínas são um grupo de pigmentos naturais encontrados e armazenados nos vacúolos das células das plantas e vegetais da ordem *Caryophyllales*, como, por exemplo, à beterraba vermelha e alguns tipos de flores (SOCACIU, 2008). Por possuir cores semelhantes às plantas e vegetais que contêm antocianinas (outra classe de pigmento natural), na literatura antiga eram conhecidas como antocianinas nitrogenadas, porém, a presença de betalaínas em plantas exclui a ocorrência de antocianinas e vice-versa. A presença do átomo de nitrogênio na estrutura das betalaínas diferencia esses pigmentos das antocianinas (CARLE & SCHWEIGGERT, 2016).

As betalaínas são subdivididas em dois grupos principais: as betacianinas (pigmento vermelho-violeta conforme exibido na Figura 8) e as betaxantinas (pigmento amarelo-laranja conforme exibido na Figura 9) (AZEREDO, 2009).

Figura 8. Fontes de Betacianinas



Beta vulgaris

Fonte: PHOTO MIX por PIXABAY (2021)



Hylocereus monacanthus

Fonte: WEN1982 por PIXABAY (2021)



Bougainvillea glabra

Fonte: HANS BRAXMEIER por PIXABAY (2021)

Figura 9. Fontes de Betaxantinas



Mirabilis jalapa
Fonte: PETRA GOSCHEL por
PIXABAY (2021)



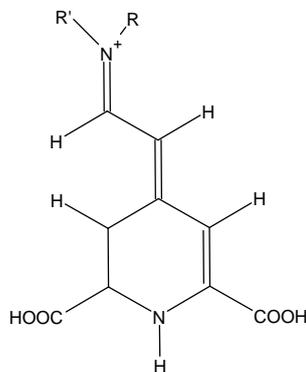
Beta vulgaris
Fonte: ALINE PONCE por
PIXABAY (2021)



Opuntia ficus – indica
Fonte: VALTER CIRILLO por
PIXABAY (2021)

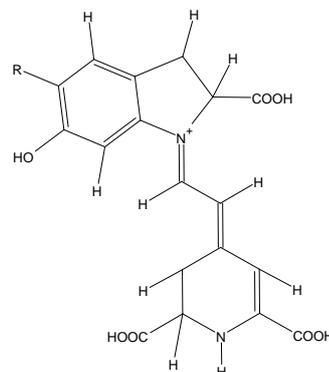
Esses pigmentos são derivados de aminoácidos aromáticos (fenilalanina e tirosina), biossintetizados a partir do ácido betalâmico (aldeído α e β -insaturado) (Figura 10). As betalaínas são derivadas do cátion imínio do ácido betalâmico (HUSSAIN *et al.*, 2018). Como já mencionado, os pigmentos vermelhos são representados pelas betacianinas, constituídas pelas betaninas, isobetaninas e prebetaninas. Já, os pigmentos amarelos são representados pelas betaxantinas, constituídas pela vulgaxantina I e vulgaxantina II (Figura 11) (FENNEMA *et al.*, 2010).

Figura 10. Fórmula geral das betalaínas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11. Fórmula da Betanidina e betanina



Fonte: Elaborado pelo autor.

Betanidina, R= -OH
Betanina, R= -glucose

Como outros pigmentos naturais, as betalaínas são sensíveis à presença de metais, exposição à luz, presença de oxigênio, alta atividade de água, ação enzimática (polifenoloxidase, peroxidase, glicosidase), baixo pH e temperaturas elevadas, podendo assim acelerar reações de oxidação, isomerização e degradação (HUSSAIN *et al.*, 2018; RODRIGUEZ-AMAYA, 2019). A oxidação ocasionada pela ação de enzimas na estrutura das betalaínas ocorre por uma hidrólise prévia pela β -glicosidase, que permite a formação de estruturas menores para a ação da polifenoloxidase e da peroxidase, podendo ser evidenciada

pela perda de cor (AZEREDO, 2009). Outro fenômeno que pode ocorrer devido aos baixos valores de pH é a isomerização, resultando assim na formação da isobetanina e da isobetanidina caracterizada pela alteração na cor (perda da cor “viva”) (HERBACH *et al.*, 2006; RAVICHANDRAN *et al.*, 2013).

As principais fontes vegetais de betalaína são as beterrabas vermelhas (betacianinas), as beterrabas amarelas (betaxantinas), assim como o amaranto, a acelga, a pitaia e a pera de cacto. A presença de betalaínas nos alimentos está associada a funções benéficas no organismo humano, por fortalecerem o sistema imunológico (STINTZING & CARLE, 2004), e por possuírem propriedades antioxidantes (RAVICHANDRAN *et al.*, 2013). Esses compostos desempenham função protetora nas partículas de colesterol LDL, protegendo-os contra a oxidação (SOCACIU, 2008). Além dessas funções, as betalaínas podem exercer funções antimutagênica (KHAN *et al.*, 2012), prevenindo a formação de células cancerígenas evitando certos tipos de câncer (FARABEGOLI *et al.*, 2017), e também contra a diabetes (SUTARIYA & SARAF, 2017).

3.2 INCORPORAÇÃO DE VEGETAIS EM ALIMENTOS PROCESSADOS

Os vegetais são fontes de nutrientes e não nutrientes vitais para a saúde do organismo humano (PIMENTEL *et al.*, 2019). Uma alimentação equilibrada e colorida está relacionada com a presença de diferentes compostos funcionais, vitaminas, compostos fenólicos, peptídeos, terpenos, pigmentos naturais, minerais, proteínas, carboidratos, lipídios e fibras, que são importantes para a manutenção da vida (BRASIL, 2014; MORAES, 2006; QUIROGA, 2016; ROCHA & REED, 2014).

Os compostos fenólicos e pigmentos naturais presentes nos grãos e vegetais estão relacionados com intensa atividade biológica (PIMENTEL *et al.*, 2019), e podem exercer efeitos benéficos à saúde dos consumidores devido às suas propriedades antioxidantes (ASSOUS *et al.*, 2014; OLIVEIRA, 2015; XU *et al.*, 2020).

Dentre os vegetais encontrados na natureza, a cenoura é uma raiz rica em vitamina A e vitaminas do complexo B (DA SILVA DIAS, 2014). Além disso, ela também possui minerais como o fósforo (P), cloro (Cl), potássio (K), cálcio (Ca) e sódio (Na), que desempenham funções auxiliando o sistema nervoso. As cenouras também são fontes de β -caroteno, que são os principais carotenoides precursores de vitamina A (GRUNE *et al.*, 2010), muito importante na saúde dos olhos e também pode contribuir para a redução do risco de câncer (ILIC & MISSO, 2012; KULCZYŃSKI *et al.*, 2017; WOLAK & PARAN, 2013).

A beterraba é outra raiz tuberosa rica em açúcar, proteínas, vitamina A, B1, B2, B5 e C. Também contem minerais como o potássio (K), sódio (Na), fosforo (P), cálcio (Ca), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn) e nitrato (LILIANA & OANA-VIORELA, 2020), além de compostos com propriedade antioxidante como os compostos fenólicos e os próprios pigmentos chamados de betalaínas, que exercem diferentes funções benéficas no organismo prevenindo alguns problemas degenerativos e certos tipos de câncer (FARABEGOLI *et al.*, 2017; KHAN *et al.*, 2012; SUTARIYA & SARAF, 2017).

O espinafre é a verdura conhecida popularmente pelo seu rico conteúdo nutricional. Contem vitaminas A, C, K e também do complexo B como o ácido fólico. Também é fonte de minerais como o fosforo (P), potássio (K), ferro (Fe), magnésio (Mg) e cálcio (Ca) (ROBERTS & MOREAU, 2016). É considerada uma boa fonte de fibras desempenhando diferentes funções benéficas no organismo, como também a regulação da microbiota intestinal (BLUM *et al.*, 2003; FERRUZZI & BLAKESLEE, 2007; HAYES & FERRUZZI, 2020; LI *et al.*, 2019).

Dentre os grãos de cereais, o arroz é a principal fonte de carboidratos, ou seja, fonte de energia, no prato dos brasileiros. Além de ser rico em carboidratos, possui também minerais como fósforo (P), ferro (Fe), potássio (K), zinco (Zn), e vitaminas como B1, B2 e B3, e compostos fenólicos (NAGENDRA & KHATOKAR, 2011).

A incorporação de grãos de cereais, frutas e vegetais nos alimentos processados, tem se mostrado como uma alternativa promissora para melhorar o conteúdo nutricional dos produtos do mercado (BRASIL, 2014), e dessa forma, contribuir para uma maior diversidade nutricional dos alimentos que consumimos diariamente (AUGUSTO *et al.*, 2019; CAMIRE *et al.*, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2018). Esse enriquecimento pode ser realizado pela utilização do produto integral, pela adição de um extrato, pela introdução dos vegetais na forma desidratada/seca, ou até mesmo pela inclusão de pó ou farinha vegetal (ALBUQUERQUE *et al.*, 2020; ARNOLD *et al.*, 2014; CAMIRE *et al.*, 2007; DOS REIS *et al.*, 2015; KABAKCI *et al.*, 2020; OTÁLORA *et al.*, 2019).

Segundo a Legislação Brasileira, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), na RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005, define farinhas como: “*os produtos obtidos 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*” (BRASIL, 2005b). A RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005, define produtos de origem vegetais como: “*os produtos obtidos a partir de partes comestíveis de espécies vegetais tradicionalmente consumidas como alimento, incluindo as sementes oleaginosas, submetidos a processos de secagem e ou desidratação e ou cocção e ou*

salga e ou fermentação e ou laminação e ou floculação e ou extrusão e ou congelamento e ou outros processos tecnológicos considerados seguros para a produção de alimentos” (BRASIL, 2005c).

O aproveitamento de resíduos vegetais é uma maneira alternativa para aumentar o valor nutricional e funcional dos alimentos processados. Os resíduos de vegetais gerados na produção de alimentos possuem compostos que irão promover uma melhora na composição dos produtos do mercado, contribuindo para a sustentabilidade e a produção de alimentos saudáveis (BARROS *et al.*, 2017; PORTO DALLA COSTA *et al.*, 2016; XU *et al.*, 2020). Define-se por resíduos vegetais, segundo o Decreto nº 6268 de 22 de novembro de 2007: “*o remanescente da utilização de produtos vegetais ou subprodutos e que possuem características de aproveitamento econômico*” (BRASIL, 2007a).

O processamento tecnológico envolvido na produção de um alimento pode contribuir para alterações no conteúdo nutricional e até mesmo de funções bioativas funcionais (FELLOWS, 2006). Com tudo, compreender os diferentes efeitos do processo tecnológico na composição dos alimentos tem sido de grande interesse para encontrar melhores condições de processo e obter um produto saudável, rico nutricionalmente e autossustentável.

3.3 EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA

Dentre as tecnologias existentes na área de produção dos alimentos, a extrusão termoplástica é um processo contínuo e completo que combina várias operações unitárias, incluindo mistura, transporte, amassamento, alto cisalhamento, alta temperatura, pressão e moldagem. A matéria-prima processada sofre diferentes modificações, como homogeneização, plasticização, gelatinização do amido (ocasionada pela fusão mecânica), desnaturação de proteínas, redução da carga microbiana, reação de *Maillard*, degradação de compostos termo sensíveis, e por fim, ocorre a expansão do material processado na saída da extrusora (STEEL *et al.*, 2012).

O cozimento por extrusão é um processo que utiliza alta temperatura em curto tempo (*High Temperature, Short Time – HTST*), que irá resultar na diminuição da contaminação microbiana e inativação enzimática. Por ser um processo com alta temperatura em curto tempo, as perdas de nutrientes são menores quando comparadas a outras tecnologias (CHENG & FRIIS, 2010; YE *et al.*, 2018).

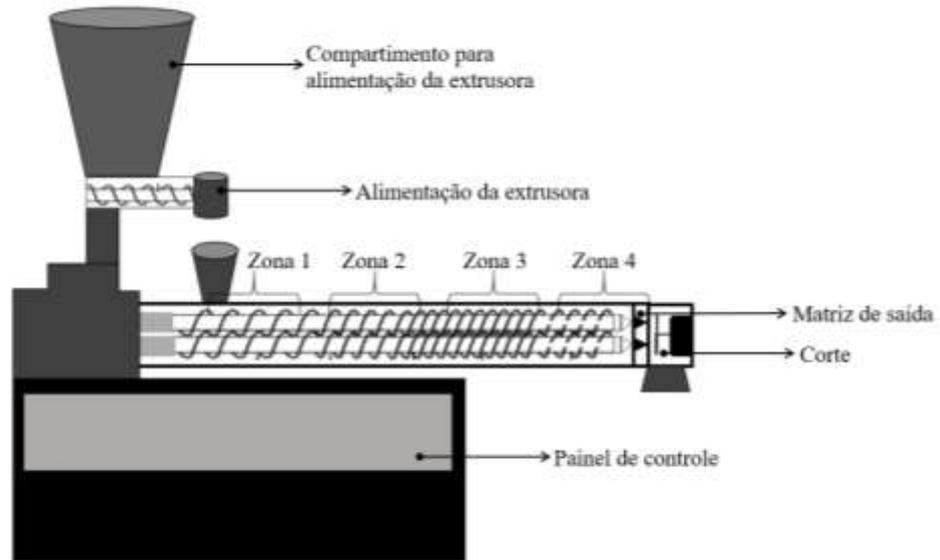
A demanda por produtos extrusados está associada com os benefícios do processo de extrusão, que inclui a versatilidade devido à ampla variedade de produtos que podem ser obtidos

em diferentes formatos, texturas variadas, custo reduzido de processamento, eficiência de produção, a qualidade sanitária dos produtos finais, e a ausência de efluentes do processo. Estes são alguns dos motivos que fazem com que o processamento de alimentos por extrusão venha ganhando destaque no mercado de alimentos (CALDWELL *et al.*, 2015; CHENG & FRIIS, 2010).

As características estruturais dos produtos extrusados são dependentes, principalmente, da gelatinização do amido e subsequentemente expansão do extrusado, resultando assim na formação de um produto leve e crocante com diferentes formatos e texturas (LEORO *et al.*, 2010), atrativo para os consumidores. O amido é de extrema importância para formatação dos produtos extrusados, pois é ele que irá proporcionar a estrutura desses produtos (ASCHEI *et al.*, 2019).

Uma extrusora é basicamente constituída por um compartimento na parte superior para alimentação contínua da matéria-prima, que ocorrerá pelo auxílio de uma rosca sem fim. A matéria-prima utilizada na alimentação da extrusora é adicionada continuamente em um canhão cilíndrico ranhurado, com diferentes zonas de aquecimento, que em seu interior, abriga uma (mono rosca) ou duas (dupla rosca) roscas sem fim. A configuração da rosca varia de acordo com as características das matérias-primas utilizadas no processo e o produto desejado. Na extremidade do canhão da extrusora, se localiza a matriz de saída (pequeno orifício), que pode possuir diferentes formatos e tamanhos, de acordo com as características desejadas dos extrusados (GUERREIRO, 2007). A Figura 12 ilustra o esquema de uma extrusora dupla rosca, como a utilizada neste trabalho.

Figura 12. Extrusora dupla rosca



Fonte: Elaborado pelo autor

O processo de extrusão pode ser dividido em três etapas: (i) pré-extrusão; (ii) extrusão; e (iii) pós-extrusão. Na primeira etapa, realiza-se o preparo do material a ser extrusado, fazendo uma mistura de diferentes matérias-primas secas (dependendo do produto), e a umidificação até o nível de umidade adequado. A segunda etapa é caracterizada pela passagem do material pela extrusora. A matéria-prima pré-condicionada, que a umidade foi ajustada, é adicionada em um compartimento de alimentação contínua que alimentará a extrusora. Ao entrar na extrusora, o material passa por uma rosca sem fim, com seus passos de tamanhos variados conforme a configuração da rosca. Nesta fase, ocorre uma elevação da temperatura, pressão, e trabalho mecânico que gera cisalhamento, a fim de promover a gelatinização do amido e outras alterações estruturais, formando uma massa plástica, fundida, úmida e de alta temperatura. O material formado dentro da extrusora é forçado a sair por uma pequena matriz (orifício na extremidade final da extrusora), o que levará à expansão da massa formada pelo alívio de pressão e evaporação instantânea da água. Na terceira etapa, os extrusados passam por uma secagem e um resfriamento, podendo ser submetidos à aromatização para fixar as características sensoriais do produto final (FELLOWS, 2006; STEEL *et al.*, 2012).

O processo de extrusão termoplástica se mostra como uma técnica alternativa para permitir uma nova geração de produtos, utilizando diferentes grãos, frutas e vegetais em sua composição, ou até mesmo uma gestão de matérias secundárias oriundas dos processos

industriais (resíduos), que podem ser aproveitados evitando constantes perdas e geração de efluentes (MEZA *et al.*, 2019; SAMPAIO, 2017).

3.4 CEREAIS MATINAIS EXTRUSADOS EXPANDIDOS

Devido às mudanças no ritmo de vida do ser humano, os alimentos de conveniência têm apresentado um grande crescimento. A indústria de alimentos tem investido na inovação de seus produtos pela busca dos consumidores por alimentos práticos, com diferentes cores, sabores e texturas, que agradem a todas as idades. Buscam também melhor valor nutricional, atendendo ao aspecto saudável (SOUZA & MENEZES, 2006; MEZA *et al.*, 2019).

Entre estes produtos, encontram-se os cereais matinais extrusados expandidos. No Brasil, dentre os vários produtos extrusados, ganham destaque na alimentação as farinhas pré-gelatinizadas, os cereais matinais e os *snacks* (CALDWELL *et al.*, 2015). De acordo com as tendências de mercado, a procura por esses produtos aumentarão nos próximos anos, podendo, de acordo com a sua composição, receberem a classificação de produtos funcionais, atrelados a benefícios à saúde dos seus consumidores (KALSEC, 2021).

A praticidade dos cereais matinais é um dos fatores mais relevantes de sua escolha. Segundo a Legislação Brasileira, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), na RDC nº 60 de 05 de setembro de 2007, define cereal matinal como: “*Todos os produtos à base de cereais (que sejam extrudados, expandidos, inflados, amassados, laminados, cilindrados ou em filamentos), prontos para consumo, os instantâneos e os utilizados normalmente no café da manhã, lanches, ou outros, frios ou quentes*” (BRASIL, 2007b).

Na fabricação de cereais matinais, é necessária uma matéria-prima rica em amido (devido à importância do amido no processo de extrusão). Dentre os grãos de cereais utilizados como matéria-prima para elaboração de produtos extrusados, o milho, o arroz e o trigo são utilizados em larga escala para a fabricação desses produtos (ASCHERI *et al.*, 2019).

O arroz polido é o principal produto consumido pelos brasileiros. Durante as etapas do beneficiamento do grão, são produzidos em média 14% de grãos quebrados, o que gera um subproduto do arroz classificado como quirera, que é uma fonte de amido, de baixo valor agregado. A quirera é um produto com uma certa rejeição pelos consumidores, o que poderia representar um problema econômico à indústria arroseira. Os grãos quebrados de arroz podem ser utilizados pela indústria para criar novos produtos oriundos das farinhas que podem ser obtidas a partir dessa matéria-prima. A utilização das quireras e das farinhas de arroz permitem a elaboração de vários produtos de panificação, e até mesmo produtos elaborados por

tecnologias alternativas como a extrusão termoplástica (CARVALHO *et al.*, 2012). O arroz também possui característica neutra por apresentar cor branca e sabor suave, o que torna seu uso favorável em diferentes processos tecnológicos (CALDWELL *et al.*, 2015; DALBHAGAT *et al.*, 2019). Assim, elaborar um cereal matinal de quirera de arroz, combinado com farinha de vegetais pode resultar em um produto de mercado de maior valor agregado.

3.5 CEREAIS MATINAIS FUNCIONAIS

A aplicação de ingredientes na formulação de extrusados tem sido uma alternativa promissora para elevar o conteúdo nutricional desses produtos. Atender à expectativa dos consumidores por produtos com perfil mais próximo ao natural, saudáveis, cujo processamento não utilize aditivos químicos, não gere efluentes, e não impacte negativamente no meio ambiente tem sido de grande interesse para o mercado (INNOVA MARKET INSIGHTS, 2019).

De acordo com Camire *et al.* (2002), “*as antocianinas de frutas fornecem cor e benefícios à saúde, portanto, os cereais que contêm esses pigmentos podem ser usados como alimentos funcionais*”. Sendo assim, um estudo realizado com farinha de milho branco adicionada de sacarose, xarope de milho, concentrado de mirtilo ou concentrado de suco de uva, foi conduzido em extrusora dupla rosca para elaboração de cereais matinais. O processo de extrusão reduziu o teor de antocianinas, mas não foi observada alteração durante o armazenamento em temperatura ambiente por 3 meses. A cor obtida foi mais intensa no cereal de mirtilo, já o cereal de uva apresentou coloração menos intensa do que o produto de mirtilo e a aceitabilidade geral foi maior para os cereais elaborados com xarope e uva. Apesar da ocorrência de perdas durante o processo de extrusão, as quantidades utilizadas foram suficiente para produzir uma cor roxa, provando assim a estabilidade desses pigmentos durante o processamento.

Outro estudo realizado por Camire *et al.* (2007), demonstrou a capacidade de elaborar cereais matinais expandidos à base de farinha de milho branco, combinadas com pó de frutas desidratadas (mirtilo, amora, uva, e framboesa), onde os autores observaram que mesmo após a processo de extrusão, ainda foi verificado a presença de antocianinas e atividade antioxidante nos cereais extrusados.

Nayak *et al.* (2011), investigaram o perfil fitoquímico, atividade antioxidante, atividade antioxidante celular e sua contribuição para a bioatividade em farinha de batata roxa (PPF), farinha de ervilha seca (DPF), em suas respectivas farinhas cruas e em produtos extrusados. Os produtos extrusados apresentaram conteúdo significativamente maior ($p < 0,05$) de fenólicos

totais, atividade antioxidante (ORAC), e flavonóides, em comparação as farinhas cruas. O processo de extrusão proporcionou um aumento na atividade antioxidante celular dos extrusados preparados a partir de 35:65 e 50:50 PPF / DPF (p / p), sendo que o acréscimo do PPF aumentou significativamente ($p < 0,05$) a atividade antioxidante celular.

De acordo com Durge *et al.* (2013), a retenção de antocianinas está diretamente ligada ao teor de umidade do material a ser extrusado, velocidade de rosca e temperatura de extrusão. Pois, o aumento da umidade do material, seguido pelo aumento da velocidade da rosca pode proporcionar uma maior retenção de antocianinas no material extrusado de farinha de arroz. Entretanto, o processo de extrusão em altas temperaturas pode ter um efeito reverso (diminuição da retenção). Neste estudo, os autores também observaram o efeito do ácido cítrico e do bicarbonato de sódio na estabilidade da cor de extrusados durante o processamento. A adição de ácido cítrico a 1% aumentou a retenção de antocianina em até 18,2%, o que poderia reduzir a necessidade de coloração pré-extrusão em quase 25%.

O estudo conduzido por Oliveira (2015) avaliou as características físicas e tecnológicas de cereais matinais, bem como as suas propriedades funcionais. Os cereais matinais foram preparados à base de milho, farinha de trigo integral, combinados com casca de jabuticaba em pó. A partir dos resultados obtidos foi possível observar a viabilidade de se introduzir ingredientes na formulação de extrusados, como a farinha da casca de jabuticaba, e obter um produto colorido naturalmente de maior valor nutricional e funcional.

Sampaio (2017) avaliou a aplicabilidade de café torrado micronizado (CTM), e extrato de café crioconcentrado (ECC), sobre as propriedades tecnológicas, sensoriais e funcionais de cereal matinal extrusado à base de arroz. Os cereais matinais com CTM e ECC, apresentaram comportamento similar quanto às propriedades físicas e tecnológicas. A expansão, os índices de absorção e solubilidade em água e a viscosidade de pasta foram reduzidos com o aumento da concentração de CTM e ECC, como consequência da menor disponibilidade de amido e presença de fibras. Por estes fatores, pôde-se notar que a dureza aumentou e a porosidade do cereal diminuiu. A atividade antioxidante dos cereais foi maior para os cereais com maior concentração de CTM e ECC. Através deste estudo foi possível verificar que os dois tipos de cafés combinado com a farinha de arroz modificaram as características tecnológicas do cereal, devido à composição das matérias-primas e dos parâmetros utilizados no processo de extrusão, sendo possível a retenção de compostos bioativos mesmo após a extrusão.

Em estudo realizado por Anunciação *et al.* (2017) foi capaz de identificar a aceitação sensorial, a presença de compostos fenólicos, e a atividade antioxidante presentes em cereais matinais integrais elaborados com sorgo integral e trigo integral. Os autores verificaram que o

cereal à base de sorgo apresentou maior teor de fenólicos e maior atividade antioxidante, em comparação ao cereal elaborado com trigo integral. Foi verificada boa aceitação sensorial, o que demonstra a importância do incentivo ao consumo de produtos integrais, devido à sua funcionalidade no organismo humano.

Cereais matinais produzidos com farelo de arroz, por Utama-Ang *et al.* (2017), foram fortificados com extrato em pó de chá de Assam (ATE). O aumento da incorporação de ATE resultou em um aumento significativo no conteúdo de fenólicos totais e na atividade antioxidante. Nesse estudo, foi possível obter um cereal matinal sensorialmente aceitável pelos consumidores com 98% de intenção de compra e interesse em consumir o cereal.

Arribas *et al.* (2019) avaliaram o efeito da extrusão termoplástica sobre os compostos bioativos e a capacidade antioxidante de cereais matinais feitos à base de misturas de alfarroba, ervilha e arroz. Os resultados mostraram que houve a presença de compostos bioativos pós-extrusão, o que permitiu caracterizar os cereais como um alimento sem glúten e funcional.

Mais estudos com diferentes matérias-primas são necessários para compreender a estabilidade dos compostos bioativos presentes nas matrizes vegetais, bem como o comportamento dos diferentes pigmentos naturais no processo de extrusão.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho foi realizado no Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos do Departamento de Tecnologia e Engenharia de Alimentos (DETA), da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA), da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), em Campinas, SP.

4.1 MATÉRIAS-PRIMAS

Para a elaboração dos cereais matinais foi utilizada quirera limpa de arroz branca, por doação da empresa Cerealista Mendes LTDA da cidade de Elias Fausto (SP). Os vegetais (cenoura, espinafre e a beterraba), foram adquiridos da empresa Horta Urbana LTDA, da cidade de Campinas (SP), safra de janeiro de 2020. Os vegetais utilizados foram classificados, pelo próprio fornecedor, como vegetais do tipo B, que são aqueles cuja a aparência (pequeno, torto, grande), não é adequada para comercialização em gôndolas de supermercado.

4.2 ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO

As Figuras 13 e 14 ilustram as atividades realizadas para a obtenção das farinhas de vegetais e do processamento dos cereais matinais expandidos, respectivamente.

Figura 13. Fluxograma do processo de obtenção das farinhas de vegetais

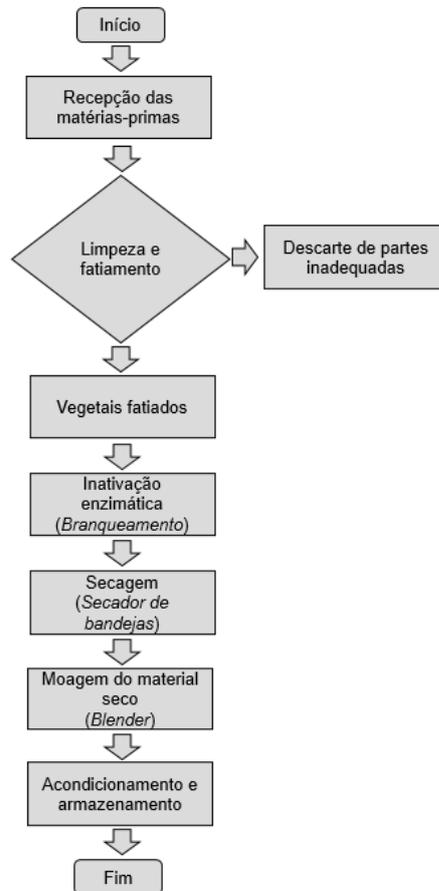
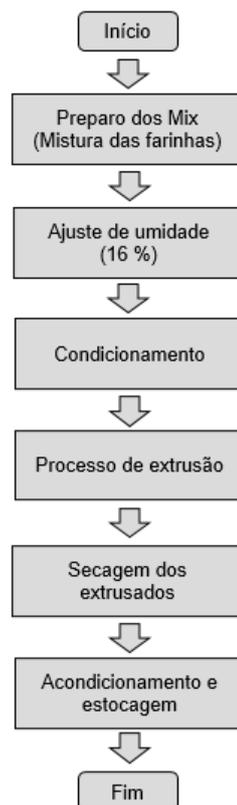


Figura 14. Fluxograma do processamento dos cereais matinais



4.3 OBTENÇÃO DAS FARINHAS DE VEGETAIS

Os vegetais foram recebidos e armazenados em temperatura controlada (20 °C) e, após 24 h, foram processados para a obtenção das farinhas, conforme exibido nas Figuras 15, 16 e 17. Para cada farinha, foram utilizados parâmetros específicos para a secagem como tempo e temperatura (FC 70° C durante 9 horas, FE 60° C durante 6 horas e, FB 70° C durante 12 horas), de acordo com a particularidade de cada vegetal (ZANATTA *et al.*, 2010).

Todos os vegetais foram higienizados separadamente em água corrente, e imersos por 15 min em solução com hipoclorito de sódio a 200 ppm. Logo após, foram enxaguados, e então foram fatiadas as cenouras (*Daucus carota L.*), e as beterrabas (*Beta vulgaris L.*), em espessura de 0,5 a 1 cm em multiprocessador de alimentos (modelo Walita Master). As folhas de espinafre (*Spinacia oleracea L.*), foram somente separadas dos talos, enxaguadas e levadas para a inativação enzimática (CELESTINO, 2010; FILHO *et al.*, 2011; LEMOS *et al.*, 2009).

A inativação enzimática dos vegetais foi feita por branqueamento, onde foram imersos em água aquecida à temperatura de 70 °C, durante 4 min. Posteriormente, os vegetais foram resfriados em banho com água gelada (8 °C) durante 2 min. As fatias de cenoura e as folhas de espinafre, foram armazenadas durante 12 h, a 20 °C, antes da secagem. As beterrabas fatiadas foram armazenadas nas mesmas condições de temperatura das cenouras e dos espinafres, porem durante um período de 48 horas antes do processo de secagem (MAURO *et al.*, 2010; PORTO DALLA COSTA *et al.*, 2016; ZANATTA *et al.*, 2010). Apesar do processo de branqueamento, ocorreu um início de processo fermentativo somente para as beterrabas. Tal fato pôde ter ocorrido devido a quantidade de açúcar da beterraba, e por alguns microrganismos resistentes ao processo de branqueamento. A fermentação foi observada pela formação de leve odor de fermentado e, pelo aumento da viscosidade da água no fundo do recipiente onde estavam armazenadas (CARLE & SCHWEIGGERT, 2016). As beterrabas fatiadas foram mais uma vez lavadas em água corrente e imersas em solução com hipoclorito de sódio a 200 ppm durante 15 min. Posteriormente, drenou-se a água, e então, foram levadas para o processo de secagem.

Para a secagem, os vegetais branqueados foram distribuídos em bandejas de alumínio com grades na parte inferior (para a passagem de ar), e levadas para o secador de bandejas (NBR 7094, WEG, Jaraguá do Sul - SC), com circulação de ar. A secagem das cenouras foi realizada em temperatura de 70 °C durante 9 horas. O espinafre foi utilizada a temperatura de 60 °C durante 5 horas e por fim, as beterrabas foram secas a temperatura de 70 °C, durante 12 horas. Os vegetais secos foram então triturados em *blender* tipo liquidificador GB35 (modelo

HBH550-BZ220, Hamilton Beach, China), resultando assim na formação da FC (farinha de cenoura), FE (farinha de espinafre) e FB (farinha de beterraba) (CELESTINO, 2010).

Figura 15. Processamento das cenouras (FC)



Figura 16. Processamento dos espinafres (FE)



Figura 17. Processamento das beterrabas (FB)



Após o processamento, as farinhas de vegetais (FC, FE e FB), foram acondicionadas em sacos de polietileno metalizados, etiquetados, selados, e mantidas em local escuro e em

temperatura de 20 °C. As farinhas foram armazenadas durante 8 meses (período da suspensão das atividades presenciais em virtude da pandemia por covid-19), antes de se iniciar a sua caracterização, bem como a elaboração dos cereis expandidos e posteriores análises.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DAS FARINHAS

A caracterização das farinhas foi realizada oito meses após a sua obtenção, por conta da pandemia de 2020 (período de março a novembro) e as análises foram feitas em triplicatas.

4.4.1 Composição centesimal

As farinhas foram caracterizadas quanto ao teor de umidade, proteína bruta, lipídeos, cinzas, fibras totais e carboidratos digeríveis pelos métodos 44-15.02 (umidade), 46-13.01 (proteína), 02-01.02 (lipídeos), 32-07.01 (fibras totais), e 08-01.01 (cinzas) da AACCI (2010). O teor de carboidratos digeríveis foi calculado por diferença.

4.4.2 Conteúdo de minerais (Fe, Zn, Ca, Mg)

Para a mineralização das amostras, foram pesadas 0,6 g de cada amostra em tubo de digestão e, foram adicionados 4 mL de ácido nítrico. Os tubos foram colocados no bloco digestor a 110 °C por 2 h. Em seguida, 2 mL de ácido nítrico e 2 mL de peróxido de hidrogênio foram adicionados e os tubos foram aquecidos a 130 °C por mais 2 h. Posteriormente, as amostras digeridas foram transferidas para balão volumétrico de 25 mL, e então o volume foi completado com água ultrapura. Em seguida, foi realizado a filtragem e acondicionamento das amostras digeridas em tubo plástico para posterior análise, conforme descrito por Rebellato *et al.*, (2017). As curvas analíticas foram construídas em 5 níveis de concentração, equidistantes, para cada elemento, Fe (0,25 - 3,00 mg/L, Zn (0,05 - 0,5 mg/L), Ca (0,5 - 5,00 mg/L), e Mg (0,025 - 0,25mg/L). Quando necessário, as amostras digeridas foram diluídas com solução de ácido nítrico (4%), para sua quantificação.

4.4.3 Granulometria

As amostras de QA, FC, FE e FB tiveram a sua granulometria avaliada através do método 965.22 da AOAC (2006), utilizando jogo de peneiras (ASTM), com aberturas de 14, 20, 35, 60, 80 e 100 *mesh* (OLIVEIRA, 2015).

4.4.4 Cor instrumental

A cor instrumental foi analisada utilizando um colorímetro MiniScan HunterLab modelo 45/0L XE-3500 (MiniScan XE, Hunter Associates Laboratory, VA, EUA), seguindo o sistema CIEL*a*b*, determinando-se os parâmetros de L*, a* e b* (STANCIL & JORDAN, 1985). L* representa a luminosidade da amostra, com valores entre 0 (totalmente preto) e 100 (totalmente branco), e os valores de a* e b* representam a cor variando do vermelho (+a*) ao verde (-a*) e do amarelo (+b*) ao azul (-b*), respectivamente.

4.4.5 Propriedades de pasta das farinhas (RVA)

Para a análise de viscosidade de pasta foi utilizado o Rapid Visco Analyser (RVA 4500, Perten Instruments, Austrália) com o *software Thermocline for Windows (TCW)*, versão 3, empregando o perfil *Standard 1* somente para a quirera de arroz. Aproximadamente, 3 g da amostra moída (QA) foi pesada, dispersa em 25 mL de água destilada até peso total de 30 g. As amostras foram ajustadas a 14 % de umidade. As cápsulas de alumínio foram acopladas na torre do RVA, dando-se início à análise. Ao final da análise, foi obtida uma curva com os seguintes dados: temperatura de pasta (°C); tempo para viscosidade máxima (min); viscosidade máxima (cP – viscosidade máxima durante o ciclo de aquecimento); viscosidade mínima (cP – viscosidade mais baixa após o pico de viscosidade antes de começar a aumentar novamente); viscosidade final (cP – viscosidade obtida no final da análise, no ciclo de resfriamento); *breakdown*/quebra (cP – diferença entre a viscosidade máxima e a viscosidade mínima) e *setback* (cP – diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima). A análise foi realizada em triplicata e os valores de viscosidade foram expressos em centipoise (cP) (SAMPAIO, 2017).

4.4.6 Extração de fenólicos

A extração dos fenólicos foi realizada conforme descrito por Onofre e Hettiarachchy (2007), com adaptações. Foi pesado 1 g de amostra em tubos tipo Falcon de 15 mL, e então foram adicionados 4 mL de etanol 60 %. As amostras foram submetidas a mistura durante 1 min em mini vórtex (Benchmark Scientific BV202/EMD, Fisher Scientific), e posteriormente levadas para Shaker (Orbital Shaker MaxQ 8000, Thermo Scientific) a 150 rpm durante 2 horas em temperatura ambiente (25 ° C). Logo após, as amostras foram centrifugadas (Heraeus

Megafuge 16R) a 2500 rpm por 10 min. Posteriormente, foi removido o sobrenadante e, o processo foi repetido mais uma vez.

4.4.7 Fenólicos totais

O teor de fenólicos totais foi determinado conforme descrito por Singleton e Rossi (1965), pelo método Folin-Ciocalteu. Em microplacas de 96 poços (BMG Labtech 96), foram adicionados 15 μL da amostra, em três diferentes concentrações. Para QA, foram utilizadas concentrações de 1:1, 1:2 e 1:3 v/v. Já, para FC, FE e FB foram utilizadas concentrações de 1:5, 1:10 e 1:20 v/v. As farinhas de vegetais foram mais diluídas do que a quirena de arroz para evitar qualquer interferência nos resultados ocasionada pelos pigmentos presentes nas amostras.

Para os cereais extrusados (CQA, CFC, CFE e CFB), foram utilizadas concentrações de 1:1, 1:2 e 1:3. Então, 15 μL do reagente de Folin-Ciocalteu (Dinâmica Química Contemporânea, Brasil) e 240 μL de água destilada foram adicionados e deixados em repouso por 3 minutos. Em seguida, foram adicionados 30 μL de carbonato de sódio a 10 % (m/v) e a placa foi colocada em local escuro, à temperatura ambiente, por 2 horas. Após esse tempo, a absorbância foi medida a 760 nm em leitor de placas KHB ST360 (Shanghai Kehua). O branco foi preparado substituindo a amostra por água destilada. Como referência, foi utilizada curva de calibração com ácido gálico (Sigma-Aldrich, São Paulo, Brasil). Os extratos foram utilizados nas concentrações previamente estabelecidas e a curva padrão foi construída com soluções de ácido gálico nas concentrações entre 16 e 200 $\mu\text{g/mL}$. As medidas foram realizadas em triplicata para cada concentração e foi escolhida uma das concentrações para exibir os resultados, que foram expressos em microgramas equivalentes de ácido gálico/mL de extrato ($\mu\text{g GAE/mL}$).

4.4.8 Atividade antioxidante (DPPH)

A análise da redução do radical DPPH \cdot (2,2-difenil-1-picrilhidrazila) pelos compostos antioxidantes presentes nos extratos foi conduzida como proposto por Peschel *et al.* (2006), com adaptações de Macedo *et al.* (2011). O método é baseado na medida da capacidade de uma determinada substância de sequestrar o radical DPPH, com redução à hidrazina, podendo ser identificada pela mudança da coloração de violeta a amarelo pálido.

Foram utilizadas soluções dos extratos em etanol 60 %, com concentrações variando para QA, FC e FE de 1:1, 1:2 e 1:3. Já, para FB, foram aplicadas concentrações de 1:40, 1:80 e 1:160, devido à cor da beterraba. Para os cereais CQA, CFC e CFE foram utilizadas

concentrações de 1:1, 1:2 e 1:3, e para CFB foram utilizadas 1:2, 1:3 e 1:10. Então, 50 µL de amostra diluída foi adicionada a 150 µL de radical DPPH 0,2 mM (Sigma-Aldrich, Steinheim, Alemanha) em metanol, em microplacas de 96 poços (BMG LABTECH 96), e a leitura ocorreu em equipamento Fluostar Optima (BMG LABTECH, Alemanha), em comprimento de onda de 520 nm. A alteração da cor foi acompanhada por 90 minutos e, então, foi comparada ao branco. O preparo das soluções foi realizado no momento da análise, sendo mantidas no escuro. As medidas foram realizadas em triplicata. A atividade redutora foi calculada conforme a equação da curva de calibração com soluções de Trolox[®] (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico, Acros Organics, Bélgica), preparadas em metanol 70 %, nas concentrações de 3,8 a 57 µg/mL. O branco para cada concentração das amostras foi preparado substituindo o DPPH por metanol e o branco de referência substituindo a amostra por metanol. Foi escolhida uma das concentrações utilizadas e então foi determinada a atividade antioxidante, expressa em microgramas equivalentes de Trolox/mL de amostra (µg TE/mL).

4.5 PROCESSO DE EXTRUSÃO

O processo de extrusão termoplástica foi realizado em uma extrusora dupla-rosca corrotacional encaixada ZSK 30 (Werner & Pfleiderer Corp., Ramsey, EUA), de L/D (comprimento/diâmetro) igual a 29. Dividida em três etapas: alimentação, homogeneização e expansão.

Na alimentação, a matéria-prima foi adicionada em um compartimento localizado na parte superior da extrusora, seguido de uma rosca sem fim, com o objetivo de transportar a mistura condicionada a um velocidade constante e em uma vazão fixa, previamente calculada. A taxa de alimentação foi calculada com a quirera de arroz previamente condicionada, medindo-se a quantidade de quirera na alimentação da extrusora durante 1 min, em uma média de três pontos da velocidade da rosca de alimentação (100 rpm, 200 rpm e 300 rpm). Com isso, obtivemos a equação da reta para estabelecer a velocidade da rosca de alimentação em kg/h.

Dentro da extrusora, a massa que foi sendo formada, no curso da rosca, chegou ao segundo estágio com temperatura superior ao primeiro estágio, onde ocorreu o cozimento e a fusão (gelatinização) do amido. Por fim, essa massa plástica cozida úmida chegou ao terceiro estágio da rosca, onde ocorreu o aumento da pressão e de-gaseificação da massa. Na última etapa, ocorreu a expansão do material, na matriz de saída da extrusora, onde o alívio brusco da pressão resultou na evaporação instantânea da água e a formatação do produto expandido.

Foram realizados alguns testes iniciais somente com QA para o ajuste da temperatura nas quatro zonas da extrusora. A partir do momento que notou-se estabilidade da cor branca (diminuição do acinzentado), foi estabelecida a temperatura de trabalho para a obtenção dos cereais.

4.5.1 Preparo dos *mixes* de farinhas

Foram realizados quatro ensaios, onde o primeiro foi feito somente com quirera de arroz (QA), como controle. Os outros três ensaios foram realizados pelo preparo dos três *mixes*, sendo o 2º composto por 90% de QA + 10% de FC; o 3º composto por 90% de QA + 10% de FE; e 4º 90% de QA + 10% de FB, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Ensaios para o processo de extrusão

Amostras	QA (%)	FC (%)	FE (%)	FB (%)	COR FINAL
CQA	100	--	--	--	Branco
CFC	90	10	--	--	Laranja
CFE	90	--	10	--	Verde
CFB	90	--	--	10	Roxo

¹QA: Quirera de arroz, FC: farinha de cenoura, FE: farinha de espinafre, FB: farinha de beterraba;
²CQA: Cereal branco somente com quirera de arroz; CFC: Cereal laranja com a farinha de cenoura;
 CFE: Cereal verde com a farinha de espinafre; CFB: Cereal vermelho com a farinha de beterraba.

Para cada ensaio foi utilizado aproximadamente 2,5 Kg de *mixes*, onde QA correspondeu com 90% e, as farinhas dos vegetais com 10%. A mistura das farinhas foi realizada em batedeira planetária em velocidade baixa durante 15 min. Posteriormente, foi realizado o ajuste de umidade 48 horas antes do processo de extrusão.

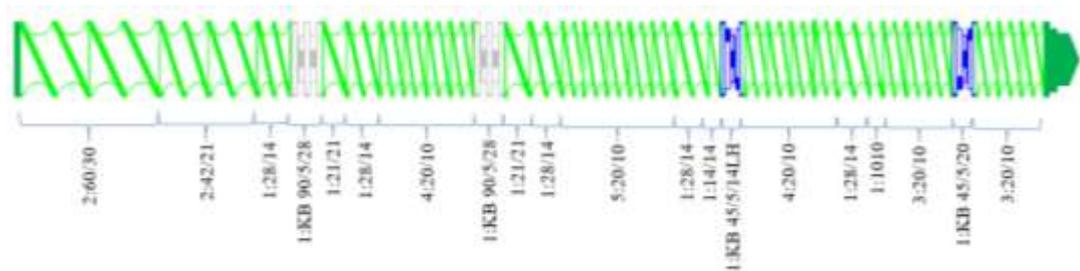
Cada *mix* teve a sua umidade conferida por um equipamento medidor de umidade por infravermelho (Infrared Moisture Balance AD-4714^a, India), à temperatura de 105 °C, durante 15 min. A umidade desejada (16 %), foi ajustada com a adição de água destilada enquanto se realizava a mistura em batedeira planetária durante 15 min. Os *mixes* foram embalados em sacos de polietileno e mantidos por 48 h em geladeira (8°C), para garantir a uniformidade da umidade.

4.5.2 Parâmetros do processo de extrusão

Os parâmetros foram ajustados e estabelecidos igualmente para os quatro ensaios (CQA, CFC, CFE e CFB). A configuração da rosca foi definida seguindo a sequência: 2:60/30;

2:42/21; 1:28/14; 1:KB 90/5/28; 1:21/21; 1:28/14; 4:20/10; 1:KB 90/5/28; 1:21/21; 1:28/14; 5:20/10; 1:28/14; 1:14/14; 1:KB 45/5/14LH; 4:20/10; 1:28/14; 1:10/10; 3:20/10; 1: KB45/5/20; 3:20/10; onde “a” é o comprimento da peça (mm); “B” é o passo da rosca de cada peça (mm); “KB” (bloco de amassamento) é uma peça amassadora; “C” é o ângulo formado pelas cristas adjacentes e “d” é o número de cristas do elemento amassador, conforme a Figura 18.

Figura 18. Configuração da rosca



Fonte: OLIVEIRA (2015), com ajustes pelo autor.

As temperaturas de cada zona (1, 2, 3 e 4) foram ajustadas em 70, 80, 85, 90 °C, respectivamente. A velocidade de alimentação da extrusora foi mantida em 150 rpm, e a velocidade de rotação da rosca foi mantida em 325 rpm (OLIVEIRA, 2015). A matriz de saída utilizada possui dois orifícios de 4,0 mm cada.

4.5.3 Pós-extrusão

Após a extrusão foi realizado a secagem do material extrusado durante 30 min em estufa com circulação de ar a 70 °C (CALDWELL *et al.*, 2015; GUERREIRO, 2007). Os cereais matinais foram estocados em embalagem de polietileno, selados e armazenados em local seco com temperatura controlada (20 °C).

4.6 Propriedades físicas e tecnológicas dos produtos extrusados

As propriedades físicas e tecnológicas foram avaliadas nos primeiros 5 dias após a obtenção dos cereais.

4.6.1 Cor instrumental

A cor instrumental foi analisada em triplicata utilizando-se um colorímetro MiniScan HunterLab modelo 45/0L XE-3500 (MiniScan XE, Hunter Associates Laboratory, VA, EUA), conforme mencionado no item 4.4.2, seguindo o sistema CIEL*a*b*, através dos parâmetros de L*, a* e b* (STANCIL & JORDAN, 1985).

4.6.2 Índice de expansão

O índice de expansão foi determinado em 4 repetições através da razão entre o diâmetro do produto extrusado, medido com a ajuda de um paquímetro universal, e o diâmetro da matriz de saída utilizada na extrusora, de acordo com o método proposto por Guerreiro (2007).

4.6.3 Densidade aparente

Foi determinada por 4 repetições, analisando a medida da massa das amostras, em balança de precisão de 4 dígitos, e de suas dimensões, diâmetro e extensão, utilizando-se um paquímetro universal, onde a densidade foi calculada através da Equação 2 (OLIVEIRA, 2015).

4.6.4 Atividade de água (Aw)

A atividade de água foi determinada por 4 repetições em um medidor de atividade de água Aqualab, modelo 4TE (Decagon, Pullman, Washington, EUA), a 25 °C.

4.6.5 Dureza

A dureza foi avaliada em analisador de textura *Stable Micro Systems*, modelo TA-XT2i (Surrey, Reino Unido), com carga máxima de 50 kg. Os extrusados foram padronizados sendo cortados em aproximadamente 5 cm de comprimento. Foi utilizado o *probe* retangular Warner Bratzler com sonda de forma “V”, de 12 x 7 cm (HDP/BS), com velocidade pré-teste de 2 mm s⁻¹, velocidade de teste de 1 mm s⁻¹, e velocidade pós-teste de 1 mm s⁻¹, em 20 mm de distância, e limiar de força de 0,05 N. O corte foi realizado perpendicularmente ao eixo principal, aproximadamente no meio do extrusado, até o rompimento completo. As análises foram realizadas em 15 repetições, e o resultado foi determinado pela média de 10 repetições da força máxima necessária para romper o cereal ao meio (SAMPAIO, 2017).

4.6.6 Bowl-life

Foram separados quinze extrusados de cada ensaio, padronizados em 5 cm de comprimento. As amostras foram imersas totalmente em 200 mL de leite integral a 8 °C por 3 min e, em seguida, foram drenados por 10 segundos com o auxílio de uma peneira. Logo após, as amostras foram colocadas no texturômetro, onde foi verificada a dureza dos cereais em condições de consumo (imersas em leite), nas mesmas condições de teste do extrusado seco (OLIVEIRA et al., 2018).

4.6.7 Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA)

O índice de absorção de água (IAA) e o índice de solubilidade em água (ISA) foram determinados em quadruplicata, de acordo com o método proposto por Anderson et al. (1969). As amostras foram trituradas em *blender* tipo liquidificador GB35 (modelo HBH550-BZ220, Hamilton Beach, China), para a redução do tamanho da partícula (aproximadamente 60 *mesh*). Posteriormente, as amostras foram pesadas em tubos tipo Falcon com capacidade de 50 mL, rosqueáveis, com peso conhecido. Cada tubo continha 2,5 g de amostra (base seca/granulometria reduzida), onde foram mantidos por 30 min a 25°C, em 30 mL de água destilada, sob constante agitação pelo auxílio de um agitador de tubos tipo vórtex (Vórtex 2800 rpm, 220 V, Fisatom). A suspensão foi centrifugada a 3.000 rpm por 15 min e o sobrenadante foi transferido para placas de Petri de peso previamente conhecido. As placas de Petri com o sobrenadante retirado (aproximadamente 10 mL), foram levados para secagem em estufa com circulação de ar, a 105 °C, por 4 h. O ISA corresponde ao peso dos sólidos secos obtidos do sobrenadante, expressos em porcentagem do peso original da amostra. O IAA corresponde ao peso do resíduo da centrifugação (gel) após remoção do sobrenadante por unidade de peso do conteúdo original de sólidos secos (OLIVEIRA, 2015).

4.7 Propriedades nutricionais e funcionais dos produtos extrusados

A composição centesimal, o conteúdo de minerais e, as propriedades funcionais dos produtos extrusados foram avaliados nos primeiros 10 dias após o processamento para obtenção dos cereais.

4.7.1 Composição centesimal

A análise da composição centesimal dos extrusados foi realizada segundo o item 4.4.1, pelos métodos 44-15.02 (umidade), 46-13.01 (proteína), 02-01.02 (lipídeos), 32-07.01 (fibras totais), e 08-01.01 (cinzas) da AACCI (2010). O teor de carboidratos digeríveis foi calculado por diferença.

4.7.2 Conteúdo de minerais (Fe, Zn, Ca, Mg)

A mineralização foi realizada segundo o item 4.4.5, para verificar os teores de ferro, zinco, cálcio e magnésio, conforme descrito por Rebellato *et al.* (2017).

4.7.3 Extração dos compostos fenólicos

A extração dos compostos fenólicos foi realizada segundo o item 4.4.6., com etanol 60% conforme descrito por Onofre e Hettiarachchy (2007).

4.7.4 Fenólicos totais

Para a determinação dos fenólicos totais foi utilizado o método exibido no item 4.4.7., conforme descrito por Singleton e Rossi (1965). Para os cereais extrusados CQA, CFC, CFE e CFB foram utilizadas concentrações de 1:1, 1:2 e 1:3, como já mencionado.

4.7.5 Atividade antioxidante (DPPH)

A atividade antioxidante foi realizada segundo o item 4.4.8, conforme descrito por Macedo *et al.* (2011). Para os cereais CQA, CFC e CFE foram utilizadas concentrações de 1:1, 1:2 e 1:3, e para CFB foi utilizado 1:2, 1:3 e 1:10, como já mencionado.

4.8 Análise estatística

Para a análise estatística dos resultados obtidos foi utilizada Análise de Variância (ANOVA) e teste de Tukey a um nível de significância de 95% ($p < 0,05$), pelo programa Statistic 7.0 (StatSoft, USA).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os vegetais em geral possuem grande quantidade de água (Figura 19), e portanto apresentam baixo rendimento para obtenção de um extrato seco conforme podemos observar pela Figura 20 (THOMPSON, 2003). Os vegetais *in natura* utilizados para a obtenção das farinhas apresentaram umidade de 86% para cenoura, 93% para o espinafre e 87% para beterraba. Tais valores corroboram com os encontrados na literatura (NEPA & UNICAMP, 2004, 2011).

Figura 19. Vegetais *in natura*



Figura 20. Vegetais secos



Através do processamento dos vegetais, partindo de 45 kg de cenoura, espinafre e beterraba, foi possível obter aproximadamente 8 kg de farinha cenoura, 4 kg de farinha de espinafre e, 7 kg de farinha de beterraba, resultando em rendimentos aproximados de 17,8, 8,9 e 15,5 %, respectivamente.

5.1 Características e propriedades das farinhas de vegetais

5.1.1 Composição centesimal

A composição centesimal da quirera de arroz (QA) e das farinhas de vegetais (FC, FE e FB) foi realizada oito meses após o processamento (período da pandameia), e seus valores

encontram-se na Tabela 2. A QA apresentou umidade de 12 %, já as farinhas de vegetais exibiram uma média 10 % para FC, 15 % para FE e 9 % para FB. Os valores encontrados na composição centesimal das farinhas de vegetais e da quirera de arroz estão similares aos encontrados na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO). Os valores obtidos em QA foram comparados com os encontrados para a farinha de arroz. Já os valores exibidos para FC, FE e FB, foram comparados com os valores encontrados para vegetais cozidos (NEPA & UNICAMP, 2011).

Tabela 2. Composição centesimal da quirera de arroz e das farinhas de vegetais

	QA (%)	FC (%)	FE (%)	FB (%)
Cinzas	0,32 ± 0,02c	7,58 ± 0,04b	13,20 ± 0,12a	7,75 ± 0,12b
Proteínas	7,41 ± 0,50d	8,75 ± 0,24c	28,51 ± 0,77a	13,59 ± 0,24b
Lipídios	0,66 ± 0,06b	2,12 ± 0,17a	3,99 ± 0,27a	0,53 ± 0,05b
Fibras alimentares totais	0,59 ± 0,00d	4,01 ± 0,00b	6,33 ± 0,00a	2,25 ± 0,00c
Carboidratos digeríveis	91,03 ± 0,45a	77,59 ± 0,52b	47,97 ± 0,99c	75,88 ± 0,16b

¹Valores expressos em médias ± desvio padrão. Resultados expressos em base úmida;

²QA: Quirera de arroz; FC: Farinha de cenoura; FE: Farinha de espinafre; FB: Farinha de beterraba;

³Umidade das farinhas: QA 12%, FC 10%, FE 15% e FB 9%;

⁴Médias com letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A quirera de arroz (QA), exibiu maior teor de carboidratos quando comparada com as demais farinhas, conforme também foi encontrado por Carvalho *et al.* (2011) ao analisar quirera de arroz. O principal carboidrato presente em grãos de cereais é o amido, o que os tornam uma excelente alternativa de matéria-prima como base amilácea em processamento tecnológico como a extrusão (ASCHERI *et al.*, 2019).

O espinafre *in natura* é considerado popularmente uma excelente fonte de proteína vegetal, evidenciado pelo alto teor de proteínas encontrados em FE quando comparado com as demais farinhas, o que também está de acordo com o que foi encontrado por Galla *et al.* (2017), que ao trabalhar com farinhas de espinafre notaram que elas apresentaram cerca de 27,8% de proteínas. Além de FE exibir maior teor de proteínas, também apresentou maior teor de cinzas, lipídios e fibras quando comparado as demais farinhas. Galla *et al.* (2017), em seu trabalho, encontraram teor de fibras (8,82%) superior aos obtidos no presente estudo (6,33%).

Os valores encontrados para fibras em FC foram menores (4,01%) do que os encontrados por Sharma *et al.* (2012), que exibiram 8,5% de fibras totais. A FC não se diferenciou significativamente de FE quanto ao teor de lipídios, porém estas farinhas

apresentaram maior teor quando comparadas com QA e FB. As farinhas FC e FB apresentaram conteúdos muito próximos quanto ao teor de cinzas e carboidratos digeríveis, não apresentando diferença significativa entre si. Dentre as farinhas de vegetais, a FB foi a que apresentou menor teor de lipídios, não apresentando diferença significativa com QA, conforme também foi encontrado por Filho *et al.* (2011), que encontraram em suas amostras de beterraba, teor de lipídios de 0,75%.

5.1.2 Conteúdo de minerais

Dentre os nutrientes presentes nos vegetais, os minerais são muito importantes para auxiliar nas diversas funções no organismo humano (INGREDIENTES, 2021). Através da Tabela 3, podemos observar o conteúdo de ferro, zinco, cálcio e magnésio presentes nas farinhas de vegetais e na quirera de arroz.

Tabela 3. Conteúdo de minerais da quirera de arroz e das farinhas de vegetais

	Fe (mg/ 100g)	Zn (mg/ 100g)	Ca (mg/ 100g)	Mg (mg/ 100g)
QA	0,21 ± 0,01c	0,95 ± 0,05c	ND	10,73 ± 0,63d
FC	6,39 ± 0,31b	2,51 ± 0,08b	318,81 ± 15,73b	105,89 ± 5,68c
FE	8,22 ± 0,32a	5,63 ± 0,10a	1944,78 ± 51,47a	416,66 ± 13,81a
FB	8,12 ± 0,02a	6,04 ± 0,42a	8,63 ± 6,06c	223,44 ± 4,38b

¹Valores expressos em médias ± desvio padrão; ND: não detectado;

²QA: Quirera de arroz; FC: Farinha de cenoura; FE: Farinha de espinafre; FB: Farinha de beterraba;

³Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Como podemos observar, a quirera de arroz (QA) apresentou os menores teores de minerais, o que se é esperado devido à pequena quantidade de cinzas encontrada nessa matriz (CARVALHO *et al.*, 2011). Ao compararmos o conteúdo de minerais da QA com os reportados na literatura (TABNUT, 2021), temos que as farinhas de arroz possuem 0,35 mg de ferro, 0,8 mg de zinco, 10 mg de cálcio e 35 mg de magnésio. Os teores de Fe, Ca e Mg, foram menores para QA do que os valores exibidos na literatura para farinha de arroz. Já o teor de zinco foi muito próximo ao encontrado na literatura.

A FE apresentou maiores teores de cálcio e magnésio, quando comparada com as demais farinhas. Também exibiu os maiores valores de ferro e zinco, porém não apresentou diferença significativa com a FB. Khan *et al.* (2015), em seu trabalho com espinafre em pó, encontraram

valores para zinco de 5,06 mg (próximo ao encontrado em FE), e para cálcio de 1019 mg (um pouco abaixo do que foi encontrado em FE).

A FC foi a segunda farinha com maior conteúdo de cálcio. Os teores de ferro encontrados em FE e FB, assim como o teor de cálcio em FC, foram maiores do que os encontrados na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) para os respectivos vegetais cozidos (NEPA & UNICAMP, 2011).

5.1.3 Granulometria

A granulometria obtida da quirera de arroz diferiu dos valores encontrados para as farinhas de vegetais, conforme exibido na Tabela 4. O tamanho das partículas utilizadas no processo de extrusão é um parâmetro muito importante para a formação e expansão dos produtos extrusados (ASCHERI *et al.*, 2019).

Partículas de tamanhos menores possibilitam a formação de uma textura mais macia, ou seja, de menor dureza. Por outro lado, uma granulometria maior proporciona uma maior crocância, maior dureza (SOUZA *et al.*, 2020). Isso ocorre, pois, as maiores partículas serão menos hidratadas do que as menores, resultando em diferentes graus de cocção do produto, o que pode ser controlado pela homogeneização do tamanho das partículas (SAMPAIO, 2017).

Tabela 4. Granulometria da quirera de arroz e das farinhas de vegetais

ASTM Mesh	Tamanho μm	QA % de amostra retida	FC % de amostra retida	FE % de amostra retida	FB % de amostra retida
14	1410	25,14 \pm 1,09	0,78 \pm 0,07	2,61 \pm 0,16	3,62 \pm 0,32
20	840	39,10 \pm 1,24	4,07 \pm 0,51	4,94 \pm 0,40	16,24 \pm 0,86
35	500	27,69 \pm 2,23	26,04 \pm 1,71	23,75 \pm 0,9	33,39 \pm 2,06
60	250	6,79 \pm 0,68	41,12 \pm 3,38	47,82 \pm 0,13	28,07 \pm 0,33
80	177	0,88 \pm 0,09	9,64 \pm 0,69	9,15 \pm 0,17	5,62 \pm 0,49
100	149	0,39 \pm 0,06	5,78 \pm 0,87	3,23 \pm 0,40	2,73 \pm 0,36
0	ND	1,11 \pm 0,11	14,28 \pm 2,75	8,56 \pm 0,60	10,61 \pm 1,91

¹ Valores expressos em médias \pm desvio padrão;

²QA: Quirera de arroz; FC: Farinha de cenoura; FE: farinha de espinafre; FB: Farinha de beterraba.

Conforme podemos observar na Tabela 4, cerca de 91,93% da quirera de arroz apresentou tamanho entre que 500 a 1410 μm , devido à quantidade de partículas retidas nas peneiras 35, 20 e 14 *mesh*. Essa granulometria também foi utilizada por Carvalho *et al.* (2012) que utilizaram farinha de quirera de arroz e bandinha de feijão em produtos extrusados.

A granulometria das farinhas de vegetais exibiram uma média de 96,8% para FC, 92,5% para FE e 80,5% para FB de partículas retidas entre as peneiras 35, 60, 80, 100 e 0 *mesh*, ou seja, cujo tamanho encontrado das partículas foi menor do que 840 μm .

5.1.4 Cor instrumental

As farinhas tiveram suas cores medidas em dois períodos. A 1ª medida foi realizada três dias após a obtenção (Figura 21), e a 2ª foi realizada oito meses após a obtenção das farinhas (Figura 22), por conta da pandemia.

Figura 21. Farinhas dos vegetais recém-produzidas

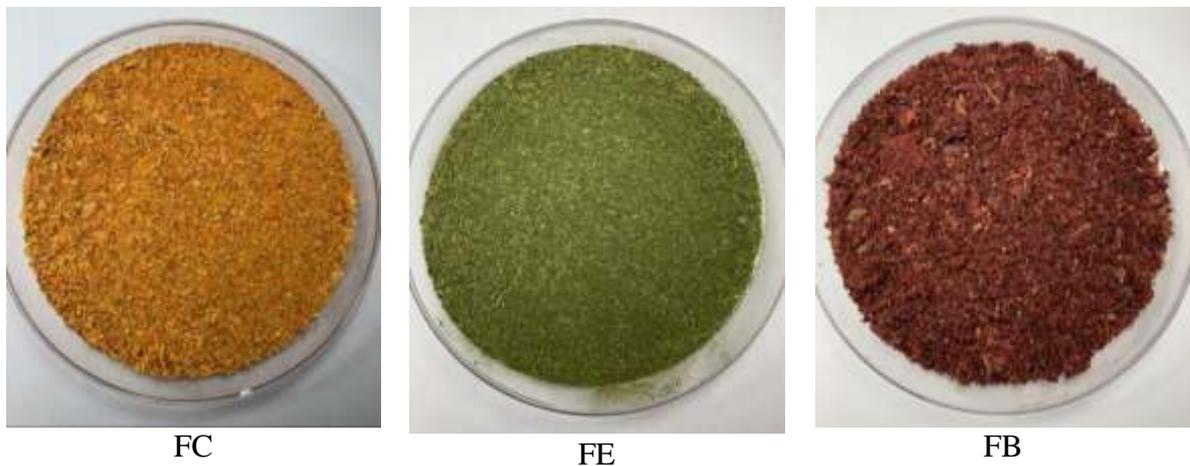


Figura 22. Farinha de vegetais após o armazenamento



Onde: FC = farinha de cenoura, FE = farinha de espinafre, e FB = farinha de beterraba.

Nas Figuras 21 e 22 podemos observar as distintas cores, variando do laranja, verde e vermelho, e também notar a alteração de cor que ocorreu nas farinhas armazenadas. Está

alteração pode ser melhor compreendida pelos dados apresentados na Tabela 5. A Figura 21 permite observar a cor viva das farinhas após o processamento. A farinha FC demonstrou maiores valores de a^* e b^* , devido à cor laranja característica das cenouras. A FE apresentou valor negativo em a^* , ou seja, uma tendência para o verde, devido à cor do espinafre. A FB apresentou menor valor em L^* e um alto valor em a^* , tendendo ao vermelho escuro.

Após o armazenamento, foi possível observar uma alteração na cor das farinhas, evidenciada pela perda da cor viva, resultando em uma aparência opaca e escura, o que pode ser evidenciado pela diferença significativa entre a cor das farinhas recém-produzidas e a cor das farinhas após o armazenamento, conforme exibido na Tabela 5. Segundo Ermiş (2015), durante o armazenamento podem ocorrer reações de oxidação, alterando assim a cor das farinhas de vegetais. As reações de oxidação são fenômenos naturais ocasionados durante o armazenamento, que podem ocorrer de forma lenta ou rápida, devido a fatores como a presença de oxigênio, incidência de luz, umidade, temperatura, entre outros. (CARLE & SCHWEIGGERT, 2016).

Tabela 5. Cor instrumental das farinhas de vegetais

	Recém- produzida	Armazenada	Recém- produzida	Armazenada	Recém- produzida	Armazenada
	L	L	a	a	b	b
QA	87,56 ± 0,49a	86,66 ± 0,14b	0,20 ± 0,05b	0,30 ± 0,03a	14,86 ± 0,71a	15,99 ± 0,02a
FC	54,46 ± 0,68b	64,62 ± 0,67a	24,24 ± 0,16a	10,22 ± 0,20b	38,76 ± 0,38a	28,16 ± 0,45b
FE	44,08 ± 0,79a	31,67 ± 1,20b	-1,18 ± 0,10b	-0,96 ± 0,08a	24,80 ± 0,17a	13,38 ± 0,46b
FB	19,16 ± 0,05b	20,67 ± 0,59a	21,71 ± 0,46a	11,95 ± 0,33b	8,35 ± 0,36b	14,42 ± 0,19a

¹Valores expressos em médias ± desvio padrão;

²QA: Quirera de arroz; FC: Farinha de cenoura; FE: Farinha de espinafre; FB: Farinha de beterraba;

³Letras minúsculas diferentes na mesma linha, para um mesmo parâmetro, indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Analisando os diferentes resultados entre as farinhas recém-produzidas e armazenadas, podemos observar um aumento no parâmetro em L^* para as amostras FC e FB e uma redução para FE e QA. Os valores de a^* mostraram uma redução para FC e FB, já para QA e FE, ocorreu um aumento significativo. Os valores expressos em b^* exibiu uma redução para FC e FE, e um aumento para FB. Por outro lado para QA não houve diferença significativa entre a quirera armazenada e recém-produzida.

A QA após o armazenamento, apresentou cor branca com um leve tom de amarelo, confirmada pelo alto valor de L^* e pelo valor expresso em b^* . Por outro lado, a farinha de cenoura (FC), apresentou um aumento em L^* e uma redução nos valores de a^* e b^* , correspondentes à cor alaranjada opaca. A farinha de espinafre (FE) exibiu uma diminuição nos parâmetros L^* e b^* , caracterizando o escurecimento da farinha. Por fim, a farinha de beterraba (FB) apresentou um aumento de L^* e b^* , o que resultou em um leve clareamento da farinha.

5.1.5 Propriedades de pasta da quirera de arroz (QA)

O principal componente de um alimento extrusado expandidos é o carboidrato na forma de amido, pois é ele que irá determinar a expansão e a estrutura do material extrusado (CARVALHO, 2019). Com a presença de água, temperatura, e velocidade de mistura, os grânulos de amido vão inchando, conseqüentemente, perdem sua estrutura cristalina devido ao rompimento das ligações de hidrogênio, interagem com a água, e ocorre a sua hidratação (ASCHERI *et al.*, 2019). As propriedades de pasta da QA estão diretamente ligada com a presença do amido (CLERICI & SCHMIELE, 2019), e o seu comportamento pode ser observado na Tabela 6 e na Figura 23,

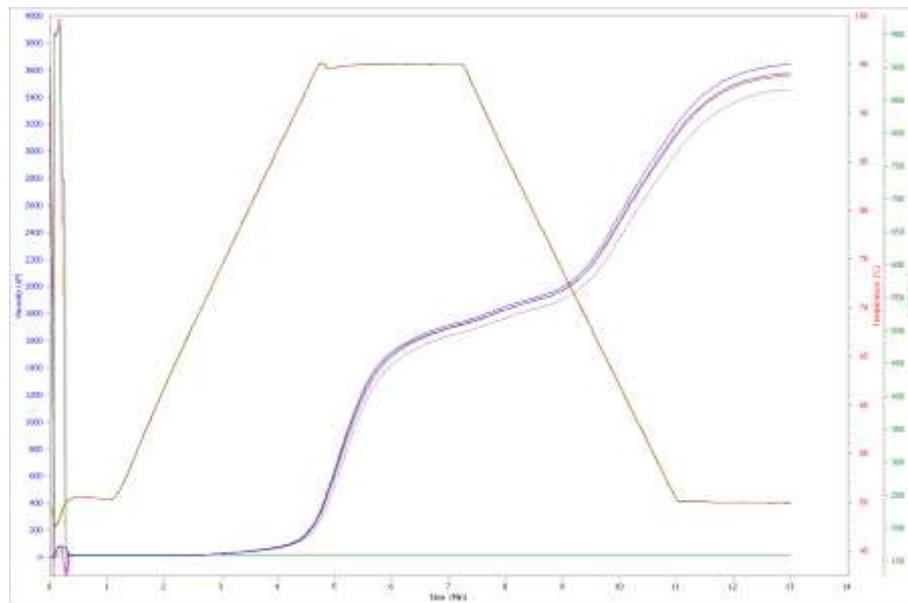
Tabela 6. Dados de viscosidade da quirera de arroz

Parâmetros	QA (reduzida)
Viscosidade máxima (cP)	1685 ± 33,9
Viscosidade mínima (cP)	1503 ± 40,5
Quebra (cP)	182 ± 8,6
Viscosidade final (cP)	3559 ± 76,0
Tendencia a retrogradação (cP)	2055 ± 37,2
Tempo de pico (min)	7 ± 0,0
Temperatura (°C)	90 ± 0,44

¹Valores expressos em médias ± desvio padrão;
²Onde: QA: Quirera de arroz (com granulometria reduzida/menor que 250 µm).

Através da Figura 23 é possível observar que o amido da quirera de arroz não absorve água a temperatura ambiente (entre 20 a 30 °C), evidenciado pelo comportamento da viscosidade a frio. A viscosidade só aumentou à medida que ocorreu o aumento da temperatura, com o auxílio da agitação, pois através dessa combinação (temperatura e agitação), ocorre a quebra da estrutura granular do amido e interação da amilose e amilopectina com a água (SAMPAIO, 2017).

Figura 23. Propriedades de pasta da QA



Com a hidratação dos grânulos de amido, ocorre o aumento da viscosidade até se obter o pico de viscosidade máxima, que foi de 1685 cP. A viscosidade final de 3559 cP, é obtida após o resfriamento, com a reorganização das cadeias de amilose e amilopectina. Silva e Ascheri (2009), ao analisar as propriedades de viscosidade de farinha de arroz crua, obtiveram para viscosidade máxima o valor de 2791 cP, e para viscosidade final 3162 cP.

5.1.6 Fenólicos totais e atividade antioxidante (DPPH) das farinhas de vegetais e da quirera

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários das plantas e dos vegetais. A presença de compostos fenólicos em frutas, hortaliças, grãos de cereais e outros vegetais está atribuída a diversas funções benéficas no organismo humano, dentre elas, a atividade antioxidante (ANGELO & JORGE, 2007).

Cada vegetal possui um conteúdo de fenólicos diferente, e esses compostos podem apresentar diferentes comportamentos durante o processamento dos alimentos, devido a possíveis variáveis envolvidas no processo como tempo e temperatura (PIMENTEL *et al.*, 2019). Os dados do teor de fenólicos totais e da atividade antioxidante da QA e das farinhas de vegetais encontram-se na Tabela 7.

É importante ressaltar que os métodos utilizados para determinar o teor de fenólicos totais e a atividade antioxidante são métodos colorimétricos. Portanto, foi necessário diluir as

amostras para minimizar qualquer interferência dos pigmentos presentes no resultado das análises.

Tabela 7. Teor de fenólicos totais e atividade antioxidante da QA e das farinhas de vegetais

	Teor de fenólicos totais		Atividade antioxidante	
	Concentração de amostra (mL/mL)	Fenólicos totais (μg GAE/mL de extrato)	Concentração de amostra (mL/mL)	DPPH (μg T.E./mL)
QA	0,50	73,91 \pm 7,03d	0,50	10,68 \pm 0,79b
FC	0,10	796,67 \pm 18,61b	0,50	110,97 \pm 0,77b
FE	0,10	658,30 \pm 13,07c	0,50	110,10 \pm 1,37b
FB	0,10	1565,22 \pm 13,25a	0,025	2117,07 \pm 33,01a

¹Valores expressos em médias \pm desvio padrão;

²QA: Quirera de arroz; FC: Farinha de cenoura; FE: Farinha de espinafre; FB: Farinha de beterraba; T.E.: Trolox equivalente;

³Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A QA exibiu menor teor de fenólicos totais e menor atividade antioxidante, quando comparada com as farinhas de vegetais. Isto era esperado, considerando que a quirera é composta do endosperma do grão de arroz. A FB foi a farinha que apresentou maior teor de fenólicos totais e maior atividade antioxidante, diferenciando-se significativamente das demais. Através dos valores do teor de fenólicos e da atividade antioxidante, podemos inferir que houve uma correlação entre eles pois, na farinha em que foi encontrado o menor teor de fenólicos, também se encontrou a menor atividade antioxidante, da mesma forma ocorreu para as que exibiram um maior teor. Chávez *et al.* (2017), ao avaliarem o conteúdo de fenólicos totais em sorgo e em pó de café para aplicação em produtos extrusados, observaram que o teor de fenólicos e a atividade antioxidante exibiram comportamentos semelhantes, ou seja, onde se encontrava o maior teor de um, também se verificava o maior valor do outro.

As farinhas de vegetais apresentaram de 88 a 95% a mais de compostos fenólicos do que a quirera e, de 90 a 99% a mais de atividade antioxidante. Apesar do longo período de armazenamento das farinhas de vegetais, foi possível quantificar os compostos fenólicos e identificar atividade antioxidante, o que as tornam ingredientes promissores para a elaboração de alimentos com maior valor funcional para o organismo humano.

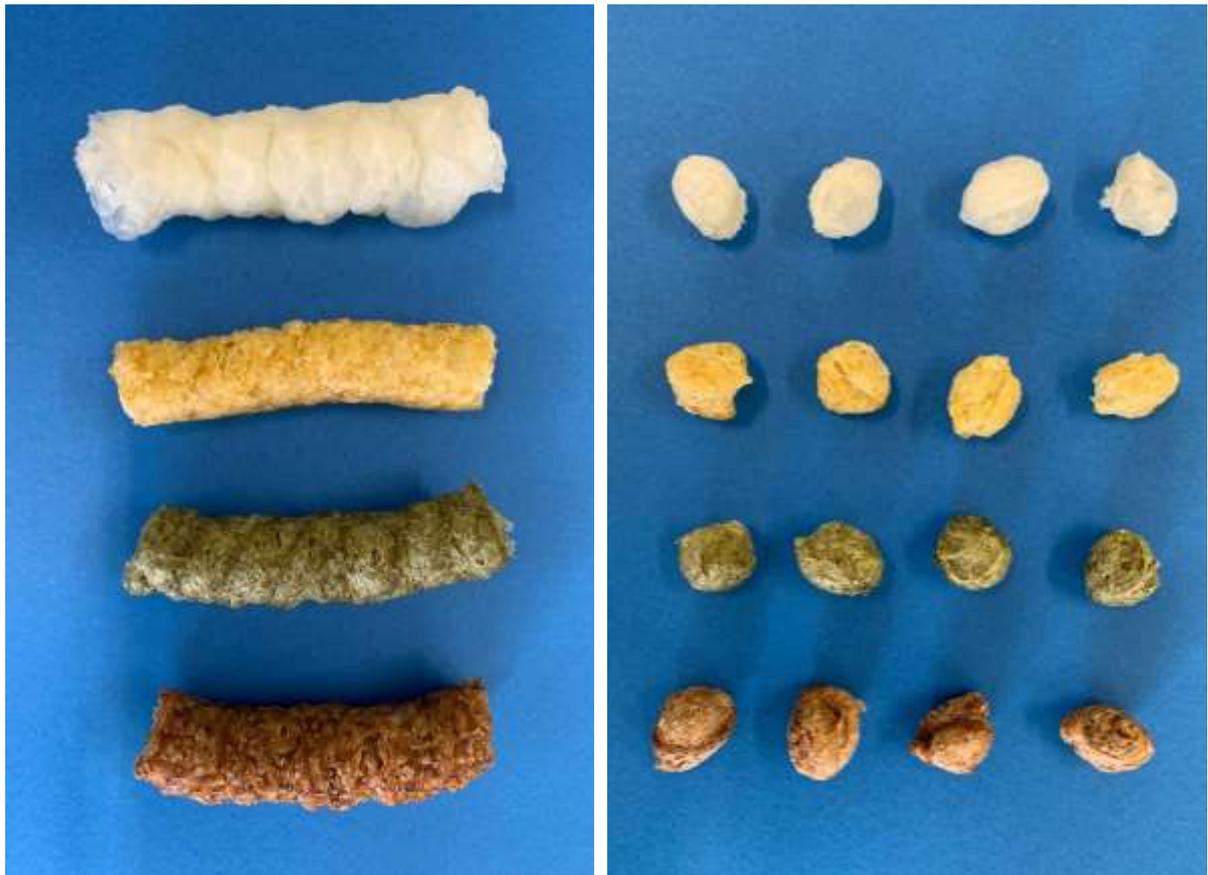
5.2 Características e propriedades dos cereais extrusados

Os extrusados foram obtidos com uma média de vazão de 35,28 kg/h na taxa de alimentação da extrusora.

5.2.1 Propriedades físicas dos extrusados

Através da Figura 24 podemos visualizar os cereais extrusados coloridos em forma de cilindros e em bolinhas.

Figura 24. Cereais extrusados expandidos



5.2.1.1 Cor instrumental

A cor dos cereais apresentou variação nos tons de branco (controle/CQA), laranja (CFC), verde (CFE) e vermelho (CFB), conforme o esperado. Apesar do longo período de armazenamento das farinhas (oito meses), foi possível obter cereais extrusados expandidos com cores interessantes, de acordo com a característica de cada fonte vegetal utilizada no processo de extrusão. De acordo com os valores expostos na Tabela 8, podemos observar que o cereal controle (branco) foi o mais claro, seguido do laranja (CFC), cujo os valores de L^* foram os mais altos, quando comparado com CFE e CFB. Apesar do alto valor de L^* para o controle,

podemos observar um escurecimento evidenciado pelo valor negativo em a^* , que podemos inferir sua atribuição proveniente do processo de extrusão.

O cereal mais escuro, que teve menor valor de L^* foi o vermelho (CFB). Todos os cereais apresentaram resultados em a^* e b^* relacionado com as próprias farinhas como a cenoura, o espinafre e a beterraba.

Tabela 8. Dados experimentais de cor dos extrusados

	L	a	b
CQA	81,07 ± 0,34a	-0,05 ± 0,06c	19,59 ± 0,05d
CFC	62,94 ± 0,43b	9,84 ± 0,16b	34,10 ± 0,24a
CFE	43,40 ± 0,29c	-0,09 ± 0,03c	20,34 ± 0,09c
CFB	39,51 ± 0,06d	14,99 ± 0,30a	21,89 ± 0,21b

¹Valores expressos em médias ± desvio padrão;

²CQA: Cereal branco somente com quirera de arroz; CFC: Cereal laranja com a farinha de cenoura; CFE: Cereal verde com a farinha de espinafre; CFB: Cereal vermelho com a farinha de beterraba;

³Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os dados obtidos apontam que a incorporação de farinha de vegetais foi capaz de proporcionar cor característica aos extrusados, o que também foi observado por Camire *et al.* (2007), e Oliveira *et al.* (2018), ao incorporarem pó de frutas em cereais matinais.

A utilização de farinhas de vegetais na formulação de alimentos processados mostra-se uma alternativa viável para colorir os alimentos de forma natural, resultando em produtos mais atrativos visualmente, atendendo ao público que busca por uma alimentação saudável.

5.2.1.2 Índice de expansão, densidade, dureza e *bowt-life*

Como podemos observar, a adição das farinhas de vegetais na elaboração dos extrusados proporcionou uma redução na expansão dos cereais, conforme exibido na Tabela 9. O mesmo comportamento foi observado por Oliveira *et al.* (2018), ao adicionar farinha de casca de jabuticaba em cereais matinais. Esta redução da expansão está diretamente ligada à menor disponibilidade de amido, menor granulometria das farinhas de vegetais (SOUZA *et al.*, 2020), além da presença de fibras nessas farinhas (ALONSO *et al.*, 2020). As interações fibra-água e fibra-amido podem afetar negativamente a gelatinização do amido, o que afeta a expansão e a dureza dos produtos extrusados (MARQUES, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2018; ASCHERI *et al.*, 2019).

O cereal controle (CQA) foi o que apresentou maior expansão, seguido pelo CFB. Já os CFE e CFC apresentaram menor expansão, e não apresentaram diferença significativa entre si.

A menor densidade foi encontrada no cereal controle (CQA) e CFE. Por outro lado o cereal CFC apresentou maior densidade, seguido pelo CFB.

A maior dureza foi observada para CQA, o qual diferiu significativamente dos demais cereais (menor dureza). Não houve diferença significativa nos valores encontrados para a dureza entre CFC, CFE e CFB, o que podemos inferir que a adição de farinha dos vegetais utilizados neste estudo, tiveram o mesmo efeito sobre a redução da dureza dos cereais expandidos. Segundo Marques (2017), a dureza esta correlacionada com a expansão do produto, pois, quanto menor a expansão, maior é a força necessária para o rompimento da estrutura, e consequentemente maior a densidade.

Tabela 9. Características dos extrusados

	Densidade	Expansão	Dureza	Bowl-life
CQA	0,35 ± 0,01c	3,19 ± 0,05a	51,68 ± 6,92a	49,73 ± 5,50a
CFC	0,49 ± 0,01a	2,28 ± 0,02c	40,65 ± 4,51b	26,85 ± 4,37b
CFE	0,33 ± 0,03c	2,44 ± 0,09c	39,40 ± 4,82b	17,13 ± 3,57c
CFB	0,41 ± 0,04b	2,56 ± 0,14b	37,49 ± 5,40b	17,64 ± 3,93c

¹Valores expressos em médias ± desvio padrão;

²CQA: Cereal branco somente com quífera de arroz; CFC: Cereal laranja com a farinha de cenoura; CFE: Cereal verde com a farinha de espinafre; CFB: Cereal vermelho com a farinha de beterraba;

³Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A incorporação de farinhas de vegetais em produtos extrusados pôde aumentar as interações com a água presente no leite, reduzindo assim a dureza dos produtos extrusados em condições de consumo, quando comparados com os extrusados secos, o que também foi observado por Oliveira (2015). Os cereais que apresentaram maior interação com a água presente no leite foram CFE e CFB, e não apresentaram diferença significativa entre si. Por outro lado, o cereal controle (CQA) foi o que apresentou menor interação com a água, evidenciado pelo alto valor de dureza em condições de consumo (*bowl-life*).

A capacidade de absorver água pode estar ligada com a porosidade do material e também à presença de fibras na estrutura (SAMPAIO, 2017). As fibras podem proporcionar um aumento da absorção de água presente no leite, pela facilidade de absorção de líquidos, que modificam a resistência mecânica, resultando em uma textura mole, frágil, de menor dureza em condições de consumo.

5.2.1.3 Índice de absorção e de solubilidade em água dos extrusados

Os dados de índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) estão exibidos na Tabela 10, onde podemos observar que o IAA variou de 5,72 a 7,60%, e o ISA variou de 10,46 a 18,27%.

O índice de absorção de água (IAA) reflete as condições da estrutura do amido, ou seja, se a estrutura granular foi mantida ou não após o processo de extrusão (FAUBION & HOSENEY, 1982). Durante o processo de extrusão, a alta temperatura combinada com a pressão e o cisalhamento proporcionam um rompimento na estrutura do amido, que irá influenciar na capacidade de absorção de água em temperatura ambiente, resultando em maiores valores de IAA (GUJRAL *et al.*, 2012).

Tabela 10. Índice de absorção (IAA) e de solubilidade em água (ISA) dos extrusados

	IAA (%)	ISA (%)
CQA	6,65 ± 0,34b	18,09 ± 0,85a
CFC	5,72 ± 0,01c	10,58 ± 0,50b
CFE	7,60 ± 0,06a	11,79 ± 0,17b
CFB	5,95 ± 0,37c	11,30 ± 0,77b

¹Valores expressos em médias ± desvio padrão;

²CQA: Cereal branco somente com quirera de arroz; CFC: Cereal laranja com a farinha de cenoura;

CFE: Cereal verde com a farinha de espinafre; CFB: Cereal vermelho com a farinha de beterraba;

³Letras minúsculas na mesma coluna indicando a diferença pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Como podemos observar, o cereal verde (CFE) foi o que apresentou maior absorção de água, seguido pelo cereal controle (CQA). Os cereais laranja (CFC) e vermelho (CFB) não tiveram diferença significativa entre si na absorção de água.

O ISA aponta para a presença de moléculas solúveis que podem estar correlacionadas à dextrinização do amido após a extrusão (COLONNA & MERCIER, 1989). As condições do processamento de extrusão podem aumentar a dextrinização e, conseqüentemente, proporcionar um aumento no ISA (SAMPAIO, 2017). O índice de solubilidade em água de CQA foi maior do que os outros cereais. Por outro lado, os cereais CFC, CFE e CFB não apresentaram diferença significativa entre si.

5.2.2 Propriedades nutricionais dos cereais extrusados

5.2.2.1 Composição centesimal e atividade de água dos extrusados

Os cereais extrusados apresentaram teor de umidade de 6,5% para o controle/branco (CQA), 6,2% para o laranja (CFC), 6,6% para o verde (CFE), e 5,3% para o vermelho (CFB). De acordo com Ascheri *et al.*, (2019), a umidade final e ideal para um produto extrusado deve ser próxima de 3 a 5 %. Os respectivos valores obtidos de umidade, estão um pouco acima do que se espera de um produto extrusado. Os resultados da composição centesimal dos cereais extrusados encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11. Composição centesimal dos cereais extrusados

	CQA (%)	CFC (%)	CFE (%)	CFB (%)
Cinzas	0,33 ± 0,01d	1,06 ± 0,05b	1,51 ± 0,01a	0,96 ± 0,06c
Proteínas	6,51 ± 0,06c	7,31 ± 0,13c	9,41 ± 0,21b	8,55 ± 0,57a
Lipídios	0,39 ± 0,02b	0,41 ± 0,03b	0,53 ± 0,03b	1,08 ± 0,06a
Fibras totais	0,58 ± 0,00d	0,91 ± 0,00b	1,15 ± 0,00a	0,74 ± 0,00c
Carboidratos digeríveis	92,19 ± 0,45a	90,31 ± 0,52b	87,40 ± 0,99d	88,67 ± 0,16c
Valor energético	374,87 kcal/g	394,17 kcal/g	392,01 kcal/g	398,60 kcal/g

¹Valores expressos em médias ± desvio padrão;

²CQA: Cereal branco somente com quirera de arroz; CFC: Cereal laranja com a farinha de cenoura; CFE: Cereal verde com a farinha de espinafre; CFB: Cereal vermelho com a farinha de beterraba;

³Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A incorporação de farinhas de vegetais como ingredientes na formulação dos extrusados proporcionou um aumento no conteúdo nutricional, evidenciado pelo maior teor de proteínas, lipídios, fibras totais e cinzas, quando comparados com o cereal controle (CQA). Esse aumento no conteúdo nutricional foi proporcional à composição centesimal das farinhas isoladamente.

O CFE apresentou maior teor de cinzas e fibras totais, quando comparado com os demais cereais, o que corrobora com os maiores teores de cinzas e fibras encontrados em FE. CFC foi o segundo cereal com maior teor de cinzas e fibras, assim como encontrado em FC isoladamente. CFB apresentou maior teor de lipídios, e os cereais CQA, CFC e CFE não apresentaram diferença significativa entre si. CQA apresentou maior teor de carboidratos, quando comparado com os demais cereais, assim como foi encontrado para QA isoladamente. Camire *et al.* (2007) observaram o mesmo comportamento em relação ao enriquecimento nutricional, ao adicionar pó de frutas na formulação de cereais matinais extrusados.

A atividade de água dos cereais matinais foi de 0,34 para CQA, 0,29 para CFC, 0,32 para CFE, e 0,35 para CFB. A baixa atividade de água dos produtos extrusados é uma vantagem segundo Oliveira (2015), pois a atividade de água está relacionada com a estabilidade durante

o armazenamento, e em condições baixas pode-se evitar o desenvolvimento de microrganismos deteriorantes.

5.2.2.2 Conteúdo de minerais dos produtos extrusados

A Tabela 12 exhibe o conteúdo de minerais dos cereais extrusados. Através dos resultados podemos observar que a incorporação de farinha de vegetal nos cereais matinais extrusados proporcionou um aumento no conteúdo de minerais.

Segundo Nayak *et al.* (2011), a utilização de diferentes fontes vegetais pode proporcionar um enriquecimento nutricional nos produtos extrusados. Ao trabalhar com farinha de batata roxa e farinha de ervilha em produtos extrusados, estes autores produziram cereais matinais coloridos e de maior valor nutricional. Através dos dados expostos na Tabela 12, podemos observar um aumento no teor dos minerais nos extrusados pela incorporação das farinhas de vegetais, o que seguiu o mesmo padrão para os valores encontrados nas respectivas farinhas isoladamente.

Tabela 12. Conteúdo de minerais dos cereais extrusados.

	Fe (mg/ 100g)	Zn (mg/ 100g)	Ca (mg/ 100g)	Mg (mg/100g)
CQA	0,21 ± 0,01d	0,95 ± 0,05d	ND	10,73 ± 0,63d
CFC	2,49 ± 0,09c	1,17 ± 0,03c	24,71 ± 1,99b	21,34 ± 1,27c
CFE	3,20 ± 0,03b	1,48 ± 0,05b	115,55 ± 2,36a	49,81 ± 0,60a
CFB	4,20 ± 0,20a	1,66 ± 0,01a	7,84 ± 0,54c	31,46 ± 1,22b

¹Valores expressos em médias ± desvio padrão; ND: não detectado;

²CQA: Cereal branco somente com quirera de arroz; CFC: Cereal laranja com a farinha de cenoura; CFE: Cereal verde com a farinha de espinafre; CFB: Cereal vermelho com a farinha de beterraba;

³Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

CQA foi o cereal com menor conteúdo de minerais. Assim como encontrado para QA isoladamente. CFB apresentou maior teor de ferro e zinco quando comparado com os demais cereais. CFE exibiu maiores teores de cálcio e magnésio, assim como também foi exibido para FE isoladamente. CFC foi o segundo cereal com maior teor de cálcio, como também foi encontrado para FC.

A Ingestão Diária Recomendada (IDR) para minerais segundo o Ministério da Saúde pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), exibido pela RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005a), indica que crianças de 7 a 10 anos devem consumir 9 mg de ferro, 5,6 mg de zinco, 700 mg de cálcio e 100 mg de magnésio por dia. Com base nessa

informação, podemos notar que uma porção, considerando a mesma quantidade (7,5 g de cada cereal CQA, CFC, CFE e CFB), correspondendo a 30 g dos cereais coloridos (porção recomendada nas embalagens de cereais). Dessa forma, o consumo de uma porção de 30 g de cereal colorido, contribuirá para a IDR de 8 % de ferro, 7 % para zinco, 2 % para cálcio, e 8 % para magnésio.

5.2.2.3 Fenólicos totais e atividade antioxidante (DPPH) nos extrusados

O teor de fenólicos totais e a atividade antioxidante nas concentrações escolhidas para as amostras dos cereais matinais extrusados encontram-se na Tabela 13. Podemos observar que a incorporação 10 % das farinhas vegetais proporcionou um aumento significativo no teor de fenólicos totais e na atividade antioxidante, ao compararmos com o cereal controle (CQA).

Tabela 13. Teor de fenólicos totais e atividade antioxidante nos extrusados

	Teor de fenólicos totais		Atividade antioxidante	
	Concentração de amostra (mL/mL)	Fenólicos totais ($\mu\text{g GAE/mL}$ de extrato)	Concentração de amostra (mL/mL)	DPPH ($\mu\text{g T.E./mL}$)
CQA	0,33	88,06 \pm 6,11c	0,33	17,02 \pm 1,92d
CFC	0,33	136,36 \pm 10,24b	0,33	62,95 \pm 0,32c
CFE	0,33	150,13 \pm 9,17b	0,33	87,01 \pm 4,06b
CFB	0,33	219,00 \pm 33,91a	0,33	158,41 \pm 4,69a

¹Valores expressos em médias \pm desvio padrão;

²CQA: Cereal branco somente com quirera de arroz; CFC: Cereal laranja com a farinha de cenoura; CFE: Cereal verde com a farinha de espinafre; CFB: Cereal vermelho com a farinha de beterraba; T.E.: Trolox equivalente;

³Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Como podemos observar, CFB foi o cereal que exibiu maior teor de fenólicos totais e maior atividade antioxidante, quando comparado com os demais cereais. Este fato corrobora com os dados encontrados para as farinhas isoladamente, onde FB exibiu maior teor de fenólicos e maior atividade antioxidante, quando comparada com FE, FC e QA. Os cereais CFC e CFE não diferenciaram significativamente entre si quanto ao teor de fenólicos. Entretanto, CFE exibiu maior atividade antioxidante do que CFC. O cereal controle (CQA) apresentou menor teor de fenólicos e menor atividade antioxidante, quando comparado com os demais cereais, assim como encontrado em QA isoladamente.

A adição de 10 % das farinhas de vegetais nos extrusados de quirera de arroz proporcionou um aumento no teor de fenólicos totais de 35,4 % em CFC, 41,3 % em CFE e

59,8 % em CFB, quando comparados com o cereal controle (CQA). Da mesma forma, podemos observar um aumento de 70 % em CFC, 79,8 % em CFE e 87,4 % em CFB da atividade antioxidante em comparação com CQA. Isto demonstra o potencial de uso das farinhas de vegetais desenvolvidas, tanto para colorir naturalmente os cereais matinais, como para incrementar o seu valor funcional.

Chávez *et al.* (2017), ao avaliarem o conteúdo de fenólicos totais em extrusados de sorgo com pó de café, notaram que o processo de extrusão reduziu o conteúdo de fenólicos do sorgo, porém na presença de pó de café, ocorreu um aumento no teor de fenólicos totais. Nayak *et al.* (2011) também observaram um aumento no teor de fenólicos e na atividade antioxidante de produtos extrusados de batata roxa e farinha de ervilha. Esse aumento pode ser explicado pela alteração na estrutura celular das farinhas utilizadas na alimentação da extrusora, o que, ao passarem pelo processo de extrusão, podem liberar compostos fenólicos e pigmentos naturais retidos em suas matrizes, aumentando assim a atividade antioxidante no produto final.

Segundo Camire *et al.* (2007), a incorporação de pó de frutas em extrusados pode proporcionar, ainda que em pequenas quantidades, um aumento do teor de fenólicos e da atividade antioxidante nos extrusados. Entretanto, as condições do processo de extrusão podem contribuir para a redução da atividade antioxidante devido à sensibilidade de alguns compostos fenólicos e dos pigmentos naturais a altas temperaturas.

Contudo, a incorporação das farinhas de vegetais, cenoura, espinafre e beterraba, nas proporções estudadas neste trabalho, contribuíram para um aumento no teor de fenólicos totais e da atividade antioxidante na elaboração dos cereais extrusados expandidos.

6. CONCLUSÃO

O aproveitamento de vegetais inaptos para a comercialização no varejo devido à aparência indesejada (grandes, pequenos, tortos, etc.) para a produção de farinhas que poderão ser utilizadas como ingredientes na elaboração de produtos extrusados é uma alternativa promissora e viável que, apesar do longo período de armazenamento, além de conferir cor natural aos produtos processados, também pode proporcionar um enriquecimento nutricional e funcional devido ao aumento dos teores de minerais, proteínas, lipídios, fibras, compostos fenólicos e atividade antioxidante. As características físicas, visuais e tecnológicas dos cereais extrusados foram afetadas pela adição das farinhas de vegetais devido a composição individual de cada uma, de acordo com suas particularidades. Todavia, a incorporação de 10% de farinha de vegetal mostrou-se promissora para se obter um produto extrusado expandido colorido naturalmente de maior valor nutricional e funcional.

7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

A partir da realização deste trabalho, vislumbram-se alguns caminhos para trabalhos futuros, como estudar:

- A influência das condições de processo, como temperatura, umidade, velocidade de rotação da rosca, granulometria, podem exercer papel importante para cada farinha vegetal, de acordo com sua própria composição.

- Outras fontes de vegetais e frutas, que contenham outros pigmentos naturais e suas respectivas funcionalidades, como regulação da microbiota intestinal, efeito anti-obesidade, efeito anti-diabetes, entre outros, também são alternativas de estudos promissores que podem trazer um outro perfil aos produtos processados.

- A utilização de métodos que contribuam para uma maior estabilidade da cor como a microtecnologia, nanotecnologia e até mesmo a adição de antioxidantes naturais são alternativas promissoras para melhorar ainda mais a estabilidade desses compostos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACCI. Approved Methods of Analysis. 11 edn. American Association of Cereal Chemists., St.Paul. 2010.

ALBUQUERQUE, B. R.; *et al.* Anthocyanin-rich extract of jabuticaba epicarp as a natural colorant: Optimization of heat- and ultrasound-assisted extractions and application in a bakery product. *Food Chemistry*, v. 316, n. February, p. 126364, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126364>>.

ALONSO, P. D. S.; *et al.* Use of agricultural by-products in extruded gluten-free breakfast cereals. *Food Chemistry*, v. 297, n. June, p. 124956, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124956>>.

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos - Uma breve revisão. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v. 66, n. 1, p. 1–9, 2007.

ANUNCIACÃO, P. C.; *et al.* Comparing sorghum and wheat whole grain breakfast cereals: Sensorial acceptance and bioactive compound content. *Food Chemistry*, v. 221, p. 984–989, 2017.

AOAC. Approved methods of the American Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, U.S.A., American Association of Official Analytical Chemists. 2006.

ARNOLD, C.; *et al.* Carotenoids and chlorophylls in processed xanthophyll-rich food. *LWT - Food Science and Technology*, v. 57, n. 1, p. 442–445, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.01.004>>.

ARRIBAS, C.; *et al.* The effect of extrusion on the bioactive compounds and antioxidant capacity of novel gluten-free expanded products based on carob fruit, pea and rice blends. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 52, n. November 2018, p. 100–107, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.12.003>>.

ASSOUS, M. T. M.; *et al.* Evaluation of red pigment extracted from purple carrots and its

utilization as antioxidant and natural food colorants. *Annals of Agricultural Sciences*, v. 59, n. 1, p. 1–7, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aos.2014.06.001>>.

ASCHERI, J. L. R.; *et al.* How does extrusion technology help the development of foods with better nutritional value? *Global Journal of Nutrition & Food Science*. 1(3): 2019. Doi: 10.33552/GJNFS.2019.01.000511. Disponível em: <<https://irispublishers.com/gjnfs/pdf/GJNFS.MS.ID.000511.pdf>>.

AUGUSTO, P. P. C.; *et al.* Sensory impact of three different conching times on white chocolates with spray-dried and freeze-dried açai (*Euterpe oleracea*). *Food Science and Technology International*, v. 25, n. 6, p. 480–490, 2019.

AZEREDO, HENRIETTE M.C. Betalains: Properties, sources, applications, and stability - A review. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 44, n. 12, p. 2365–2376, 2009.

BARBA, F. J.; *et al.* Bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing. *Trends in Food Science and Technology*, v. 67, p. 195–206, 2017.

BARRETT, E. M; *et al.* Whole grain and high-fibre grain foods: How do knowledge, perceptions and attitudes affect food choice? *Appetite*, v. 149, 2020.

BARROS, R. G. C.; *et al.* Evaluation of bioactive compounds potential and antioxidant activity in some Brazilian exotic fruit residues. *Food Research International*, v. 102, n. July, p. 84–92, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.082>>.

BIOCHEM, M.; *et al.* Studies from Mashhad University of Medical Sciences in the Area of Phytomedicine Reported (Crocus Sativus a Natural Food Coloring and Flavoring Has Potent Anti-tumor Properties). p. 2018–2019, 2019.

BLUM, C. A.; *et al.* Promotion versus suppression of rat colon carcinogenesis by chlorophyllin and chlorophyll: Modulation of apoptosis, cell proliferation, and β -catenin/Tcf signaling. *Mutation Research - Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, v. 523–524, p.

217–223, 2003.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F.A. Introdução à química de alimentos. 2.ed. São Paulo: Varela, 1992. 234 p.

BRASIL, MINISTERIO DA SAÚDE. Guia Alimentar para a População Brasileira. 2ª ed. ed. Brasília: [s.n.], 2014. Disponível em:

<https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_alimentar_populacao_brasileira_2ed.pdf>.

BRASIL, ANVISA. Decreto N° 6268 , DE 22 DE NOVEMBRO DE 2007, Seção 1 , Página 24
Ementa : Regulamenta a Lei no 9 . 972 , de 25 de maio de 2000 , que institui a classificação de produtos vegetais ,. v. d, n. 9, 2007a.

BRASIL, ANVISA. Informe Técnico n° 68, de 3 de setembro de 2015. p. 1–7, 2015.

BRASIL, ANVISA. Legislação - ANVISA. RDC N° 60, DE 5 DE SETEMBRO DE 2007, v. 7, n. 3, p. 213–221, 2007b.

BRASIL, ANVISA. RESOLUÇÃO - RDC N° 269, DE 22 DE SETEMBRO DE 2005. p. 9–12, 2005a.

BRASIL, ANVISA. RESOLUÇÃO - RDC N° 263, DE 22 DE SETEMBRO DE 2005. p. 9–12, 2005b.

BRASIL, ANVISA. RESOLUÇÃO DE DIRETORIA COLEGIADA - RDC N° 272, DE 22 DE SETEMBRO DE 2005. v. 2005, p. 3–7, 2005c.

CALDWELL, E. F.; *et al.* *Cereals: Breakfast Cereals*. 2. ed. [S.l.]: Elsevier Ltd., 2015. v. 3–4. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00143-1>>.

CAMIRE, M. E.; *et al.* Blueberry and grape anthocyanins as breakfast cereal colorants. *Sensory and Nutritive Qualities of Food*, v. 67, n. 1, p. 438–441, 2002.

CAMIRE, M. E.; *et al.* Functionality of fruit powders in extruded corn breakfast cereals. *Food*

Chemistry, v. 101, n. 2, p. 765–770, 2007.

CARLE, R.; SCHWEIGGERT, R. M. *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages*. [S.l.]: Nikki Levy, 2016.

CARVALHO, A. V.; *et al.* Efeito dos parâmetros de extrusão termoplástica sobre as propriedades tecnológicas de farinhas pré-cozidas elaboradas com arroz e feijão. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 15, n. 4, p. 343–351, 2012.

CARVALHO, W. T.; *et al.* Características Físico-Químicas De Extratos De Arroz Integral, Quirera De Arroz E Soja. v. 41, n. 3, p. 422–429, 2011. Disponível em: <https://funcionaisnutraceuticos.com.br/upload_arquivos/201612/2016120406819001481553160.pdf>.

CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. *Embrapa Cerrados*, p. 51, 2010.

CHÁVEZ, D. W. H.; *et al.* Sorghum and roasted coffee blends as a novel extruded product: Bioactive compounds and antioxidant capacity. *Journal of Functional Foods*, v. 29, p. 93–103, 2017.

CHENG, H.; FRIIS, A. Modelling extrudate expansion in a twin-screw food extrusion cooking process through dimensional analysis methodology. *Food and Bioproducts Processing*, v. 88, n. 2–3, p. 188–194, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2010.01.001>>.

CHIOCHETTA, M.; *et al.* Green Juice in Human Metabolism: A Randomized Trial. *Journal of the American College of Nutrition*, v. 37, n. 8, p. 670–676, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/07315724.2018.1457458>>.

CLERICI, M. T. P.; SCHMIELE, M. Starches for Food Application. Chemical, Technological and Health Properties. AP – Academic Press. 1 ed. 428.

COLONNA, P.; MERCIER, C. Macromolecular modifications of manioc starch components by extrusion-cooking with and without lipids. *Carbohydr. Polym.*, v. 3, n. 1, p. 87-108, 1983.

CONSTANT, P. B. L.; *et al.* Corantes alimentícios. *Boletim Ceppa*, v. 20, n. 2, p. 203–220, 2002.

DALBHAGAT, C. G.; *et al.* Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. *Trends in Food Science and Technology*, v. 85, n. January, p. 226–240, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.001>>.

DA SILVA DIAS, JOÃO CARLOS. Nutritional and Health Benefits of Carrots and Their Seed Extracts. *Food and Nutrition Sciences*, v. 05, n. 22, p. 2147–2156, 2014.

DAVOUDI-KIAKALAYEH, ALI; *et al.* Alloimmunization in thalassemia patients: New insight for healthcare. *International Journal of Preventive Medicine*, v. 8, 2017.

DE ANDRADE, L. M.; *et al.* Purification of supercritical-fluid carotenoid-rich extracts by hydrophobic interaction chromatography. *Separation and Purification Technology*, v. 203, n. January, p. 1–10, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.04.018>>

DE SOUZA, V. F.; *et al.* Efeito da granulometria na expansão de extrusados de cascas e albedo de maracujá (*Passiflora edulis flavicarpa* Degener) e arroz (*Oryza sativa* L.). *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 7, p. 43214–43228, 2020.

DIAS, N.; *et al.* Influence of color on acceptance and identification of flavor of foods by adults. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, v. 2012, n. 004935, p. 296–301, 2012.

DOS REIS, L. C. R.; *et al.* Carotenoids, flavonoids, chlorophylls, phenolic compounds and antioxidant activity in fresh and cooked broccoli (*Brassica oleracea* var. Avenger) and cauliflower (*Brassica oleracea* var. Alphina F1). *LWT - Food Science and Technology*, v. 63, n. 1, p. 177–183, 2015.

DURGE, A. V.; *et al.* Stability of anthocyanins as pre-extrusion colouring of rice extrudates. *Food Research International*, v. 50, n. 2, p. 641–646, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.017>>.

EL-NABARAWY, S.; *et al.* Comparative Study of Some Natural and Artificial Food Coloring Agents on Depression, Anxiety and Anti-Social Behavior in Weanling Rats. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences Ver. III*, v. 10, n. 2, p. 2319–7676, 2015. Disponível em: <www.iosrjournals.org>.

ERMIŞ, E. *Food Powders: Properties and Characterization*. Washington State University, USA: [s.n.], 2015.

FAUBION, J. M.; HOSENEY, R. C. High temperature and short time; extrusion-cooking of wheat starch and flour. I. Effect of moisture and flour type on extrudate properties. *Cereal Chemistry*, v. 59, n. 6, p. 529-533, 1982.

FARABEGOLI, F.; *et al.* Betalains increase vitexin-2-O-xyloside cytotoxicity in CaCo-2 cancer cells. *Food Chemistry*, v. 218, p. 356–364, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.112>>.

FEKETE, G.; TSABOURI, S. Common food colorants and allergic reactions in children: Myth or reality? *Food Chemistry*, v. 230, p. 578–588, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.043>>.

FERRUZZI, M. G.; BLAKESLEE, J. Digestion, absorption, and cancer preventative activity of dietary chlorophyll derivatives. *Nutrition Research*, v. 27, n. 1, p. 1–12, 2007.

FELLOWS, P. *Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e Prática*. 2 ed. Editora Artmed. 2006. 602p. ISBN 978-85-363-0652-0.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. *Química de Alimentos de Fennema*. 4 ed. Editora Artmed, 2010. ISBN 978-85-363-2248-3.

FILHO, D. G. DE A.; *et al.* Processamento de produto farináceo a partir de beterrabas submetidas à secagem estacionária. *Acta Scientiarum - Agronomy*, v. 33, n. 2, p. 207–214, 2011.

GALLA, N. R.; *et al.* Nutritional, textural and sensory quality of biscuits supplemented with spinach (*Spinacia oleracea* L.). *International Journal of Gastronomy and Food Science*, v. 7, n.

June 2016, p. 20–26, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijgfs.2016.12.003>>.

GIES, M.; *et al.* Incorporation and stability of carotenoids in a functional fermented maize yogurt-like product containing phytosterols. *Lwt*, v. 111, n. February, p. 105–110, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.103>>.

GRUMEZESCU, A. M.; HOLBAN, A. M. *Natural and Artificial Flavoring Agents and Dyes*. Academic P ed., 2018. v. 7. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/C2016-0-00380-7>>.

GRUNE, T.; *et al.* β -carotene is an important vitamin A source for humans. *Journal of Nutrition*, v. 140, n. 12, 2010.

GUERREIRO, L. *Produtos Extrusados para Consumo Humano*, Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. 2007.

GUJRAL, H. S.; *et al.* Total phenolic content and antioxidant activity of extruded brown rice. *International Journal of Food Properties*, v. 15, n. 2, p. 301–311, 2012.

GUPTA, N.; *et al.* Fruit waste management by pigment production and utilization of residual as bioadsorbent. *Journal of Environmental Management*, v. 244, n. January, p. 138–143, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.055>>.

HAYES, M.; FERRUZZI, M. G. Update on the bioavailability and chemopreventative mechanisms of dietary chlorophyll derivatives. *Nutrition Research*, v. 81, p. 19–37, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.06.010>>.

HERBACH, K. M.; *et al.* Betalain stability and degradation - Structural and chromatic aspects. *Journal of Food Science*, v. 71, n. 4, 2006.

HÖRTENSTEINER, S.; KRÄUTLER, B. Chlorophyll breakdown in higher plants. *Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics*, v. 1807, n. 8, p. 977–988, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.bbabi.2010.12.007>>.

HU, F.; *et al.* Carotenoids and breast cancer risk: A meta-analysis and meta-regression. *Breast*

Cancer Research and Treatment, v. 131, n. 1, p. 239–253, 2012.

HUSSAIN, E. A.; *et al.* Betalains: Biomolecular aspects. *Betalains: Biomolecular Aspects*, p. 1–187, 2018.

ILIC, D.; MISSO, M. Lycopene for the prevention and treatment of benign prostatic hyperplasia and prostate cancer: A systematic review. *Maturitas*, v. 72, n. 4, p. 269–276, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.maturitas.2012.04.014>>.

INGREDIENTES, ADITIVOS E. A Importância dos Minerais na Alimentação. p. 30–41, **2021**. Disponível em: <https://funcionaisnutraceuticos.com.br/upload_arquivos/201612/2016120406819001481553160.pdf>.

INGREDIENTES, ADITIVOS E. Os Corantes Alimentícios. *Aditivos & Ingredientes*, p. 28–39, **2010**. Disponível em: <http://insumos.com.br/aditivos_e_ingredientes/materias/119.pdf>.

INNOVA MARKET INSIGHTS; Food Trends Specialists for Over 25 years. Consumer Insight Factory. Disponível em : <https://www.foodingredientsfirst.com/Webinars/top-ten-trends-2020.html>. Acesso: 07, de novembro de 2019.

ITAL. *BRASIL INGREDIENTS TRENDS 2020*. 1. ed. ed. Campinas - SP: Instituto de Tecnologia de Alimentos, **2014**. Disponível em: <<https://alimentacaoemfoco.org.br/wp-content/uploads/2016/11/Brasil-Ingredientes-Trends-2020.pdf>>.

ITAL. *INDÚSTRIA DE ALIMENTOS 2030*. Alimentos Industrializados 2030, v. 1, p. 104, 2020. Disponível em: <<https://ital.agricultura.sp.gov.br/industria-de-alimentos-2030/16/>>.

KABAKCI, S. A.; *et al.* Changes in the quality of kefir fortified with anthocyanin-rich juices during storage. *Food Chemistry*, v. 326, n. August 2019, p. 126977, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126977>>.

KALSEC. Trends: Top Food Trend Predictions for 2021. 2021. Disponível em: <<https://www.kalsec.com/food-trends-2021/>>

KHAN, M. A.; *et al.* Effect of spinach powder on physico-chemical, rheological, nutritional and sensory characteristics of chapati premixes. *Journal of Food Science and Technology*, v. 52, n. 4, p. 2359–2365, **2015**.

KHAN, M. I.; *et al.* Pigment identification, nutritional composition, bioactivity, and in vitro cancer cell cytotoxicity of *Rivina humilis* L. berries, potential source of betalains. *LWT - Food Science and Technology*, v. 47, n. 2, p. 315–323, **2012**. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2012.01.025>>.

KULCZYŃSKI, B.; *et al.* The role of carotenoids in the prevention and treatment of cardiovascular disease – Current state of knowledge. *Journal of Functional Foods*, v. 38, p. 45–65, 2017.

LEMOS, CHARLES DIEGO DE L *et al.* CINÉTICA DE SECAGEM DO ESPINAFRE (*Tetragonia tetragonoides*). n. 83, 2009.

LEORO, M. G. V.; *et al.* Evaluation of the in vitro glycemic index of a fiber-rich extruded breakfast cereal produced with organic passion fruit fiber and corn flour. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 30, n. 4, p. 964–968, 2010.

LEVENT, A. Chlorophyll : Structural Properties , Health Benefits and Its Occurrence in Virgin Olive Oils Chlorophyll : Structural Properties , Health Benefits and Its Occurrence in Virgin Olive Oils. n. December, 2017.

LILIANA, CECLU; OANA-VIORELA, NISTOR. Red Beetroot: Composition and Health Effects - A Review. *Journal of Nutritional Medicine and Diet Care*, v. 5, n. 2, 2020.

LI, Y.; *et al.* Beneficial effects of a chlorophyll-rich spinach extract supplementation on prevention of obesity and modulation of gut microbiota in high-fat diet-fed mice. *Journal of Functional Foods*, v. 60, n. June, p. 103436, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103436>>.

MACEDO, J. A.; *et al.* Increasing the antioxidant power of tea extracts by biotransformation

of polyphenols. *Food Chemistry*, v. 126, n. 2, p. 491–497, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.026>>.

MARTINS, M. S. Uso De Corantes Artificiais Em Alimentos: Legislação Brasileira. *Aditivos & Ingredientes*, p. 32–37, 2015.

MAURO, A. K.; *et al.* Physical, chemical, and sensorial characterization of cookies made with kale stalk flour (KSF) and spinach stalk flour (SSF) rich in nourishing fiber. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, v. 30, n. 3, p. 719–728, 2010.

MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, ANTONIO J. *et al.* A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: status quo, applications, patents, and research needs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 0, n. 0, p. 1–51, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867959>>.

MERCADANTE, A. Z.; *et al.* Carotenoid esters in foods - A review and practical directions on analysis and occurrence. *Food Research International*, v. 99, p. 830–850, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.018>>.

MEZA, S. L. R.; *et al.* Production of innovative gluten-free breakfast cereals based on red and black rice by extrusion processing technology. *Journal of Food Science and Technology*, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13197-019-03951-y>>.

MØLLER, A. R. Sensory Nervous Systems. *Sensory Systems*, p. 75–183, 2003a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-504257-4.X5000-6>>.

MØLLER, A. R. Sensory Nervous Systems. *Vision*. 2003b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-504257-4.X5000-6>>.

MORAES, F. P. Alimentos Funcionais E Nutracêuticos: Definições, Legislação E Benefícios À Saúde. *Revista Eletrônica de Farmácia*, v. 3, n. 2, p. 109–122, 2006.

NAGENDRA PRASAD MN, NAGENDRA PRASAD; KR, SANJAY; KHATOKAR M, SHRAVYA. Health Benefits of Rice Bran - A Review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*,

v. 01, n. 03, 2011.

NAYAK, B.; *et al.* Bioactivity of antioxidants in extruded products prepared from purple potato and dry pea flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 59, n. 15, p. 8233–8243, 2011.

NEPA; UNICAMP. *Tabela Brasileira de Composição de Alimentos*. 4. ed. Campinas - SP: [s.n.], 2011.

NEPA; UNICAMP. *Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO*. 1. ed. Campinas - SP: [s.n.], 2004. Disponível em: <http://189.28.128.100/nutricao/docs/taco/tab_bras_de_comp_de_alim_doc.pdf>.

NUNES, R.; *et al.* Assessing global changing food patterns: A country-level analysis on the consumption of food products with health and wellness claims. *Journal of Cleaner Production*, v. 264, 2020.

OLIVEIRA, L.; *et al.* Improvement of sensorial and technological characteristics of extruded breakfast cereals enriched with whole grain wheat flour and jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) peel. *LWT - Food Science and Technology*, v. 90, n. December 2017, p. 207–214, **2018**. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.017>>.

OLIVEIRA, L. DE C. *Antioxidant properties and physical, sensory and nutritional characteristics of extruded corn-based breakfast cereal elaborated with whole grain wheat flour and jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) peel powder*. 2015. 250 f. UNICAMP, **2015**.

ONOFRE, F. O.; HETTIARACHCHY, N. S. Extraction, quantification, and characterization of phenolics extracted with the aid of sonication from rice bran. *Cereal Chemistry*, v. 84, n. 4, p. 337–342, 2007.

OTÁLORA, M. C.; *et al.* Encapsulated betalains (*Opuntia ficus-indica*) as natural colorants. Case study: Gummy candies. *Lwt*, v. 103, n. September 2018, p. 222–227, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.074>>.

PESCHEL, W.; SÁNCHEZ-RABANEDA, F.; DIEKMANN, W.; PLESCHER, A. et al. An industrial approach in the search of natural antioxidants from vegetable and fruit wastes. *Food Chemistry*, 97, n. 1, p. 137-150, 2006.

PIMENTEL, F.A. Avaliação de métodos de obtenção e da estabilidade de pigmentos de sementes de urucum (*Bixa orellana* L). Viçosa, MG, 1995. 132 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa.

POLÔNIO, M. L. T; PERES, F. Consumo de aditivos alimentares e efeitos à saúde: Desafios para a saúde pública Brasileira. *Cadernos de Saude Publica*, v. 25, n. 8, p. 1653–1666, 2009.

PORTO DALLA COSTA, A.; et al. Carrot Flour from Minimally Processed Residue as Substitute of β -Carotene Commercial in Dry Pasta Prepared with Common Wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Food Quality*, v. 39, n. 6, p. 590–598, 2016.

PRADO, M. A.; GODOY, H. T. Corantes Artificiais Em Alimentos. *Alim. Nutr*, v. 14, n. 2, p. 237–250, 2003. Disponível em:
<<http://200.145.71.150/seer/index.php/alimentos/article/viewFile/865/744>>.

PIXABAY. Imagens de fontes de betalaínas. Disponível em:< <https://pixabay.com/pt/>>. Acesso: 25/05/2021.

QUIROGA, A. L. B. Dossiê Corantes. *Food Ingredients Brasil*, v. 39, p. 24–46, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-41582004000500002&lng=pt&tlng=pt>.

RAMANI, Q.; et al. Salient nutrition labels shift peoples' attention to healthy foods and exert more influence on their choices. *ScienceDirect*, v. 80, p. 106–116, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.06.013>>.

RANDHAWA, S.; BAHNA, S. L. Hypersensitivity reactions to food additives. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, v. 9, n. 3, p. 278–283, 2009.

RAVICHANDRAN, K.; et al. Impact of processing of red beet on betalain content and

antioxidant activity. *Food Research International*, v. 50, n. 2, p. 670–675, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.002>>.

REBELLATO, A. P.; *et al.* Mineral bioaccessibility in French breads fortified with different forms iron and its effects on rheological and technological parameters. *Journal of Cereal Science*, v. 74, p. 56–63, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2017.01.020>>.

ROCHA, D. S.; REED, E. Pigmentos naturais em alimentos e sua importância para a saúde. *Revista Estudos*, v. 41, n. 1, p. 76–85, 2014.

ROBERTS, JOSEPH L.; MOREAU, RÉGIS. Functional properties of spinach (*Spinacia oleracea* L.) phytochemicals and bioactives. *Food and Function*, v. 7, n. 8, p. 3337–3353, 2016.

RODRIGUEZ-AMAYA, DELIA B. Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. *Food Research International*, v. 124, n. May 2018, p. 200–205, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.028>>.

ROY, K.; *et al.* The use of a natural colorant based on betalain in the manufacture of sweet products in India. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 39, n. 10, p. 1087–1091, 2004.

SALGADO, N.; *et al.* Influence of the extrusion operating conditions on the antioxidant, hardness and color properties of extruded mango. *LWT - Food Science and Technology*, v. 86, p. 209–218, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.07.049>>.

SAMPAIO, U. M. *Cereal matinal extrusado à base de arroz com a adição de café torrado e micronizado e extrato de café crioconcentrado*. 2017. UNICAMP, 2017. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/331924/1/Sampaio_UllianaMarques_M.pdf>.

SENGE, M. O.; *et al.* Chlorophylls, symmetry, chirality, and photosynthesis. *Symmetry*, v. 6, n. 3, p. 781–843, 2014.

SHARMA, K. D.; *et al.* Chemical composition, functional properties and processing of carrot-

A review. *Journal of Food Science and Technology*, v. 49, n. 1, p. 22–32, 2012.

SILVA, R. F.; ASCHERI, J. L. R. Extrusão de quirera de arroz para uso como ingrediente alimentar. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 12, n. 03, p. 190–199, 2009.

SLUIJS, I.; *et al.* Dietary intake of carotenoids and risk of type 2 diabetes. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, v. 25, n. 4, p. 376–381, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.numecd.2014.12.008>>.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *Am J Enol Vitic*, 16, n. 3, p. 144-158, 1965.

SOCACIU, C. *Food Colorants Chemical and Functional Properties*. CRC Press ed., 2008.

SOUZA, M. L.; MENEZES, H. C. Avaliação sensorial de cereais matinais de castanha-do-Brasil com mandioca extrusados. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, v. 26, n. 4, p. 950–955, 2006.

STANCIL, W. C.; JORDAN, D. Precise Color Communication. *Book of Papers, National Technical Conference - AATCC (American Association of Textile Chemists an*, p. 33–35, 1985.

STEEL, CAROLINE JOY *et al.* Thermoplastic Extrusion in Food Processing. In: EL-SONBATI, PROF. ADEL (Org.). *Thermoplastic Elastomers*. [S.l: s.n.], 2012. v. 1. p. 416. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/thermoplastic-elastomers/thermoplastic-extrusion-in-food-processing>>.

STINTZING, F. C.; CARLE, R. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in Food Science and Technology*, v. 15, n. 1, p. 19–38, 2004.

SUTARIYA, B; SARAF, M. Betanin, isolated from fruits of *Opuntia elatior* Mill attenuates renal fibrosis in diabetic rats through regulating oxidative stress and TGF- β pathway. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 198, n. July 2016, p. 432–443, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2016.12.048>>.

TABNUT. Departamento de Informática em Saúde. Escola Paulista de Medicina. Universidade Federal de São Paulo. 2021. Disponível em: <https://tabnut.dis.epm.br/alimento>.

THOMPSON, A. K. *FRUITAND VEGETABLES HARVESTING, HANDLING AND STORAGE*. 2. ed. [S.l.: s.n.], 2003. Disponível em: <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>.

UTAMA-ANG, N.; *et al.* Antioxidative effect of Assam Tea (*Camellia sinesis* Var. *Assamica*) extract on rice bran oil and its application in breakfast cereal. *Food Chemistry*, v. 221, p. 1733–1740, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.112>.

VARGAS-MURGA, L.; *et al.* Fruits and vegetables in the Brazilian Household Budget Survey (2008-2009): Carotenoid content and assessment of individual carotenoid intake. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 50, p. 88–96, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2016.05.012>.

VOLP, A. C. P.; *et al.* Pigmentos naturais bioativos. *Alimentos e Nutrição Araraquara*, v. 20, n. 1, p. 157–166, 2009.

WADHERA, D.; CAPALDI-PHILLIPS, E. D. A review of visual cues associated with food on food acceptance and consumption. *Eating Behaviors*, v. 15, n. 1, p. 132–143, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eatbeh.2013.11.003>.

WARD, N. I. Assessment of chemical factors in relation to child hyperactivity. *Journal of Nutritional and Environmental Medicine*, v. 7, n. 4, p. 333–342, 1997.

WIKIPEDIA. Fontes de Betalaínas. Acesso em: março de 2021. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Betala%C3%ADna>

WOLAK, T.; PARAN, E. Can carotenoids attenuate vascular aging? *Vascular Pharmacology*, v. 59, n. 3–4, p. 63–66, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vph.2013.07.006>.

XU, Y.; *et al.* Would you bring home ugly produce? Motivators and demotivators for ugly food

consumption. *Journal of Retailing and Consumer Services*, n. April, p. 102376, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2020.102376>>.

YE, J.; *et al.* Properties of Starch after Extrusion: A Review. *Starch/Staerke*, v. 70, n. 11–12, p. 1–8, 2018.

ZANATTA, C. L.; *et al.* Avaliação físico-química e microbiológica de farinhas obtidas a partir de vegetais não conformes à comercialização. *Alim. Nutr.*, v. 21, n. 3, p. 459–468, 2010.

ZEGLER, J.; *et al.* GLOBAL FOOD AND DRINK TRENDS 2030. *MINTEL*, p. 44, 2020. Disponível em: <<https://downloads.mintel.com/private/vKd7N/files/817369/>>.

ZHANG, Z.; *et al.* Microstructure and bioaccessibility of different carotenoid species as affected by hot air drying: Study on carrot, sweet potato, yellow bell pepper and broccoli. *Lwt*, v. 96, n. May, p. 357–363, 2018.