

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Raquel Pischke Garske

Desenvolvimento e caracterização de pães sem glúten produzidos com ingredientes tratados por micro-ondas em substituição ao uso de aditivos

Porto Alegre – RS

Setembro de 2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Raquel Pischke Garske

Desenvolvimento e caracterização de pães sem glúten produzidos com ingredientes tratados por micro-ondas em substituição ao uso de aditivos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos como um dos requisitos para obtenção do grau em Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

1ª Orientador^a: Prof^a. Dr^a. Florencia Cladera Olivera

2ª Orientador^a: Prof^a. Dr^a. Roberta Cruz Silveira Thys

Coorientador^a: Prof^a. Dr^a. Giovana Domeneghini
Mercali

Porto Alegre – RS

Setembro de 2021

CIP - Catalogação na Publicação

Garske, Raquel Pischke

Desenvolvimento e caracterização de pães sem glúten produzidos com ingredientes tratados por micro-ondas em substituição ao uso de aditivos. / Raquel Pischke Garske. -- 2021.

122 f.

Orientadoras: Florencia Cladera Olivera, Roberta Cruz Silveira Thys.

Coorientadora: Giovana Domeneghini Mercali.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Panificação sem glúten. 2. Tecnologias emergentes. 3. Aditivos alimentares. I. Olivera, Florencia Cladera, orient. II. Thys, Roberta Cruz Silveira, orient. III. Mercali, Giovana Domeneghini, coorient. IV. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Raquel Pischke Garske

Engenheira de Alimentos

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos para obtenção do grau de
MESTRE EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, RS, Brasil.

Aprovada em:

Pela Banca Examinadora:

Florencia Cladera Olivera

1ª Orientadora – PPGCTA/UFRGS

Giovana Domeneghini Mercali

Coorientadora – PPGCTA/UFRGS

Prof^ª. Dr^ª. Bruna Tischer (UFRGS)

Dr^ª. Martha Zavariz de Miranda

(EMBRAPA)

Prof. Dr. Marcelo Cristianini (UNICAMP)

Homologada em:

Por:

Roberta Cruz Silveira Thys

2ª Orientadora – PPGCTA/UFRGS

Eliseu Rodrigues

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – PPGCTA/UFRGS

Simone Hickmann Flôres

Diretora – Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos – ICTA/UFRGS

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio de muitas “mãos”. Um ser humano não faz nada sozinho e a lista de agradecimentos é um pequeno ato diante de muita cooperação e ajuda nesses semestres de muitas idas e vindas.

Agradeço primeiramente à minha mãe, peça fundamental na minha vida, e ao meu irmão, sendo sempre fonte de inspiração, principalmente por ser “muito divertido” e um grande engenheiro.

Ao Rodrigo, por sempre estar disposto a me ouvir e por me incentivar em literalmente qualquer coisa.

Às minhas amigas e colegas Letícia, Carolina e Eduarda, por serem um ombro amigo e estarem sempre dispostas a ajudar e a conversar.

Aos meus colegas de mestrado, Natália, Caroline, Matheus, Gersi, Adriana e Patrik, que são pessoas incríveis e muito merecedoras deste título.

Aos técnicos do ICTA, Michele, Ana Raisal, Diogo e Márcia, sem elas esse trabalho nunca teria sido concluído.

Às professoras Bruna e Rosane, por auxílios essenciais, sempre prestativas, com contribuições essenciais para este trabalho – e para a vida.

À Alice, que sem ela não teria chegado aqui, por todas as horas me ouvindo, me ajudando, sempre doce e prestativa.

Ao meu bolsista Cristian, pelos auxílios no início do projeto.

Aos meus amigos Caroline, Ana, Maíra, César, Liliana e Júlia, por serem simplesmente incríveis desde que nos conhecemos, unidos pelo ICTA.

À Gabriela, Luise, Caroline e às minhas amigas blogueiras, que sempre me dão suporte e estão disponíveis para boas conversas.

Às minhas maravilhosas orientadoras, Roberta, Florencia e Giovana (ufa!), que me abraçaram desde o início. Vocês são as peças-chave desse projeto e fonte de grande inspiração de vida. Muito obrigada!

“Faça o melhor que você pode, com
aquilo que você tem.”

RESUMO

A demanda por produtos sem glúten cresce conforme aumenta a presença de doenças relacionadas à ingestão de trigo. Os consumidores buscam produtos com características similares aos pães tradicionais, elaborados com farinha de trigo. Atualmente, os produtos sem glúten comercializados são considerados pouco nutritivos, por serem compostos basicamente por farinhas refinadas, eventualmente uma fonte de proteína, além de uma combinação de aditivos. Paralelamente, aumenta também a procura por produtos chamados “*clean label*”, que, além de outras características, devem ser livres de aditivos alimentares. Uma das alternativas ao uso de aditivos na panificação é a aplicação de tecnologias emergentes, como o uso de micro-ondas nas matérias-primas. O pré-tratamento visa a pré-gelatinização de amido e/ou *cross-link* de proteínas, de modo rápido e prático. O objetivo deste estudo foi aplicar micro-ondas em polvilho doce e farinha de grão-de-bico, analisar suas características de cor, propriedades térmicas, nanoestrutura, capacidade de retenção de água e de óleo, e aplicá-los em pães sem glúten sem aditivos, comparando-os a pães contendo aditivos (carboximetilcelulose, goma xanta e mono e diglicerídeos de ácidos graxos). Os ingredientes foram tratados com adição de 20%, 30% e 40% de água, e a distribuição de temperatura antes e após o tratamento foi registrada com auxílio de câmera termográfica no infravermelho, e analisados quanto a cor, calorimetria diferencial exploratória, microscopia eletrônica de varredura e capacidade de retenção de água e óleo. Os pães foram analisados quanto à perda de peso, volume específico, imagem interna, cor e textura, durante 14 dias. Os ingredientes tratados com micro-ondas apresentaram coloração mais escura, aumento na temperatura de pico de gelatinização, e menor entalpia. Após o tratamento, o polvilho doce apresentou grânulos mais arredondados e aglutinados, e na farinha de grão-de-bico foram observadas mais ramificações. A perda de peso em todas as formulações de pão que utilizaram ingredientes tratados foi inferior à controle (FC), compreendendo-se entre $6,72\% \pm 0,41$ e $7,94\% \pm 0,93$. Na densidade celular e tamanho dos poros, os melhores resultados foram os obtidos pelas formulações com ingredientes tratados por micro-ondas. A melhor formulação, em comparação às controle, foi a com farinha de grão-de-bico tratada por micro-ondas com 40% de adição de água, conforme visto na análise do componente principal. A aplicação da tecnologia de micro-ondas em polvilho doce e farinha de grão-de-bico mostrou-se eficiente, indicando a possibilidade de substituir os aditivos estudados.

Palavras-chave: micro-ondas, tecnologias emergentes, panificação sem glúten, pré-tratamento

ABSTRACT

There is a demand increase on gluten-free products as the presence of wheat-related diseases also increase. The consumers seek for products with similar characteristics to regular breads, made with wheat flour. Currently, the gluten-free products present on the markets are considered as poor nutritive, because they are based on refined flours, eventually, a protein source, apart from having a mix of additives. At the same time, there's a search raise for products called clean label that, besides other characteristics, have no additives. One of the alternatives for bakery additives is the emerging technologies application, as the use of microwaves on the raw material. This pre-treatment is applied for starch pre-gelatinization and/or protein cross-link, being fast and simple. The aim of this study was to apply microwaves in cassava starch and chickpea flour, to analyze their characteristics as colors, thermal properties, nanostructure and oil and water retention, and to apply them on gluten and additive-free breads, comparing them to breads containing additives (carboxymethylcellulose, xanthan gum and mono and diglycerides of fatty acids). The ingredients were treated with 20%, 30% and 40% water addition, and the temperature profile were registered before and after the treatment, with a thermographic infrared camera, and analyzed by differential scanning calorimetry, scanning electronic microscopy, color analysis and oil and water retention. The gluten-free breads were analyzed as their baking loss, specific volume, internal image, color and texture (for 14 days). The microwave treated ingredients showed darker color, higher gelatinization temperature peak and lower enthalpy. After the treatment, cassava starch showed more round and agglutinated granules, and more ramifications on chickpea flour. The baking loss was lower in treated formulations than in the control sample (FC), between $6,72\% \pm 0,41$ and $7,94\% \pm 0,93$. On cellular density and pores size, the best results were obtained on the microwave treated flour formulations. The best formulation, in comparison to the control ones, was the chickpea flour treated with initial moisture of 40%, as seen in principal component analysis. The cassava starch and chickpea flour treatment has shown efficient on the substitution of gluten-free bakery additives, indicating the possibility of the studied additives substitution for microwave treatment application.

KEY WORDS: microwaves, emerging technologies, gluten-free bakery, pre-treatment.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Doenças relacionadas ao glúten e ao trigo. | 25 |
| Figura 2: Microvilosidades normais do intestino (esquerda) e microvilosidades de indivíduo acometido por doença celíaca (direita). | 27 |
| Figura 3: Eritemas papulentos causados pela dermatite herpetiforme em cotovelos (a) e joelhos (b). | 30 |
| Figura 4: Diagrama de pressão-temperatura do processamento a alta pressão, onde os tempos t_1 , t_2 , t_3 e t_4 são, respectivamente, pré-tratamento, compressão, retenção e descompressão. | 50 |
| Figura 5: Equipamento de processamento por alta pressão. | 51 |
| Figura 6: Demonstração do gradiente de temperatura e da transferência de massa no aquecimento convencional <i>versus</i> aquecimento micro-ondas. | 53 |
| Figura 7: Esquematização de um aparelho micro-ondas. | 54 |
| Figura 8: Equipamento de aquecimento ôhmico. | 57 |
| Figura 9: Diagrama com as etapas experimentais do trabalho. | 58 |
| Figura 10: Aparato experimental: A) computador conectado à câmera FLIR A35, B) câmera FLIR posicionada acima da cavidade do micro-ondas. | 61 |
| Figura 11: Fluxograma ilustrativo da sequência de tratamentos e processamento dos ingredientes até a obtenção dos pães sem glúten. | 61 |
| Figura 12: Termogramas obtidos por câmera termográfica no infravermelho das amostras antes e depois do tratamento em micro-ondas. | 70 |
| Figura 13: Imagens obtidas pela análise de MEV, em magnificações de 500x, 2000x e 10000x. | 77 |
| Figura 14: Imagem das fatias dos pães sem glúten. | 85 |
| Figura 15: Resultados de dureza do miolo (g) durante os 14 dias de armazenamento. | 91 |
| Figura 16: Representação da análise multivariada para o atributos dos pães sem glúten. | 97 |
| Figura 17: Análise multivariada das amostras de pão sem glúten produzidos com e sem aditivos e com adição de ingredientes tratados com micro-ondas. | 97 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Composição da farinha de arroz..... | 32 |
| Tabela 2: Composição do amido de milho e féculas de batata e mandioca. | 35 |
| Tabela 3: Composição do grão-de-bico cru. | 36 |
| Tabela 4: Composição da lentilha seca crua..... | 38 |
| Tabela 5: Composição da ervilha seca. | 39 |
| Tabela 6: Tratamentos realizados em micro-ondas nas amostras de polvilho doce (PD) e da farinha de grão-de-bico (GB). | 60 |
| Tabela 7: Formulações controle (com e sem aditivos) e seus respectivos ingredientes, calculados em porcentagem sobre o mix de farinhas (farinha de grão-de-bico + polvilho doce). | 64 |
| Tabela 8: Formulações com farinhas tratadas por micro-ondas e seus respectivos ingredientes, calculados em porcentagem sobre o mix de farinhas (farinha de grão-de-bico + polvilho doce). | 65 |
| Tabela 9: Temperaturas máximas e mínimas antes e após o tratamento com micro-ondas, e umidade das amostras cruas e tratadas com micro-ondas. | 71 |
| Tabela 10: Resultados de análise de cor (L^* , a^* , b^* e ΔE^*) das amostras cruas e tratadas..... | 72 |
| Tabela 11: Resultados de DSC nas amostras de farinha de grão-de-bico e polvilho doce, crus e tratados, nos dias 0 (gelatinização) e 7 (retrogradação). | 74 |
| Tabela 12: Capacidade de retenção de água (CRA) e capacidade de retenção de óleo (CRO) das amostras de polvilho doce e farinha de grão de bico cruas e tratadas em micro-ondas..... | 79 |
| Tabela 13: Volume específico (cm^3/g) e perda de peso (%) dos pães sem glúten controle, com uso de aditivos e com uso de PD e GB submetidos ao tratamento com micro-ondas. | 81 |
| Tabela 14: Resultados de análise de imagem interna e diferença de cor do miolo (ΔE) dos pães sem glúten, com e sem uso de aditivos e com uso de PD e GB submetidos ao tratamento com micro-ondas. | 84 |
| Tabela 15: Dureza da crosta (kg) dos pães controle, com uso de aditivos e com uso de PD e GB submetidos ao tratamento com micro-ondas, durante os 14 dias de armazenamento. | 87 |
| Tabela 16: Resultados de dureza do miolo (g) e da taxa de endurecimento (g/dia) dos pães controle, com uso de aditivos e com uso de PD e GB submetidos ao tratamento com micro-ondas, durante os 14 dias de armazenamento..... | 89 |
| Tabela 17: Resultados de coesividade do miolo dos pães sem glúten controle, com uso de aditivos e com uso de PD e GB tratados com micro-ondas, durante os 14 dias de armazenamento..... | 92 |

| | |
|--|----|
| Tabela 18: Resultados de gomosidade (g) do miolo dos pães sem glúten controle, com uso de aditivos e com uso de PD e GB submetidos ao tratamento com micro-ondas, durante os 14 dias de armazenamento. | 94 |
| Tabela 19: Resultados de mastigabilidade (g) do miolo dos pães sem glúten controle, com uso de aditivos e com uso de PD e GB submetidos ao tratamento com micro-ondas, durante os 14 dias de armazenamento. | 95 |
| Tabela 20: Resultados de valores de dimensões da análise do componente principal. | 98 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|------------------------------------|----|
| Equação 1: Perda de peso (%) | 66 |
| Equação 2: ΔE^* | 67 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|---------|---|
| CMC | Carboximetilcelulose |
| CRA | Capacidade de Retenção de Água |
| CRO | Capacidade de Retenção de Óleo |
| DC | Doença Celíaca |
| DSC | Calorimetria Diferencial Exploratória (<i>Differential Scanning Calorimetry</i>) |
| GB | Farinha de Grão-de-Bico |
| GB20 | Farinha de Grão-de-Bico tratada por micro-ondas com 20% de umidade inicial |
| GB30 | Farinha de Grão-de-Bico tratada por micro-ondas com 30% de umidade inicial |
| GB40 | Farinha de Grão-de-Bico tratada por micro-ondas com 40% de umidade inicial |
| FC | Formulação de pão sem glúten controle, sem aditivos e sem ingredientes tratados |
| FCMC0,5 | Formulação de pão sem glúten com 0,5% de carboximetilcelulose |
| FCMC1 | Formulação de pão sem glúten com 1% de carboximetilcelulose |
| FGB20 | Formulação de pão sem glúten com farinha de grão-de-bico tratada com 20% de umidade inicial |
| FGB30 | Formulação de pão sem glúten com farinha de grão-de-bico tratada com 30% de umidade inicial |
| FGB40 | Formulação de pão sem glúten com farinha de grão-de-bico tratada com 40% de umidade inicial |
| FM0,5 | Formulação de pão sem glúten com 0,5% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos |
| FM1 | Formulação de pão sem glúten com 1% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos |
| FPD20 | Formulação de pão sem glúten com polvilho doce tratado com 20% de umidade inicial |
| FPD30 | Formulação de pão sem glúten com polvilho doce tratado com 30% de umidade inicial |
| FPD40 | Formulação de pão sem glúten com polvilho doce tratado com 40% de umidade inicial |

| | |
|-------|--|
| FT | Formulação de pão sem glúten com todos aditivos (carboximetilcelulose, goma xantana e mono e diglicerídeos de ácidos graxos) em concentração de 1% |
| FX0,5 | Formulação de pão sem glúten com 0,5% de goma xantana |
| FX1 | Formulação de pão sem glúten com 1% de goma xantana |
| MEV | Microscopia Eletrônica de Varredura |
| PD | Polvilho Doce |
| PD20 | Polvilho Doce tratado por micro-ondas com 20% de umidade inicial |
| PD30 | Polvilho Doce tratado por micro-ondas com 30% de umidade inicial |
| PD40 | Polvilho Doce tratado por micro-ondas com 40% de umidade inicial |

Sumário

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 18 |
| 2 OBJETIVOS | 21 |
| 2.1 Objetivo geral..... | 21 |
| 2.2 Objetivos específicos..... | 21 |
| 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 22 |
| 3.1 Glúten e sua importância na panificação | 22 |
| 3.2 Alimentos sem glúten | 23 |
| 3.3 Doenças relacionadas ao glúten e ao trigo..... | 24 |
| 3.3.1 Doença celíaca..... | 25 |
| 3.3.2 Alergia ao trigo..... | 28 |
| 3.3.3 Sensibilidade ao glúten não-celíaca..... | 29 |
| 3.3.4 Dermatite herpetiforme | 29 |
| 3.2 Panificação sem glúten | 30 |
| 3.2.1 Farinhas e amidos | 31 |
| 3.2.1.1 Farinha de arroz | 31 |
| 3.2.1.2 Amido | 33 |
| 3.2.1.3 Farinha de grão-de-bico | 36 |
| 3.2.1.4 Farinha de lentilha | 37 |
| 3.2.1.5 Farinha de ervilha | 38 |
| 3.2.2 Aditivos..... | 39 |
| 3.2.2.1 Hidrocoloides | 40 |
| 3.2.2.2 Emulsificantes | 42 |
| 3.2.2.3 Umectantes | 42 |
| 3.2.3 Ovos..... | 43 |
| 3.2.4 Açúcar..... | 43 |
| 3.2.5 Sal..... | 44 |
| 3.2.6 Fermento biológico..... | 44 |
| 3.2.7 Lipídeos | 45 |
| 3.2.8 Enzimas..... | 45 |
| 3.2.9 Fibras alimentares..... | 46 |
| 3.3. Alimentos <i>clean label</i> | 48 |
| 3.4 Tecnologias emergentes | 48 |

| | |
|---|------------|
| 3.4.1 Alta pressão..... | 49 |
| 3.4.2 Micro-ondas | 52 |
| 3.4.3 Aquecimento ôhmico..... | 56 |
| 4 METODOLOGIA | 58 |
| 4.1 Matérias-primas | 59 |
| 4.2 Tratamento com micro-ondas | 59 |
| 4.3 Determinação da umidade das amostras..... | 62 |
| 4.4 Calorimetria diferencial exploratória | 62 |
| 4.5 Microscopia eletrônica de varredura | 62 |
| 4.6 Capacidade de retenção de água e óleo | 63 |
| 4.7 Formulação dos pães | 63 |
| 4.8 Análises físicas dos pães..... | 66 |
| 4.8.1 Volume e perda de peso..... | 66 |
| 4.8.2 Análise de cor..... | 66 |
| 4.8.3 Análise da estrutura do miolo..... | 67 |
| 4.8.4 Perfil de textura | 67 |
| 4.9 Análise estatística..... | 67 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 69 |
| 5.1 Análises dos ingredientes crus e tratados | 69 |
| 5.1.1 Tratamento com micro-ondas, umidade e cor | 69 |
| 5.1.2 Calorimetria diferencial exploratória..... | 73 |
| 5.1.3 Microscopia eletrônica de varredura..... | 75 |
| 5.1.4 Capacidade de retenção de água e óleo..... | 78 |
| 5.2 Avaliação das características físicas dos pães..... | 80 |
| 5.2.1 Volume específico e perda de peso | 80 |
| 5.2.2 Análise de imagem da estrutura e da cor do miolo..... | 83 |
| 5.2.3 Perfil de textura | 86 |
| 5.2.4 Análise dos componentes principais..... | 96 |
| 6 CONCLUSÕES | 100 |
| 7 PERSPECTIVAS FUTURAS | 101 |
| 8 REFERÊNCIAS..... | 102 |

1 INTRODUÇÃO

Os cereais ocupam a primeira posição como a categoria de itens alimentícios mais consumidos na dieta, tanto pela população brasileira quanto no mundo todo. Alimentos como pão, biscoito, massa, bolo, entre outros, estão entre os produtos que contêm farinha de trigo, sendo presença constante na mesa do consumidor. Entretanto, nos últimos anos tem-se observado uma relação direta do consumo de trigo com o aumento de casos de sensibilidade alimentar na população, que pode ser ocasionada pelo consumo de variedades de trigo selecionadas que contêm elevado teor de proteínas formadoras de glúten (SAPONE; BAI; CIACCI; DOLINSEK *et al.*, 2012).

Segundo GANDOLFI; PRATESI; CORDOBA; TAUIL *et al.* (2000), a doença celíaca pode ser considerada como um problema de saúde pública mundial devido, principalmente, à sua importante prevalência na população, frequentemente associada à morbidade variável e não-específica e, a longo prazo, à probabilidade aumentada do aparecimento de complicações graves, como a osteoporose e outras doenças malignas do trato gastrointestinal. Estima-se que a doença celíaca esteja presente em 1,4% da população mundial, sendo que na América do Sul a prevalência é em 0,4% dos indivíduos (SINGH; ARORA; STRAND; LEFFLER *et al.*, 2018).

Além da doença celíaca, tem-se observado o aumento da incidência de outras enfermidades relacionadas ao consumo de glúten, como a dermatite herpetiforme, a alergia ao trigo, a sensibilidade ao glúten não celíaca, sendo todas classificadas como “doenças relacionadas ao glúten” (LUDVIGSSON; LEFFLER; BAI; BIAGI *et al.*, 2013). Além do consumo de produtos sem glúten por pessoas portadoras de doenças, há uma crescente procura por pessoas que consideram a dieta sem glúten mais benéfica para a saúde, fazendo parte de um “modismo”, relatado em maioria por mulheres sem diagnóstico clínico (FALLAVENA, 2015). Assim, há um aumento da demanda por produtos isentos de glúten, tanto por celíacos e por portadores de outras alergias associadas quanto por pessoas que desejam eliminar esse componente da dieta (NAQASH; GANI; GANI; MASOODI, 2017).

Atualmente, o único tratamento para a doença celíaca e as demais enfermidades relacionadas ao glúten, é a exclusão de alimentos que contêm glúten da dieta dos acometidos, o

que leva a uma maior necessidade de oferta desta classe de produtos (SOLLID; KHOSLA, 2005). A adesão a uma dieta sem glúten pode representar um custo elevado, visto que produtos sem glúten podem ser até cinco vezes mais caros (PANAGIOTOU; KONTOGIANNI, 2016). Ainda, não é simples de se aderir a uma dieta livre de glúten, visto que alimentos populares, como pães, massas e bolos, são à base de cereais que contém glúten.

A remoção do glúten em produtos de panificação acarreta em um problema tecnológico, uma vez que o glúten consiste em uma rede de proteínas essenciais para retenção de gás, expansão do volume e constituição da estrutura do miolo, gerando propriedades viscoelásticas de difícil substituição (ARENDE; MORRISSEY; MOORE; BELLO, 2008; VALLONS; RYAN; ARENDE, 2011). É usual o emprego de aditivos alimentares e enzimas, na tentativa de melhorar a qualidade tecnológica de pães sem glúten. São comumente utilizados mix de farinhas com uma fonte de amido (amido de milho, farinha de arroz, fécula de mandioca conhecida como polvilho doce, fécula de batata) e uma fonte protéica (farinha de lentilha, de ervilha, de soja, de grão-de-bico).

As principais classes de aditivos utilizados são os hidrocoloides, emulsificantes e umectantes. Esses aditivos têm como objetivo retardar o envelhecimento do pão devido à maior retenção de umidade. O emprego concomitante de emulsificantes e hidrocoloides gera uma interação com os componentes amiláceos e proteicos, que, em sinergia, evitam a expulsão da água e auxiliam na retenção de gás carbônico. As enzimas utilizadas como coadjuvantes de tecnologia podem melhorar os pães quanto às características perdidas pela retirada do glúten, como a perda de retenção de gás na estrutura e a redução do volume, além de diminuir a textura arenosa e o endurecimento (NAQASH; GANI; GANI; MASOODI, 2017).

Por outro lado, cresce a procura por alimentos “*clean label*”, ou seja, alimentos livres de aditivos e de ingredientes considerados artificiais pela população. Os consumidores estão mais atentos às listas de ingredientes, na busca por produtos tidos como “mais naturais”, considerando alguns componentes como tóxicos ou prejudiciais à saúde. (ALTING; VAN DE VELDE, 2012; MCDONAGH, 2012). Nesse contexto, a aplicação de tecnologias emergentes surge como alternativa na panificação sem glúten, visto que o uso de proteínas e amidos modificados pelo emprego de tecnologias emergentes contribui com um rótulo “mais limpo”.

As tecnologias emergentes são aquelas que não são tradicionalmente utilizadas no processamento de alimentos e aparecem como uma alternativa para a melhoria tecnológica de matérias-primas e ingredientes, minimizando efeitos de perda de qualidade no produto final (SUN, 2014). Diversas tecnologias alternativas, como alta pressão, micro-ondas e extrusão, vêm sendo estudadas para a melhoria da qualidade de farinhas com e sem glúten. Além disso, essas tecnologias vêm sendo aplicadas diretamente em amidos, com o objetivo de aumentar a vida útil dos produtos, e em proteínas, objetivando a modificação da funcionalidade por meio da desnaturação (CHAO; JUNG; ALUKO, 2018; HU; ZHANG; JIN; XU *et al.*, 2017; LEE; HA; SHAHBAZ; KIM *et al.*, 2018; LU; DONNER; LIU, 2018; VALLONS; RYAN; ARENDT, 2011). Essas modificações geram economia de tempo e de custo de processo, tornando-as relevantes para aplicação na panificação sem glúten.

Na literatura, há poucos dados de aplicação de farinhas tratadas com tecnologias emergentes em produtos de panificação. Além disso, a crescente demanda por produtos *clean-label* torna necessária a redução do uso de aditivos nas formulações de produtos alimentícios industrializados. Sendo assim, o uso de tecnologias emergentes para substituição de aditivos na panificação sem glúten mostra-se como uma alternativa potencial a ser estudada, pelas mudanças nas características dos ingredientes, melhorando a reologia da massa e também mantendo a qualidade durante o armazenamento.

O presente trabalho está estruturado da forma descrita a seguir. O item 2 destina-se aos objetivos do trabalho. No item 3, encontram-se os fundamentos teóricos e a revisão bibliográfica sobre panificação sem glúten, doenças relacionadas, uso de ingredientes e aditivos, e tecnologias emergentes na panificação. Os itens 4 e 5 destinam-se à metodologia e aos resultados obtidos, bem como a sua discussão. O trabalho é concluído no item 6.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho foi avaliar a aplicação da tecnologia de micro-ondas como pré-tratamento de polvilho doce e de farinha de grão-de-bico, para a elaboração de pães sem glúten isentos de aditivos químicos, comparando-os com pães sem glúten contendo aditivos químicos.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desse trabalho foram:

- definir a umidade inicial da farinha de grão-de-bico e do polvilho doce, e o tempo de aplicação da tecnologia de micro-ondas;
- avaliar a influência da aplicação de micro-ondas na farinha de grão-de-bico e no polvilho doce por meio de suas propriedades térmicas e morfológicas, em comparação com os ingredientes não tratados;
- avaliar o perfil de temperatura por meio de câmera termográfica no infravermelho;
- elaborar pães sem glúten, com e sem aditivos, e compará-los com os formulados com os ingredientes tratados por micro-ondas;
- avaliar o efeito da utilização dos ingredientes tratados por micro-ondas nas características físico-químicas dos pães elaborados;
- avaliar o efeito da utilização dos ingredientes tratados por micro-ondas no perfil de textura dos pães elaborados, durante 14 dias de armazenamento.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo, serão apresentados os itens mais importantes relacionados ao assunto, como a importância do glúten na panificação, sua substituição em produtos isentos de glúten, assim como as doenças relacionadas a esta rede de proteínas, formulações e tratamentos alternativos. Também serão abordados aspectos relacionados às tecnologias emergentes e sua aplicação em insumos e processos de panificação.

3.1 Glúten e sua importância na panificação

O glúten é uma rede de proteínas formado quando se adiciona água à farinha e se realiza trabalho mecânico. As proteínas formadoras de glúten estão presentes em cereais, como o trigo, o centeio e a cevada (GALLAGHER, 2009). O glúten afeta fortemente a estrutura e a textura dos seus produtos derivados (OOMS; DELCOUR, 2019), sendo que a sua eliminação dos produtos aparece como um desafio tecnológico para a indústria de alimentos (NAQASH; GANI; GANI; MASOODI, 2017).

Essa rede proteica é uma junção de dois tipos de proteínas: as gliadinas, que são solúveis em álcool, e as gluteninas, que são insolúveis. Quando juntas na rede de glúten, são insolúveis em água (ARENDRT; MORRISSEY; MOORE; BELLO, 2008). As proteínas presentes no trigo determinam as propriedades viscoelásticas do glúten, que são únicas (SHEWRY; HALFORD; BELTON; TATHAM, 2002). Mais de 80% do glúten é composto pela mistura de gliadinas e gluteninas (SHEWRY, 2009). O glúten também está relacionado com a quantidade de água absorvida pela massa, o tempo de mistura e a força desenvolvida (LÉTANG; PIAU; VERDIER, 1999; SHEWRY; HALFORD; BELTON; TATHAM, 2002). As proteínas são responsáveis pela formação da massa, e o amido durante a cocção, pela estrutura do miolo, sendo que a formação da massa tem papel importante na incorporação de todos ingredientes utilizados (LÉTANG; PIAU; VERDIER, 1999). Com a adição de água e sal, as proteínas do glúten são entrelaçadas e a massa é formada (AUTIO; KRUIUS; KNAAPILA; GERBER *et al.*, 2005; MILLER, 2008).

O glúten cumpre importante papel na panificação: ele retém as bolhas de ar no miolo, formadas durante a fermentação, mantendo-as estáveis durante a cocção (HORSTMANN; LYNCH; ARENDT, 2017). Na panificação sem glúten, a retenção de gás fica prejudicada devido à falta de uma rede proteica forte, havendo uma diminuição de volume do pão (BORGES; SALAS-MELLADO, 2016). A substituição do glúten é tecnologicamente complicada, sendo utilizada uma ampla gama de ingredientes, aditivos e processos, para que se possa obter um produto de qualidade (MIR; SHAH; NAIK; ZARGAR, 2016), e o processamento também desempenha papel importante neste tipo de produto (MATOS; ROSELL, 2015).

Pães sem glúten costumam apresentar miolos e crostas de qualidade pobre, sendo benéfica a adição de ingredientes com alto teor de proteínas (GALLAGHER; KUNKEL; GORMLEY; ARENDT, 2003). Além disso, a ausência do glúten gera massas mais líquidas, que tendem a ser menos coesas, sendo esse problema mais visível durante o armazenamento, visto que a perda de umidade provoca diminuição na coesividade, ou seja, o produto desintegra-se ao ser fatiado (DEMIRKESEN; MERT; SUMNU; SAHIN, 2010). Como substituição às farinhas com glúten, costuma-se utilizar amidos, que desempenham papel gelificante, espessante, retentor de umidade, estabilizador, texturizador e retardante de envelhecimento. Podem ser empregados amidos modificados para melhora das propriedades como cor, estrutura e textura, que são de interesse da indústria alimentícia (HORSTMANN; LYNCH; ARENDT, 2017). Com o emprego de farinhas de arroz, milho e soja, é possível aumentar o volume dos pães (SCIARINI; RIBOTTA; LEÓN; PÉREZ, 2012).

3.2 Alimentos sem glúten

Estima-se que o mercado de produtos sem glúten crescerá 9,2% de 2020 a 2027, sendo o maior crescimento apresentado pelo setor de panificação, seguido por refeições prontas e macarrão (RESEARCH, 2020). Quando comparados a produtos com glúten, os similares sem glúten podem apresentar aumento no preço de 36% a 494% (PANAGIOTOU; KONTOGIANNI, 2016), sendo que até 36% do orçamento familiar é dedicado apenas para a manutenção da alimentação isenta de glúten (CAPACCI; LEUCCI; MAZZOCCHI, 2018). Ao substituir o trigo, são necessários alguns aditivos ou mudanças tecnológicas para que o padrão de qualidade seja mantido, fatores que também elevam o preço dos produtos (MARKETS, 2018).

Os produtos considerados como “sem glúten” não podem conter mais do que 20 mg de glúten por quilograma de produto (CODEX ALIMENTARIUS, 2008). A legislação brasileira, segundo a lei nº 10.674/2013, obriga a presença dos termos “Contém glúten” ou “Não contém glúten” nas embalagens de todos alimentos comercializados no país (BRASIL, 2003).

Pães isentos de glúten também podem apresentar baixo valor nutricional, devido ao uso de farinhas refinadas e amidos. Uma melhora neste valor pode ser obtida através da adição de minerais, proteínas e fibras, diminuindo o uso de carboidratos (SAUERESSIG; KAMINSKI; ESCOBAR, 2016).

É possível diminuir os problemas de qualidade dos produtos sem glúten adicionando-se ingredientes funcionais nas formulações, bem como aplicando tecnologias como alta pressão, aeração, fermentação *sourdough* e extrusão (NAQASH; GANI; GANI; MASOODI, 2017).

A procura por alimentos sem glúten cresce à medida que a incidência da doença celíaca e de outras enfermidades relacionadas ao consumo de glúten aumentam na população, assim como aumentam os casos de pessoas que preferem adotar uma dieta livre de glúten por interesses individuais (GAESSER; ANGADI, 2012). Embora a população em geral também busque uma dieta livre de glúten, não existem evidências de que esta seja benéfica a indivíduos não acometidos pela doença celíaca ou por outras doenças relacionadas ao glúten clinicamente comprovadas (GAESSER; ANGADI, 2012).

3.3 Doenças relacionadas ao glúten e ao trigo

Conforme demonstrado na Figura 1, existem diversas doenças relacionadas à ingestão de glúten e trigo. Atualmente, utiliza-se o termo “doenças relacionadas ao glúten” para todas as condições clínicas relacionadas à ingestão desta rede proteica (LUDVIGSSON; LEFFLER; BAI; BIAGI *et al.*, 2013). Na continuação são abordadas as diferentes patologias: doença celíaca, alergia ao trigo, sensibilidade ao glúten não celíaca e dermatite herpetiforme.

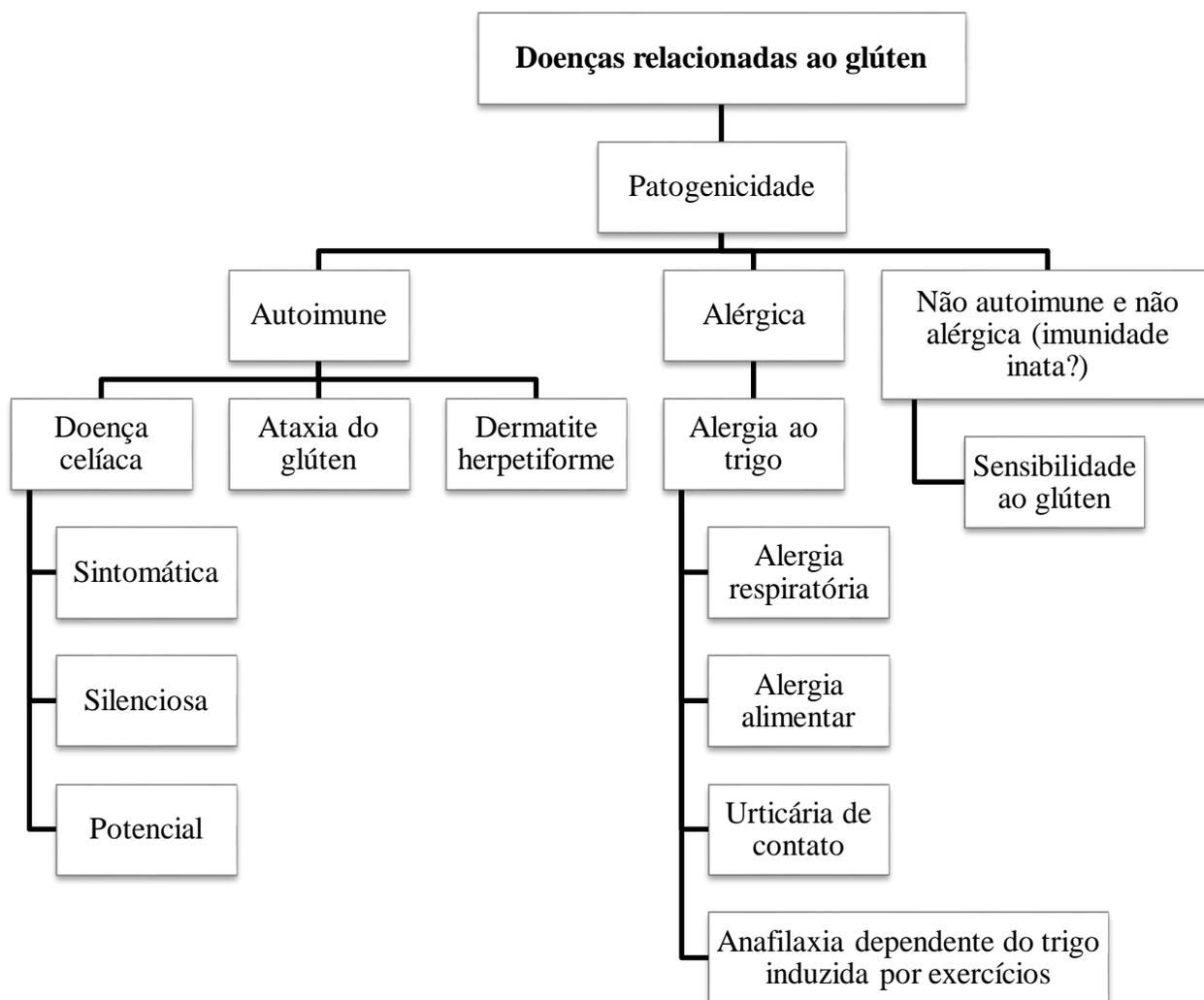


Figura 1: Doenças relacionadas ao glúten e ao trigo.

Fonte: Adaptado de SAPONE; BAI; CIACCI; DOLINSEK *et al.* (2012).

3.3.1 Doença celíaca

A doença celíaca (DC) é uma doença crônica de origem genética, autoimune, oriunda do intestino delgado, onde as microvilosidades sofrem uma resposta inflamatória imunitária anormal após a ingestão de alimentos que contêm glúten (LUDVIGSSON; LEFFLER; BAI; BIAGI *et al.*, 2013; SILANO; VINCENTINI; DE VINCENZI, 2009)

As proteínas formadoras de glúten (gliadinas e gluteninas) são responsáveis pela toxicidade em indivíduos portadores da doença celíaca (HOWDLE, 2006). Esta doença aparece como uma reação autoimune, relacionada à ingestão de glúten, tendo amplo crescimento na população nos últimos anos (RUBIO-TAPIA; LUDVIGSSON; BRANTNER; MURRAY *et al.*, 2012). Atualmente sua prevalência é estimada em 1,4% da população mundial (SINGH; ARORA; STRAND; LEFFLER *et al.*, 2018), embora o número deva ser ainda maior devido à falta de diagnóstico conclusivo (JNAWALI; KUMAR; TANWAR, 2016). Muitas vezes, o diagnóstico clínico pode ser confundido com uma intolerância ao glúten, sendo que o principal tratamento da doença é uma dieta livre de glúten (GREEN; LEBWOHL; GREYWOODE, 2015). Normalmente, aparece em crianças e adultos, e é raro o registro de novos casos em idosos (CAVA; COLLO; CAPELLO; MAZZA *et al.*, 2020).

Outros tratamentos para a doença celíaca vêm sendo utilizados, como degradação enzimática das prolinas do glúten, bloqueadores de receptores das moléculas de glúten, dentre outros (SOLLID; KHOSLA, 2005). Contudo, sem a adesão a uma dieta sem glúten, os sintomas voltam a aparecer mesmo com outros tratamentos concomitantes (GREEN; CELLIER, 2007). Uma opção seria desenvolver variedades de trigo sem peptídeos de gliadina, sendo interessante do ponto de vista clínico porém levaria a problemas tecnológicos na panificação (SILANO; VINCENTINI; DE VINCENZI, 2009).

Indivíduos acometidos pela doença celíaca tendem a procurar pães sem glúten que apresentem aparência similar ao pão tradicional, feito de farinha de trigo, de forma que possam voltar à sua rotina e dieta usuais (DO NASCIMENTO; FIATES; DOS ANJOS; TEIXEIRA, 2013). Comumente, os pacientes também apresentam deficiências nutricionais e outras comorbidades, como intolerância à lactose (LEONARD; SAPONE; CATASSI; FASANO, 2017). Os sintomas usuais apresentados são: dores abdominais, constipação, diarreia, flatulência, náusea, perda de peso, vômito, anemia, ansiedade, fadiga, osteoporose, entre outros (LEONARD; SAPONE; CATASSI; FASANO, 2017; LIONETTI; CATASSI, 2014; LUDVIGSSON; LEFFLER; BAI; BIAGI *et al.*, 2013). E essa doença também pode se apresentar de forma assintomática, latente (pacientes que apresentam problemas na mucosa apenas quando ingerem glúten), subclínica (onde os testes sorológicos não conseguem detectar) e não clássica (não apresenta sintomas de má absorção) (LUDVIGSSON; LEFFLER; BAI; BIAGI *et al.*, 2013). O diagnóstico é baseado na presença dos sintomas, níveis de anticorpos, atrofia das

microvilosidades e outras características histológicas e biópsia do duodeno (HUSBY; KOLETZKO; KORPONAY-SZABÓ; MEARIN *et al.*, 2012). Pacientes que são portadores de doença celíaca usualmente possuem baixo aporte de vitamina D e cálcio, além de ingerirem grande quantidade de amido, devido ao uso de farinhas refinadas na panificação sem glúten (KINSEY; BURDEN; BANNERMAN, 2008).

Na Figura 2, estão mostradas as microvilosidades dos indivíduos normais *versus* às dos indivíduos celíacos. Devido a digestão parcial das proteínas do glúten, os peptídeos restantes não digeridos geram uma resposta da mucosa intestinal, causando um atrofiamento das microvilosidades (LEONARD; SAPONE; CATASSI; FASANO, 2017; SILANO; VINCENTINI; DE VINCENZI, 2009). A gliadina, ao passar pelo trato gastrointestinal, causa uma reação inflamatória de atrofiação das microvilosidades (GREEN; CELLIER, 2007; SILANO; VINCENTINI; DE VINCENZI, 2009). O termo “peptídeo tóxico” é comumente utilizado para se referir à gliadina, pois ela liga-se aos receptores do intestino delgado, iniciando a resposta inflamatória (SILANO; VINCENTINI; DE VINCENZI, 2009).

Após a adesão a uma dieta sem glúten, as microvilosidades tendem a se normalizar após algumas semanas, porém em indivíduos adultos ainda podem persistir (LEE; LO; MEMEO; ROTTERDAM *et al.*, 2003).

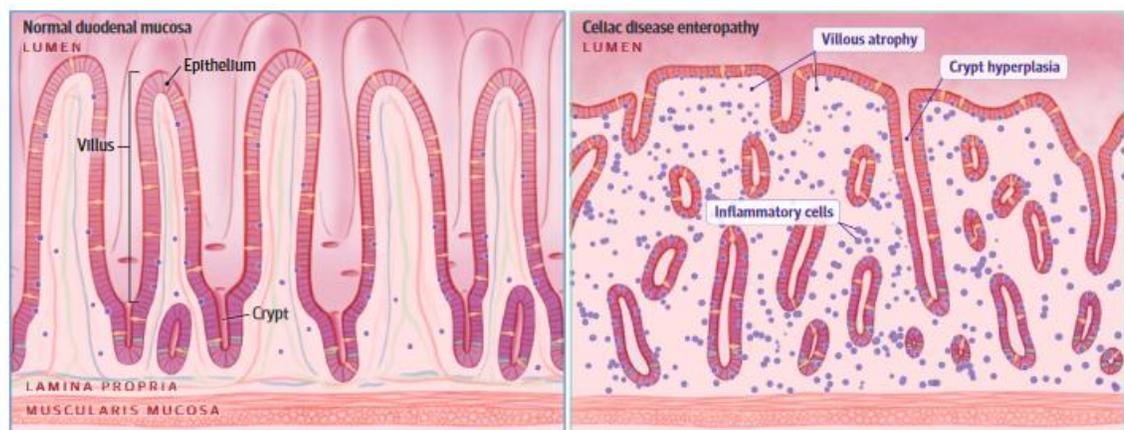


Figura 2: Microvilosidades normais do intestino (esquerda) e microvilosidades de indivíduo acometido por doença celíaca (direita).

Fonte: LEONARD; SAPONE; CATASSI e FASANO (2017).

O diagnóstico inicia com testes sorológicos, a partir do relato dos sintomas compatíveis. Dependendo do resultado, o paciente pode seguir para uma biópsia do duodeno, já sendo identificada a doença celíaca, ou para mais testes sorológicos e exames gastrointestinais (SILANO; VINCENTINI; DE VINCENZI, 2009). Porém, atualmente, atribui-se a doença celíaca a um problema relacionado à gliadina do glúten, tanto pela sua toxicidade quanto pela facilidade dos testes de anticorpos (LUDVIGSSON; LEFFLER; BAI; BIAGI *et al.*, 2013).

3.3.2 Alergia ao trigo

Existem diversos tipos de alergias relacionadas ao trigo, como por exemplo, alergia ao trigo imediata, asma do padeiro, dermatite de contato com trigo e anafilaxia induzida por exercícios dependente do trigo (MATSUO; YOKOOJI; TAOGOSHI, 2015). A alergia do trigo (ou asma do padeiro) é menos conhecida do que a doença celíaca, porém acomete indivíduos de todas as idades (SIMONATO; DE LAZZARI; PASINI; POLATO *et al.*, 2001). A prevalência da alergia ao trigo é de aproximadamente 1% na população geral (CZAJA-BULSA; BULSA, 2017). A doença pode se manifestar como urticária, sendo que aproximadamente 6,8% dos pacientes com a alergia de pele também eram alérgicos ao trigo (XU; JIANG; WEN; LI *et al.*, 2019). Estima-se que cerca de 1% das crianças seja alérgica ao trigo, sendo que a exposição tardia ao consumo do cereal pode elevar o risco de apresentar a doença (POOLE; BARRIGA; LEUNG; HOFFMAN *et al.*, 2006). Apesar de normalmente surgir em indivíduos a partir dos seis anos e meio de idade, nem sempre persiste na adolescência (KEET; MATSUI; DHILLON; LENEHAN *et al.*, 2009). Em adultos, pequenas quantidades de trigo já podem provocar reações alérgicas (SCIBILIA; PASTORELLO; ZISA; OTTOLENGHI *et al.*, 2006).

Suspeita-se que a fração proteica responsável pela alergia seja a gliadina (PALOSUO; ALENIUS; VARJONEN; KOIVULUHTA *et al.*, 1999), apesar de que as duas proteínas formadoras de glúten podem causar reações de sensibilidade em alguns indivíduos (SANDIFORD; TATHAM; FIDO; WELCH *et al.*, 1997). Dessa forma, o tratamento da doença é de exclusão do trigo da dieta, sendo que também devem ser eliminadas fontes de poeira do trigo, devido às alergias de contato (SCHERF, 2019).

3.3.3 Sensibilidade ao glúten não-celíaca

A sensibilidade ao glúten não-celíaca é considerada uma doença emergente, sem causas definidas, e faz parte do espectro de doenças relacionadas ao glúten. Seu diagnóstico é difícil, visto que é feito por exclusão de outras doenças relacionadas ao glúten e ao trigo (CATASSI; BAI; BONAZ; BOUMA *et al.*, 2013). Muitas vezes, a SGNC está relacionada ao efeito *nocebo*, cujos sintomas gastrointestinais são apresentados após a ingestão de alimentos com glúten, apenas por saber que a substância é alergênica para outros indivíduos, sendo que cerca de 40% das pessoas afirmam apresentar os sintomas após a ingestão de placebos (MOLINA-INFANTE; CARROCCIO, 2017).

Os sintomas aparecem entre horas e dias após a ingestão de glúten, sendo similares aos da doença celíaca, excluindo-se a puberdade tardia, infertilidade, osteoporose, intolerância a lactose, náusea, perda de peso, entre outros (LEONARD; SAPONE; CATASSI; FASANO, 2017). A prevalência da sensibilidade ao glúten não-celíaca ainda não está determinada, sendo muitas vezes confundida com a síndrome do intestino irritável, podendo ter causas psicológicas (CATASSI; BAI; BONAZ; BOUMA *et al.*, 2013). O diagnóstico também é incerto pois não há biomarcadores identificados que possam ser utilizados nos ensaios clínicos (SILANO; VINCENZI; DE VINCENZI, 2009).

3.3.4 Dermatite herpetiforme

A dermatite herpetiforme pode ser considerada uma doença oriunda da doença celíaca, visto que a pele apresenta bolhas (erupções cutâneas papulovesiculares), que por sua vez causam muita coceira. Na Figura 3, estão demonstradas as erupções cutâneas causadas pela doença. Porém, os marcadores de antígenos epidérmicos são diferentes: transglutaminase TG2 na doença celíaca e transglutaminase TG3 na dermatite herpetiforme. O TG2 é manifestado na pele e o TG3 na mucosa do intestino delgado (COLLIN; SALMI; HERVONEN; KAUKINEN *et al.*, 2017; REUNALA; SALMI; HERVONEN, 2015). Assim como a DC, também é uma enteropatia do intestino, porém os sinais aparecem como urticárias purulentas e vesículas na pele, nos joelhos, cotovelos e nádegas (LUDVIGSSON; LEFFLER; BAI; BIAGI *et al.*, 2013). Muitas vezes essa

doença pode se apresentar de forma assintomática, tendo apenas pouca atrofia nas microvilosidades do intestino delgado (REUNALA; SALMI; HERVONEN, 2015).

O tratamento, assim como na DC, também é de exclusão do glúten da dieta, além do uso de corticóides e anti-histamínicos (COLLIN; SALMI; HERVONEN; KAUKINEN *et al.*, 2017; HERRERO-GONZÁLEZ, 2010).



Figura 3: Eritemas papulentos causados pela dermatite herpetiforme em cotovelos (a) e joelhos (b).

Fonte: HERRERO-GONZÁLEZ (2010).

3.2 Panificação sem glúten

A produção de produtos de panificação sem glúten ainda é um desafio tecnológico (ROSELL; BARRO; SOUSA; MENA, 2014). Diversos ingredientes e aditivos são necessários para se obter um pão com qualidade semelhante ao tradicional. Nos itens a seguir, estão descritos e discutidos os ingredientes mais utilizados em formulações de pão sem glúten.

3.2.1 Farinhas e amidos

Na panificação sem glúten, misturas de farinhas são utilizadas de forma a produzir pães com melhor aspecto nutricional, bem como aumentar a sua qualidade tecnológica. A seguir, encontram-se tipos de farinhas e amidos comumente utilizados nas formulações.

3.2.1.1 Farinha de arroz

Em termos de grãos, o arroz (*Oryza sativa L.*) é um dos cereais mais importantes do mundo (JUNIOR; GOMES; SANTOS, 2004). No Brasil, houve uma diminuição nas áreas plantadas e na produção de arroz na safra 2018/2019, com um total de 10,4 milhões de toneladas colhidas. Após colhido, o arroz é beneficiado, sendo gerada grande quantidade de grãos quebrados, que são direcionados para outras indústrias ou para exportação, sendo uma parte transformada em farinha de arroz (BASSINELLO; LUZ; FERREIRA, 2017). A produção de farinha de arroz é uma opção para o uso de quirera, diminuindo o desperdício de cereais, pois, segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2013), cerca de um terço de todos os alimentos produzidos é desperdiçado.

A farinha de arroz é regularmente utilizada em alimentos sem glúten visto que possui baixo potencial tóxico para indivíduos intolerantes (ROSELL; BARRO; SOUSA; MENA, 2014). Na indústria sem glúten, pode ser empregada, em misturas com outras farinhas, na formulação de biscoito tipo *cookie* (BASSINELLO; CARVALHO; ARAÚJO; ALMEIDA *et al.*, 2012), macarrão (FERREIRA; DE MELLO; DE CALDAS ROSA DOS ANJOS; KRÜGER *et al.*, 2016; PHONGTHAI; D'AMICO; SCHOENLECHNER; HOMTHAWORNCHOO *et al.*, 2017; SEETAPAN; LIMPARYOON; YOOBERG; LEELAWAT *et al.*, 2019), pães (HERA; MARTINEZ; GÓMEZ, 2013; MANCEBO; RODRIGUEZ; GÓMEZ, 2016; WU; WANG; LI; QIAN *et al.*, 2019) e bolos (LANG; KRINGEL; ACUNHA; FERREIRA *et al.*, 2020).

A farinha de arroz possui coloração branca, sendo o endosperma rico em amilose (ITANI; TAMAKI; ARAI; HORINO, 2002). No arroz branco, a quantidade de proteínas é de cerca de 8%, sendo que as majoritárias são as glutelinas (63,8%), albuminas (9,4%), globulinas (8,9%) e prolaminas (3,6%) (CHANDI; SOGI, 2007). Na Tabela 1 estão listados os componentes da farinha de arroz e a quantidade energética por porção de 100 g. A quantidade de proteínas é inferior à da farinha de trigo (9,8 g/100 g) (NEPA, 2011). Ainda, embora possua proteínas do

grupo das prolaminas, a farinha não conta com gliadinas, proteínas necessárias para a formação do glúten (CHANDI; SOGI, 2007).

A farinha de arroz é um ingrediente alternativo à farinha de trigo, sendo muito utilizada em formulações de pão sem glúten (WANG; LU; LI; ZHAO *et al.*, 2017). Apesar da farinha de arroz branco ser a mais utilizada, cresce o uso de arroz negro devido ao perfil nutricional (PRASAD; SHARAVANAN; SIVARAJ, 2019). A farinha de arroz é normalmente utilizada em mistura com outras farinhas, visto que é uma boa fonte de amido, porém não de proteínas. A variedade de arroz utilizada para obter a farinha também influencia nas características do pão, como o volume específico e a capacidade de retenção de água, sendo as melhores as que contêm o maior valor de entalpia de gelatinização, mas com o menor pico de temperatura de gelatinização, quando analisadas por calorimetria diferencial de varredura (CORNEJO; ROSELL, 2015).

Tabela 1: Composição da farinha de arroz.

| Componente | Quantidade por 100 g de farinha |
|--------------------------------|--|
| Carboidratos totais (g) | 84,9 |
| Proteínas (g) | 1,3 |
| Fibra alimentar (g) | 0,6 |
| Cinzas (g) | 0,2 |
| Lipídeos (g) | 0,3 |
| Umidade (g) | 12,7 |
| Energia (kcal) | 363 |

Fonte: NEPA (2011).

Em pães formulados com farinha de arroz, observou-se que o tamanho da partícula de farinha também influencia diretamente as características do pão: quanto menor o tamanho, menor a retenção de gás e também menor o volume específico (HERA; MARTINEZ; GÓMEZ, 2013). Na aplicação em pães sem glúten feitos com 100% de farinha de arroz e sem aditivos, com

teor de amido de 9,6% a 22,3%, o volume do pão aumentou conforme maior o teor de amilose da composição. O tamanho da molécula de amilose de farinha de arroz também influencia no pão: quanto maior o comprimento da molécula, menor a dureza e maior o volume (ROMAN; REGUILON; GOMEZ; MARTINEZ, 2020). O uso de farelo de arroz em pães formulados com farinha de arroz influencia a reologia da massa, porém, pode reduzir o endurecimento durante o armazenamento (PHONGTHAI; D'AMICO; SCHOENLECHNER; RAWDKUEN, 2016).

A aplicação da farinha de arroz também pode ser feita combinada com outras farinhas, à fim de verificar se há comportamento sinérgico. Quando introduzida na formulação de pães sem glúten, juntamente com farinha de trigo sarraceno, nas proporções de 90:10, 80:20 e 70:30, os pães apresentaram maior dureza conforme maior a quantidade de trigo sarraceno empregada (TORBICA; HADNADEV; DAPCEVIC, 2010).

O tipo de moagem do arroz também pode interferir nas características do pão, visto que afeta a quantidade de amido danificado, sendo que o volume específico e a quantidade de alvéolos diminuem conforme aumenta a quantidade de amido danificado, visto que este é mais facilmente utilizado pela levedura, gerando maior dano à estrutura do miolo, fortemente afetada pelo teor de amido final presente (WU; WANG; LI; QIAN *et al.*, 2019).

A adição de enzimas também é promissora, visto que estas podem causar efeitos benéficos nos pães. A transglutaminase pode aumentar o volume específico de pães formulados com base em farinha de arroz (PONGJARUVAT; METHACANON; SEETAPAN; FUONGFUCHAT *et al.*, 2014). Quando adicionados de proteases de origem vegetal, pode-se aumentar o volume específico de pães feitos à base de farinha de arroz em até 60% (HATTA; MATSUMOTO; HONDA, 2015). Já com proteases bacterianas, pode-se diminuir a dureza e a taxa de envelhecimento dos produtos (KAWAMURA-KONISHI; SHODA; KOGA; HONDA, 2013).

3.2.1.2 Amido

O amido é a maior fonte de reserva de energia dos vegetais, destacando-se os cereais como fonte de amido de grande consumo por humanos. O amido é insolúvel em água à temperatura ambiente e, quando aquecido em soluções aquosas, produz um gel viscoso; é formado por moléculas de amilose e de amilopectina (BEMILLER, 2019).

A amilose é composta por unidades de glicose unida por ligações glicosídicas α -1,4; sua cadeia linear pode formar filmes e fibras elásticos. A amilopectina é uma glucana de cadeia larga, conectada por ligações α -1,6, que formam *clusters* cristalinos em pares de dupla hélice. Amidos com alto teor de amilopectina são conhecidos como amidos cerosos (BEMILLER, 2019).

A quantidade de água empregada nas massas sem glúten é maior do que nas massas tradicionais. Isso se deve principalmente à maior presença de amidos, que necessitam de maiores quantidades de água para a sua gelatinização durante a cocção do pão (BRITES; SCHMIELE; STEEL, 2018). No armazenamento do pão, ocorre a diminuição da temperatura, e, conseqüentemente, a retrogradação do amido, cujo efeito se vê no aumento da dureza durante o armazenamento. Esse fenômeno ocorre pois as moléculas de amilopectina se rearranjam com a conseqüente expulsão da água, causando redução da umidade e aumento da dureza (ARENDDT; MORRISSEY; MOORE; BELLO, 2008). A presença de amido é importante para a formação do miolo do pão.

Os amidos mais comumente utilizados na panificação sem glúten são amido de milho, fécula de batata e fécula de mandioca (polvilho doce). Na Tabela 2 é apresentada a composição centesimal de cada um deles.

Alguns grânulos de amido podem ser danificados durante a moagem dos grãos, e este amido fica mais disponível para reações enzimáticas, uso pelas leveduras na fermentação, além de diferenças na absorção de água (GUTKOSKI; PAGNUSSATT; SPIER; PEDÓ, 2007). Quanto ao uso na panificação sem glúten, numa substituição ao uso de aditivos, quanto menor a quantidade de amido danificado, melhor é o volume do pão, porém o tipo de processo também influencia na qualidade final (YANO; FUKUI; KAJIWARA; KOBAYASHI *et al.*, 2017).

O efeito do amido nos pães pode variar conforme a proporção de amilose/amilopectina do grânulo. Quanto maior o conteúdo de amilose, maior o volume específico do pão (AOKI; KATAOKA; NISHIBA, 2020). A textura da crosta, por exemplo, está relacionada com a consistência da massa e também com a retrogradação do amido (MATOS; ROSELL, 2015). A substituição parcial das fontes amiláceas das formulações de pão sem glúten por amido ceroso (com maior quantidade de amilopectina), também pode reduzir a retrogradação do amido, reduzindo sua dureza e melhorando os parâmetros do armazenamento (WITCZAK; KORUS; ZIOBRO; JUSZCZAK, 2019).

Tabela 2: Composição do amido de milho e féculas de batata e mandioca.

| Componente | Amido de milho | Fécula de batata | Fécula de mandioca |
|--------------------------------------|-----------------------|--|---------------------------|
| Carboidratos totais (g/100 g) | 87,1 | 72,9 | 86,8 |
| Proteínas (g/100 g) | 0,6 | 2,4 | 0,4 |
| Fibra alimentar (g/100 g) | 0,7 | 0,2 | 0,2 |
| Cinzas (g/100 g) | 0,1 | 0,3 | 0,2 |
| Lipídeos (g/100 g) | - | 5,5 | - |
| Umidade (g/100 g) | 12,2 | 18,7 | 12,6 |
| Energia (kcal/100 g) | 361 | 351 | 351 |
| Fonte | NEPA (2011) | VELÁSQUEZ-HERRERA; LUCAS-AGUIRRE e QUINTERO-CASTAÑO (2017) | NEPA (2011) |

O uso de amido pré-gelatinizado é uma alternativa para melhoria da qualidade de pães sem glúten. A extrusão de farinhas com alto conteúdo de amido pode gerar pães de melhor estrutura e cor, mais próximos aos pães tradicionais de farinha de trigo; características como volume e dureza durante o armazenamento podem ser melhoradas devido às modificações da retrogradação do amido e, conseqüentemente, mantém as características do pão durante o armazenamento (CLERICI; EL-DASH, 2006).

Amido modificado quimicamente e pré-gelatinizado tende a deixar a massa mais viscoelástica, com menor dureza da crosta e do miolo tanto no dia de preparo quanto nos dias de armazenamento, mantendo a maciez durante a vida útil (ROMAN; REGUILON; MARTINEZ; GOMEZ, 2020). O maior volume de massas formuladas com amidos pré-gelatinizados deve-se a maior capacidade de retenção de água destes, que criam uma massa com consistência capaz de reter os gases da fermentação (ROMAN; GOMEZ; HAMAKER; MARTINEZ, 2019). A adição de amido resistente pode gerar pães de maior dureza (KIUMARSI; SHAHBAZI; YEGANEHZAD; MAJCHRZAK *et al.*, 2019).

3.2.1.3 Farinha de grão-de-bico

O grão-de-bico (*Cicer arietinum*) é uma leguminosa de coloração creme e grãos grandes e arredondados. Na Tabela 3 está apresentada a composição centesimal do grão-de-bico cru, matéria-prima para a produção de farinha de grão-de-bico. Por conter 21,2 g de proteínas a cada 100 g de grãos, contém alto conteúdo de proteínas, segundo a RDC 54 de 2012 (BRASIL, 2012).

Pela sua quantidade de proteínas, a farinha de grão-de-bico é comumente empregada em formulações de pão sem glúten, como fonte de proteínas. O uso de farinhas protéicas é utilizado na tentativa de formar uma rede capaz de reter o gás da fermentação, gerando pães de maior volume. O uso de farinha de grão-de-bico pode aumentar o volume específico, porém também pode tornar o miolo mais rígido, sendo possível aplicar até 100% da quantidade de mistura de farinhas em cada formulação (SANTOS; AGUIAR; CENTENO; ROSELL *et al.*, 2020).

Tabela 3: Composição do grão-de-bico cru.

| Componente | Quantidade por 100g de grão |
|--------------------------------|------------------------------------|
| Carboidratos totais (g) | 57,9 |
| Proteínas (g) | 21,2 |
| Fibra alimentar (g) | 12,4 |
| Cinzas (g) | 3,2 |
| Lipídeos (g) | 5,4 |
| Umidade (g) | 12,3 |
| Energia (kcal) | 355 |

Fonte: NEPA (2011).

Quando comparada a outras farinhas de leguminosas, a farinha de grão-de-bico pode produzir pães sem glúten com maior volume específico, além de apresentar bom perfil sensorial; é uma boa opção frente às demais farinhas semelhantes com alto teor de proteína (MIÑARRO; ALBANELL; AGUILAR; GUAMIS *et al.*, 2012). Ainda, a farinha de grão-de-bico diminui o índice de retrogradação do amido, além de ter boa estabilidade na aplicação em massas devido às

características visco-elásticas das massas geradas, sendo altamente indicada para formulações de alimentos assados (KAHRAMAN; HARSA; LUCISANO; CAPPÀ, 2018).

Além disso, as proteínas do grão-de-bico apresentam outras características relevantes na utilização na panificação sem glúten. Possuem capacidade emulsificante, podendo aumentar o volume específico de pães sem glúten, sendo possível uma redução ou eliminação do uso de emulsificantes nas formulações (AGUILAR; ALBANELL; MIÑARRO; CAPELLAS, 2015; KAHRAMAN; HARSA; LUCISANO; CAPPÀ, 2018).

3.2.1.4 Farinha de lentilha

A lentilha (*Lens culinaris*) é uma leguminosa que, em comparação a outras farinhas sem glúten, possui a menor capacidade de retenção de água, porém possui bom teor de compostos fenólicos (DI CAIRANO; CONDELLI; CARUSO; MARTI *et al.*, 2020). De acordo com a Tabela 4, a lentilha seca, matéria-prima da produção de farinha de lentilha, é majoritariamente formada por carboidratos, sendo também fonte de proteínas por apresentar 23,2 gramas por 100 g de grãos. Quanto à capacidade de retenção de água e óleo, conteúdo de amilose e teor de compostos fenólicos, a farinha de lentilha compara-se a outras farinhas de leguminosas comumente utilizadas na panificação sem glúten (DI CAIRANO; CONDELLI; CARUSO; MARTI *et al.*, 2020).

A adição de farinha de lentilha pode elevar o conteúdo de proteínas de pães sem glúten, quando comparados a pães sem fonte de proteínas e com farinha de trigo sarraceno, diminuindo também a dureza do miolo e com maior volume específico (DA ROSA MACHADO; THYS, 2019).

Tabela 4: Composição da lentilha seca crua.

| Componente | Quantidade por 100g de grão |
|----------------------------|------------------------------------|
| Carboidratos (g) | 62,0 |
| Proteínas (g) | 23,2 |
| Fibra alimentar (g) | 16,9 |
| Cinzas (g) | 2,6 |
| Lipídeos (g) | 0,8 |
| Umidade (g) | 11,5 |
| Energia (kcal) | 339 |

Fonte: NEPA (2011).

3.2.1.5 Farinha de ervilha

A ervilha (*Pisum sativum*) é uma leguminosa cultivada nos mais diversos climas do mundo. Conforme mostrado na Tabela 5, a ervilha seca (matéria-prima da produção de farinha de ervilha) possui conteúdo elevado de carboidratos e proteínas, sendo que os valores podem variar de acordo com a variedade cultivada. A ervilha pode ser usada da forma fresca, seca, em farinha, ou com amido, proteína e fibra isolada. Na forma de proteína isolada, o emprego da ervilha pode melhorar a estrutura da massa, produzindo pães com bom volume específico e boa aceitação no teste sensorial (MIÑARRO; ALBANELL; AGUILAR; GUAMIS *et al.*, 2012).

A farinha de ervilha pode ser utilizada como fonte proteica em pães sem glúten, principalmente na substituição de proteínas alérgicas, porém de forma controlada pois pode alterar o sabor e o aroma do produto (TULBEK; LAM; WANG; ASAVAJARU *et al.*, 2017).

Tabela 5: Composição da ervilha seca.

| Componente | Quantidade por 100 g de grão |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Carboidratos (g) | 77,59 |
| Proteínas (g) | 18,38 |
| Cinzas (g) | 2,87 |
| Lipídeos (g) | 1,16 |
| Umidade (g) | 10,38 |

Fonte: CARVALHO (2007).

A ervilha e o concentrado proteico de ervilha possuem capacidade emulsificante, característica interessante para aplicação na panificação (SRIDHARAN; MEINDERS; BITTER; NIKIFORIDIS, 2020). A farinha de ervilha possui alto teor de compostos fenólicos e flavonoides, e menor quantidade de amido, quando comparada a outras farinhas sem glúten (DI CAIRANO; CONDELLI; CARUSO; MARTI *et al.*, 2020).

3.2.2 Aditivos

Aditivos são substâncias adicionadas intencionalmente nos alimentos, com propósitos tecnológicos, tendo valor nutricional ou não. Esses ingredientes não são regularmente consumidos como alimentos (CODEX ALIMENTARIUS, 2019). Aditivos alimentares não possuem o propósito de nutrir, sendo adicionados nas diversas etapas de produção de um alimento, modificando suas propriedades físicas, químicas, biológicas ou sensoriais (ANVISA, 1997).

Nos últimos anos, os consumidores vêm buscando por produtos tidos como *clean label* e “livres de”, com menos aditivos, pois os consideram mais naturais (AOKI; SHEN; SAIJO, 2010; ASIOLI; ASCHEMANN-WITZEL; CAPUTO; VECCHIO *et al.*, 2017; OLBRICH; HUNDT; GREWE, 2015). Porém, a percepção de risco e benefício pode afetar a decisão de consumo de um produto (BEARTH; COUSIN; SIEGRIST, 2014).

De forma geral, os aditivos naturais são mais aceitos do que os produzidos sinteticamente, porém isso tende a elevar o custo do produto (ROMÁN; SÁNCHEZ-SILES; SIEGRIST, 2017). No entanto, apesar de serem mais aceitos pelos consumidores, o fato de serem naturais não significa que estes sejam menos tóxicos ou mais seguros (CAROCHO; MORALES; FERREIRA, 2015). Em estudo conduzido por ROZIN; FISCHLER e SHIELDS-ARGELÈS (2012), na Europa e América, os consumidores indicaram os aditivos como ingredientes negativos nas formulações, percebidos como “inimigos”, ao lado de pesticidas e produtos químicos. Muitas vezes, não há conhecimento sobre o que são aditivos, e estes são logo rejeitados devido às percepções negativas pré-concebidas, mesmo que os aditivos sejam obtidos de fontes naturais (VARELA; FISZMAN, 2013). A informação de que os aditivos contidos são naturais é importante para que os consumidores tenham a tendência em aceitar um produto (DEVICICH; PEDERSEN; PETRIE, 2007), e os mesmos mudam sua percepção de preço dos produtos após tomarem conhecimento sobre estas informações (AOKI; SHEN; SAIJO, 2010).

A seguir, estão apresentadas as classes de aditivos comumente utilizadas em panificação sem glúten: hidrocoloides, emulsificantes e umectantes.

3.2.2.1 Hidrocoloides

Os hidrocoloides são normalmente utilizados na panificação sem glúten devido a sua propriedade de mimetizar as propriedades viscoelásticas do glúten; são capazes de aumentar a viscosidade do meio, por serem polímeros solúveis em água, funcionando como agentes gelificantes (PEGG, 2012). Eles melhoram a textura, a umidade da massa e aumentam a vida útil do pão (MIR; SHAH; NAIK; ZARGAR, 2016). Podem ser de origem vegetal (carboidratos), como a carragena, alginato, pectinas, goma xantana, carboximetilcelulose (CMC) e outros, ou de origem animal (proteicos), como caseinatos e gelatina (LINDEN; LORIENT, 1999).

A massa viscoelástica formada pelo glúten ainda assim difere da formada pela adição de hidrocoloides. Com hidrocoloides, há a formação de um gel viscoelástico, formado pela associação de moléculas de polímeros que se juntam por ligações de hidrogênio ou *cross-link* de proteínas. No glúten, há formação de pontes dissulfeto e interações secundárias mais fracas, porém mais fortes que as dos hidrocoloides, que conseguem reter mais gás e auxiliar na expansão

do volume (BEMILLER, 2008). Os hidrocolóides são eficazes em baixas concentrações (menos de 1%), podendo formar massas viscosas devido sua alta afinidade com a água (WILLIAMS; PHILLIPS, 2009).

A CMC interage com a água, formando um filme, sendo um bom retentor de umidade. Já a hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) é solúvel em água fria e forma gel reversível quando aquecida. A goma guar é um polissacarídeo capaz de aumentar a viscosidade do meio, apresentando sinergismo quando empregado com outros hidrocolóides. Essa goma também é um exemplo de hidrocoloide a ser utilizado em produtos sem glúten, para promover melhoria nas propriedades físicas e de textura, retardando o envelhecimento (GUPTA; VARIYAR, 2018).

A goma xantana é produzida pela bactéria *Xhantomonas campestris* e forma gel elástico que não sofre mudanças em altas temperaturas (BEMILLER, 2008). A adição dessa goma pode melhorar as características da casca, como elasticidade e cor (LAZARIDOU; DUTA; PAPAGEORGIU; BELC *et al.*, 2007), bem como se mostra um bom hidrocoloide na melhoria de vários aspectos de pão sem glúten (MOHAMMADI; SADEGHNIA; AZIZI; NEYESTANI *et al.*, 2014). O uso de goma xantana em doses entre 1,5% e 2,5% resulta em pães de melhor volume específico, baixa dureza e maior número de alvéolos (ENCINA-ZELADA; CADAVEZ; MONTEIRO; TEIXEIRA *et al.*, 2018).

ARENDETT; MORRISSEY; MOORE e BELLO (2008) investigaram vários hidrocolóides para a produção de pães sem glúten de alta qualidade, incluindo hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), carboximetilcelulose (CMC), metilcelulose, 3-glucano, goma de psyllium, goma de alfarroba, goma de guar e goma xantana, e comprovam a vasta aplicabilidade desses aditivos melhoradores no ramo alimentício. Goma xantana e CMC, quando adicionadas conjuntamente, podem gerar pães com menor dureza em comparação a formulações sem hidrocolóides. Ainda, os pesquisadores relataram que o uso apenas de goma xantana já é capaz de produzir pães com qualidade aceitável e melhor cor da casca (MOHAMMADI; SADEGHNIA; AZIZI; NEYESTANI *et al.*, 2014).

3.2.2.2 Emulsificantes

Para melhorar a textura e aumentar a vida útil dos produtos de panificação, pode-se utilizar emulsificantes, que interagem com as proteínas, água e óleo, para criar estabilidade nas massas, além de modificar sua reologia. São exemplos de emulsificantes utilizados na panificação sem glúten, os mono e diglicerídeos de ácidos graxos e as lecitinas. A lecitinas é um emulsificante encontrada de forma natural em soja, girassol e ovos, sendo considerada subproduto do processamento de óleos (CHEN, 2015). Na panificação sem glúten são utilizados aditivos amaciantes, visto que formam complexos com a amilose, como é o caso dos mono e diglicerídeos de ácidos graxos, capazes de formar estrutura helicoidal, afetando a gelatinização e retrogradação do amido e expulsão da água, e, conseqüentemente, diminuindo o endurecimento do pão durante seu armazenamento (MANLEY, 2011).

A perda de água em alimentos resulta em modificações estruturais em proteínas, amidos e hidrocoloides, causando deterioração na textura de alimentos, como pães e bolos; para reduzir firmeza de pães pela perda de umidade, pode-se utilizar emulsificantes, que ligam a água com o amido e impedem sua evaporação (YOUNG; O'SULLIVAN, 2011). A escolha do emulsificante é um fator chave na formulação, para obter a aeração, o volume, a textura e os atributos sensoriais necessários (KAMEL; RASPER, 1988).

3.2.2.3 Umectantes

A adição de polióis, como o sorbitol, na formulação de alimentos pode reduzir a atividade de água, mas também reduz o potencial de cristalização de açúcares e de retrogradação dos amidos (YOUNG; O'SULLIVAN, 2011). Polióis como o maltitol, empregados como umectantes em produtos de panificação, podem retardar o envelhecimento de pães, diminuindo a velocidade de retrogradação do amido (DING; PENG; LI; YANG, 2019). O sorbitol pode aumentar o volume específico de pães, bem como diminuir a dureza durante o armazenamento (BORGES; SALAS-MELLADO, 2016). A adição de sorbitol pode reduzir a quantidade de calorias fornecidas pelo produto, porém pode resultar em decréscimo no volume final dele devido a sua ação edulcorante, substituindo o açúcar das formulações (KAMEL; RASPER, 1988).

3.2.3 Ovos

Ovos são adicionados na massa por suas características nutricionais e tecnológicas. A gema é rica em vitaminas A, D, E e K, e fosfolídeos, que são responsáveis pela sua ação emulsificante na massa (ARENDE; MORRISSEY; MOORE; BELLO, 2008).

A albumina do ovo (clara) é utilizada por causa das suas propriedades coesivas, são mais estáveis e tem capacidade de espumar na massa, ou seja, criar mais bolsas de ar que formarão os alvéolos na fermentação e cocção (HAN; ROMERO; NISHIJIMA; ICHIMURA *et al.*, 2019). A adição de clara de ovo também pode diminuir a dureza da crosta de pães sem glúten, deixá-los mais aromáticos e com a crosta mais escura (MASURE; WOUTERS; FIERENS; DELCOUR, 2019; PICO; REGUILÓN; BERNAL; GÓMEZ, 2019).

A clara de ovo em pó é uma alternativa para melhorar as características da crosta e também o volume do pão, contribuindo com o aumento da vida útil do produto (MASURE; WOUTERS; FIERENS; DELCOUR, 2019). O emprego de gema de ovo melhora o volume e também a maciez da crosta (SANG; XU; MA; JIN *et al.*, 2020).

O uso de proteínas é importante também do ponto de vista da viscosidade da massa, por estabilizar as células de gás durante a coagulação na cocção, além de melhorar o volume e a textura dos pães (BRITES; SCHMIELE; STEEL, 2018). O aumento do volume se deve a melhor estabilização das células de gás da fermentação, e também a melhor viscosidade da massa causada pelas proteínas do ovo (NOZAWA; ITO; ARAI, 2016).

Recentemente, foi publicado um estudo por SAMPLE; SUNWOO; HUYNH; RYLANCE *et al.* (2017), onde foi sugerido que o uso de imunoglobulina derivada de gema de ovo é útil no tratamento da doença celíaca, visto que pode neutralizar as gliadinas no trato gastrointestinal, impedindo a reação imunológica no corpo.

3.2.4 Açúcar

O açúcar é utilizado na panificação para desenvolvimento de cor e aroma, pela reação de Maillard, além de melhorar o volume por ser substrato da fermentação (CAUVAIN, 2019). No entanto, quantidades de açúcar superiores a 5% tem efeito negativo na fermentação devido ao

aumento da pressão osmótica (BONJEAN; GUILLAUME, 2003). Outro efeito da quantidade excessiva de açúcar é excesso de escurecimento não enzimático durante a cocção e problemas no desenvolvimento de glúten (na panificação tradicional), devido a competição das proteínas e açúcar pela água da formulação (PENFIELD; CAMPBELL, 1990).

Por outro lado, quando há pouco açúcar, a fermentação demora a ocorrer visto que a levedura a utiliza como substrato para a fermentação, então inicialmente dependerá da atividade da enzima amilase para quebra dos amidos não fermentescíveis (PENFIELD; CAMPBELL, 1990).

3.2.5 Sal

O cloreto de sódio, também conhecido como sal de cozinha, é amplamente utilizado em formulações alimentícias. Na panificação, a presença de sal é necessária, pois realça o sabor, reforça a rede de glúten formada e melhora a retenção de gás durante a fermentação (LYNCH; DAL BELLO; SHEEHAN; CASHMAN *et al.*, 2009). Além disso, o uso do sal está relacionado com a estabilização da taxa de fermentação, o aumento da força da massa, melhoramento do aroma e aumento do tempo de mistura da massa (MILLER, 2008); também auxilia na prevenção da formação de mofo durante o armazenamento devido à diminuição da atividade de água (MAN, 2007).

A quantidade de sal empregada na panificação é normalmente de 1,2% até 2,5%, de modo a não afetar a fermentação (MAN, 2007).

3.2.6 Fermento biológico

O fermento biológico utilizado na panificação é formado pela levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Na fermentação, a levedura utiliza os açúcares presentes para formação de etanol e gás carbônico, sendo o último responsável pela elevação de volume durante a fermentação. A ação do fermento é afetada pela quantidade de sal, açúcar, pH do meio e temperatura de fermentação (BONJEAN; GUILLAUME, 2003).

Além da expansão de volume, o fermento também promove diminuição das propriedades viscosas da massa, aumentando a elasticidade. O aroma também é influenciado visto que grande parte é desenvolvida durante o tempo de fermentação (PENFIELD; CAMPBELL, 1990).

3.2.7 Lipídeos

Os lipídeos têm função no aumento de volume durante o salto de forno e também na manutenção da qualidade durante o armazenamento (STAUFFER, 2007). A gordura torna a massa mais macia ao melhorar a textura do miolo (PAVANELLI; CICHELO; PALMA, 2000). Normalmente, utiliza-se óleos vegetais nas formulações. Quantidades de aproximadamente 3% geralmente são utilizadas, resultando em um maior volume específico, melhor maleabilidade da massa e diminuição da dureza da crosta (PENFIELD; CAMPBELL, 1990).

Uma alternativa para a redução de gordura das formulações sem glúten é o uso de proteínas emulsificantes. Farinha de grão de bico pode aumentar o volume específico em pães sem gordura ou emulsificante, e o uso de farinha de junça (*tiger nuts*) juntamente com a farinha de grão de bico podem melhorar as propriedades de volume, perda de peso, cor e dureza em pães sem ou com redução de gordura e de emulsificante (AGUILAR; ALBANELL; MIÑARRO; CAPELLAS, 2015).

3.2.8 Enzimas

Para melhoria na qualidade de pães sem glúten, também podem ser utilizadas enzimas como coadjuvantes de tecnologia. Dentre as enzimas utilizadas estão a lipase, proteases, alfa-amilases, glucose-oxidases, transglutaminases, entre outras (MARTÍNEZ; MARCOS; GÓMEZ, 2013; SCIARINI; RIBOTTA; LEÓN; PÉREZ, 2012).

A adição de lipases pode melhorar o volume, reduzir a firmeza inicial e também retardar o endurecimento de pães feitos com farinha extrusada de arroz, pois possuem a capacidade de atuar como emulsificantes (MARTÍNEZ; MARCOS; GÓMEZ, 2013).

As proteases, por sua vez, hidrolisam as proteínas, formando compostos de baixa massa molar, que auxiliam na formação de massas viscoelásticas (GUJRAL; GUARDIOLA; CARBONELL; ROSELL, 2003). Os hidrolisados podem formar pequenos agregados de proteínas com pontes dissulfeto (HATTA; MATSUMOTO; HONDA, 2015). Proteases como a papaína, bacilolisina e subtilisina podem aumentar o volume de pães em até 60 % e reduzir a dureza da casca em até 30 % em pães com farinha de arroz (HATTA; MATSUMOTO; HONDA, 2015). A protease produzida por *Bacillus stearothermophilus* pode gerar pães de farinha de arroz com melhor aspecto da casca, maior volume e também textura mais macia (KAWAMURA-KONISHI; SHODA; KOGA; HONDA, 2013).

A glucose-oxidase também pode ser utilizada, tendo efeitos benéficos na massa viscoelástica de pães sem glúten formulados a partir de farinha de sorgo e de milho (RENZETTI; ARENDT, 2009). A amilase tem a capacidade de agir no amido, afetando as propriedades de gel e melhorando a textura final da massa e também as características dos pães (PALABIYIK; YILDIZ; TOKER; CAVUS *et al.*, 2016).

A transglutaminase pode afetar as proteínas, criando agregados oriundos de *crosslinking*, melhorando as propriedades reológicas de massa de pão sem glúten produzido com farinha de arroz, polimerizando as proteínas e aumentando a retenção de gás durante a fermentação (GUJRAL; ROSELL, 2004). Essa enzima pode melhorar as características do pão por promover a formação da rede de proteínas (RENZETTI; DAL BELLO; ARENDT, 2008).

A combinação de enzimas e aditivos pode ter efeito sinérgico, melhorando a estabilidade de pães devido a uma melhora na formação da rede de proteínas e na textura da massa (MOHAMMADI; AZIZI; NEYESTANI; HOSSEINI *et al.*, 2015).

3.2.9 Fibras alimentares

A adição de fibras alimentares pode ser aplicada na panificação sem glúten com ação gelificante, espessante e retentora de umidade (O'SHEA; ARENDT; GALLAGHER, 2012). As fibras podem auxiliar na nutrição de pessoas celíacas, pois os pães sem glúten comerciais normalmente carecem de nutrientes visto que são produzidos a partir de fontes amiláceas (SAUERESSIG; KAMINSKI; ESCOBAR, 2016). Devido às propriedades de hidratação, a fibra

compete pela água com o amido, interferindo na sua coesão e conferindo mais estabilidade à massa (APRODU; BANU, 2015). Alguns exemplos de fibras disponíveis para adição na panificação sem glúten são a inulina, o *psyllium*, o amido resistente e as fibras de cereais como o trigo e o arroz.

A inulina é um polissacarídeo não digerível naturalmente presente em diversas fontes, podendo ser utilizado como ingrediente funcional (SHOAIB; SHEHZAD; OMAR; RAKHA *et al.*, 2016). A adição desta fibra é indicada para aumentar a saudabilidade de produtos sem glúten (MORREALE; BENAVENT-GIL; ROSELL, 2019), produzindo pães de textura aceitável, dentre outros atributos sensoriais satisfatórios. A inulina interage com o amido presente nos outros ingredientes, por meio de ligações de hidrogênio, desta forma diminuindo a perda de água durante o armazenamento por alterar a distribuição dela entre proteínas e amidos (KOU; LUO; ZHANG; XU *et al.*, 2019).

O *psyllium* pode ser utilizado como fibra alimentar, adicionado em formulação de pães sem glúten. Essa fibra é vista como um potencial ingrediente incrementador de qualidade em pães sem glúten (SANTOS; AGUIAR; CENTENO; ROSELL *et al.*, 2020), sendo uma opção para melhorar a funcionalidade e a saudabilidade de produtos alimentícios (FRANCO; SANCHES-SILVA; RIBEIRO-SANTOS; DE MELO, 2020). Uma adição de 2,86% pode resultar em pães com maior conteúdo de fibra, ainda gerando melhoras no volume, textura, aparência e aceitabilidade (FRATELLI; MUNIZ; SANTOS; CAPRILES, 2018).

O *psyllium* é utilizado com diversos fins nas formulações de pão sem glúten, que pode ser nutricional ou tecnológica. O mesmo ingrediente pode agir como suplemento de fibras ou como agente formador de estrutura (MARIOTTI; LUCISANO; AMBROGINA PAGANI; NG, 2009).]

Por possuir uma alta capacidade de retenção de água, também funciona como um bom agente anti envelhecimento, mantendo a maciez no armazenamento (CAPPA; LUCISANO; MARIOTTI, 2013). Em à base de farinha de grão de bico, o *psyllium* pode melhorar a consistência da massa, e então aumentar o volume específico do pão e diminuir a dureza do miolo durante o armazenamento, e com demais características sensoriais e físico-químicas aceitáveis (SANTOS; AGUIAR; CENTENO; ROSELL *et al.*, 2020). Outra vantagem do *psyllium* é a capacidade de adição nas massas sem provocar grandes mudanças de aroma e descaracterização do produto (FRANCO; SANCHES-SILVA; RIBEIRO-SANTOS; DE MELO, 2020).

3.3. Alimentos *clean label*

O uso de aditivos em alimentos vem sendo questionado, visto que muitas vezes apresentam-se em produtos de menor qualidade, sendo também associados a alergias e rejeição pelo consumidor. Atualmente, os consumidores mostram-se mais interessados nos rótulos e nos componentes dos alimentos que consomem (ASIOLI; ASCHEMANN-WITZEL; CAPUTO; VECCHIO *et al.*, 2017).

O termo “*clean label*”, ou “rótulo limpo”, vem sendo utilizado para definir produtos mais naturais, isentos de aditivos, feitos com menor processamento e/ou menor número de ingredientes. Os consumidores entendem produtos livres de aditivos como mais naturais e mais saudáveis (ASIOLI; ASCHEMANN-WITZEL; CAPUTO; VECCHIO *et al.*, 2017). Não há uma definição clara e precisa do que o termo “*clean label*” realmente significa. Porém, os consumidores mostram uma preferência por rótulos isentos de aditivos, por terem criado uma associação negativa destes com substâncias que fazem mal à saúde (ASCHEMANN-WITZEL; VARELA; PESCHEL, 2019), ou que são menos naturais, tendendo a não escolher produtos com estes componentes em suas formulações (MARUYAMA; STRELETSKAYA; LIM, 2021; PĂTRAȘCU; BANU; VASILEAN; APRODU, 2017).

Nos últimos anos, crescem as pesquisas utilizando tecnologias não-convencionais na tentativa de produzir alimentos “*clean label*”. Isso acontece principalmente em relação a substituição de conservantes, visando ampliar a vida útil dos produtos (ASIOLI; ASCHEMANN-WITZEL; CAPUTO; VECCHIO *et al.*, 2017). O emprego de tecnologias não-convencionais é bem visto, uma vez que não consta no rótulo a sua utilização, sendo também mais aceitas do que o uso de aditivos alimentares (ALTING; VAN DE VELDE, 2012; MCDONAGH, 2012). Aliados a esses estudos, também surgem os que focam no desenvolvimento de pães sem glúten isentos de aditivos (AOKI; KATAOKA; NISHIBA, 2020).

3.4 Tecnologias emergentes

Tecnologias emergentes são aquelas que podem criar ou transformar a cadeia de produção de alimentos nos próximos 5 a 10 anos, podendo alcançar significativa influência econômica, mas que ainda não se consolidaram (ATUONWU; TASSOU; LEADLEY; BOSMAN, 2019;

SLIKKER; DE SOUZA LIMA; ARCHELLA; DE SILVA *et al.*, 2018). Essas tecnologias atualmente variam na escala de maturidade tecnológica e custo de operacional, motivo pelo qual o seu potencial e impacto na sociedade não foram plenamente explorados. Essas tecnologias podem ser divididas em térmicas e não térmicas. As térmicas incluem o aquecimento ôhmico, radiofrequência e micro-ondas, que são consideradas formas volumétricas de aquecimento em que a energia térmica é gerada diretamente no interior do alimento. As tecnologias não térmicas, como ultrassom, alta pressão, irradiação, ozonização, campo elétrico pulsado e radiação ultravioleta pulsada, proporcionam efeitos físicos ou químicos, sem o uso de calor (ATUONWU; TASSOU; LEADLEY; BOSMAN, 2019).

As tecnologias emergentes são promissoras no pré-tratamento de farinhas para produção de pães sem glúten de qualidade pois podem mudar as propriedades das farinhas, modificando as redes proteicas e pré-gelatinizando o amido (BENDER; SCHÖNLECHNER, 2020). Nos itens a seguir serão abordadas algumas tecnologias com potencial de uso na indústria da panificação, como alta pressão, micro-ondas e aquecimento ôhmico.

3.4.1 Alta pressão

Dentre as tecnologias emergentes não-térmicas, tem-se a alta pressão, que é capaz de produzir alimentos seguros, de alta qualidade, com mínimas alterações sensoriais e nutricionais. A alta pressão é uma tecnologia não térmica que consiste em submeter os alimentos líquidos ou sólidos, com ou sem embalagem, a pressões entre 100 e 800 MPa. Essa tecnologia é capaz de gerar mudanças nos componentes dos alimentos, mantendo sua qualidade sem detrimento de nutrientes que seriam degradados pela elevação da temperatura (TSEVDOU; GOGOU; TAOUKIS, 2019).

Na Figura 4 está demonstrado o diagrama com a combinação de tempo, pressão e temperatura do processamento a alta pressão. O material sai da pressão P_1 , atmosférica, até atingir uma pressão P_2 , cujo valor corresponde a pressão escolhida para o processo; na sequência, o produto é mantido durante um tempo t_4 (*holding time*, tempo de retenção) na pressão P_2 , até que seja despressurizado, voltando a pressão atmosférica (P_4).

A alta pressão é aplicada em alimentos embalados ou à granel, e são tratados sob pressão instantânea uniformemente aplicada. A temperatura do processo durante o tratamento pode ser especificada abaixo de 0 °C até valores acima de 100 °C. Os alimentos podem estar acondicionados tanto em embalagens plásticas, quanto em metálicas, porém a plástica é a mais recomendada (MERTENS, 1993).

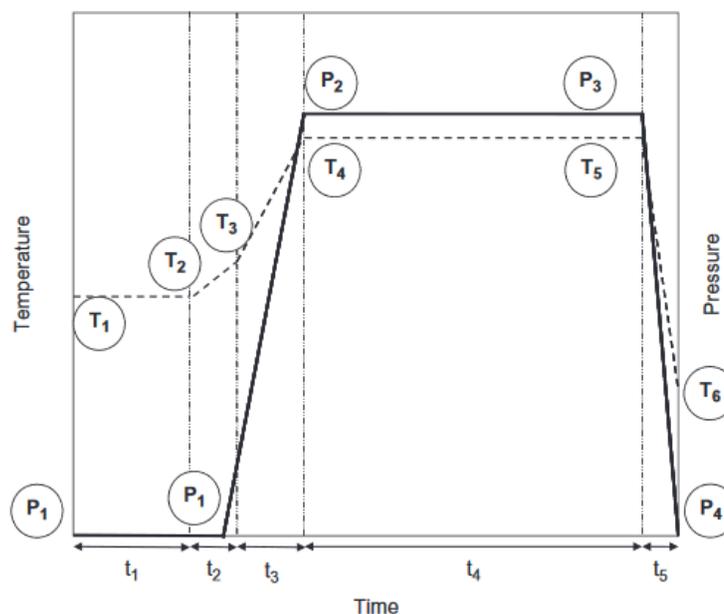


Figura 4: Diagrama de pressão-temperatura do processamento a alta pressão, onde os tempos t_1 , t_2 , t_3 e t_4 são, respectivamente, pré-tratamento, compressão, retenção e descompressão.

Fonte: GUPTA e BALASUBRAMANIAM (2012).

Um sistema industrial de alta pressão é composto por um reservatório (normalmente, cilíndrico), um meio de geração de pressão (água e uma bomba de enchimento e drenagem) e um sistema de controle de temperatura (MERTENS, 1993). Para alimentos embalados, o processo é realizado em um vaso, onde se introduz o produto, este é fechado e preenchido com água, a pressão é aplicada durante um tempo de processo pré-determinado, e finalizado com diminuição da pressão e abertura do vaso (VAN DEN BERG; HOOGLAND; LELIEVELD; VAN SCHEPDAEL, 2001). Os alimentos à granel são bombeados por canos, onde a pressão é aplicada, tendo uma maior eficiência; porém, esse sistema permite somente o processamento de alimentos líquidos (FELLOWS, 2016). Na Figura 5 está demonstrado um esquema do equipamento de processamento por alta pressão.

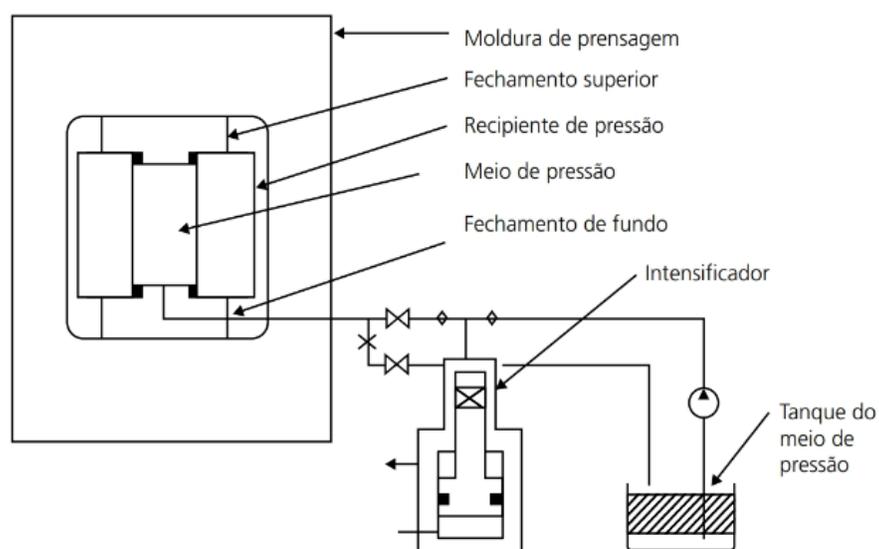


Figura 5: Equipamento de processamento por alta pressão.

Fonte: FELLOWS (2016).

O uso da alta pressão pode levar à redução do uso de conservantes alimentícios, bem como a utilização de temperatura ambiente, levando a um menor impacto na qualidade do produto (BALASUBRAMANIAM; MARTÍNEZ-MONTEAGUDO; GUPTA, 2015). Em soluções de amido, a alta pressão pode provocar a birrefringência do grânulos, bem como promover a “gelatinização a frio”, ou seja, força a entrada da água no interior do grânulo sem o uso de temperatura (LEITE; DE JESUS; SCHMIELE; TRIBST *et al.*, 2017). Quando aplicada em suspensões de amido de arroz, pressões de 600 MPa por 30 min aumentam o poder de intumescimento do grânulo, bem como a solubilidade em temperaturas entre 50 e 60 °C, levando-o à total gelatinização (II; BAI; SALEH; ZHANG *et al.*, 2011). Em amido de milho, a birrefringência ocorre em pressões superiores à 300 MPa, sendo completamente gelatinizado a 650 MPa após 30 min de processamento (BUCKOW; HEINZ; KNORR, 2007). A aplicação da alta pressão pode induzir a formação de amido danificado, aumentando também a capacidade de retenção de água (CAPPA; BARBOSA-CÁNOVAS; LUCISANO; MARIOTTI, 2016).

Em farinhas sem glúten, a alta pressão melhora as propriedades da pasta devido à gelatinização do amido e modificação nas estruturas das proteínas (VALLONS; RYAN; ARENDT, 2011). A pressão gera desdobramento na estrutura das proteínas, fazendo com que elas reajustem-se e agreguem-se em formas diferentes, mudando a textura dos alimentos

(FELLOWS, 2016). Essas mudanças nas características podem melhorar a qualidade, a funcionalidade, a atividade antioxidante e a digestibilidade das proteínas (GHARIBZAHEDI; SMITH, 2021).

Além disso, na panificação sem glúten, essa tecnologia também pode aumentar a vida útil de pães, devido à maior maciez da casca e menor perda de maciez durante o armazenamento (CAPPA; BARBOSA-CÁNOVAS; LUCISANO; MARIOTTI, 2016). O uso de alta pressão pode também diminuir a carga microbiana de farinhas, bem como melhorar a atividade antioxidante, diminuir a ação de antinutrientes e melhorar suas propriedades físico-químicas (LEE; HA; SHAHBAZ; KIM *et al.*, 2018). Em *blends*, pode melhorar a capacidade de retenção de água e viscosidade da pasta (LEE; KOO, 2019).

3.4.2 Micro-ondas

As micro-ondas são ondas eletromagnéticas que têm a capacidade de aquecer os alimentos pela interação com moléculas polares, que ao movimentarem-se e friccionarem-se, produzem calor. Esse tipo de aquecimento é mais rápido que os métodos tradicionais de aquecimento que se baseiam nos princípios de transferência de energia (FELLOWS, 2016; SUMNU, 2001). As ondas eletromagnéticas da região do micro-ondas operam na faixa de 300-300.000 MHz (ROMÁN; MARTÍNEZ; ROSELL; GÓMEZ, 2015) e estão situadas entre as ondas de rádio e a região do infravermelho, tendo penetração, frequência e comprimento de onda intermediários. O calor é gerado no interior do alimento, por fricção das moléculas de água, combinando rotação de dipolo e condução iônica. Já no aquecimento convencional, o calor vem de um meio externo, aquecendo primeiramente a superfície do alimento, não sendo um aquecimento uniforme em toda a sua extensão, conforme mostrado na Figura 6 (BORGES, 2014).

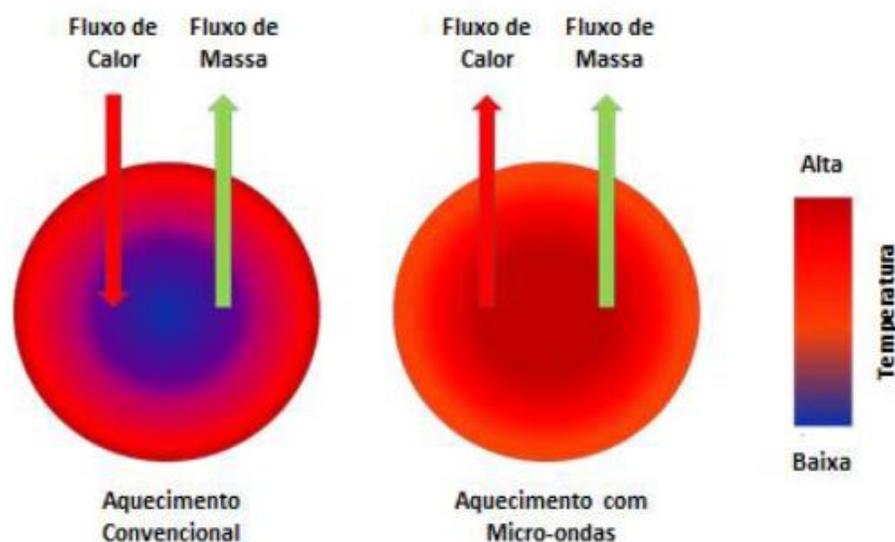


Figura 6: Demonstração do gradiente de temperatura e da transferência de massa no aquecimento convencional *versus* aquecimento micro-ondas.

Fonte: BORGES (2014).

Um forno micro-ondas consiste em um gerador de micro-ondas (conhecido como magnetron), um tubo de alumínio que atua como guia de ondas, uma câmara de metal, para operação em batelada, ou um túnel com esteira para sistemas contínuos. A taxa de aquecimento de um alimento está relacionada com a sua composição, forma, tamanho e frequência de micro-ondas empregada. A quantidade de água e de eletrólitos presentes no alimento são de extrema importância na escolha dos parâmetros do processo, visto que, quanto maior a quantidade de água e de eletrólitos, mais rápido será o aquecimento (FELLOWS, 2016). Na Figura 7 está demonstrado um esquema do aparelho micro-ondas e seus principais constituintes.

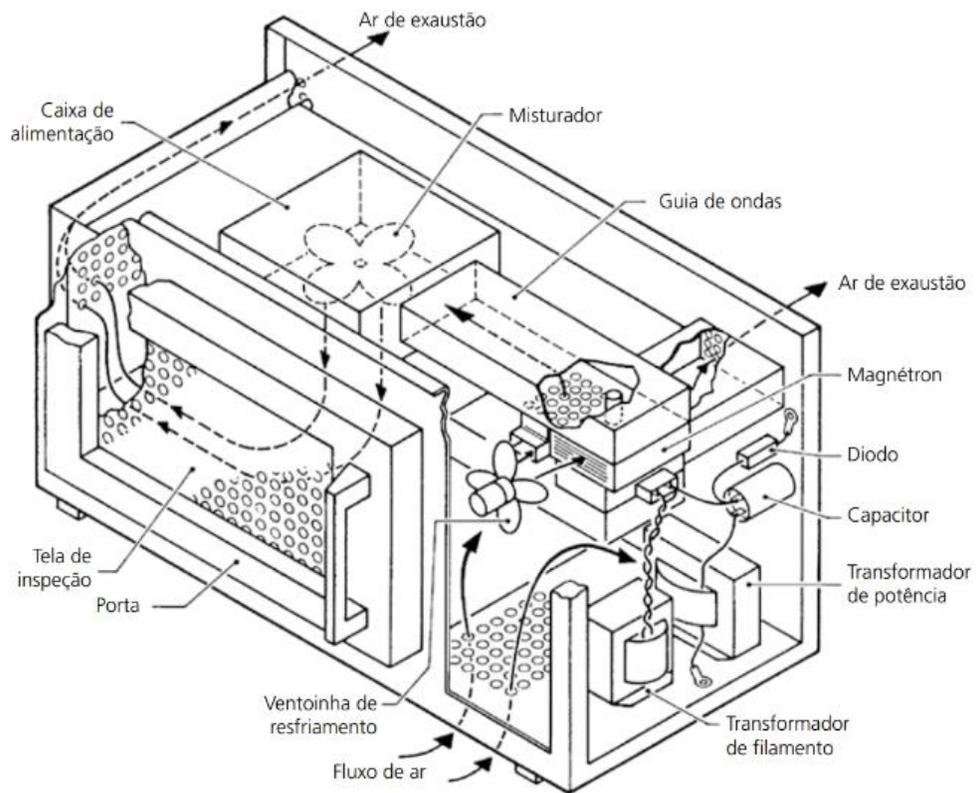


Figura 7: Esquematização de um aparelho micro-ondas.

Fonte: FELLOWS (2016).

O uso de micro-ondas, quando comparado às metodologias tradicionais, resulta em produtos de melhor qualidade sensorial, podendo ser aplicado em processos de secagem e cocção de alimentos, com potencial de manutenção da atividade antioxidante, retenção de compostos bioativos e também aumento da digestibilidade de proteínas (GUO; SUN; CHENG; HAN, 2017). Sendo assim, é um dos processos de aquecimento mais utilizados mundialmente por sua versatilidade (MORENO-VILET; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ; VILLANUEVA-RODRÍGUEZ, 2018).

Estudos recentes comprovam que o aquecimento por micro-ondas aplicado à mistura com certa umidade pode induzir mudanças nas propriedades funcionais de amidos (VILLANUEVA; HARASYM; MUÑOZ; RONDA, 2018). Em sorgo, a aplicação de micro-ondas não apresentou variações na gelatinização do amido, e nem nas suas propriedades funcionais (SHARANAGAT; SUHAG; ANAND; DESWAL *et al.*, 2019). Por outro lado, em farinha de milho, o tratamento

resultou na formação de complexos amilose-lipídios, aumentando a estabilidade ao cisalhamento, promovendo mudanças na cristalinidade do amido e nas suas propriedades térmicas (ROMÁN; MARTÍNEZ; ROSELL; GÓMEZ, 2015). Em um estudo publicado por VILLANUEVA; HARASYM; MUÑOZ e RONDA (2019), a farinha de arroz tratada com micro-ondas, com teor de umidade de 30%, gerou pães sem glúten com maior volume específico (mais leves), casca mais macia e envelhecimento mais lento. Outro importante fator na pré-gelatinização de amido por micro-ondas é a umidade inicial: umidades muito baixas, de 3%, não geram mudanças no grânulo, enquanto valores próximos a 30% produzem mudanças funcionais desejadas (SOLAESA; VILLANUEVA; MUÑOZ; RONDA, 2021).

A aplicação de micro-ondas pode aumentar o tempo de retrogradação do amido, sendo uma característica importante no processamento, tornando os grânulos mais ordenados (WANG; SUN; ZHANG; CHEN *et al.*, 2019). Além disso, o teor de amido resistente também pode aumentar (MUTLU; KAHRAMAN; ÖZTÜRK, 2017).

Em proteínas, estudos sugerem que as micro-ondas atuam nas pontes dissulfeto presentes na estrutura do glúten, provocando mudanças conformacionais que afetam as propriedades de massa, produzindo produtos de menor qualidade (PADALINO; DEL NOBILE; LA GATTA; RUTIGLIANO *et al.*, 2019; SUN; OHANENYE; AHMED; UDENIGWE, 2020). Porém, a aplicação de micro-ondas em farinha de trigo não torna o produto próprio para consumo de celíacos, pois não afeta sua antigenicidade apesar de causar mudanças nas ligações da rede de glúten (GIANFRANI; MAMONE; LA GATTA; CAMARCA *et al.*, 2017). O tratamento com micro-ondas também pode promover a polimerização das proteínas, via interações intermoleculares dentre mesmas classes de proteínas (LAMACCHIA; LANDRISCINA; D'AGNELLO, 2016). A digestibilidade das proteínas também pode ser modificada, aumentando cerca de 20%, devido à mudança na estrutura folha-beta. Mesmo com extensa procura na literatura, não foram encontrados estudos que relatem a aplicação de micro-ondas em farinhas proteicas isentas de glúten. Em farinha de guandu (*Cajanus cajan*), uma leguminosa com 22% de proteínas, o tratamento por 3 minutos em micro-ondas gerou mudanças na conformação das proteínas, aumentando sua digestibilidade *in vitro*, porém diminuiu sua solubilidade em água, sugerindo que há mudanças nas relações proteína-proteína, sendo promissor para aplicação em produtos alimentícios (SUN; OHANENYE; AHMED; UDENIGWE, 2020).

Além do tratamento em farinhas, também pode ser aplicadas as micro-ondas em fibras. Estudos de secagem de fibra de casca de laranja por micro-ondas apresentam resultados promissores, sendo uma alternativa para aplicação em pães sem glúten, visto que os produtos produzidos apresentam características sensoriais aceitáveis e com boa estabilidade durante armazenamento (TALENS; ÁLVAREZ-SABATEL; RIOS; RODRÍGUEZ, 2017).

3.4.3 Aquecimento ôhmico

O aquecimento ôhmico, também conhecido como aquecimento Joule ou aquecimento por resistência, baseia-se na passagem de uma corrente elétrica alternada pelo alimento, que funciona como uma resistência elétrica, gerando calor. Alimentos que contêm água e sais iônicos são capazes de conduzir eletricidade, mas também possuem resistência, gerando calor enquanto uma corrente elétrica é aplicada (FELLOWS, 2016). O campo elétrico é aplicado no alimento através de eletrodos, que entram em contato com o material. Essa tecnologia proporciona um aquecimento volumétrico uniforme e rápido quando comparado com os métodos tradicionais de aquecimento (SASTRY, 2008). O aquecimento ôhmico é mais eficiente do que as micro-ondas, porque aproximadamente 90% da energia elétrica é convertida em calor (FELLOWS, 2016).

Os aparelhos de aquecimento ôhmico consistem em uma fonte de energia, eletrodos, e um tubo ou célula de aquecimento, além de outros instrumentos de medição, podendo operar na forma contínua ou em batelada (HUI; CULBERTSON, 2006). Um sistema de aquecimento ôhmico está demonstrado na Figura 8. A relação entre a temperatura e a condutividade elétrica é linear para alimentos líquidos, sendo uma tecnologia aplicada em operações como branqueamento, pasteurização, esterilização, extração, dentre outros (KUMAR, 2014). O equipamento é simples e tem uma boa taxa de conversão de energia e não promove a formação de superfícies quentes, sendo útil para alimentos de diversas texturas (FELLOWS, 2016).

Em soluções de amido, a condutividade elétrica aumenta conforme aumenta a concentração de sal (KIM; CHOI; YANG; TAUB *et al.*, 1996), porém diminui conforme o grau de gelatinização aumenta, devido às mudanças estruturais e na quantidade de água ligada (WANG; SASTRY, 1997).

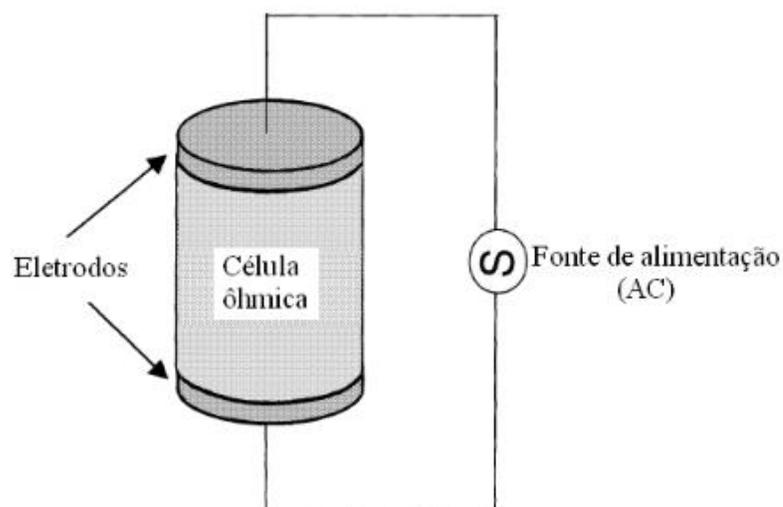


Figura 8: Equipamento de aquecimento ôhmico.

Fonte: RUAN; YE; CHEN e DOONA (2001).

Em proteínas, a técnica de aquecimento ôhmico tem ganhado mais atenção devido à influência nas suas propriedades funcionais e tecnológicas (DE FIGUEIREDO FURTADO; PEREIRA; VICENTE; CUNHA, 2018), que pode induzir mudanças na sua estrutura secundária, terciária e quaternária (PEREIRA; SOUZA; CERQUEIRA; TEIXEIRA *et al.*, 2010).

Em processos de assamento, as mudanças ocorridas no amido e nas proteínas ocorrem de forma similar no aquecimento ôhmico e no aquecimento convencional (DELEU; LUYTS; WILDERJANS; VAN HAESSENDONCK *et al.*, 2019). Na fermentação de pães, o uso de aquecimento ôhmico não altera o processo, porém diminui a duração da fase lag e alcança a temperatura desejada em menor tempo (GALLY; ROUAUD; JURY; HAVET *et al.*, 2017). Ainda não há estudos específicos sobre a aplicação de aquecimento ôhmico para melhoria da qualidade tecnológica na panificação.

4 METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos (ICTA) da UFRGS. O tratamento por tecnologias emergentes das farinhas sem glúten, e o desenvolvimento dos pães sem glúten foram realizados na Planta de Panificação (Laboratório 120); a análise de DSC (Calorimetria Exploratória Diferencial), de textura e de cor foram realizadas no Laboratório de Análises das Propriedades Físicas dos Alimentos (LAPFA) (SALA 121); a análise de CRA e CRO foi realizada no Laboratório de Química e Processamento de Alimentos (Laboratório 201) e no Laboratório de Enzimologia (Laboratório 210). A análise de MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) foi realizada no Centro de Microscopia (CMM) da UFRGS.

A Figura 9, apresenta um diagrama dos experimentos e análises realizadas.

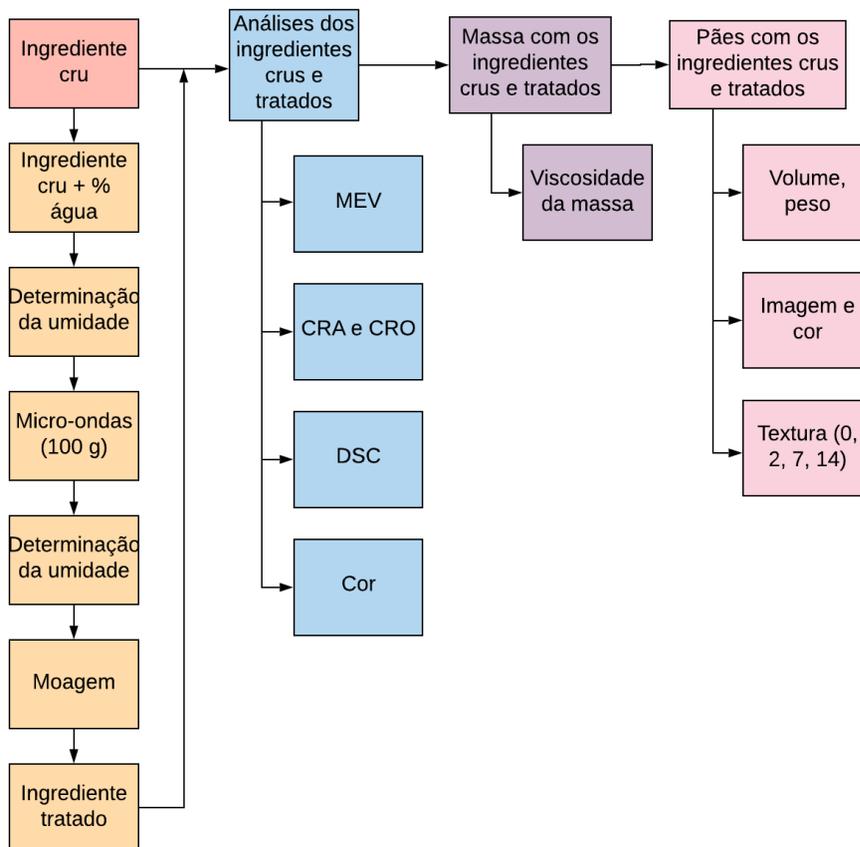


Figura 9: Diagrama com as etapas experimentais do trabalho.

MEV: microscopia eletrônica de varredura – DSC: calorimetria diferencial exploratória – CRA: capacidade de retenção de água – CRO: capacidade de retenção de óleo.

4.1 Matérias-primas

Os ingredientes utilizados foram: polvilho doce (85% de carboidratos) (Pinduca Indústria de Alimentos Ltda., Paraná, Brasil), farinha de grão-de-bico (55% de carboidratos, 22,5% de proteínas, 6% de gorduras) (JTC Distribuidora Eireli, São Paulo, Brasil), ervilha seca (Fritz e Frida, Frolich S/A indústria e Comércio de Cereais, Ivoti, Brasil), ovo integral em pó (Banca 12, Naturovos, Salvador do Sul, Brasil), fermento biológico seco (Fleischmann, AB Brasil Indústria e Comércio de Alimentos Ltda., Sorocaba, Brasil), açúcar (Caravelas, Florianópolis, Brasil), sal (Diana, Romani S/A Indústria e Comércio de Sal, Prado Velho, Brasil) e óleo de canola (Lilás, Celena Alimentos S/A, Eldorado do Sul, Brasil). Os aditivos utilizados foram goma xantana (ER Atacado, Santa Cruz do Sul, Brazil), carboximetilcelulose (Mix Indústria de Produtos Alimentícios, São Bernardo do Campo, Brazil) e mono e diglicerídeos de ácidos graxos (Mycelle MHS 90 M, Granolab, Curitiba, Brasil).

A ervilha foi moída em um moinho de discos e mantida em sacos herméticos até o momento de uso.

4.2 Tratamento com micro-ondas

O tratamento com micro-ondas foi realizado separadamente no polvilho doce e na farinha de grão-de-bico. O tratamento foi em 100 g de cada ingrediente misturado com água, por batelada de aquecimento no micro-ondas. A mistura de ingrediente com água foi adicionada em prato raso de vidro e colocada em forno micro-ondas doméstico (Consul, modelo Facilite Middi CMY30AR, 25 L, potência 900 W, São Paulo, Brasil).

A quantidade de água adicionada variou de 20 a 40%, como pode ser observado na Tabela 6, em que estão descritos os testes realizados. Os tratamentos estão nomeados como porcentagem de umidade inicial. Os tempos foram determinados de forma que a umidade final da mistura fosse de até, aproximadamente, 13%, visto que a RDC nº 263/2005 determina um máximo de 15% de umidade para farinhas (BRASIL, 2005).

Tabela 6: Tratamentos realizados em micro-ondas nas amostras de polvilho doce (PD) e da farinha de grão-de-bico (GB).

| Código do tratamento | Amostra | Adição de água (% b.f.) | Tempo de aplicação de micro-ondas (min) |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------------------|--|
| PD20 | Polvilho doce | 20 | 4 |
| PD30 | | 30 | 5 |
| PD40 | | 40 | 6 |
| GB20 | Farinha de grão-de-bico | 20 | 3 |
| GB30 | | 30 | 4 |
| GB40 | | 40 | 5 |

PD20: polvilho doce umidade inicial 20% - PD30: polvilho doce umidade inicial 30% - PD40: polvilho doce umidade inicial 40% - GB40: grão-de-bico umidade inicial 30% - GB30: grão-de-bico umidade inicial 30% - GB40: grão-de-bico umidade inicial 40%.

A temperatura da amostra foi registrada no início e no fim do tratamento por câmera termográfica no infravermelho distante (7,5-13,0 μm , A35, FLIR Systems Inc., Wilsonville, EUA), gerando imagens de 320 x 256 pixels e taxa máxima de 60 Hz. As imagens foram processadas utilizando o *software* Research IR (FLIR), obtendo imagens do perfil de temperatura do prato com o ingrediente tratado. A imagem gerada informa a distribuição de temperatura de toda a amostra tratada. Os pontos considerados foram os máximos e mínimos atingidos em pelo menos um ponto, depois do tratamento micro-ondas.

A Figura 10 apresenta o aparato experimental utilizado. A câmera de infravermelho foi posicionada 20 cm acima do forno micro-ondas, onde havia uma cavidade de encaixe. Durante o ciclo de aquecimento, a câmera aguardava no suporte. Antes e depois do ciclo, ela era colocada na cavidade para registrar o perfil de temperatura do prato contendo o ingrediente a ser tratado.

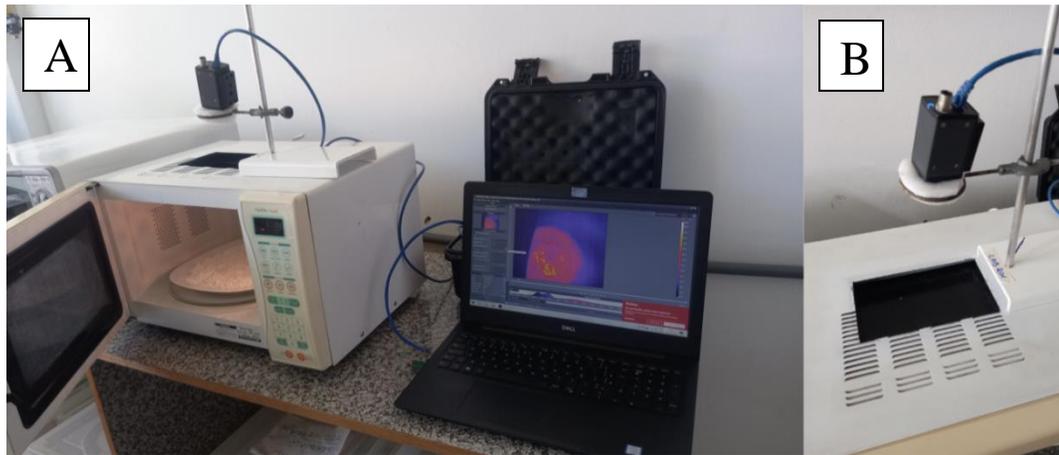


Figura 10: Aparato experimental: A) computador conectado à câmera FLIR A35, B) câmera FLIR posicionada acima da cavidade do micro-ondas.

Após aquecimento, as amostras foram embaladas em sacos plásticos herméticos e mantidas sob temperatura ambiente até os dias de análise. A Figura 11 apresenta todo o processo, desde a obtenção dos ingredientes tratados até a obtenção do pão sem glúten.

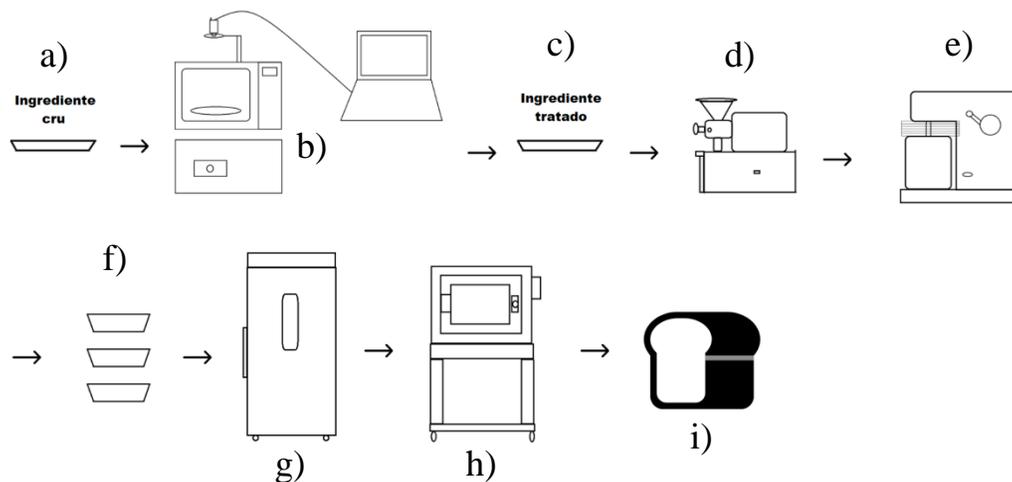


Figura 11: Fluxograma ilustrativo da seqüência de tratamentos e processamento dos ingredientes até a obtenção dos pães sem glúten.

a) ingrediente cru com umidade inicial; b) tratamento micro-ondas (vista frontal – em cima, vista superior, abaixo); c) ingrediente tratado com micro-ondas com umidade final; d) moagem; e) formulação dos pães e mistura na batedeira; f) disposição em formas de 170 g fermentação em câmara; h) cocção em forno turbo; i) pão sem glúten formulado com ingredientes tratados por micro-ondas.

4.3 Determinação da umidade das amostras

A análise de umidade foi realizada nas amostras de farinha de grão-de-bico e de polvilho doce, cruas e após tratamento em micro-ondas, por balança determinadora de umidade (i-Thermo, Bel Engineering, Monza, Itália), a 105 °C durante 30 minutos. A análise foi conduzida em triplicata com amostras de 1 g.

4.4 Calorimetria diferencial exploratória

A análise de calorimetria diferencial exploratória (DSC) foi realizada em calorímetro diferencial de varredura (Perkin-Elmer DCS 6000, Modelo 523A) para verificação das propriedades térmicas da fécula presente no polvilho doce e do amido presente na farinha de grão-de-bico, antes e depois do tratamento com micro-ondas, de acordo com LEÓN; DURÁN e DE BARBER (1997). Os parâmetros medidos foram: temperatura inicial (T_o) e temperatura de pico endotérmico (T_p). A entalpia de gelatinização (ΔH_{gel} , expressa em $J.g^{-1}$) foi obtida através da integração da curva endotérmica antes da etapa de armazenamento sob refrigeração, utilizando o software Origin 6.9 Professional (Microcal). A entalpia de retrogradação (ΔH_{ret} , expressa em $J.g^{-1}$) foi obtida da mesma forma, a partir da segunda corrida realizada no equipamento, isto é, após a etapa de armazenamento sob refrigeração (7 dias).

A amostra de farinha de grão-de-bico e de polvilho doce cruas e tratadas (4 mg) e água (12 μ L) foram inseridas, separadamente, em cápsula de alumínio selada, utilizando uma cápsula vazia como referência. As cápsulas foram colocadas no interior do equipamento, sendo aquecidas de 20 °C a 120 °C, sob uma taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹, mantidas a 120 °C por 5 minutos. Em seguida, as cápsulas foram retiradas do equipamento e mantidas a 5 °C (para acelerar a taxa de retrogradação do amido), por 7 dias, quando foram novamente analisadas, nas mesmas condições (KRUEGER; KNUTSON; INGLET; WALKER, 1987).

4.5 Microscopia eletrônica de varredura

A amostra de farinha de grão-de-bico e de polvilho doce cruas e tratadas foram dispostas em suportes de alumínio, sobre fita dupla-face adesiva de carbono, e metalizadas com ouro. A

microestrutura das amostras foi fotografada em microscópio eletrônico de varredura (JEOL JSM-6060, JEOL, Tóquio, Japão) em magnificações de 500x, 2000x e 10000x, que operou em tensão de 5 kV.

4.6 Capacidade de retenção de água e óleo

A capacidade de retenção de água (CRA) e de óleo (CRO) das amostras de farinha de grão-de-bico e de polvilho doce cruas e tratadas foi determinada conforme KABIRULLAH e WILLS (1982). Uma amostra de 1 g de farinha foi suspensa em 10 mL de água destilada em tubo Falcon de 50 mL, agitados por *vortex*, e mantido na posição vertical por 30 minutos. A suspensão foi submetida então a centrifugação a 2600 g por 20 minutos, sob temperatura ambiente. Após, o sobrenadante foi descartado, e o peso do sedimento foi medido. A CRA e a CRO foram calculadas dividindo o peso de água ou de óleo retidos pelo peso da amostra seca.

4.7 Formulação dos pães

Os pães foram produzidos com uma quantidade de água variável, de forma a padronizar a viscosidade da massa obtida (entre 19 Pa.s e 29 Pa.s). A padronização da massa foi realizada através de análise de reologia, em reômetro (Haake Mars, Thermo Scientific Inc., EUA), com deslocamento fixado em 40 s^{-1} .

As Tabela 7 e Tabela 8 apresentam as formulações de pão sem glúten com e sem aditivos, e com farinhas tratadas, respectivamente. Os ingredientes foram calculados em porcentagem sobre a mistura de farinhas (polvilho doce + farinha de grão-de-bico).

Foram preparadas as seguintes formulações: FC (controle), sem adição de aditivos; FM0,5 e FM1, com adição de emulsificante mono e diglicerídeos de ácidos graxos, na concentração de 0,5 e 1%, respectivamente; FCMC0,5 e FCMC1, com adição de carboximetilcelulose (CMC), na concentração de 0,5 e 1%, respectivamente; FX0,5 e FX1, com adição de goma xantana, na concentração de 0,5 e 1%, respectivamente; e FT, com os três aditivos na concentração máxima (1%). Na formulação com ingredientes tratados, um deles permanecia cru enquanto o outro foi substituído em sua totalidade pelo ingrediente tratado.

Tabela 7: Formulações controle (com e sem aditivos) e seus respectivos ingredientes, calculados em porcentagem sobre o mix de farinhas (farinha de grão-de-bico + polvilho doce).

| Ingrediente (% b.f.) | FC | FM0,5 | FM1 | FCMC0,5 | FCMC1 | FX0,5 | FX1 | FT |
|--|-----------|--------------|------------|----------------|--------------|--------------|------------|-----------|
| Farinha de grão-de-bico | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Polvilho doce | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Farinha de ervilha | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Água | 46 | 45 | 42 | 49 | 65 | 55 | 60 | 70 |
| Açúcar | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Sal | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Ovo em pó reconstituído | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 |
| Óleo | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Fermento biológico | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Propionato de cálcio | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Goma xantana | - | - | - | - | - | 0,5 | 1 | 1 |
| CMC | - | - | - | 0,5 | 1 | - | - | 1 |
| Mono e diglicerídeos de ácidos graxos | - | 0,5 | 1 | - | - | - | - | 1 |

FC: controle sem aditivos - FM0,5: 0,5% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FM1: 1% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FCMC0,5: 0,5% de CMC - FCMC1: 1% de CMC - FX0,5: 0,5% de goma xantana - FX1: 1% de goma xantana – FT: todos aditivos a 1%.

Tabela 8: Formulações com farinhas tratadas por micro-ondas e seus respectivos ingredientes, calculados em porcentagem sobre o mix de farinhas (farinha de grão-de-bico + polvilho doce).

| Ingrediente (% b.f.) | FPD20 | FPD30 | FPD40 | FBG20 | FGB30 | FGB40 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Farinha de grão-de-bico | 50 | 50 | 50 | - | - | - |
| Farinha de grão-de-bico tratada por micro-ondas | - | - | - | 50 | 50 | 50 |
| Polvilho doce | - | - | - | 50 | 50 | 50 |
| Polvilho doce tratado por micro-ondas | 50 | 50 | 50 | - | - | - |
| Farinha de ervilha | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Água | 48 | 48 | 60 | 48 | 47 | 52 |
| Açúcar | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Sal | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Ovo em pó reconstituído | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 |
| Óleo | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Fermento biológico | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Propionato de cálcio | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

FPD20: polvilho doce com 20% umidade no teste micro-ondas - FPD30: polvilho doce com 30% umidade no teste micro-ondas - FPD40: polvilho doce com 40% umidade no teste micro-ondas - FGB20: farinha de grão-de-bico com 20% de umidade no teste micro-ondas - FGB30: farinha de grão-de-bico com 30% de umidade no teste micro-ondas - FGB40: farinha de grão-de-bico com 40% de umidade no teste micro-ondas.

O preparo dos pães foi realizado através do método direto de panificação. O fermento biológico foi previamente hidratado com água a 36 °C, por 10 minutos. O ovo em pó foi reconstituído com 75% de água. Todos os ingredientes foram pesados e misturados em batedeira (BP-05, G. Paniz, Caxias do Sul, Brasil), na velocidade rápida, por 5 minutos. A massa resultante foi fracionada em formas de alumínio (12 cm x 5,5 cm) em porções de 170 gramas, sendo submetida à fermentação à 32 °C e 98% de umidade relativa, durante 50 minutos, em câmara fermentadora (Modelo Crescepão, Venâncio, Venâncio Aires, Brasil). Os pães foram assados em forno elétrico turbo (FTT 150E, Tedesco, Brasil) por 10 minutos a 200 °C. Depois de assados,

foram removidos das formas e deixados resfriar em temperatura ambiente, por uma hora, antes da realização das análises de textura, cor, imagem, volume e peso. Os pães analisados nos dias seguintes ao preparo foram mantidos em sacos herméticos selados a quente, em temperatura ambiente.

4.8 Análises físicas dos pães

4.8.1 Volume e perda de peso

O volume específico dos pães ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) foi determinado uma hora após o forneamento. Os pães foram pesados em balança semi-analítica e o volume de cada pão foi determinado pelo método de deslocamento de sementes de painço, segundo método descrito por SILVA; SILVA e CHANG (1998). As determinações foram realizadas em triplicata.

A perda de peso foi calculada pela diferença de peso dos pães antes (W_{af}) e após (W_{df}) o forneamento, conforme, como segue a Equação 1:

Equação 1: Perda de peso (%)

$$\text{Perda de Peso (\%)} = \frac{W_{af} - W_{df}}{W_{af}} \times 100$$

DEMIRKESEN; SUMNU e SAHIN (2013).

4.8.2 Análise de cor

Foi realizada determinação da cor dos ingredientes crus e tratados e também do miolo dos pães formulados com e sem aditivos, e com ingredientes tratados por micro-ondas. A análise foi realizada em triplicata, através de colorímetro (Konica-Minolta CR 400 Chroma Meter, Japão), com iluminante D65 e ângulo de leitura 0° . As coordenadas utilizadas, do sistema CIEL*a*b*, foram L^* , a^* e b^* e ΔE^* . Sendo o ΔE^* a diferença de cor da amostra comparada com a amostra controle, calculado pela Equação 2, onde “c” representa o valor da amostra controle:

Equação 2: ΔE^*

$$\Delta E^* = \sqrt{(Lc^* - L^*)^2 + (ac^* - a^*)^2 + (bc^* - b^*)^2}$$

SHEN; CHEN e LI (2018).

4.8.3 Análise da estrutura do miolo

A estrutura do miolo dos pães de diferentes formulações foi analisada através de análise de imagem. Fotos das fatias dos pães foram processadas pelo *software* Image J v. 1.31 (disponível como programa *open access* no site <http://rsbweb.nih.gov/ij>), de acordo com a metodologia descrita por SCHNEIDER; RASBAND e ELICEIRI (2012). Foram analisadas a porosidade (%), a densidade celular (nº de células de gás.cm⁻²) e a quantidade de poros maiores do que 5 mm² (%).

4.8.4 Perfil de textura

A análise de textura foi realizada nos pães uma hora após o forneamento, assim como após 2, 7 e 14 dias. O texturômetro TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) foi equipado com *probe* cilíndrico de alumínio para análises de textura de miolo e com célula de 50 kg para análises da textura da crosta. As condições de teste usadas foram: velocidade de teste de 2 mm s⁻¹, velocidade pós-teste de 1,7 mm.s⁻¹ e compressão de 40%. Os parâmetros de dureza, coesividade, mastigabilidade e gomosidade foram calculados pelas medidas de TPA (TEXTURE TECHNOLOGIES CORP. AND STABLE MICROSYSTEMS, 2019).

4.9 Análise estatística

Os dados foram analisados através de ANOVA fator único, e teste de Tukey para diferença de médias ($\alpha = 0,05$), utilizando *software online* SAS On Demand for Academics. A análise multivariada (Análise de Componentes Principais – ACP) foi realizada no *software* RStudio versão 1.4.1717 e foi direcionada a todas amostras de pão sem glúten e aos parâmetros

de dureza, coesividade, mastigabilidade e gomosidade do miolo, porosidade, densidade celular, poros maiores do que 5 mm², perda de peso e volume específico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item, serão apresentados os resultados obtidos nas análises mencionadas no item 4, bem como as respectivas discussões e com dados de literatura.

5.1 Análises dos ingredientes crus e tratados

5.1.1 Tratamento com micro-ondas, umidade e cor

O teor de umidade final das amostras e tempo de tratamento foram determinados por testes preliminares (dados não apresentados), de forma que as amostras tratadas (farinha de grão-de-bico e polvilho doce) tivessem teor de umidade final inferior a 15%.

Na Figura 12, estão demonstradas as distribuições de temperatura obtidas antes e depois do tratamento micro-ondas em ambos ingredientes, além da foto das amostras após o tratamento no micro-ondas. Os teores de umidade do polvilho doce e da farinha de grão-de-bico crus e tratados estão apresentados na Tabela 9, assim como as temperaturas finais de cada tratamento com micro-ondas. As temperaturas máximas e mínimas foram obtidas pela escala de temperatura correspondente a cada figura.

Observa-se que, com o aumento do teor de umidade inicial, foi necessário mais tempo de tratamento para que a amostra chegasse ao teor de umidade final previamente estabelecido (15%). As temperaturas no fim do tratamento estiveram entre $48,87\text{ °C} \pm 9,86$ e $65,30\text{ °C} \pm 12,85$, nos pontos mínimos, e entre $135,50\text{ °C} \pm 10,81$ e $176,43\text{ °C} \pm 1,15$ nos pontos máximos. A temperatura mínima de gelatinização do amido em suspensão aquosa é de 60 °C , podendo chegar até 70 °C , dependendo da espécie, variedade e umidade (ROSA; GUEDES; PEDROSO, 2004). No presente estudo, a temperatura final em alguns pontos das amostras foi inferior à 70 °C , indicando, possivelmente, uma gelatinização parcial do amido.

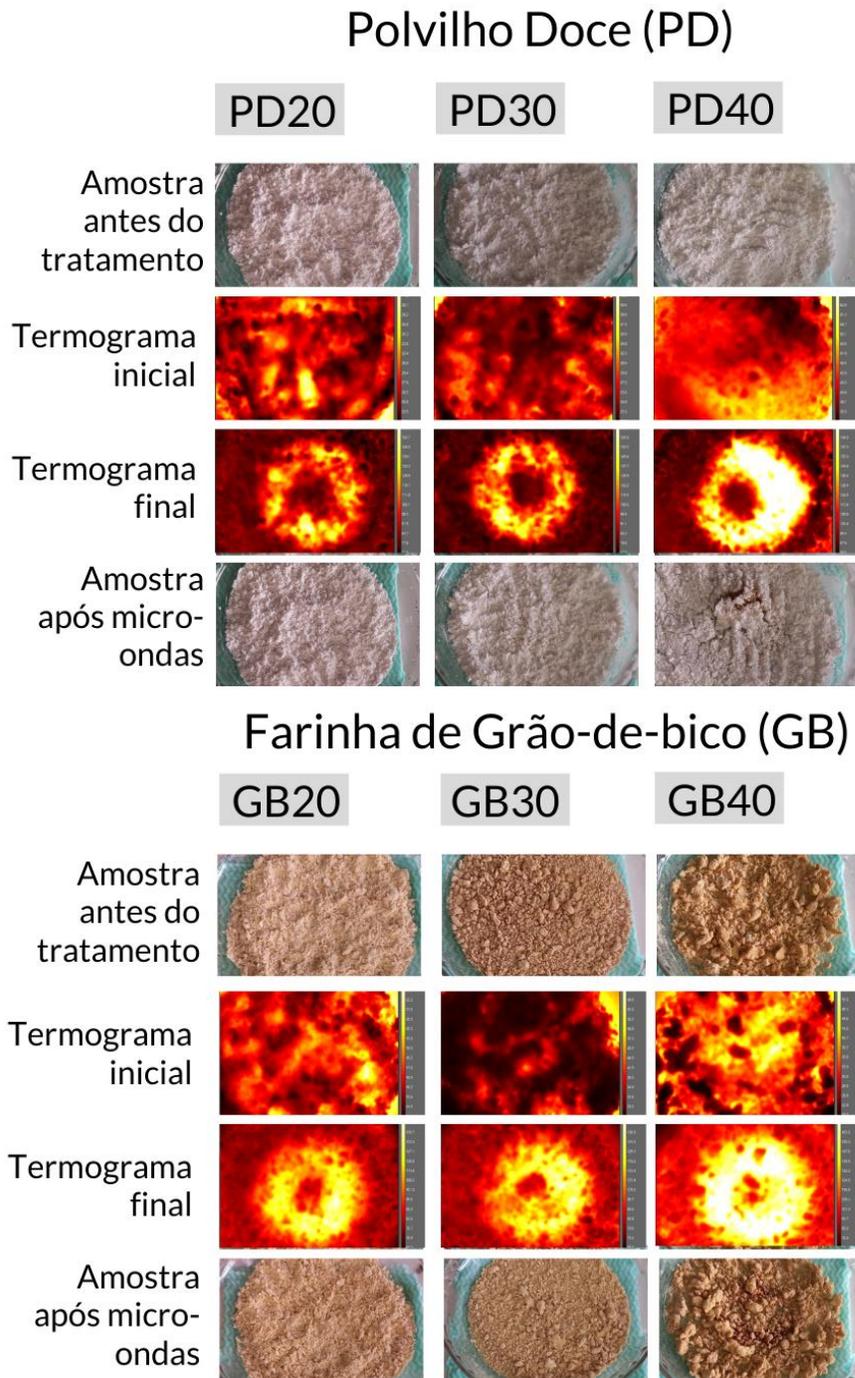


Figura 12: Termogramas obtidos por câmera termográfica no infravermelho das amostras antes e depois do tratamento em micro-ondas.

PD20: polvilho doce umidade inicial 20% - PD30: polvilho doce umidade inicial 30% - PD40: polvilho doce umidade inicial 40% - GB40: grão-de-bico umidade inicial 30% - GB30: grão-de-bico umidade inicial 30% - GB40: grão-de-bico umidade inicial 40%.

Tabela 9: Temperaturas máximas e mínimas após o tratamento com micro-ondas, e umidade das amostras cruas e tratadas com micro-ondas.

| Tratamento | Final | | Umidade (%) |
|-------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | T _{mín} (°C) | T _{máx} (°C) | |
| PD | - | - | 13,6 ± 0,2 ^a |
| PD20 | 56,1 ± 6,5 ^a | 161,6 ± 17,5 ^{abc} | 13,5 ± 0,8 ^{ab} |
| PD30 | 58,7 ± 2,2 ^a | 176,4 ± 1,2 ^a | 12,0 ± 1,0 ^{abc} |
| PD40 | 65,3 ± 12,9 ^a | 174,6 ± 4,4 ^a | 10,4 ± 1,2 ^c |
| GB | - | - | 12,2 ± 0,7 ^{abc} |
| GB20 | 48,9 ± 9,9 ^a | 135,5 ± 10,8 ^c | 12,5 ± 1,15 ^{abc} |
| GB30 | 51,5 ± 4,5 ^a | 146,4 ± 6,7 ^{bc} | 11,0 ± 1,0 ^{bc} |
| GB40 | 61,5 ± 3,5 ^a | 173,2 ± 9,6 ^{ab} | 10,2 ± 0,6 ^c |

Letras iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

T_{mín} (°C): ponto de menor temperatura do termograma, T_{máx} (°C): ponto de maior temperatura do termograma. PD: polvilho doce cru - PD20: polvilho doce umidade inicial 20% - PD30: polvilho doce umidade inicial 30% - PD40: polvilho doce umidade inicial 40% - GB: farinha de grão-de-bico crua – GB20: farinha de grão-de-bico umidade inicial 20% - GB30: farinha de grão-de-bico umidade inicial 30% - GB40: farinha de grão-de-bico umidade inicial 40%.

As temperaturas máximas finais apresentaram-se mais altas nas amostras de polvilho doce e de farinha de grão-de-bico com teor de umidade inicial de 40% (GB40). Esse comportamento deve-se a maior concentração de água nessas amostras, que aumenta a geração de calor por rotação de dipolos. Temperaturas mais altas de tratamento em amostras protéicas podem levar a uma mudança de conformação nas proteínas (VANGA; WANG; RAGHAVAN, 2020). Além disso, amostras com maior teor de umidade tendem a apresentar maior grau de interação da água com componentes polares, como proteínas e amidos. No aquecimento convencional, a

temperatura aumenta do exterior para o interior, conforme o posicionamento da fonte de calor. No micro-ondas, é a fricção das moléculas que aumenta a temperatura. Os nós das ondas geram pontos de maior energia, e conseqüentemente, maior temperatura no local. O perfil de temperatura, neste caso, não segue um padrão, depende da quantidade de água, concentração de nutrientes, íons, e demais componentes que possam influenciar na geração e transferência de calor (DATTA; ANANTHESWARAN, 2001).

A Tabela 10 apresenta os valores para a análise de cor das amostras de farinha de grão-de-bico e de polvilho doce, cruas e tratadas. Após o tratamento em micro-ondas, quanto maior a temperatura final e tempo de tratamento, mais escuras ficaram as amostras, o que foi comprovado pela redução da luminosidade (L^*). Pães mais escuros costumam ser comparados com formulações feitas com ingredientes integrais, o que gera uma boa aceitação do público consumidor (KOLETTA; IRAKLI; PAPAGEORGIU; SKENDI, 2014). Portanto, uma diminuição na luminosidade das farinhas é benéfica.

Tabela 10: Resultados de análise de cor (L^* , a^* , b^* e ΔE^*) das amostras cruas e tratadas.

| Tratamento | L^* | a^* | b^* | ΔE^* |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| PD | 97,31 ± 0,54 ^a | 0,30 ± 0,03 ^{cd} | 2,07 ± 0,13 ^e | - |
| PD20 | 95,43 ± 0,05 ^a | 0,26 ± 0,06 ^{cd} | 2,99 ± 0,08 ^e | 2,10 ± 0,15 ^d |
| PD30 | 90,33 ± 3,37 ^b | 0,64 ± 0,05 ^{bc} | 6,25 ± 0,32 ^d | 6,72 ± 0,89 ^b |
| PD40 | 89,57 ± 0,30 ^{bc} | 1,19 ± 0,07 ^{ab} | 8,17 ± 0,10 ^c | 9,90 ± 0,20 ^a |
| GB | 86,03 ± 0,32 ^{cd} | -1,12 ± 0,18 ^e | 25,76 ± 0,62 ^b | - |
| GB20 | 83,42 ± 0,52 ^d | -0,15 ± 0,34 ^d | 26,97 ± 0,75 ^{ab} | 3,05 ± 0,84 ^{cd} |
| GB30 | 82,89 ± 0,56 ^{de} | 0,53 ± 0,39 ^c | 25,50 ± 1,01 ^{bc} | 3,66 ± 0,58 ^c |
| GB40 | 79,22 ± 0,57 ^e | 1,35 ± 0,12 ^a | 27,80 ± 0,44 ^a | 7,53 ± 0,63 ^b |

Letras iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

PD: polvilho doce cru - PD20: polvilho doce umidade inicial 20% - PD30: polvilho doce umidade inicial 30% - PD40: polvilho doce umidade inicial 40% - GB: farinha de grão-de-bico crua – GB20: farinha de grão-de-bico umidade inicial 20% - GB30: farinha de grão-de-bico umidade inicial 30% - GB40: farinha de grão-de-bico umidade inicial 40%.

Quanto à diferença de cor, em comparação ao controle (ΔE^*), valores acima de 2 indica que a diferença já pode ser notada por consumidores não-treinados (MOKRZYCKI; TATOL, 2011). Todas as amostras apresentaram ΔE acima de 2, sendo, portanto, possível perceber a diferença de coloração dos ingredientes tratados por micro-ondas. Além disso, quanto maior o tempo de tratamento, maior a diferença de cor em relação à respectiva amostra controle.

5.1.2 Calorimetria diferencial exploratória

A Tabela 11 apresenta os resultados de DSC para o polvilho doce e para a farinha de grão-de-bico. A análise de DSC fornece dados de T_o e T_p , referentes a ordenação das estruturas, e ΔH , referente à energia necessária para mudança de fase, dados importantes para a caracterização dos grânulos.

Dentre as amostras não tratadas (PD e GB), a farinha de grão-de-bico apresentou temperatura mais alta (72,80 °C) de pico de gelatinização (T_p). Essas diferenças se devem às respectivas estruturas, visto que o polvilho doce é composto majoritariamente de amido (85%), enquanto que a farinha de grão-de-bico possui, além de amido, 55% de proteína e 6% de lipídeos, apresentando dois picos devido a essas ligações (MANINDER; SANDHU; SINGH, 2007). No polvilho doce, houve um leve aumento na T_p de gelatinização, conforme aumentou o tempo de tratamento e o teor de umidade inicial. Essa tendência pode ser explicada pela formação de complexos amilose-amilose nas amostras PD; já nas amostras de GB, houve tendência a um aumento na T_p do pico 2 para as amostras tratadas, provavelmente devido à formação de complexos amilose-lipídeo, visto que esta possui 6% de lipídeos (LEWANDOWICZ; JANKOWSKI; FORNAL, 2000).

Na gelatinização, todas as amostras apresentaram picos endotérmicos. A gelatinização do amido é um processo endotérmico devido à perda de cristalinidade do grânulo (FROST; KAMINSKI; KIRWAN; LASCARIS *et al.*, 2009). Para a amostra de polvilho doce, foi observado apenas um pico endotérmico de gelatinização (em torno de 67°C), enquanto que para a amostra de farinha de grão-de-bico foram observados dois picos endotérmicos de gelatinização, sendo o primeiro, em torno de 60 °C, referente à gelatinização do amido, e o segundo, em temperaturas mais altas (90-100°C), relativo à destruição do complexo amilose-lipídeos, visto

que a farinha de grão-de-bico é constituída por amido, lipídeos e proteína. A formação do complexo amilose-lipídeos é mais efetiva quanto mais elevada a temperatura de gelatinização (CHUNG; LIU; HOOVER; WARKENTIN *et al.*, 2008).

Tabela 11: Resultados de DSC nas amostras de farinha de grão-de-bico e polvilho doce, crus e tratados, nos dias 0 (gelatinização) e 7 (retrogradação).

| Amostra | Dia 0 | | | | | | Dia 7 | | |
|-------------|---------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| | Pico 1 | | | Pico 2 | | | Pico 1 | | |
| | T _o (°C) | T _p (°C) | ΔH _{gel} (J/g) | T _o (°C) | T _p (°C) | ΔH _{gel} (J/g) | T _o (°C) | T _p (°C) | ΔH _{ret} (J/g) |
| PD | 60,63 | 67,00 | 3,17 | - | - | - | - | - | - |
| PD20 | 62,09 | 67,63 | 2,92 | - | - | - | 53,97 | 55,10 | 0,08 |
| PD30 | 62,48 | 68,51 | 2,15 | - | - | - | 51,37 | 56,17 | 0,27 |
| PD40 | 66,79 | 69,70 | 1,37 | - | - | - | 59,34 | 59,78 | 0,02 |
| GB | 72,56 | 72,80 | 13,29 | 85,39 | 86,13 | 0,13 | - | - | - |
| GB20 | 62,45 | 63,11 | 0,23 | 85,24 | 85,76 | 2,40 | - | - | - |
| GB30 | 63,31 | 64,09 | 1,86 | 104,30 | 104,99 | 1,51 | - | - | - |
| GB40 | 66,70 | 67,89 | 1,35 | 101,26 | 101,31 | 0,15 | - | - | - |

PD: polvilho doce cru - PD20: polvilho doce umidade inicial 20% - PD30: polvilho doce umidade inicial 30% - PD40: polvilho doce umidade inicial 40% - GB: farinha de grão-de-bico crua – GB20: farinha de grão-de-bico umidade inicial 20% - GB30: farinha de grão-de-bico umidade inicial 30% - GB40: farinha de grão-de-bico umidade inicial 40%.

As amostras tratadas com micro-ondas apresentaram redução da entalpia de gelatinização, o que provavelmente se deve à gelatinização parcial do amido gerada pelo tratamento de micro-ondas (VILLANUEVA; HARASYM; MUÑOZ; RONDA, 2019). Quanto maior o ΔH , mais estável é a estrutura do grânulo pois é necessário mais energia pra quebrar as ligações, ou seja, estruturas mais firmes, como por exemplo os géis, que apresentam maior ΔH (ZHAO; SALDAÑA, 2019). Maiores valores de ΔH normalmente estão relacionados a conteúdos maiores de amilose (YU; MA; SUN, 2009). O amido/fécula nativo(a) (não tratado por micro-ondas) possui estrutura intacta, isto é, sua cristalinidade original (complexos amilose-amilose), o que se

altera após a gelatinização devido às ligações da amilose com a molécula de água. Quanto mais cristalina estiver a estrutura sólida, mais energia (maior ΔH) é necessária pra romper ligações (LI; XU; XIAO; ZONG *et al.*, 2018; LIN EK; WANG; BRAND-MILLER; COPELAND, 2014).

Ainda, para as amostras de polvilho doce, foi observada a redução gradativa do ΔH à medida que aumentava o tempo de tratamento em micro-ondas. O tratamento gerou uma desorganização nos complexos amilose-amilose, antes mais cristalinos, visto que o valor de ΔH diminuiu conforme maior o tempo de aplicação de micro-ondas. O aumento nos tempos de tratamento resulta em perda de cristalinidade do amido, provavelmente devido à destruição da fração de amilopectina e à redução da temperatura de pico de gelatinização (KUMAR; SINGH; SHARANAGAT; PATEL *et al.*, 2020). KUMAR; SINGH; SHARANAGAT; PATEL *et al.* (2020) observaram que o tratamento por micro-ondas de amido de batata gerou estruturas menos ordenadas quando comparadas às controle.

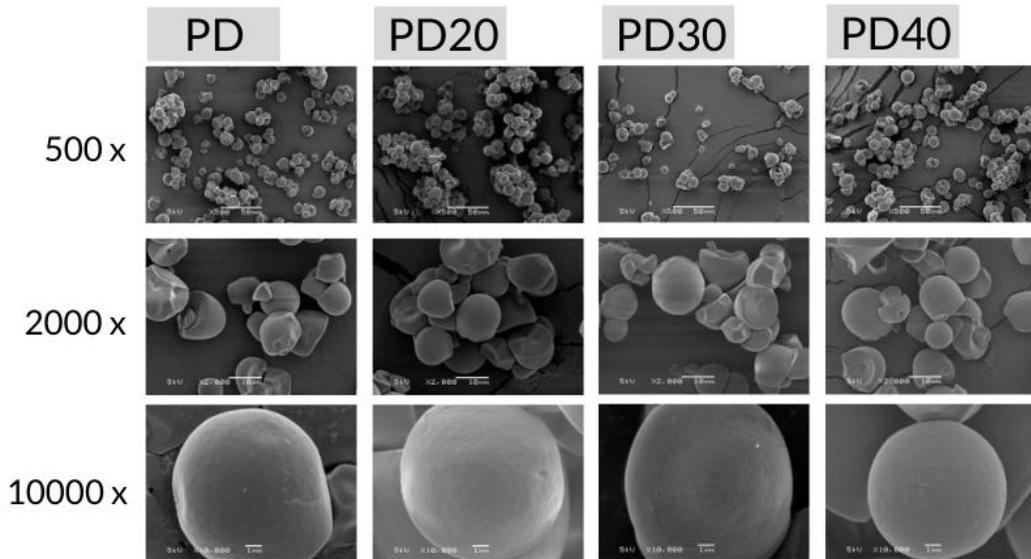
A retrogração do amido ocorre quando as cadeias de amilose e amilopectina, rompidas durante a gelatinização, rearranjam-se para formar estruturas ordenadas (WANG; GUO; LI; ZHANG *et al.*, 2015). Apenas as amostras de polvilho doce tratadas por micro-ondas (PD20, PD30 e PD40) apresentaram picos na retrogração (7º dia). Amostras contendo lipídeos podem não apresentar picos de retrogradação devido à dificuldade de reassociação das moléculas de amilopectina, o que é o caso das amostras de GB que contém 6% de lipídeos (GENKINA; KOZLOV; MARTIROSYAN; KISELEVA, 2014). Na retrogradação, o pico deve-se à amilopectina recristalizada durante o envelhecimento do gel (VILLANUEVA; HARASYM; MUÑOZ; RONDA, 2018). Na retrogradação, quanto maior o ΔH , mais energia é requerida para rearranjar as moléculas de amilose e amilopectina. Isso afeta o endurecimento dos pães, havendo menor tendência ao endurecimento durante o armazenamento. Dentre as amostras de PD, a que mostrou a melhor performance foi a PD30, com ΔH igual a 0,27 J/g.

5.1.3 Microscopia eletrônica de varredura

Na Figura 13, estão as imagens obtidas pela análise de MEV. A amostra de polvilho doce apresentou forma poligonal e angulosa, estando de acordo com o relatado por HAN; HOU;

YANG; ZHANG et al. (2019). Com a aplicação do tratamento por micro-ondas, o polvilho doce apresentou grânulos menos angulares, mais aglutinados, porém mantendo a morfologia nativa.

Polvilho Doce (PD)



Farinha de Grão-de-bico (GB)

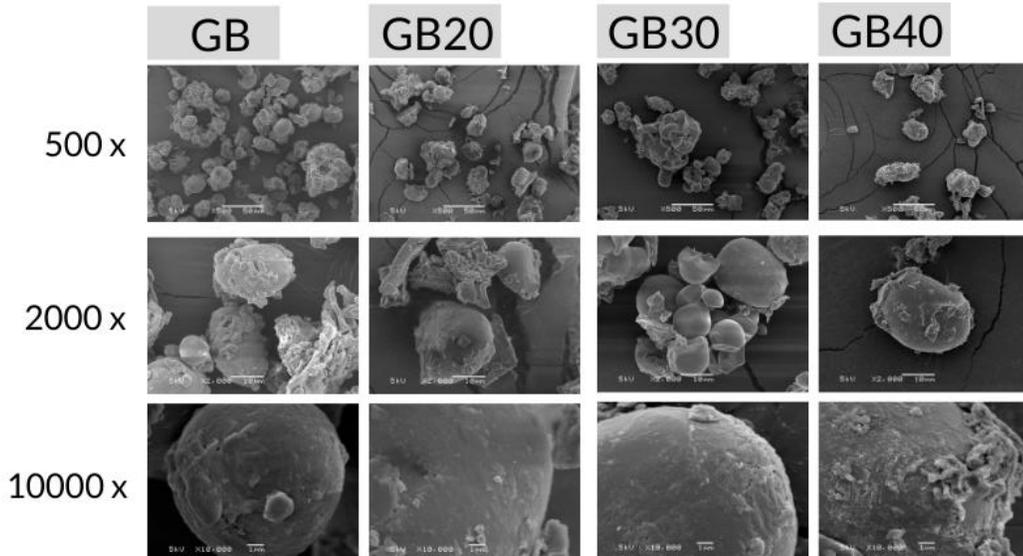


Figura 13: Imagens obtidas pela análise de MEV, em magnificações de 500x, 2000x e 10000x.

PD: polvilho doce cru - PD20: polvilho doce umidade inicial 20% - PD30: polvilho doce umidade inicial 30% - PD40: polvilho doce umidade inicial 40% - GB: farinha de grão-de-bico crua - GB20: farinha de grão-de-bico umidade inicial 20% - GB30: farinha de grão-de-bico umidade inicial 30% - GB40: farinha de grão-de-bico umidade inicial 40%.

Assim como observado por ROMÁN; MARTÍNEZ; ROSELL e GÓMEZ (2015) em amido de milho, a aplicação de micro-ondas não foi o suficiente para gerar danos visíveis maiores nos grânulos de amido. A mudança na microestrutura dos grânulos, que se apresentaram mais arredondados, pode ser devido ao grau de hidratação prévio, bem como a um rearranjo interno provocado pelas micro-ondas (ZHONG; XIANG; ZHAO; WANG *et al.*, 2020). Resultados similares foram observados por VILLANUEVA; HARASYM; MUÑOZ e RONDA (2018) em farinha de arroz, onde os grânulos apareceram mais arredondados e aglutinados após tratamento micro-ondas com diferentes umidades iniciais.

A farinha de grão-de-bico não tratada apresentou forma regular e esférica, com algumas ramificações anexas. Após os tratamentos, observou-se um grânulo mais amorfo, com mais ramificações. O tratamento de micro-ondas em farinha de ervilha amarela, também proteica, (MA; BOYE; HU, 2017) provocou mudanças semelhantes, provavelmente devido à gelatinização do amido e ao *cross-link* de proteínas, o que explica a apresentação das ramificações por fora do grânulo. Um possível *cross-link* nas proteínas é benéfico visto que pode aumentar a força da rede proteica, gerando maior retenção de gás durante a fermentação e conseqüente produção de pães de maior volume.

5.1.4 Capacidade de retenção de água e óleo

Os resultados da análise de capacidade de retenção de água (CRA) e óleo (CRO) estão apresentados na Tabela 12.

A maior CRA foi observada na amostra PD40 (polvilho doce com 40% de umidade inicial), que também foi submetida ao tratamento mais agressivo (mais tempo de tratamento por micro-ondas). Conforme maior o tempo de tratamento, maior a CRA observada em todas amostras de polvilho doce. O aumento na CRA também pode ser observado pela análise de MEV (Figura 13), visto que os grânulos apresentaram mudanças na microestrutura, além de se mostrarem mais aglutinados. Um aumento na CRA é importante uma vez que a retenção de água auxilia na manutenção da maciez dos pães durante o armazenamento. Os grânulos mais expostos, após aplicação de micro-ondas, tendem a expor mais a amilose, que se liga mais facilmente à água (MUTLU; KAHRAMAN; ÖZTÜRK, 2017). Uma maior CRA é desejada, pois o

ingrediente pode reter mais água posteriormente durante o assamento e armazenamento, o que resulta na manutenção da maciez durante o tempo de vida útil do produto.

Tabela 12: Capacidade de retenção de água (CRA) e capacidade de retenção de óleo (CRO) das amostras de polvilho doce e farinha de grão de bico cruas e tratadas em micro-ondas.

| Amostra | CRA (g de água/g de amostra) | CRO (g de óleo/g de amostra) |
|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| PD | 0,62 ± 0,20 ^e | 0,90 ± 0,08 ^b |
| PD20 | 1,64 ± 0,38 ^{cd} | 1,05 ± 0,05 ^{ab} |
| PD30 | 3,31 ± 0,29 ^b | 0,91 ± 0,06 ^b |
| PD40 | 4,83 ± 0,74 ^a | 1,16 ± 0,30 ^a |
| GB | 1,31 ± 0,19 ^{de} | 1,31 ± 0,10 ^a |
| GB20 | 1,97 ± 0,23 ^{cd} | 1,01 ± 0,05 ^{ab} |
| GB30 | 2,11 ± 0,24 ^{cd} | 1,06 ± 0,07 ^{ab} |
| GB40 | 2,31 ± 0,23 ^c | 1,11 ± 0,06 ^a |

Letras iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

PD: polvilho doce cru - PD20: polvilho doce umidade inicial 20% - PD30: polvilho doce umidade inicial 30% - PD40: polvilho doce umidade inicial 40% - GB: farinha de grão-de-bico crua – GB20: farinha de grão-de-bico umidade inicial 20% - GB30: farinha de grão-de-bico umidade inicial 30% - GB40: farinha de grão-de-bico umidade inicial 40%.

Na farinha de grão-de-bico, apenas a amostra GB40 diferiu da GB (crua) para CRA, mostrando que na farinha protéica é necessário um tratamento mais agressivo para gerar efeitos na retenção de água. JOGIHALLI; SINGH e SHARANAGAT (2017) também observaram incremento na CRA de grão-de-bico com maior potência e tempo de aplicação de micro-ondas. Maiores perdas de água durante o armazenamento estão relacionadas com endurecimento durante o armazenamento (TUTA ŞİMŞEK, 2020). Esses resultados provavelmente se devem ao fato do micro-ondas modificar a estrutura interna dos grânulos, conforme visto na análise de MEV (Figura 13), expondo as regiões onde a água consegue se ligar devido ao dano causado pelo emprego de energia (MOLLEKOPF; TREPPE; FIALA; DIXIT, 2011).

Quanto à CRO, apenas a amostra PD40 diferiu da crua (PD). Para a farinha de grão-de-bico, a CRO não foi afetada pelos tratamentos. Estudos anteriores mostraram que as micro-ondas podem aumentar tanto a CRA quanto a CRO em amostras de cereais e de alimentos protéicos (ASHRAF; SAEED; SAYEED; ALI, 2012). No caso das diferenças entre as amostras PD, o micro-ondas pode mudar a hidrofobicidade da amilose, portanto, aumenta a interação com óleos (ZAILANI; KAMILAH; HUSAINI; RIZAL AWANG SERUJI *et al.*, 2021).

5.2 Avaliação das características físicas dos pães

5.2.1 Volume específico e perda de peso

Os valores de volume específico (cm^3/g) e perda de peso (%) ficaram entre $1,35 \pm 0,06$ e $2,24 \pm 0,11$ e $5,52 \pm 1,45$ e $11,53 \pm 0,51$, respectivamente, e estão apresentados na Tabela 13. Os maiores volumes foram encontrados para os pães controle (FC), com CMC 1% (FCMC1), com goma xantana 0,5% (FX0,5), além do pão que recebeu todos os aditivos na concentração de 1 % (FT), sem diferença estatística entre os mesmos. De acordo com AHDMAAD; MUNAIM e AHMADI (2016), o pão sem glúten torna-se mais aceito quanto maior for seu volume específico. Um volume específico aceito para pão sem glúten fica, aproximadamente, entre $1,33 \text{ cm}^3/\text{g}$ a $2,40 \text{ cm}^3/\text{g}$, enquanto que para pães de trigo entre $4 \text{ cm}^3/\text{g}$ e $5 \text{ cm}^3/\text{g}$ (HAGER; WOLTER; CZERNY; BEZ *et al.*, 2012). Observa-se na Tabela 13 que todas as formulações apresentaram volume específico superior a $1,33 \text{ cm}^3/\text{g}$.

Os pães elaborados a partir de ingredientes tratados com micro-ondas, obtiveram valores de volume específico entre $1,56 \text{ cm}^3/\text{g}$ e $1,80 \text{ cm}^3/\text{g}$ (Tabela 13). Este resultado permite concluir que não foi obtida melhoria no volume do pão controle pela utilização do tratamento com micro-ondas nos ingredientes. Esse resultado pode estar ligado ao fato de que o tratamento empregado foi, provavelmente insuficiente para gerar diferenças significativas: tempos maiores e teores iniciais de umidade maiores podem ser necessários para modificar de forma mais intensa a estrutura do amido e das proteínas presentes nas amostras de polvilho doce e de farinha de grão de bico, respectivamente. Além disso, a quantidade de farinha tratada empregada nas formulações pode ser melhor estudada para verificar uma possível melhoria no volume específico do pão.

Tabela 13: Volume específico (cm³/g) e perda de peso (%) dos pães sem glúten controle, com uso de aditivos e com uso de PD e GB submetidos ao tratamento com micro-ondas.

| Formulação | Volume específico (cm³/g) | Perda de peso (%) |
|-------------------|---|----------------------------|
| FC | 2,05 ± 0,07 ^{ab} | 9,91 ± 0,61 ^{ab} |
| FM0,5 | 1,45 ± 0,04 ^{cd} | 7,83 ± 0,19 ^{bc} |
| FM1 | 1,59 ± 0,15 ^{cd} | 7,52 ± 0,57 ^{bc} |
| FCMC0,5 | 1,47 ± 0,06 ^{cd} | 5,52 ± 1,45 ^c |
| FCMC1 | 1,85 ± 0,06 ^{abc} | 10,93 ± 3,35 ^a |
| FX0,5 | 2,00 ± 0,07 ^{ab} | 11,53 ± 0,51 ^a |
| FX1 | 1,35 ± 0,06 ^d | 6,05 ± 0,50 ^c |
| FT | 2,24 ± 0,11 ^a | 10,02 ± 0,27 ^{ab} |
| FPD20 | 1,80 ± 0,42 ^{bc} | 6,90 ± 0,75 ^c |
| FPD30 | 1,56 ± 0,09 ^{cd} | 7,26 ± 0,38 ^c |
| FPD40 | 1,56 ± 0,04 ^{cd} | 7,22 ± 0,32 ^c |
| FGB20 | 1,65 ± 0,08 ^{bcd} | 7,28 ± 1,24 ^c |
| FGB30 | 1,59 ± 0,07 ^{cd} | 7,94 ± 0,93 ^{bc} |
| FGB40 | 1,66 ± 0,06 ^{bcd} | 6,72 ± 0,41 ^c |

Letras iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa entre as amostras (p < 0,05).

FC: controle sem aditivos - FM0,5: 0,5% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FM1: 1% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FCMC0,5: 0,5% de CMC - FCMC1: 1% de CMC - FX0,5: 0,5% de goma xantana - FX1: 1% de goma xantana – FT: todos aditivos - FPD20: polvilho doce com 20% umidade no teste micro-ondas - FPD30: polvilho doce com 30% umidade no teste micro-ondas - FPD40: polvilho doce com 40% umidade no teste micro-ondas - FGB20: farinha de grão-de-bico com 20% de umidade no teste micro-ondas - FGB30: farinha de grão-de-bico com 30% de umidade no teste micro-ondas - FGB40: farinha de grão-de-bico com 40% de umidade no teste micro-ondas.

Em estudo conduzido por VILLANUEVA; HARASYM; MUÑOZ e RONDA (2019), o volume específico foi maior em pães formulados com farinha de arroz tratada por micro-ondas,

em substituição parcial nas formulações, quando comparados ao controle sem tratamentos. Os autores atribuíram o aumento a formação de uma massa de melhor consistência, que preveniu a perda das bolhas formadas, aumentando o volume específico. Além disso, é possível afirmar que todas as formulações que utilizaram ingredientes tratados com micro-ondas resultaram em pães com volume estatisticamente igual às formulações que utilizaram mono e diglicerídeos de ácidos graxos e CMC, em ambas as concentrações testadas.

De forma similar, o uso de aditivos também não incrementou o volume específico dos pães elaborados. Embora a goma xantana seja citada na literatura como um dos aditivos que mais gera melhoria na estrutura do pão sem glúten, resultando em pães de maior volume (CHAKRABORTY; KOTWALIWALE; NAVALE, 2020), no presente trabalho isto não foi observado. Ainda, quando a mesma foi aplicada na menor concentração (FX0,5), um pão de maior volume foi gerado. Este fato também foi relatado por ENCINA-ZELADA; CADAVEZ; MONTEIRO; TEIXEIRA *et al.* (2018) quando estudaram o uso de goma xantana em pães sem glúten elaborados com farinha de arroz, de milho e de quinoa. Quantidades elevadas de goma xantana geraram menores volumes específicos visto que a massa torna-se muito densa e forte, e o gás da fermentação fica impedido e expandir o volume do pão. É importante salientar que o volume específico é um parâmetro importante para a avaliação da qualidade de pães, porém, quando se trata de panificação sem glúten, outros fatores, como dureza, perda de peso e estrutura do miolo, devem ser conjuntamente avaliados.

Quanto a perda de peso, os valores para pão sem glúten estão compreendidos geralmente entre 11,9% e 14,5% (ENCINA-ZELADA; CADAVEZ; MONTEIRO; TEIXEIRA *et al.*, 2018). Neste estudo, todos os valores de perda de peso foram menores do que a faixa descrita na literatura. Com exceção do FGB30, todos os pães com farinhas tratadas com micro-ondas apresentaram menor perda de peso do que o pão controle sem aditivos (FC) e também tiveram melhor desempenho do que o pão com todos os aditivos testados (FT). Os pães FCMC1 e FX0,5, além dos pães FT e FC, apresentaram as maiores perdas de peso. Sendo assim, pode-se afirmar que o tratamento com micro-ondas aplicado na farinha de grão-de-bico e no polvilho doce mostrou-se eficiente na redução da perda de peso dos pães quando comparado à formulação controle e ao uso de alguns dos aditivos testados. Estes valores provavelmente se devem à maior CRA apresentada pelos ingredientes tratados, quando comparados às amostras sem tratamento. Contrariamente ao observado no presente estudo, VILLANUEVA; HARASYM; MUÑOZ e

RONDA (2019), observaram que pães formulados com farinha de arroz tratada por micro-ondas apresentaram maior perda de peso, quando comparados ao controle sem tratamentos. Ainda, de acordo com ENCINA-ZELADA; CADAVEZ; MONTEIRO; TEIXEIRA *et al.* (2018), menores perdas de peso estão associadas a menores volumes específicos em pães sem glúten formulados com goma xantana e farinha de arroz, de milho e de quinoa.

5.2.2 Análise de imagem da estrutura e da cor do miolo

Na Tabela 14 estão descritos os resultados de análise de imagem interna do miolo (porosidade, densidade celular e poros maiores do que 5 mm²) e diferença de cor do miolo (ΔE), e na Figura 14, estão as imagens das fatias dos pães controle e elaborados com o uso de aditivos.

De acordo com DA ROSA MACHADO e THYS (2019), pães sem glúten de maior qualidade possuem menores porosidades e porcentagens de poros menores do que 5 mm², e maiores densidades celulares. Em relação à porosidade, os menores valores foram encontrados nas formulações FC, FX0,5, FX1, FT e FPD20. Esses resultados mostram que a combinação de aditivos, bem como apenas o uso da goma xantana individualmente, podem produzir menores porosidades. O uso de farinhas tratadas com micro-ondas, para esse parâmetro, mostrou-se mais eficiente no tratamento com polvilho doce com 20% de umidade inicial.

Na densidade celular, os maiores valores foram encontrados nas formulações FPD20, FPD30, FPD40, FGB20 e FG30, o que demonstra que o tratamento dos ingredientes com micro-ondas pode melhorar a dispersão das células de gás no miolo. Isso provavelmente se deve à modificação da estrutura destes ingredientes, que pôde criar uma massa coesa, porém não densa demais, possibilitando a divisão das bolhas. Uma massa muito densa pode impossibilitar a divisão das bolhas de gás, o que pode ser ocasionado pelo uso de de aditivos, tendendo a uma menor densidade celular, com mais bolhas de menor tamanho (SCIARINI; RIBOTTA; LEÓN; PÉREZ, 2012).

Tabela 14: Resultados de análise de imagem interna e diferença de cor do miolo (ΔE) dos pães sem glúten, com e sem uso de aditivos e com uso de PD e GB submetidos ao tratamento com micro-ondas.

| Formulação | Porosidade (%) | Densidade celular (n° cél. gás/cm²) | Poros > 5 mm² (%) | ΔE^* do miolo |
|-------------------|-----------------------------|---|--|---|
| FC | 29,57 ± 1,25 ^e | 171,92 ± 10,35 ^{de} | 0,82 ± 0,08 ^{de} | - |
| FM0,5 | 47,01 ± 2,41 ^{ab} | 100,25 ± 1,24 ^{fg} | 0,84 ± 0,32 ^{de} | 3,43 ± 1,32 ^{cde} |
| FM1 | 41,18 ± 1,42 ^{bc} | 58,63 ± 10,80 ^{gh} | 3,01 ± 0,55 ^b | 3,68 ± 0,33 ^{cd} |
| FCMC0,5 | 46,56 ± 2,64 ^{ab} | 40,47 ± 8,35 ^{gh} | 1,71 ± 0,90 ^{cd} | 3,28 ± 1,94 ^{cde} |
| FCMC1 | 50,14 ± 2,93 ^a | 43,06 ± 8,93 ^{gh} | 2,49 ± 0,10 ^{bc} | 3,23 ± 0,73 ^{cde} |
| FX0,5 | 32,96 ± 3,06 ^{cde} | 164,19 ± 30,91 ^{de} | 0,84 ± 0,13 ^{de} | 0,97 ± 0,33 ^e |
| FX1 | 34,65 ± 4,58 ^{cde} | 76,69 ± 1,24 ^{gh} | 1,88 ± 0,15 ^c | 5,13 ± 1,06 ^c |
| FT | 30,42 ± 0,67 ^{de} | 29,77 ± 3,16 ^h | 4,43 ± 0,26 ^a | 1,32 ± 0,44 ^{de} |
| FPD20 | 38,01 ± 2,01 ^{bcd} | 321,35 ± 37,66 ^a | 0,25 ± 0,09 ^e | 12,23 ± 0,49 ^a |
| FPD30 | 38,41 ± 2,02 ^{bcd} | 289,84 ± 41,85 ^{ab} | 0,39 ± 0,30 ^e | 12,36 ± 0,17 ^a |
| FPD40 | 40,27 ± 4,58 ^{bc} | 223,31 ± 37,37 ^{cd} | 0,39 ± 0,37 ^e | 12,27 ± 0,16 ^a |
| FGB20 | 45,89 ± 3,46 ^{ab} | 265,25 ± 27,93 ^{abc} | 0,42 ± 0,14 ^e | 10,42 ± 0,61 ^{ab} |
| FGB30 | 46,56 ± 4,24 ^{ab} | 251,75 ± 9,90 ^{bc} | 0,56 ± 0,32 ^e | 8,95 ± 1,13 ^b |
| FGB40 | 43,84 ± 1,98 ^{ab} | 156,50 ± 15,82 ^{ef} | 0,43 ± 0,19 ^e | 8,17 ± 0,58 ^b |

Letras iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

FC: controle sem aditivos - FM0,5: 0,5% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FM1: 1% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FCMC0,5: 0,5% de CMC - FCMC1: 1% de CMC - FX0,5: 0,5% de goma xantana - FX1: 1% de goma xantana - FT: todos aditivos - FPD20: polvilho doce com 20% umidade no teste micro-ondas - FPD30: polvilho doce com 30% umidade no teste micro-ondas - FPD40: polvilho doce com 40% umidade no teste micro-ondas - FGB20: farinha de grão-de-bico com 20% de umidade no teste micro-ondas - FGB30: farinha de grão-de-bico com 30% de umidade no teste micro-ondas - FGB40: farinha de grão-de-bico com 40% de umidade no teste micro-ondas. ΔE^* em relação ao pão FC.

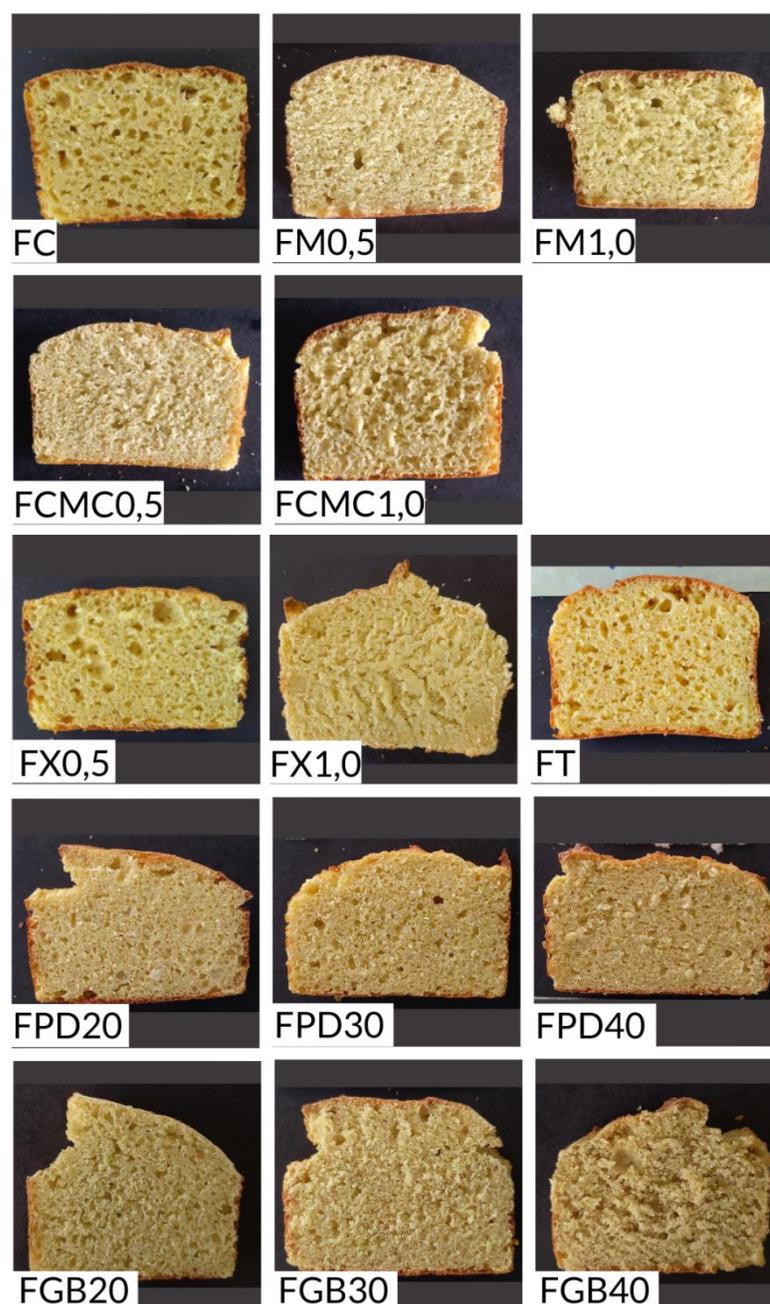


Figura 14: Imagem das fatias dos pães sem glúten.

FC: controle sem aditivos - FM0,5: 0,5% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FM1: 1% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FCMC0,5: 0,5% de CMC - FCMC1: 1% de CMC - FX0,5: 0,5% de goma xantana - FX1: 1% de goma xantana - FT: todos aditivos - FPD20: polvilho doce com 20% umidade no teste micro-ondas - FPD30: polvilho doce com 30% umidade no teste micro-ondas - FPD40: polvilho doce com 40% umidade no teste micro-ondas - FGB20: farinha de grão-de-bico com 20% de umidade no teste micro-ondas - FGB30: farinha de grão-de-bico com 30% de umidade no teste micro-ondas - FGB40: farinha de grão-de-bico com 40% de umidade no teste micro-ondas.

A porosidade por si só não é um fator que indica a qualidade dos pães, mas também o tamanho dos poros e a sua distribuição (LAZARIDOU; DUTA; PAPAGEORGIOU; BELC *et al.*, 2007), sendo que são indesejáveis poros $> 5 \text{ mm}^2$. Os melhores pães, quanto ao menor percentual de poros $< 5 \text{ mm}^2$ foram os gerados pelas formulações FC, FM0,5, e todos pães com ingredientes tratados com micro-ondas. A maior porcentagem de poros $> 5 \text{ mm}^2$ foi encontrada no pão com todos aditivos (FT), provavelmente devido a uma maior força na massa, que impediu que as bolhas de gás pudessem se dividir em bolhas de menor tamanho (SCIARINI; RIBOTTA; LEÓN; PÉREZ, 2012).

O emprego de ingredientes tratados por micro-ondas mostrou-se eficiente na substituição de todos aditivos utilizados individualmente, para ambas as concentrações testadas, produzindo menores ou iguais porcentagens de poros $> 5 \text{ mm}^2$ e também pães com maior ou igual densidade celular. Quanto à porosidade, o uso de polvilho doce tratado com micro-ondas é efetivo para substituição dos aditivos mono e diglicerídeos de ácidos graxos e CMC, em ambas concentrações.

Os valores de ΔE variaram entre $0,97 \pm 0,33$ e $12,36 \pm 0,17$. Valores menores do que 1 não são perceptíveis por observadores; portanto, apenas a formulação FX0,5 não apresentou diferença visual do controle. Valores entre 2 e 3,5 são percebidos por consumidores não-treinados, e acima de 3,5 a diferença de cor entre as amostras é perceptível (MOKRZYCKI; TATOL, 2011). Portanto, todas outras formulações diferiram visualmente da amostra controle (FC), sendo que as mais diferentes estatisticamente deste foram as amostras com ingredientes tratados. Conforme visto na análise de cor dos ingredientes crus e tratados (Tabela 10), as amostras tratadas apresentaram diferença das cruas, portanto, essa alteração na cor era esperada.

5.2.3 Perfil de textura

A análise do perfil de textura foi realizada nos dias 0, 2, 7 e 14, para a avaliação da ação do uso dos aditivos e das farinhas tratadas com micro-ondas na redução e/ou retardamento do endurecimento do pão, assim como na manutenção das demais características de textura avaliadas. Os resultados de dureza da crosta estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Dureza da crosta (kg) dos pães controle, com uso de aditivos e com uso de PD e GB submetidos ao tratamento com micro-ondas, durante os 14 dias de armazenamento.

| Formulação | Dia 0 | Dia 2 | Dia 7 | Dia 14 |
|-------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| FC | 0,17 ± 0,03 ^{abAB} | 0,14 ± 0,01 ^{abcB} | 0,19 ± 0,01 ^{abcB} | 0,18 ± 0,01 ^{efAB} |
| FM0,5 | 0,21 ± 0,02 ^{aA} | 0,17 ± 0,04 ^{abA} | 0,27 ± 0,04 ^{aA} | 0,28 ± 0,06 ^{bcdA} |
| FM1 | 0,11 ± 0,01 ^{bcA} | 0,10 ± 0,02 ^{cA} | 0,13 ± 0,02 ^{cA} | 0,14 ± 0,02 ^{fA} |
| FCMC0,5 | 0,13 ± 0,04 ^{ab} | 0,17 ± 0,04 ^{abcB} | 0,20 ± 0,01 ^{abcAB} | 0,25 ± 0,01 ^{cdeA} |
| FCMC1 | 0,10 ± 0,02 ^{cB} | 0,12 ± 0,02 ^{bcAB} | 0,15 ± 0,03 ^{cAB} | 0,18 ± 0,04 ^{efA} |
| FX0,5 | 0,18 ± 0,04 ^{abA} | 0,15 ± 0,03 ^{bcA} | 0,18 ± 0,04 ^{bcA} | 0,19 ± 0,01 ^{defA} |
| FX1 | 0,13 ± 0,02 ^{bcA} | 0,15 ± 0,05 ^{bcA} | 0,26 ± 0,10 ^{abA} | 0,23 ± 0,06 ^{deA} |
| FT | 0,12 ± 0,01 ^{bcA} | 0,13 ± 0,02 ^{bcA} | 0,13 ± 0,02 ^{cA} | 0,12 ± 0,02 ^{fA} |
| FPD20 | 0,15 ± 0,03 ^{abcB} | 0,29 ± 0,10 ^{ab} | 0,26 ± 0,05 ^{abB} | 0,69 ± 0,02 ^{aA} |
| FPD30 | 0,18 ± 0,04 ^{abC} | 0,22 ± 0,02 ^{abBC} | 0,28 ± 0,05 ^{abAB} | 0,36 ± 0,03 ^{bA} |
| FPD40 | 0,12 ± 0,00 ^{bcC} | 0,21 ± 0,02 ^{abcBC} | 0,29 ± 0,06 ^{abAB} | 0,33 ± 0,02 ^{bcA} |
| FGB20 | 0,12 ± 0,01 ^{bcB} | 0,20 ± 0,05 ^{abcAB} | 0,21 ± 0,04 ^{abcA} | 0,26 ± 0,02 ^{cdeA} |
| FGB30 | 0,18 ± 0,04 ^{abB} | 0,19 ± 0,01 ^{abcB} | 0,31 ± 0,05 ^{abAB} | 0,26 ± 0,01 ^{cdeA} |
| FGB40 | 0,11 ± 0,03 ^{bcB} | 0,15 ± 0,01 ^{bcAB} | 0,20 ± 0,01 ^{abcAB} | 0,25 ± 0,00 ^{cdeA} |

Letras minúsculas iguais na mesma coluna e letras maiúsculas iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

FC: controle sem aditivos - FM0,5: 0,5% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FM1: 1% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FCMC0,5: 0,5% de CMC - FCMC1: 1% de CMC - FX0,5: 0,5% de goma xantana - FX1: 1% de goma xantana - FT: todos aditivos - FPD20: polvilho doce com 20% umidade no teste micro-ondas - FPD30: polvilho doce com 30% umidade no teste micro-ondas - FPD40: polvilho doce com 40% umidade no teste micro-ondas - FGB20: farinha de grão-de-bico com 20% de umidade no teste micro-ondas - FGB30: farinha de grão-de-bico com 30% de umidade no teste micro-ondas - FGB40: farinha de grão-de-bico com 40% de umidade no teste micro-ondas.

No dia do preparo dos pães (dia zero), os menores valores encontrados para a dureza da crosta foram apresentados pelas formulações FM1, FCMC1, FX1, FT, FPD20, FPD40, FGB20 e

FGB40, conforme mostra a Tabela 15. Nesta característica, comprova-se que maiores quantidades de aditivos, e em combinação, são eficientes para reduzir a dureza da crosta. O uso de ingredientes tratados com micro-ondas, também reduziram a dureza da crosta, com exceção dos ingredientes com teor de umidade inicial de 30%. O amido, quando retrogradado nos primeiros dias de armazenamento, expulsa a água da sua estrutura (ROJAS; ROSELL; BENEDITO DE BARBER, 1999). Essa umidade migra para a superfície, diminuindo a dureza da crosta. Todas as formulações tenderam a um endurecimento da crosta durante os 14 dias de análise, provavelmente devido ao ressecamento da crosta pela perda de umidade para o ambiente.

A Tabela 16 apresenta a dureza do miolo dos pães sem glúten com e sem emprego de aditivos e com ingredientes tratados com micro-ondas, assim como sua taxa de endurecimento (g/dia) entre os dias 0 e 14.

As formulações com menor dureza do miolo no dia 0 foram a FCMC1, a FT e a FGB40. A combinação de aditivos usualmente diminui a dureza do miolo devido a uma melhor formação de estrutura na massa e de retenção de umidade (AHDMA; MUNAIM; AHMADI, 2016). Enquanto que as formulações com maior dureza foram FM0,5, PD20 e PD30. Todos os aditivos utilizados não foram eficientes para a redução da dureza quando aplicados nas menores concentrações. Quando em quantidades inadequadas, a presença de aditivos pode gerar efeito contrário, endurecendo a massa e reduzindo o volume pela dificuldade de retenção de ar na fermentação (DEMIRKESEN; MERT; SUMNU; SAHIN, 2010).

A aplicação do polvilho doce tratado com micro-ondas (FPD20, FPD30, FPD40) não gerou melhorias na dureza do pão em relação à formulação controle (FC), apresentando a maior taxa de endurecimento entre as amostras avaliadas. Quando comparadas aos demais aditivos, estas formulações tiveram maior taxa de endurecimento. Provavelmente a quantidade de polvilho doce adicionado não foi a proporção requerida para apresentar efeitos benéficos de aumento na maciez, bem como as combinações de tempo e umidade inicial podem ser otimizadas. Em estudo conduzido por VILLANUEVA; HARASYM; MUÑOZ e RONDA (2019), a substituição de farinhas tratadas por micro-ondas na formulação de pães sem glúten à base de farinha de arroz foi de 30% e 50%, sendo os melhores efeitos obtidos com 50% de substituição.

Tabela 16: Resultados de dureza do miolo (g) e da taxa de endurecimento (g/dia) dos pães controle, com uso de aditivos e com uso de PD e GB submetidos ao tratamento com micro-ondas, durante os 14 dias de armazenamento.

| Formulação | Dia 0 (g) | Dia 2 (g) | Dia 7 (g) | Dia 14 (g) | Taxa de endurecimento (g/dia) |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| FC | 4099 ± 125 ^{defD} | 6869 ± 131 ^{cdC} | 8730 ± 668 ^{cdeB} | 10533 ± 902 ^{deA} | 460 ± 67 ^{def} |
| FM0,5 | 5872 ± 327 ^{abC} | 7097 ± 974 ^{cdeBC} | 8248 ± 1055 ^{efB} | 8889 ± 599 ^{efA} | 216 ± 26 ^{hi} |
| FM1 | 4534 ± 947 ^{cdeB} | 5405 ± 673 ^{eAB} | 5147 ± 1286 ^{gAB} | 7049 ± 61 ^{fgA} | 180 ± 69 ⁱ |
| FCMC0,5 | 4882 ± 140 ^{bcdeD} | 5405 ± 673 ^{cdC} | 9406 ± 466 ^{bcdD} | 11323 ± 387 ^{cdA} | 460 ± 25 ^{cdef} |
| FCMC1 | 2198 ± 146 ^{hC} | 3881 ± 97 ^{bcB} | 6227 ± 261 ^{fgA} | 6467 ± 588 ^{gA} | 305 ± 45 ^{fghi} |
| FX0,5 | 4153 ± 33 ^{deC} | 6419 ± 210 ^{cdB} | 8772 ± 372 ^{cdeA} | 9303 ± 281 ^{eA} | 368 ± 21 ^{efgh} |
| FX1 | 4021 ± 428 ^{fgB} | 6331 ± 287 ^{cdB} | 10165 ± 2308 ^{bcA} | 9232 ± 788 ^{eA} | 460 ± 25 ^{efg} |
| FT | 2060 ± 59 ^{hC} | 3662 ± 465 ^{bcB} | 4663 ± 450 ^{gAB} | 5558 ± 685 ^{gA} | 250 ± 48 ^{ghi} |
| FPD20 | 6061 ± 446 ^{aC} | 10215 ± 969 ^{aB} | 11318 ± 799 ^{abB} | 15569 ± 654 ^{aA} | 691 ± 31 ^a |
| FPD30 | 5460 ± 108 ^{abcdD} | 91360 ± 687 ^{aC} | 11473 ± 71 ^{abB} | 13575 ± 224 ^{abA} | 580 ± 17 ^{abcd} |
| FPD40 | 5081 ± 304 ^{abcdD} | 8781 ± 951 ^{abC} | 11387 ± 1217 ^{abB} | 13695 ± 461 ^{abA} | 615 ± 42 ^{abc} |
| FGB20 | 4391 ± 146 ^{deD} | 6876 ± 718 ^{cdC} | 7677 ± 493 ^{defB} | 11410 ± 994 ^{cdA} | 501 ± 66 ^{bcde} |
| FGB30 | 4240 ± 269 ^{deC} | 7173 ± 185 ^{cdB} | 12428 ± 748 ^{aA} | 12812 ± 746 ^{bcA} | 612 ± 52 ^{abcd} |
| FGB40 | 3081 ± 107 ^{ghC} | 5796 ± 614 ^{deB} | 8973 ± 847 ^{cdeA} | 12076 ± 1072 ^{bcdA} | 643 ± 77 ^{ab} |

Letras minúsculas iguais na mesma coluna e letras maiúsculas iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

FC: controle sem aditivos - FM0,5: 0,5% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FM1: 1% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FCMC0,5: 0,5% de CMC - FCMC1: 1% de CMC - FX0,5: 0,5% de goma xantana - FX1: 1% de goma xantana - FT: todos aditivos - FPD20: polvilho doce com 20% umidade no teste micro-ondas - FPD30: polvilho doce com 30% umidade no teste micro-ondas - FPD40: polvilho doce com 40% umidade no teste micro-ondas - FGB20: farinha de grão-de-bico com 20% de umidade no teste micro-ondas - FGB30: farinha de grão-de-bico com 30% de umidade no teste micro-ondas - FGB40: farinha de grão-de-bico com 40% de umidade no teste micro-ondas.

No caso da farinha de grão-de-bico, a formulação que gerou pão com maior maciez foi a FGB40, e, apesar da maior taxa de endurecimento, a dureza no dia 14 não foi a mais elevada. A farinha de grão-de-bico tratada por micro-ondas apresentou melhor CRA, o que pode contribuir com a maciez após o assamento, visto que o pão perde menos água e, assim, se torna mais macio.

Maiores volumes específicos normalmente estão associados a menores durezas do miolo, o que foi comprovado pela formulação FT. E os menores volumes também estão associados às maiores durezas, como foi o caso dos pães com polvilho doce tratado por micro-ondas.

Na Figura 15 está apresentado o gráfico com as durezas dos miolos (g) dos pães durante os 14 dias de armazenamento.

A Tabela 17 contém os resultados de coesividade do miolo dos pães sem glúten. A coesividade reflete a coesão entre o material do miolo; valores altos de coesividade são benéficos e causam menos desintegração durante o armazenamento e mastigação (ENCINA-ZELADA; CADAVEZ; MONTEIRO; TEIXEIRA *et al.*, 2018). Pães sem glúten tendem a uma menor coesividade quando comparados à pães de farinha de trigo, visto que a retrogradação do amido é mais elevada e gera uma estrutura mais frágil (SIGÜENZA-ANDRÉS; GALLEGÓ; GÓMEZ, 2021).

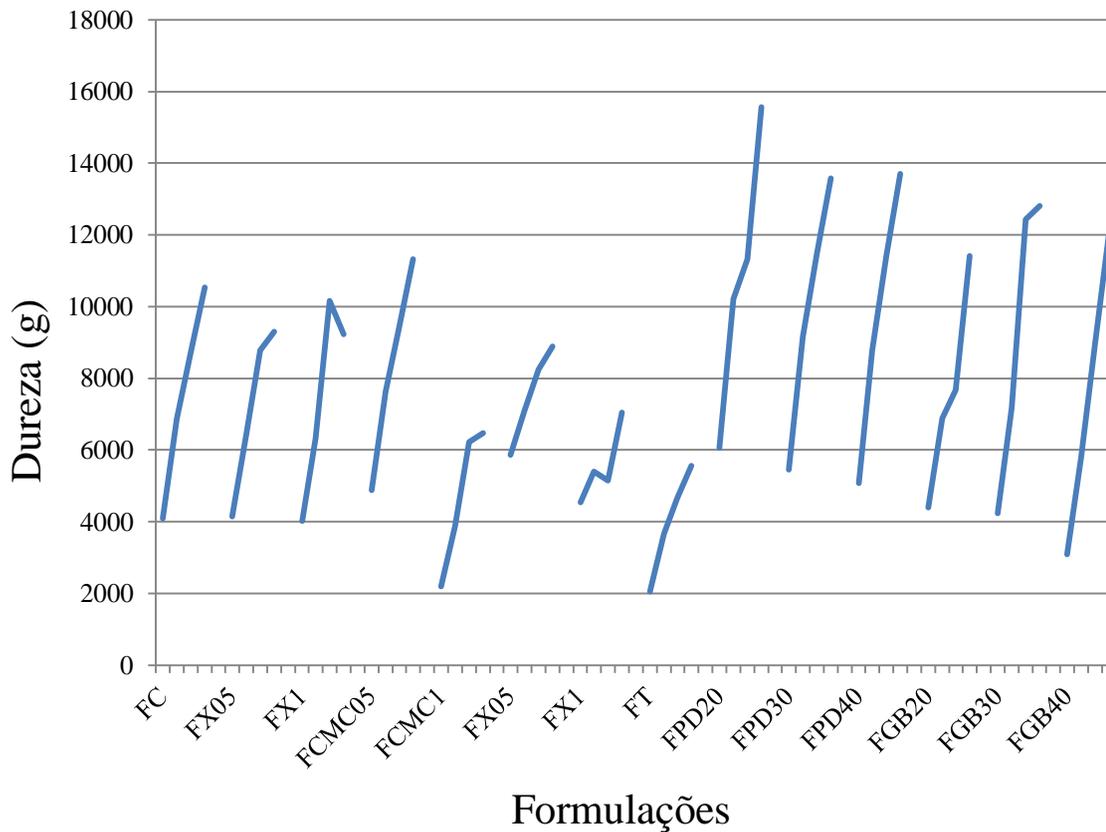


Figura 15: Resultados de dureza do miolo (g) durante os 14 dias de armazenamento.

FC: controle sem aditivos - FM0,5: 0,5% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FM1: 1% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FCMC0,5: 0,5% de CMC - FCMC1: 1% de CMC - FX0,5: 0,5% de goma xantana - FX1: 1% de goma xantana – FT: todos aditivos - FPD20: polvilho doce com 20% umidade no teste micro-ondas - FPD30: polvilho doce com 30% umidade no teste micro-ondas - FPD40: polvilho doce com 40% umidade no teste micro-ondas - FGB20: farinha de grão-de-bico com 20% de umidade no teste micro-ondas - FGB30: farinha de grão-de-bico com 30% de umidade no teste micro-ondas - FGB40: farinha de grão-de-bico com 40% de umidade no teste micro-ondas.

Tabela 17: Resultados de coesividade do miolo dos pães sem glúten controle, com uso de aditivos e com uso de PD e GB tratados com micro-ondas, durante os 14 dias de armazenamento.

| Formulação | Dia 0 | Dia 2 | Dia 7 | Dia 14 |
|-------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| FC | 0,69 ± 0,03 ^{abcdA} | 0,45 ± 0,03 ^{bcdB} | 0,37 ± 0,09 ^{bcBC} | 0,26 ± 0,01 ^{bcC} |
| FM0,5 | 0,58 ± 0,02 ^{dA} | 0,39 ± 0,09 ^{cdefB} | 0,36 ± 0,01 ^{bcdB} | 0,37 ± 0,04 ^{abB} |
| FM1 | 0,79 ± 0,07 ^{aA} | 0,52 ± 0,07 ^{abcB} | 0,43 ± 0,01 ^{bcB} | 0,30 ± 0,01 ^{bcC} |
| FCMC0,5 | 0,60 ± 0,03 ^{cdA} | 0,43 ± 0,03 ^{bcdB} | 0,38 ± 0,02 ^{bcBC} | 0,32 ± 0,07 ^{bcC} |
| FCMC1 | 0,77 ± 0,03 ^{aA} | 0,60 ± 0,07 ^{aB} | 0,42 ± 0,05 ^{bcC} | 0,32 ± 0,05 ^{bcC} |
| FX0,5 | 0,63 ± 0,03 ^{bcdA} | 0,50 ± 0,02 ^{abcdB} | 0,33 ± 0,03 ^{cdC} | 0,27 ± 0,01 ^{bcC} |
| FX1 | 0,68 ± 0,06 ^{abcdA} | 0,57 ± 0,04 ^{abAB} | 0,59 ± 0,12 ^{aA} | 0,45 ± 0,02 ^{aB} |
| FT | 0,75 ± 0,01 ^{abA} | 0,59 ± 0,00 ^{aB} | 0,47 ± 0,02 ^{abBC} | 0,45 ± 0,10 ^{aC} |
| FPD20 | 0,57 ± 0,03 ^{dA} | 0,37 ± 0,04 ^{defB} | 0,33 ± 0,06 ^{cdB} | 0,30 ± 0,02 ^{bcB} |
| FPD30 | 0,62 ± 0,03 ^{cdA} | 0,43 ± 0,08 ^{bcdB} | 0,36 ± 0,02 ^{bcC} | 0,32 ± 0,01 ^{bcC} |
| FPD40 | 0,72 ± 0,05 ^{abcA} | 0,48 ± 0,03 ^{abcdeB} | 0,38 ± 0,04 ^{bcC} | 0,27 ± 0,07 ^{bcD} |
| FGB20 | 0,62 ± 0,03 ^{cdA} | 0,44 ± 0,03 ^{bcdB} | 0,31 ± 0,05 ^{cdB} | 0,26 ± 0,01 ^{cB} |
| FGB30 | 0,57 ± 0,04 ^{dA} | 0,28 ± 0,03 ^{fB} | 0,23 ± 0,03 ^{dB} | 0,25 ± 0,01 ^{cB} |
| FGB40 | 0,73 ± 0,09 ^{abcA} | 0,34 ± 0,07 ^{efB} | 0,27 ± 0,03 ^{dB} | 0,27 ± 0,02 ^{bcB} |

Letras minúsculas iguais na mesma coluna e letras maiúsculas iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

FC: controle sem aditivos - FM0,5: 0,5% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FM1: 1% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FCMC0,5: 0,5% de CMC - FCMC1: 1% de CMC - FX0,5: 0,5% de goma xantana - FX1: 1% de goma xantana - FT: todos aditivos - FPD20: polvilho doce com 20% umidade no teste micro-ondas - FPD30: polvilho doce com 30% umidade no teste micro-ondas - FPD40: polvilho doce com 40% umidade no teste micro-ondas - FGB20: farinha de grão-de-bico com 20% de umidade no teste micro-ondas - FGB30: farinha de grão-de-bico com 30% de umidade no teste micro-ondas - FGB40: farinha de grão-de-bico com 40% de umidade no teste micro-ondas.

No dia 0, os maiores valores de coesividade para os pães sem ingredientes tratados com micro-ondas foram encontrados nas formulações FC, FM1, FCMC1, FX1 e FT. Isso nos mostra

que o emprego de aditivos é benéfico em maiores concentrações, quando observamos apenas essa característica. Nos pães com ingredientes tratados com micro-ondas, as melhores formulações foram as FP40 e FG40. Na análise de MEV (Figura 13), as amostras com maior tempo de tratamento micro-ondas mostraram-se mais aglutinadas, o que pode explicar a coesividade comparável aos pães com aditivos empregados. Portanto, o tratamento de polvilho doce e farinha de grão-de-bico com 40% de umidade é eficiente na substituição de aditivos como CMC, mono e diglicerídeos e goma xantana, em concentração de 1%, no parâmetro coesividade no dia 0.

Todas as formulações, durante o armazenamento, apresentaram diminuição na coesividade, como já era esperado, devido à perda de umidade. No dia 14, porém, as formulações com maior coesividade foram a FX0,5, FCMC1 e FT. As formulações FPD20 e todas FGB mantiveram a coesividade durante o armazenamento, podendo substituir o aditivo mono e diglicerídeos de ácidos graxos, bem como todos em concentração 1% (FT), por apresentarem as mesmas características.

Os resultados de gomosidade do miolo estão demonstrados na Tabela 18. A gomosidade é uma relação entre a coesividade e a dureza do miolo. Portanto, se maior a dureza do miolo e maior a coesividade, maior também a gomosidade. As menores gomosidades apresentadas pelas formulações com farinha de grão-de-bico tratadas com micro-ondas, em comparação às com polvilho doce, pode ser devido à diferença de CRA entre as amostras. A CRA pode aumentar a gomosidade visto que retém mais água, sendo similar ao uso de aditivos hidrocolóides.

Os resultados de mastigabilidade do miolo estão apresentados na Tabela 19. A mastigabilidade é uma relação entre a elasticidade e a gomosidade, e quanto maior o valor, mais energia é requerida para fragmentar o alimento. Os valores de mastigabilidade variaram de 1680 ± 64 a 4684 ± 328 , sendo a menor mastigabilidade da amostra com todos os aditivos (FT) e com CMC 1% (FCMC1%). Pães formulados com farinha de grão-de-bico tratada por micro-ondas podem substituir os aditivos goma xantana (0,5% e 1%), CMC 0,5% e mono e diglicerídeos (0,5% e 1%).

Tabela 18: Resultados de gomosidade (g) do miolo dos pães sem glúten controle, com uso de aditivos e com uso de PD e GB submetidos ao tratamento com micro-ondas, durante os 14 dias de armazenamento.

| Formulação | Dia 0 | Dia 2 | Dia 7 | Dia 14 |
|-------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| FC | 2818 ± 173 ^{abcdA} | 3085 ± 169 ^{cdeA} | 3187 ± 605 ^{cdefA} | 2759 ± 255 ^{abcdA} |
| FM0,5 | 3407 ± 111 ^{abcA} | 2716 ± 527 ^{defA} | 2975 ± 454 ^{cdefA} | 3320 ± 590 ^{bcdeA} |
| FM1 | 3584 ± 911 ^{abA} | 2775 ± 143 ^{fAB} | 2194 ± 571 ^{eB} | 2086 ± 82 ^{fB} |
| FCMC0,5 | 2948 ± 201 ^{abcdA} | 3307 ± 327 ^{bcdA} | 3568 ± 305 ^{bcdeA} | 3633 ± 882 ^{abcdA} |
| FCMC1 | 1690 ± 47 ^{eB} | 2318 ± 203 ^{efAB} | 2631 ± 225 ^{defA} | 2112 ± 496 ^{fAB} |
| FX0,5 | 2598 ± 121 ^{cdB} | 3184 ± 185 ^{bcdA} | 2894 ± 325 ^{cdefAB} | 2491 ± 85 ^{efB} |
| FX1 | 2735 ± 130 ^{bcdB} | 3733 ± 22 ^{abcB} | 7022 ± 1271 ^{aA} | 4556 ± 1097 ^{abcdB} |
| FT | 1549 ± 62 ^{eB} | 2191 ± 268 ^{fA} | 2184 ± 167 ^{fA} | 2454 ± 271 ^{efA} |
| FPD20 | 3472 ± 88 ^{abcB} | 3730 ± 77 ^{abcB} | 3743 ± 408 ^{bcdB} | 4406 ± 49 ^{aA} |
| FPD30 | 3398 ± 206 ^{abcC} | 3944 ± 464 ^{abB} | 4097 ± 171 ^{bcB} | 4381 ± 14 ^{abA} |
| FPD40 | 3656 ± 307 ^{aC} | 4236 ± 212 ^{aAB} | 4495 ± 1005 ^{bA} | 4005 ± 396 ^{abcB} |
| FGB20 | 2705 ± 189 ^{bcdA} | 3051 ± 382 ^{cdeA} | 2522 ± 489 ^{defA} | 2921 ± 212 ^{defA} |
| FGB30 | 2408 ± 73 ^{deB} | 2002 ± 192 ^{fC} | 3034 ± 4 ^{cdefA} | 3056 ± 139 ^{cdefA} |
| FGB40 | 2253 ± 338 ^{deB} | 2005 ± 528 ^{fBC} | 2390 ± 432 ^{efB} | 3307 ± 235 ^{cdeA} |

Letras minúsculas iguais na mesma coluna e letras maiúsculas iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

FC: controle sem aditivos - FM0,5: 0,5% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FM1: 1% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FCMC0,5: 0,5% de CMC - FCMC1: 1% de CMC - FX0,5: 0,5% de goma xantana - FX1: 1% de goma xantana - FT: todos aditivos - FPD20: polvilho doce com 20% umidade no teste micro-ondas - FPD30: polvilho doce com 30% umidade no teste micro-ondas - FPD40: polvilho doce com 40% umidade no teste micro-ondas - FGB20: farinha de grão-de-bico com 20% de umidade no teste micro-ondas - FGB30: farinha de grão-de-bico com 30% de umidade no teste micro-ondas - FGB40: farinha de grão-de-bico com 40% de umidade no teste micro-ondas.

Tabela 19: Resultados de mastigabilidade (g) do miolo dos pães sem glúten controle, com uso de aditivos e com uso de PD e GB submetidos ao tratamento com micro-ondas, durante os 14 dias de armazenamento.

| Formulação | Dia 0 | Dia 2 | Dia 7 | Dia 14 |
|-------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| FC | 3052 ± 195 ^{deA} | 3423 ± 202 ^{cdefA} | 3737 ± 762 ^{bcdefA} | 3218 ± 313 ^{defA} |
| FM0,5 | 3881 ± 61 ^{bcA} | 3263 ± 642 ^{defgA} | 3671 ± 622 ^{cdefA} | 4077 ± 746 ^{abcdeA} |
| FM1 | 4684 ± 328 ^{aA} | 3234 ± 191 ^{defgB} | 2694 ± 658 ^{efBC} | 2482 ± 48 ^{fC} |
| FCMC0,5 | 3248 ± 203 ^{cdA} | 3805 ± 394 ^{abcdA} | 4240 ± 318 ^{bcdeA} | 4288 ± 1025 ^{abcdA} |
| FCMC1 | 1820 ± 50 ^{fB} | 2630 ± 265 ^{efgAB} | 3038 ± 265 ^{defA} | 2480 ± 638 ^{fAB} |
| FX0,5 | 2820 ± 137 ^{deB} | 3520 ± 238 ^{bcdeA} | 3245 ± 395 ^{cdefAB} | 2907 ± 144 ^{efAB} |
| FX1 | 3116 ± 211 ^{deB} | 4437 ± 227 ^{abcB} | 8640 ± 1580 ^{aA} | 4556 ± 1097 ^{abcB} |
| FT | 1680 ± 64 ^{fB} | 2425 ± 303 ^{fgA} | 2455 ± 181 ^{fA} | 2832 ± 378 ^{efA} |
| FPD20 | 3826 ± 210 ^{bcA} | 4247 ± 120 ^{abcdA} | 4352 ± 409 ^{bcdA} | 5244 ± 78 ^{aB} |
| FPD30 | 3828 ± 224 ^{bcA} | 4541 ± 675 ^{abAB} | 4731 ± 206 ^{bcB} | 5204 ± 22 ^{aB} |
| FPD40 | 4066 ± 337 ^{abA} | 4796 ± 131 ^{aA} | 5300 ± 1101 ^{bA} | 4919 ± 774 ^{abA} |
| FGB20 | 3047 ± 192 ^{deA} | 3640 ± 400 ^{bcdeA} | 3012 ± 609 ^{defA} | 3465 ± 202 ^{cdefA} |
| FGB30 | 2730 ± 123 ^{deB} | 2341 ± 232 ^{gB} | 3602 ± 10 ^{cdefA} | 3649 ± 156 ^{bcdefA} |
| FGB40 | 2540 ± 360 ^{eB} | 2327 ± 599 ^{gB} | 2869 ± 517 ^{defAB} | 3915 ± 281 ^{bcdeA} |

Letras minúsculas iguais na mesma coluna e letras maiúsculas iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

FC: controle sem aditivos - FM0,5: 0,5% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FM1: 1% de mono e diglicerídeos de ácidos graxos - FCMC0,5: 0,5% de CMC - FCMC1: 1% de CMC - FX0,5: 0,5% de goma xantana - FX1: 1% de goma xantana - FT: todos aditivos - FPD20: polvilho doce com 20% umidade no teste micro-ondas - FPD30: polvilho doce com 30% umidade no teste micro-ondas - FPD40: polvilho doce com 40% umidade no teste micro-ondas - FGB20: farinha de grão-de-bico com 20% de umidade no teste micro-ondas - FGB30: farinha de grão-de-bico com 30% de umidade no teste micro-ondas - FGB40: farinha de grão-de-bico com 40% de umidade no teste micro-ondas.

5.2.4 Análise dos componentes principais

A análise multivariada representada na Figura 16 (autovetores - variáveis) e na Figura 17 (autovalores – amostras) mostra que a soma dos dois componentes principais foi de 70,4%, superior aos 70% indicados na literatura para explicação da variância total pelos dois componentes principais (RENCHER, 2002). O componente principal (CP) 1 está demonstrado no eixo x (representando 51,7% dos dados) e o CP 2 no eixo y (representando 18,7% dos dados). A análise foi realizada utilizando nove atributos: dureza, gomosidade, mastigabilidade e coesividade do miolo no dia 0, perda de peso, volume específico, porosidade, poros maiores que 5 mm² e densidade celular. Na Tabela 20 estão apresentados os resultados de valores para as componentes principais 1 e 2. Com os resultados obtidos na Tabela 20 e na Figura 16 é possível observar elevada correlação positiva entre as variáveis gomosidade, mastigabilidade e dureza; as variáveis coesividade e poros > 5mm². Ainda, na Figura 16, observam-se em vermelho as correlações entre alguns atributos, algumas esperadas conforme sugerido pela literatura, como a perda de peso e o volume específico, ou pelo cálculo matemático, como dureza, mastigabilidade e gomosidade. Também foi observada correlação entre os poros maiores do que 5 mm² e coesividade.

Observa-se também, correlação negativa entre densidade celular e atributos poros maiores do que 5 mm² e coesividade, conforme também constatado pela ANOVA dos dados.

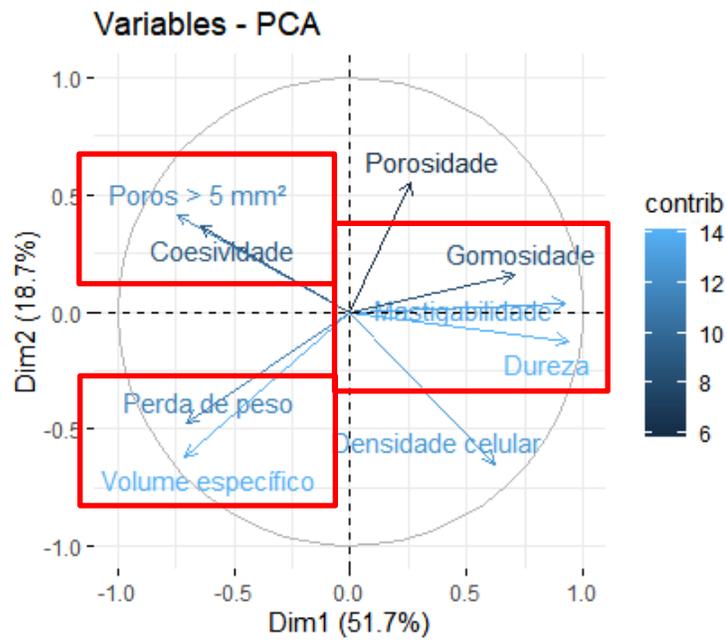


Figura 16: Representação da análise multivariada para o atributos dos pães sem glúten.

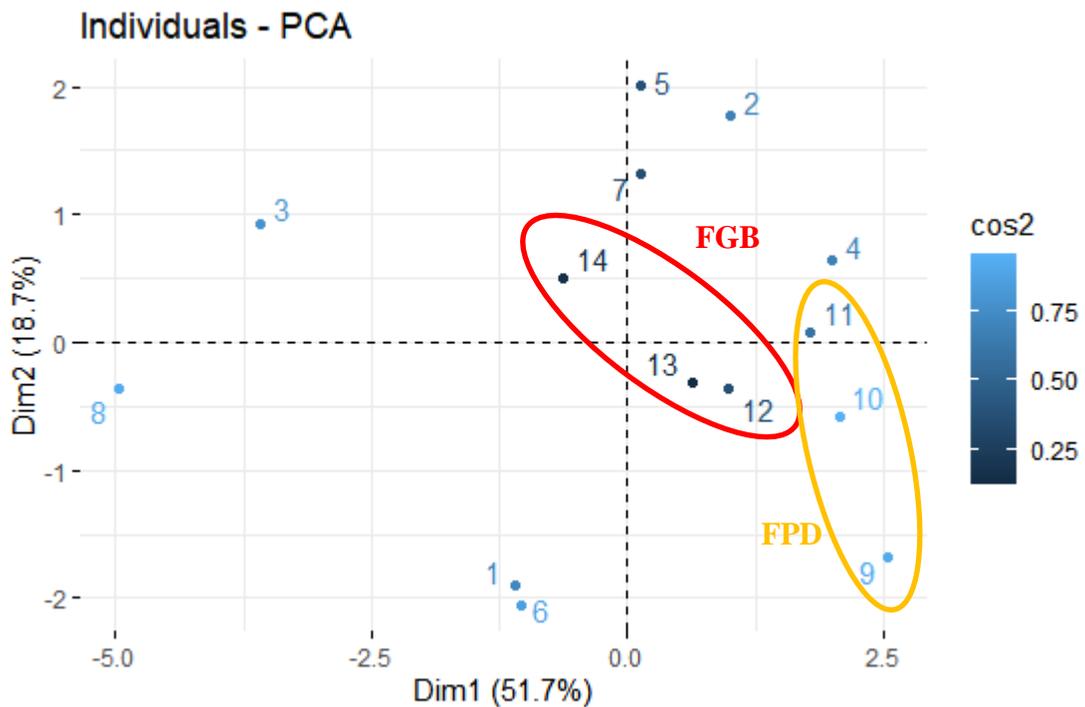


Figura 17: Análise multivariada das amostras de pão sem glúten produzidos com e sem aditivos e com adição de ingredientes tratados com micro-ondas.

1: FC - 2: FCMC0,5 - 3: FCMC1 - 4: FM0,5 - 5: FM1 - 6: FX0,5 - 7: FX1 - 8: FT - 9: FPD20 - 10: FPD30 - 11: FPD40 - 12: FGB20 - 13: FGB30 - 14: FGB40.

Tabela 20: Resultados de valores de dimensões da análise do componente principal.

| | Dimensão 1 | Dimensão 2 |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Porosidade | 0,258 | 0,552 |
| Densidade Celular | 0,621 | -0,648 |
| Poros > 5 mm² | -0,746 | 0,415 |
| Dureza do miolo | 0,939 | -0,124 |
| Coesividade do miolo | -0,645 | 0,363 |
| Matigabilidade do miolo | 0,923 | 0,038 |
| Gomosidade do miolo | 0,705 | 0,158 |
| Perda de peso | -0,703 | -0,474 |
| Volume específico | -0,712 | -0,630 |

Na Figura 17 é possível observar alguns agrupamentos das amostras analisadas. A amostra controle (FC, número 1 no gráfico) está agrupada com a amostra de goma xantana 0,5% (FX0,5, número 6 no gráfico), o que pode ser devido à quantidade insuficiente de aditivo nessa formulação, não surtindo efeitos. Também, observa-se que a amostra produzida utilizando todos os aditivos (FT, número 8 no gráfico) mostra a menor correlação com as demais formulações, apresentando os melhores resultados de perda de peso e de volume específico. A utilização de aditivos, em combinação, tende a gerar pães com atributos mais vantajosos em relação aos demais, sem ou com aditivos em determinadas concentrações. A amostra com aditivos mais próxima desta foi a formulação com CMC 1% (FCMC1, número 3 no gráfico), cuja combinação dos atributos .

Dentre as formulações com ingredientes tratados, é possível observar (Figura 17) os dois agrupamentos das formulações com farinha de grão de bico (FGB) e com polvilho doce (FPD). Há uma tendência de deslocamento dessas amostras à esquerda e para cima no gráfico, quanto maior a umidade inicial do tratamento. As amostras PD têm maior tendência a dureza, o que foi visto em ambas análises ANOVA e PCA. Entre as amostras tratadas com micro-ondas, a que

mais se aproxima da FT (com todos os aditivos) é a produzida com farinha de grão de bico e umidade inicial de 40% (FGB40, número 14 no gráfico) cujos atributos tiveram melhor desempenho.

6 CONCLUSÕES

O tratamento de ingredientes de panificação sem glúten por meio de micro-ondas mostrou-se eficiente na substituição de aditivos. Com o aumento da procura por alimentos *clean label*, o uso de tecnologias emergentes pode se apresentar como uma alternativa para uma formulação isenta de ingredientes considerados “não-naturais” pela população em geral.

O tratamento com micro-ondas gerou temperaturas finais máximas superiores aos 70 °C necessários para a gelatinização do amido, com umidades finais compreendidas entre 10,2% ± 0,6 e 13,6% ± 0,2. Esse tratamento gerou maiores valores de CRA, bem como ingredientes mais escuros, características benéficas para panificação sem glúten, tendo em vista a diminuição da perda de peso e também a comparação com produtos integrais.

O tratamento micro-ondas provocou alterações nas propriedades térmicas e morfológicas do polvilho doce e da farinha de grão-de-bico, apresentando aglutinações e ramificações, respectivamente. Quando utilizado na formulação dos pães, o polvilho doce mostrou tendência ao endurecimento e menor coesividade. A farinha de grão-de-bico tornou os pães mais macios, em comparação ao polvilho doce. Quanto a imagem interna e perda de peso, as formulações com farinhas tratadas tiveram melhor desempenho em comparação aos pães controle. Das amostras tratadas com micro-ondas, a que apresentou os melhores resultados e se aproximou mais do pão utilizando todos os aditivos (FT) foi a produzida com farinha de grão de bico e umidade inicial de 40% (FGB40), conforme visto pela análise por componentes principais.

Mediante os resultados obtidos, a tecnologia de micro-ondas mostrou-se como uma alternativa ao uso de aditivos na panificação sem glúten. Tal tecnologia é viável de forma que os tratamentos são simples e rápidos, e surtem efeitos nos pães, possibilitando a substituição de alguns aditivos em determinadas concentrações.

7 PERSPECTIVAS FUTURAS

Em virtude da pandemia, algumas análises programadas não puderam ser executadas. Estudos futuros podem buscar a otimização do tempo de tratamento *versus* a umidade inicial utilizada, de modo que o emprego dos ingredientes tratados nos pães tenha seus benefícios maximizados. Combinações de tempo e umidade inicial diferentes das utilizadas neste trabalho podem ser avaliadas para determinação das melhores condições de tratamento micro-ondas. Além disso, sugere-se testar outras porcentagens de substituição da matéria prima tratada em relação à quantidade de farinha. Análises de amido resistente e eletroforese em gel podem ser realizadas à fim de determinar as mudanças geradas no amido e nas proteínas, para que se possa caracterizá-los. Além disso, sugere-se a realização de análise sensorial dos pães para verificar a influência dos tratamentos nas características organolépticas e na aceitação do consumidor.

8 REFERÊNCIAS

AGUILAR, N.; ALBANELL, E.; MIÑARRO, B.; CAPELLAS, M. Chickpea and tiger nut flours as alternatives to emulsifier and shortening in gluten-free bread. **LWT - Food Science and Technology**, 62, n. 1, Part 1, p. 225-232, 2015/06/01/ 2015.

AHDMAD, A.; MUNAIM, M. S. A.; AHMADI, S. M. Optimization of Gluten Free Bread Formulation by Adding Xanthan Gum, Potato Starch and Sorbitol Using Response Surface Methodology. *In: The National Conference for Postgraduate Research 2016*, 2016, Universiti Malaysia Pahang.

ALTING, A. C.; VAN DE VELDE, F. 9 - Proteins as clean label ingredients in foods and beverages. *In: BAINES, D. e SEAL, R. (Ed.). Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings*: Woodhead Publishing, 2012. p. 197-211.

ANVISA. Portaria nº 540: Aprova o Regulamento Técnico: Aditivos Alimentares - definições, classificação e emprego. Diário Oficial da União: Ministério da Saúde e Secretaria de Vigilância Sanitária. 540 1997.

AOKI, K.; SHEN, J.; SAIJO, T. Consumer reaction to information on food additives: Evidence from an eating experiment and a field survey. **Journal of Economic Behavior & Organization**, 73, n. 3, p. 433-438, 2010/03/01/ 2010.

AOKI, N.; KATAOKA, T.; NISHIBA, Y. Crucial role of amylose in the rising of gluten- and additive-free rice bread. **Journal of Cereal Science**, 92, p. 102905, 2020/03/01/ 2020.

APRODU, I.; BANU, I. Influence of dietary fiber, water, and glucose oxidase on rheological and baking properties of maize based gluten-free bread. **Food Science and Biotechnology**, 24, n. 4, p. 1301-1307, 2015/08/01 2015.

ARENDRT, E. K.; MORRISSEY, A.; MOORE, M. M.; BELLO, F. D. **Gluten-Free Cereal Products and Beverages**. 1st edition ed. San Diego: Academic Press, 2008. 289-VII p. 978-0-12-373739-7.

ASCHEMANN-WITZEL, J.; VARELA, P.; PESCHEL, A. O. Consumers' categorization of food ingredients: Do consumers perceive them as 'clean label' producers expect? An exploration with projective mapping. **Food Quality and Preference**, 71, p. 117-128, 2019/01/01/ 2019.

ASHRAF, S.; SAEED, S. G.; SAYEED, S. A.; ALI, R. Impact of Microwave Treatment on the Functionality of Cereals and Legumes. **International Journal of Agriculture and Biology**, 14, p. 365-370, 2012.

ASIOLI, D.; ASCHEMANN-WITZEL, J.; CAPUTO, V.; VECCHIO, R. *et al.* Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. **Food Research International**, 99, p. 58-71, 2017/09/01/ 2017.

ATUONWU, J. C.; TASSOU, S.; LEADLEY, C.; BOSMAN, A. Energy and quality performance assessment of emerging and conventional food preservation technologies. **Energy Procedia**, 161, p. 133-141, 2019/03/01/ 2019.

AUTIO, K.; KRUS, K.; KNAAPILA, A.; GERBER, N. *et al.* Kinetics of Transglutaminase-Induced Cross-Linking of Wheat Proteins in Dough. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 53, n. 4, p. 1039-1045, 2005/02/01 2005.

BALASUBRAMANIAM, V. M.; MARTÍNEZ-MONTEAGUDO, S. I.; GUPTA, R. Principles and Application of High Pressure-Based Technologies in the Food Industry. **Annual Review of Food Science and Technology**, 6, n. 1, p. 435-462, 2015.

BASSINELLO, P. Z.; CARVALHO, R. N.; ARAÚJO, M. R.; ALMEIDA, R. P. d. *et al.* **Potencial de aproveitamento de farinhas de quirera de arroz e bandinha de feijão em biscoitos tipo cookie.** Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás, p. 8. 2012.

BASSINELLO, P. Z.; LUZ, T. C. d. L. A.; FERREIRA, C. M. **Farinha de Arroz: Alternativa Alimentar e Econômica.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2017. 28 p. 1678-9644.

BEARTH, A.; COUSIN, M.-E.; SIEGRIST, M. The consumer's perception of artificial food additives: Influences on acceptance, risk and benefit perceptions. **Food Quality and Preference**, 38, p. 14-23, 2014/12/01/ 2014.

BEMILLER, J. N. 9 - Hydrocolloids. *In*: ARENDT, E. K. e DAL BELLO, F. (Ed.). **Gluten-Free Cereal Products and Beverages.** San Diego: Academic Press, 2008. p. 203-215.

BEMILLER, J. N. 6 - Starches: Molecular and Granular Structures and Properties. *In*: BEMILLER, J. N. (Ed.). **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists (Third Edition):** AACC International Press, 2019. p. 159-189.

BENDER, D.; SCHÖNLECHNER, R. Innovative approaches towards improved gluten-free bread properties. **Journal of Cereal Science**, 91, p. 102904, 2020/01/01/ 2020.

BONJEAN, B.; GUILLAUME, L.-D. 11 - Yeasts in bread and baking products. *In*: BOEKHOUT, T. e ROBERT, V. (Ed.). **Yeasts in Food:** Woodhead Publishing, 2003. p. 289-307.

BORGES, F. C. **Estudo do Processamento Termoquímico de Biomassas com Micro-ondas: Pirólise Rápida de Biomassas Residuais e Microalgas.** 2014. 152 f. (Tese de doutorado) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

BORGES, V. C.; SALAS-MELLADO, M. Influence of α -amilase, trehalose, sorbitol, and polysorbate 80 on the quality of gluten-free bread. **International Food Research Journal**, 23, p. 1973-1979, 01/01 2016.

BRASIL. Lei nº 10.674, de 16 de maio de 2003. Obriga a que os produtos alimentícios comercializados informem sobre a presença de glúten, como medida preventiva e de controle da doença celíaca. **Presidência da República**, Diário Oficial da União, pp.

BRASIL. Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos. **Ministério da Saúde**, DOU, pp.

BRASIL. Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**, Diário Oficial da União, pp.

BRITES, L. T. G. F.; SCHMIELE, M.; STEEL, C. J. Chapter 13 - Gluten-Free Bakery and Pasta Products. *In*: HOLBAN, A. M. e GRUMEZESCU, A. M. (Ed.). **Alternative and Replacement Foods**: Academic Press, 2018. p. 385-410.

BUCKOW, R.; HEINZ, V.; KNORR, D. High pressure phase transition kinetics of maize starch. **Journal of Food Engineering**, 81, n. 2, p. 469-475, 2007/07/01/ 2007.

CAPACCI, S.; LEUCCI, A. C.; MAZZOCCHI, M. There is no such thing as a (gluten-)free lunch: Higher food prices and the cost for coeliac consumers. **Economics & Human Biology**, 30, p. 84-91, 2018/09/01/ 2018.

CAPPA, C.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; LUCISANO, M.; MARIOTTI, M. Effect of high pressure processing on the baking aptitude of corn starch and rice flour. **LWT - Food Science and Technology**, 73, p. 20-27, 2016/11/01/ 2016.

CAPPA, C.; LUCISANO, M.; MARIOTTI, M. Influence of Psyllium, sugar beet fibre and water on gluten-free dough properties and bread quality. **Carbohydrate Polymers**, 98, n. 2, p. 1657-1666, 2013/11/06/ 2013.

CAROCHO, M.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R. Natural food additives: Quo vadis? **Trends in Food Science & Technology**, 45, n. 2, p. 284-295, 2015/10/01/ 2015.

CARVALHO, O. T. d. **Carotenóides e composição centesimal de ervilhas (*Pisum sativum*L.) cruas e processadas**. Orientador: PENTEADO, P. D. M. D. V. C. 2007. 93 f. (PhD) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, USP, São Paulo.

CATASSI, C.; BAI, J. C.; BONAIZ, B.; BOUMA, G. *et al.* Non-Celiac Gluten Sensitivity: The New Frontier of Gluten Related Disorders. **Nutrients**, 5, n. 10, p. 3839-3853, 2013.

CAUVAIN, S. P. 9 - Reduced salt and sodium in bread and other baked products. *In*: BEEREN, C.; GROVES, K., *et al* (Ed.). **Reducing Salt in Foods (Second Edition)**: Woodhead Publishing, 2019. p. 213-229.

CAVA, E.; COLLO, A.; CAPELLO, E. C.; MAZZA, F. *et al*. Nutritional management of celiac crisis in an elderly adult: A case report of the rare presentation of celiac disease in a 75-y-old woman. **Nutrition**, 79-80, p. 110858, 2020/11/01/ 2020.

CHAKRABORTY, S. K.; KOTWALIWALE, N.; NAVALE, S. A. Selection and incorporation of hydrocolloid for gluten-free leavened millet breads and optimization of the baking process thereof. **LWT - Food Science and Technology**, 119, p. 108878, 2020/02/01/ 2020.

CHANDI, G. K.; SOGI, D. S. Biochemical characterisation of rice protein fractions. **International Journal of Food Science & Technology**, 42, n. 11, p. 1357-1362, 2007.

CHAO, D.; JUNG, S.; ALUKO, R. E. Physicochemical and functional properties of high pressure-treated isolated pea protein. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 45, p. 179-185, 2018/02/01/ 2018.

CHEN, L. 2 - Emulsifiers as food texture modifiers. *In*: CHEN, J. e ROSENTHAL, A. (Ed.). **Modifying Food Texture**: Woodhead Publishing, 2015. p. 27-49.

CHUNG, H.-J.; LIU, Q.; HOOVER, R.; WARKENTIN, T. D. *et al*. In vitro starch digestibility, expected glycemic index, and thermal and pasting properties of flours from pea, lentil and chickpea cultivars. **Food Chemistry**, 111, n. 2, p. 316-321, 2008/11/15/ 2008.

CLERICI, M. T. P. S.; EL-DASH, A. A. Farinha extrusada de arroz como substituto de glúten na produção de pão de arroz. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, 56, p. 288-298, 2006.

CODEX ALIMENTARIUS. Standard for foods for special dietary use for persons intolerant to gluten. **FAO**, pp.

CODEX ALIMENTARIUS. **General Standards for Food Additives**. 2019.

COLLIN, P.; SALMI, T. T.; HERVONEN, K.; KAUKINEN, K. *et al*. Dermatitis herpetiformis: a cutaneous manifestation of coeliac disease. **Annals of Medicine**, 49, n. 1, p. 23-31, 2017/01/02 2017.

CORNEJO, F.; ROSELL, C. M. Physicochemical properties of long rice grain varieties in relation to gluten free bread quality. **LWT - Food Science and Technology**, 62, n. 2, p. 1-8, 2015.

CZAJA-BULSA, G.; BULSA, M. What Do We Know Now about IgE-Mediated Wheat Allergy in Children? . **Nutrients**, 9, n. 1, p. 35, 2017.

DA ROSA MACHADO, C.; THYS, R. C. S. Cricket powder (*Gryllus assimilis*) as a new alternative protein source for gluten-free breads. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 56, p. 102180, 2019/08/01/ 2019.

DATTA, A. K.; ANANTHESWARAN, R. C. **Handbook of Microwave Technology for Food Application**. 1st Edition ed. Nova York, EUA: CRC Press, 2001. (Food and Bioproducts Processing. 0-8247-0490-8.

DE FIGUEIREDO FURTADO, G.; PEREIRA, R. N. C.; VICENTE, A. A.; CUNHA, R. L. Cold gel-like emulsions of lactoferrin subjected to ohmic heating. **Food Research International**, 103, p. 371-379, 2018/01/01/ 2018.

DELEU, L. J.; LUYTS, A.; WILDERJANS, E.; VAN HAESENDONCK, I. *et al.* Ohmic versus conventional heating for studying molecular changes during pound cake baking. **Journal of Cereal Science**, 89, p. 102708, 2019/09/01/ 2019.

DEMIRKESEN, I.; MERT, B.; SUMNU, G.; SAHIN, S. Rheological properties of gluten-free bread formulations. **Journal of Food Engineering**, 96, n. 2, p. 295-303, 2010/01/01/ 2010.

DEMIRKESEN, I.; SUMNU, G.; SAHIN, S. Quality of Gluten-Free Bread Formulations Baked in Different Ovens. **Food and Bioprocess Technology**, 6, n. 3, p. 746-753, 2013/03/01 2013.

DEVICICH, D. A.; PEDERSEN, I. K.; PETRIE, K. J. You eat what you are: Modern health worries and the acceptance of natural and synthetic additives in functional foods. **Appetite**, 48, n. 3, p. 333-337, 2007/05/01/ 2007.

DI CAIRANO, M.; CONDELLI, N.; CARUSO, M. C.; MARTI, A. *et al.* Functional properties and predicted glycemic index of gluten free cereal, pseudocereal and legume flours. **LWT**, 133, p. 109860, 2020/11/01/ 2020.

DING, S.; PENG, B.; LI, Y.; YANG, J. Evaluation of specific volume, texture, thermal features, water mobility, and inhibitory effect of staling in wheat bread affected by maltitol. **Food Chemistry**, 283, p. 123-130, 2019/06/15/ 2019.

DO NASCIMENTO, A. B.; FIATES, G. M. R.; DOS ANJOS, A.; TEIXEIRA, E. Analysis of ingredient lists of commercially available gluten-free and gluten-containing food products using the text mining technique. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, 64, n. 2, p. 217-222, 2013/03/01 2013.

ENCINA-ZELADA, C. R.; CADAVEZ, V.; MONTEIRO, F.; TEIXEIRA, J. A. *et al.* Combined effect of xanthan gum and water content on physicochemical and textural properties of gluten-free batter and bread. **Food Research International**, 111, p. 544-555, 2018/09/01/ 2018.

FALLAVENA, L. P. **O perfil do consumidor de produtos sem glúten: necessidade ou modismo?** Trabalho de Conclusão de Graduação. p.90. 2015.

FAO. **Food Wastage Footprints: impacts on natural resources**. 2013. (978-92-5-107752-8).

FELLOWS, P. J. **Food processing technology**. Fourth Edition ed. CRC Press, 2016. 0 8493 0887 9.

FERREIRA, S. M. R.; DE MELLO, A. P.; DE CALDAS ROSA DOS ANJOS, M.; KRÜGER, C. C. H. *et al.* Utilization of sorghum, rice, corn flours with potato starch for the preparation of gluten-free pasta. **Food Chemistry**, 191, p. 147-151, 2016/01/15/ 2016.

FRANCO, E. A. N.; SANCHES-SILVA, A.; RIBEIRO-SANTOS, R.; DE MELO, N. R. Psyllium (*Plantago ovata* Forsk): From evidence of health benefits to its food application. **Trends in Food Science & Technology**, 96, p. 166-175, 2020/02/01/ 2020.

FRATELLI, C.; MUNIZ, D. G.; SANTOS, F. G.; CAPRILES, V. D. Modelling the effects of psyllium and water in gluten-free bread: An approach to improve the bread quality and glycemic response. **Journal of Functional Foods**, 42, p. 339-345, 2018/03/01/ 2018.

FROST, K.; KAMINSKI, D.; KIRWAN, G.; LASCARIS, E. *et al.* Crystallinity and structure of starch using wide angle X-ray scattering. **Carbohydrate Polymers**, 78, n. 3, p. 543-548, 2009/10/15/ 2009.

GAESSER, G. A.; ANGADI, S. S. Gluten-free diet: imprudent dietary advice for the general population? **J Acad Nutr Diet**, 112, n. 9, p. 1330-1333, Sep 2012.

GALLAGHER, E. **Gluten-Free Food Science and Technology**. 2009. 1-246 p.

GALLAGHER, E.; KUNKEL, A.; GORMLEY, T.; ARENDT, E. **The effect of dairy and rice powder addition on loaf and crumb characteristics, and on shelf life (intermediate and long-term) of gluten-free breads stored in a modified atmosphere**. 2003. 44-48 p.

GALLY, T.; ROUAUD, O.; JURY, V.; HAVET, M. *et al.* Proofing of bread dough assisted by ohmic heating. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 39, p. 55-62, 2017/02/01/ 2017.

GANDOLFI, L.; PRATESI, R.; CORDOBA, J. C. M.; TAUILL, P. L. *et al.* Prevalence of celiac disease among blood donors in Brazil. **The American Journal of Gastroenterology**, 95, n. 3, p. 689-692, 2000.

GENKINA, N. K.; KOZLOV, S. S.; MARTIROSYAN, V. V.; KISELEVA, V. I. Thermal behavior of maize starches with different amylose/amylopectin ratio studied by DSC analysis. **Starch - Stärke**, 66, n. 7-8, p. 700-706, 2014.

GHARIBZAHEDI, S. M. T.; SMITH, B. Effects of high hydrostatic pressure on the quality and functionality of protein isolates, concentrates, and hydrolysates derived from pulse legumes: A review. **Trends in Food Science & Technology**, 107, p. 466-479, 2021/01/01/ 2021.

GIANFRANI, C.; MAMONE, G.; LA GATTA, B.; CAMARCA, A. *et al.* Microwave-based treatments of wheat kernels do not abolish gluten epitopes implicated in celiac disease. **Food and Chemical Toxicology**, 101, p. 105-113, 2017/03/01/ 2017.

GREEN, P. H. R.; CELLIER, C. Celiac Disease. **New England Journal of Medicine**, 357, n. 17, p. 1731-1743, 2007.

GREEN, P. H. R.; LEBWOHL, B.; GREYWOODE, R. Celiac disease. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, 135, n. 5, p. 1099-1106, 2015.

GUJRAL, H. S.; GUARDIOLA, I.; CARBONELL, J. V.; ROSELL, C. M. Effect of Cyclodextrinase on Dough Rheology and Bread Quality from Rice Flour. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 51, n. 13, p. 3814-3818, 2003/06/01 2003.

GUJRAL, H. S.; ROSELL, C. M. Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase. **Journal of Cereal Science**, 39, n. 2, p. 225-230, 2004/03/01/ 2004.

GUO, Q.; SUN, D.-W.; CHENG, J.-H.; HAN, Z. Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. **Trends in Food Science & Technology**, 67, p. 236-247, 2017/09/01/ 2017.

GUPTA, R.; BALASUBRAMANIAM, V. M. Chapter 5 - High-Pressure Processing of Fluid Foods. *In*: CULLEN, P. J.; TIWARI, B. K., *et al* (Ed.). **Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods**. San Diego: Academic Press, 2012. p. 109-133.

GUPTA, S.; VARIYAR, P. S. Chapter 12 - Guar Gum: A Versatile Polymer for the Food Industry. *In*: GRUMEZESCU, A. M. e HOLBAN, A. M. (Ed.). **Biopolymers for Food Design**: Academic Press, 2018. p. 383-407.

GUTKOSKI, L. C.; PAGNUSSATT, F. A.; SPIER, F.; PEDÓ, I. Efeito do teor de amido danificado na produção de biscoitos tipo semi-duros. **Food Science and Technology**, 27, p. 119-124, 2007.

HAGER, A.-S.; WOLTER, A.; CZERNY, M.; BEZ, J. *et al.* Investigation of product quality, sensory profile and ultrastructure of breads made from a range of commercial gluten-free flours compared to their wheat counterparts. **European Food Research and Technology**, 235, n. 2, p. 333-344, 2012.

HAN, A.; ROMERO, H. M.; NISHIJIMA, N.; ICHIMURA, T. *et al.* Effect of egg white solids on the rheological properties and bread making performance of gluten-free batter. **Food Hydrocolloids**, 87, p. 287-296, 2019/02/01/ 2019.

HAN, H.; HOU, J.; YANG, N.; ZHANG, Y. *et al.* Insight on the changes of cassava and potato starch granules during gelatinization. **International Journal of Biological Macromolecules**, 126, p. 37-43, 2019/04/01/ 2019.

HATTA, E.; MATSUMOTO, K.; HONDA, Y. Bacillolysin, papain, and subtilisin improve the quality of gluten-free rice bread. **Journal of Cereal Science**, 61, p. 41-47, 2015.

HERA, E. d. I.; MARTINEZ, M.; GÓMEZ, M. Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread. **LWT - Food Science and Technology**, 54, n. 1, p. 199-206, 2013/11/01/ 2013.

HERRERO-GONZÁLEZ, J. E. Clinical Guidelines for the Diagnosis and Treatment of Dermatitis Herpetiformis. **Actas Dermo-Sifiliográficas (English Edition)**, 101, n. 10, p. 820-826, 2010/01/01/ 2010.

HORSTMANN, S. W.; LYNCH, K. M.; ARENDT, E. K. Starch Characteristics Linked to Gluten-Free Products. **Foods**, 6, n. 4, p. 29, 2017.

HOWDLE, P. D. **Gliadin, glutenin or both? The search for the Holy Grail in coeliac disease.** 2006. 703-706 p.

HU, X.-P.; ZHANG, B.; JIN, Z.-Y.; XU, X.-M. *et al.* Effect of high hydrostatic pressure and retrogradation treatments on structural and physicochemical properties of waxy wheat starch. **Food Chemistry**, 232, p. 560-565, 2017/10/01/ 2017.

HUI, Y. H.; CULBERTSON, J. D. **Handbook of Food Science, Technology, and Engineering.** Taylor & Francis, 2006. v. v. 2). 9780849398483.

HUSBY, S.; KOLETZKO, S.; KORPONAY-SZABÓ, I. R.; MEARIN, M. L. *et al.* European Society for Pediatric Gastroenterology, Hepatology, and Nutrition guidelines for the diagnosis of coeliac disease. **J Pediatr Gastroenterol Nutr**, 54, n. 1, p. 136-160, Jan 2012.

II, W.; BAI, Y.; SALEH, A.; ZHANG, Q. *et al.* Effect of High Hydrostatic Pressure on Physicochemical and Structural Properties of Rice Starch. **Food and Bioprocess Technology**, 5, n. 6, p. 1-9, July 2011 2011.

ITANI, T.; TAMAKI, M.; ARAI, E.; HORINO, T. Distribution of Amylose, Nitrogen, and Minerals in Rice Kernels with Various Characters. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 50, n. 19, p. 5326-5332, 2002/09/01 2002.

JNAWALI, P.; KUMAR, V.; TANWAR, B. CELIAC DISEASE: Overview and considerations for development of gluten-free foods. **Food Science and Human Wellness**, 5, n. 4, p. 169-176, 2016.

- JOGIHALLI, P.; SINGH, L.; SHARANAGAT, V. S. Effect of microwave roasting parameters on functional and antioxidant properties of chickpea (*Cicer arietinum*). **LWT - Food Science and Technology**, 79, p. 223-233, 2017/06/01/ 2017.
- JUNIOR, A. M. d. M.; GOMES, A. d. S.; SANTOS, A. B. d. **Sistema de Cultivo de Arroz Irrigado no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 1676-7683.
- KABIRULLAH, M.; WILLS, R. B. H. Functional properties of acetylated and succinylated sunflower protein isolate. **International Journal of Food Science & Technology**, 17, n. 2, p. 235-249, 1982.
- KAHRAMAN, G.; HARSA, S.; LUCISANO, M.; CAPPA, C. Physicochemical and rheological properties of rice-based gluten-free blends containing differently treated chickpea flours. **LWT**, 98, p. 276-282, 2018/12/01/ 2018.
- KAMEL, B. S.; RASPER, V. F. EFFECTS OF EMULSIFIERS, SORBITOL, POLYDEXTROSE, AND CRYSTALLINE CELLULOSE ON THE TEXTURE OF REDUCED-CALORIE CAKES¹. **Journal of Texture Studies**, 19, n. 3, p. 307-320, 1988.
- KAWAMURA-KONISHI, Y.; SHODA, K.; KOGA, H.; HONDA, Y. Improvement in gluten-free rice bread quality by protease treatment. **Journal of Cereal Science**, 58, n. 1, p. 45-50, 2013.
- KEET, C. A.; MATSUI, E. C.; DHILLON, G.; LENEHAN, P. *et al.* The natural history of wheat allergy. **Annals of Allergy, Asthma & Immunology**, 102, n. 5, p. 410-415, 2009.
- KIM, H.-J.; CHOI, Y.-M.; YANG, T. C. S.; TAUB, I. A. *et al.*, 1996, **Validation of ohmic heating quality enhancement of food products : Ohmic heating for thermal processing of foods : Government, industry, and academic perspectives.**
- KINSEY, L.; BURDEN, S. T.; BANNERMAN, E. **A dietary survey to determine if patients with coeliac disease are meeting current healthy eating guidelines and how their diet compares to that of the British general population.** 2008. 11.
- KIUMARSI, M.; SHAHBAZI, M.; YEGANEHZAD, S.; MAJCHRZAK, D. *et al.* Relation between structural, mechanical and sensory properties of gluten-free bread as affected by modified dietary fibers. **Food Chemistry**, 277, p. 664-673, 2019/03/30/ 2019.
- KOLETTA, P.; IRAKLI, M.; PAPAGEORGIOU, M.; SKENDI, A. Physicochemical and technological properties of highly enriched wheat breads with wholegrain non wheat flours. **Journal of Cereal Science**, 60, n. 3, p. 561-568, 2014/11/01/ 2014.
- KOU, X.; LUO, D.; ZHANG, K.; XU, W. *et al.* Textural and staling characteristics of steamed bread prepared from soft flour added with inulin. **Food Chemistry**, 301, p. 125272, 2019/12/15/ 2019.

KRUEGER, B. R.; KNUTSON, C. A.; INGLETT, G. E.; WALKER, C. E. A Differential Scanning Calorimetry Study on the Effect of Annealing on Gelatinization Behavior of Corn Starch. **Journal of Food Science**, 52, n. 3, p. 715-718, 1987.

KUMAR, P. Ohmic heating technology in food processing A review. **International Journal of Engineering and Technical Research**, 3, p. 1236-1241, 02/26 2014.

KUMAR, Y.; SINGH, L.; SHARANAGAT, V. S.; PATEL, A. *et al.* Effect of microwave treatment (low power and varying time) on potato starch: Microstructure, thermo-functional, pasting and rheological properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, 155, p. 27-35, 2020/07/15/ 2020.

LAMACCHIA, C.; LANDRISCINA, L.; D'AGNELLO, P. Changes in wheat kernel proteins induced by microwave treatment. **Food Chemistry**, 197, p. 634-640, 2016/04/15/ 2016.

LANG, G. H.; KRINGEL, D. H.; ACUNHA, T. d. S.; FERREIRA, C. D. *et al.* Cake of brown, black and red rice: Influence of transglutaminase on technological properties, in vitro starch digestibility and phenolic compounds. **Food Chemistry**, 318, p. 126480, 2020/07/15/ 2020.

LAZARIDOU, A.; DUTA, D.; PAPAGEORGIOU, M.; BELC, N. *et al.* Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. **Journal of Food Engineering**, 79, n. 3, p. 1033-1047, 2007/04/01/ 2007.

LEE, H.; HA, M. J.; SHAHBAZ, H. M.; KIM, J. U. *et al.* High hydrostatic pressure treatment for manufacturing of red bean powder: A comparison with the thermal treatment. **Journal of Food Engineering**, 238, p. 141-147, 2018/12/01/ 2018.

LEE, N.-Y.; KOO, J.-G. Effects of high hydrostatic pressure on quality changes of blends with low-protein wheat and oat flour and derivative foods. **Food Chemistry**, 271, p. 685-690, 2019/01/15/ 2019.

LEE, S. K.; LO, W.; MEMEO, L.; ROTTERDAM, H. *et al.* Duodenal histology in patients with celiac disease after treatment with a gluten-free diet. **Gastrointest Endosc**, 57, n. 2, p. 187-191, Feb 2003.

LEITE, T. S.; DE JESUS, A. L. T.; SCHMIELE, M.; TRIBST, A. A. L. *et al.* High pressure processing (HPP) of pea starch: Effect on the gelatinization properties. **LWT - Food Science and Technology**, 76, p. 361-369, 2017/03/01/ 2017.

LEÓN, A.; DURÁN, E.; DE BARBER, C. B. A new approach to study starch changes occurring in the dough-baking process and during bread storage. **Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A**, 204, n. 4, p. 316-320, 1997/04/01 1997.

LEONARD, M. M.; SAPONE, A.; CATASSI, C.; FASANO, A. Celiac Disease and Nonceliac Gluten Sensitivity: A Review. **Jama**, 318, n. 7, p. 647-656, Aug 15 2017.

LÉTANG, C.; PIAU, M.; VERDIER, C. Characterization of wheat flour–water doughs. Part I: Rheometry and microstructure. **Journal of Food Engineering**, 41, n. 2, p. 121-132, 1999/08/01/ 1999.

LEWANDOWICZ, G.; JANKOWSKI, T.; FORNAL, J. Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of cereal starches. **Carbohydrate Polymers**, 42, n. 2, p. 193-199, 2000/06/01/ 2000.

LI, Y.-D.; XU, T.-C.; XIAO, J.-X.; ZONG, A.-Z. *et al.* Efficacy of potato resistant starch prepared by microwave–toughening treatment. **Carbohydrate Polymers**, 192, p. 299-307, 2018/07/15/ 2018.

LIN EK, K.; WANG, S.; BRAND-MILLER, J.; COPELAND, L. Properties of starch from potatoes differing in glycemic index. **Food & Function**, 5, n. 10, p. 2509-2515, 2014. 10.1039/C4FO00354C.

LINDEN, G.; LORIENT, D. 12 - Hydrocolloids and dietary fibres. *In*: LINDEN, G. e LORIENT, D. (Ed.). **New Ingredients in Food Processing**: Woodhead Publishing, 1999. p. 265-288.

LIONETTI, E.; CATASSI, C. Co-localization of gluten consumption and HLA-DQ2 and -DQ8 genotypes, a clue to the history of celiac disease. **Dig Liver Dis**, 46, n. 12, p. 1057-1063, Dec 2014.

LU, Z.-H.; DONNER, E.; LIU, Q. Effect of roasted pea flour/starch and encapsulated pea starch incorporation on the in vitro starch digestibility of pea breads. **Food Chemistry**, 245, p. 71-78, 2018/04/15/ 2018.

LUDVIGSSON, J. F.; LEFFLER, D. A.; BAI, J. C.; BIAGI, F. *et al.* The Oslo definitions for coeliac disease and related terms. **Gut**, 62, n. 1, p. 43-52, Jan 2013.

LYNCH, E. J.; DAL BELLO, F.; SHEEHAN, E. M.; CASHMAN, K. D. *et al.* Fundamental studies on the reduction of salt on dough and bread characteristics. **Food Research International**, 42, n. 7, p. 885-891, 2009/08/01/ 2009.

MA, Z.; BOYE, J. I.; HU, X. In vitro digestibility, protein composition and techno-functional properties of Saskatchewan grown yellow field peas (*Pisum sativum* L.) as affected by processing. **Food Research International**, 92, p. 64-78, 2017/02/01/ 2017.

MAN, C. M. D. 8 - Technological functions of salt in food products. *In*: KILCAST, D. e ANGUS, F. (Ed.). **Reducing Salt in Foods**: Woodhead Publishing, 2007. p. 157-173.

MANCEBO, C. M.; RODRIGUEZ, P.; GÓMEZ, M. Assessing rice flour-starch-protein mixtures to produce gluten free sugar-snap cookies. **LWT - Food Science and Technology**, 67, p. 127-132, 2016/04/01/ 2016.

MANINDER, K.; SANDHU, K.; SINGH, N. Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flours from different field pea (*Pisum sativum* L.) and pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) cultivars. **Food Chemistry**, 104, p. 259-267, 12/31 2007.

MANLEY, D. 13 - Emulsifiers (surfactants) and antioxidants as biscuit ingredients. *In*: MANLEY, D. (Ed.). **Manley's Technology of Biscuits, Crackers and Cookies (Fourth Edition)**: Woodhead Publishing, 2011. p. 181-190.

MARIOTTI, M.; LUCISANO, M.; AMBROGINA PAGANI, M.; NG, P. K. W. The role of corn starch, amaranth flour, pea isolate, and Psyllium flour on the rheological properties and the ultrastructure of gluten-free doughs. **Food Research International**, 42, n. 8, p. 963-975, 2009/10/01/ 2009.

MARKETS, M. a. **Gluten-free Products Market by Type (Bakery Products, Snacks & RTE Products, Pizzas & Pastas, Condiments & Dressings), Distribution Channel (Conventional Stores, Specialty Stores, Drugstores & Pharmacies), and Region - Global Forecast to 2023** Markets and Markets. 2018.

MARTÍNEZ, M. M.; MARCOS, P.; GÓMEZ, M. Texture Development in Gluten-Free Breads: Effect of Different Enzymes and Extruded Flour. **Journal of Texture Studies**, 44, n. 6, p. 480-489, 2013.

MARUYAMA, S.; STRELETSKAYA, N. A.; LIM, J. Clean label: Why this ingredient but not that one? **Food Quality and Preference**, 87, p. 104062, 2021/01/01/ 2021.

MASURE, H. G.; WOUTERS, A. G. B.; FIERENS, E.; DELCOUR, J. A. Impact of egg white and soy proteins on structure formation and crumb firming in gluten-free breads. **Food Hydrocolloids**, 95, p. 406-417, 2019/10/01/ 2019.

MATOS, M. E.; ROSELL, C. M. Understanding gluten-free dough for reaching breads with physical quality and nutritional balance. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 95, n. 5, p. 653-661, 2015.

MATSUO, H.; YOKOOJI, T.; TAOGOSHI, T. Common food allergens and their IgE-binding epitopes. **Allergology International**, 64, n. 4, p. 332-343, 2015/10/01/ 2015.

MCDONAGH, P. 7 - Native, modified and clean label starches in foods and beverages. *In*: BAINES, D. e SEAL, R. (Ed.). **Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings**: Woodhead Publishing, 2012. p. 162-174.

MERTENS, B. Packaging aspects of high-pressure food processing technology. **Packaging Technology and Science**, 6, n. 1, p. 31-36, 1993.

MILLER. Role of Salt in Baking. **Cereal Foods World**, 53, 01/01 2008.

MIÑARRO, B.; ALBANELL, E.; AGUILAR, N.; GUAMIS, B. *et al.* Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread. **Journal of Cereal Science**, 56, n. 2, p. 476-481, 2012/09/01/ 2012.

MIR, S. A.; SHAH, M. A.; NAIK, H. R.; ZARGAR, I. A. Influence of hydrocolloids on dough handling and technological properties of gluten-free breads. **Trends in Food Science & Technology**, 51, p. 49-57, 2016/05/01/ 2016.

MOHAMMADI, M.; AZIZI, M.-H.; NEYESTANI, T. R.; HOSSEINI, H. *et al.* Development of gluten-free bread using guar gum and transglutaminase. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, 21, p. 1398-1402, 2015/01/25/ 2015.

MOHAMMADI, M.; SADEGHNIA, N.; AZIZI, M.-H.; NEYESTANI, T.-R. *et al.* Development of gluten-free flat bread using hydrocolloids: Xanthan and CMC. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, 20, n. 4, p. 1812-1818, 2014/07/25/ 2014.

MOKRZYCKI, W.; TATOL, M. Color difference Delta E - A survey. **Machine Graphics and Vision**, 20, p. 383-411, 04/01 2011.

MOLINA-INFANTE, J.; CARROCCIO, A. Suspected Nonceliac Gluten Sensitivity Confirmed in Few Patients After Gluten Challenge in Double-Blind, Placebo-Controlled Trials. **Clinical Gastroenterology and Hepatology**, 15, n. 3, p. 339-348, 2017.

MOLLEKOPF, N.; TREPPE, K.; FIALA, P.; DIXIT, O. Vacuum Microwave Treatment of Potato Starch and the Resultant Modification of Properties. **Chemie Ingenieur Technik**, 83, n. 3, p. 262-272, 2011.

MORENO-VILET, L.; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, H. M.; VILLANUEVA-RODRÍGUEZ, S. J. Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel thermal processing. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 50, p. 196-206, 2018/12/01/ 2018.

MORREALE, F.; BENAVENT-GIL, Y.; ROSELL, C. M. Inulin enrichment of gluten free breads: Interaction between inulin and yeast. **Food Chemistry**, 278, p. 545-551, 2019/04/25/ 2019.

MUTLU, S.; KAHRAMAN, K.; ÖZTÜRK, S. Optimization of resistant starch formation from high amylose corn starch by microwave irradiation treatments and characterization of starch preparations. **International Journal of Biological Macromolecules**, 95, p. 635-642, 2017/02/01/ 2017.

NAQASH, F.; GANI, A.; GANI, A.; MASOODI, F. A. Gluten-free baking: Combating the challenges - A review. **Trends in Food Science & Technology**, 66, p. 98-107, 2017/08/01/ 2017.

NEPA. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 2011.

NOZAWA, M.; ITO, S.; ARAI, E. Effect of ovalbumin on the quality of gluten-free rice flour bread made with soymilk. **LWT - Food Science and Technology**, 66, p. 598-605, 2016/03/01/ 2016.

O'SHEA, N.; ARENDT, E. K.; GALLAGHER, E. Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 16, p. 1-10, 2012/10/01/ 2012.

OLBRICH, R.; HUNDT, M.; GREWE, G. **Willingness to Pay in Food Retailing—An Empirical Study of Consumer Behaviour in the Context of the Proliferation of Organic Products**. Springer Gabler, Wiesbaden, 2015. (European Retail Research).

OOMS, N.; DELCOUR, J. A. How to impact gluten protein network formation during wheat flour dough making. **Current Opinion in Food Science**, 25, p. 88-97, 2019/02/01/ 2019.

PADALINO, L.; DEL NOBILE, M. A.; LA GATTA, B.; RUTIGLIANO, M. *et al.* Effects of microwave treatment of durum wheat kernels on quality characteristics of flour and pasta. **Food Chemistry**, 283, p. 454-461, 2019/06/15/ 2019.

PALABIYIK, I.; YILDIZ, O.; TOKER, O. S.; CAVUS, M. *et al.* Investigating the addition of enzymes in gluten-free flours – The effect on pasting and textural properties. **LWT - Food Science and Technology**, 69, p. 633-641, 2016/06/01/ 2016.

PALOSUO, K.; ALENIUS, H.; VARJONEN, E.; KOIVULUHTA, M. *et al.* A novel wheat gliadin as a cause of exercise-induced anaphylaxis. **J Allergy Clin Immunol**, 103, n. 5 Pt 1, p. 912-917, May 1999.

PANAGIOTOU, S.; KONTOGIANNI, M. A cost comparison between gluten – free and conventional foods. **Clinical Nutrition ESPEN**, 13, p. e56, 2016.

PĂTRAȘCU, L.; BANU, I.; VASILEAN, I.; APRODU, I. Effect of gluten, egg and soy proteins on the rheological and thermo-mechanical properties of wholegrain rice flour. **Food Science and Technology International**, 23, n. 2, p. 142-155, 2017.

PAVANELLI, A. P.; CICHELO, M. S.; PALMA, E. J. **Emulsificantes como agentes de aeração em bolos**. Oxíteno. São Paulo. 2000.

PEGG, A. M. 8 - The application of natural hydrocolloids to foods and beverages. *In*: BAINES, D. e SEAL, R. (Ed.). **Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings**: Woodhead Publishing, 2012. p. 175-196.

PENFIELD, M. P.; CAMPBELL, A. M. CHAPTER 19 - YEAST BREADS. *In*: PENFIELD, M. P. e CAMPBELL, A. M. (Ed.). **Experimental Food Science (Third Edition)**. San Diego: Academic Press, 1990. p. 418-441.

PEREIRA, R. N.; SOUZA, B. W. S.; CERQUEIRA, M. A.; TEIXEIRA, J. A. *et al.* Effects of Electric Fields on Protein Unfolding and Aggregation: Influence on Edible Films Formation. **Biomacromolecules**, 11, n. 11, p. 2912-2918, 2010/11/08 2010.

PHONGTHAI, S.; D'AMICO, S.; SCHOENLECHNER, R.; HOMTHAWORNCHOO, W. *et al.* Effects of protein enrichment on the properties of rice flour based gluten-free pasta. **LWT**, 80, p. 378-385, 2017/07/01/ 2017.

PHONGTHAI, S.; D'AMICO, S.; SCHOENLECHNER, R.; RAWDKUEN, S. Comparative study of rice bran protein concentrate and egg albumin on gluten-free bread properties. **Journal of Cereal Science**, 72, p. 38-45, 2016.

PICO, J.; REGUILÓN, M. P.; BERNAL, J.; GÓMEZ, M. Effect of rice, pea, egg white and whey proteins on crust quality of rice flour-corn starch based gluten-free breads. **Journal of Cereal Science**, 86, p. 92-101, 2019/03/01/ 2019.

PONGJARUVAT, W.; METHACANON, P.; SEETAPAN, N.; FUONGFUCHAT, A. *et al.* Influence of pregelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jasmine rice breads. **Food Hydrocolloids**, 36, p. 143-150, 2014.

POOLE, J. A.; BARRIGA, K.; LEUNG, D. Y.; HOFFMAN, M. *et al.* Timing of initial exposure to cereal grains and the risk of wheat allergy. **Pediatrics**, 117, n. 6, p. 2175-2182, Jun 2006.

PRASAD, B. J.; SHARAVANAN, P. S.; SIVARAJ, R. Health benefits of black rice – A review. **Grain & Oil Science and Technology**, 2, n. 4, p. 109-113, 2019.

RENCHER, A. C. Principal Component Analysis. *In: Methods of Multivariate Analysis*, 2002. p. 380-407.

RENZETTI, S.; ARENDT, E. K. Effects of oxidase and protease treatments on the breadmaking functionality of a range of gluten-free flours. **European Food Research and Technology**, 229, n. 2, p. 307-317, 2009/06/01 2009.

RENZETTI, S.; DAL BELLO, F.; ARENDT, E. K. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. **Journal of Cereal Science**, 48, n. 1, p. 33-45, 2008/07/01/ 2008.

RESEARCH, G. R. **Gluten-Free Products Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Bakery Products, Dairy/Dairy Alternatives), By Distribution Channel (Grocery Stores, Mass Merchandiser), By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2027**. p. 100. 2020.

REUNALA, T.; SALMI, T. T.; HERVONEN, K. Dermatitis herpetiformis: pathognomonic transglutaminase IgA deposits in the skin and excellent prognosis on a gluten-free diet. **Acta Derm Venereol**, 95, n. 8, p. 917-922, Nov 2015.

ROJAS, J. A.; ROSELL, C. M.; BENEDITO DE BARBER, C. Pasting properties of different wheat flour-hydrocolloid systems. **Food Hydrocolloids**, 13, n. 1, p. 27-33, 1999/01/01/ 1999.

ROMAN, L.; GOMEZ, M.; HAMAKER, B. R.; MARTINEZ, M. M. Banana starch and molecular shear fragmentation dramatically increase structurally driven slowly digestible starch in fully gelatinized bread crumb. **Food Chemistry**, 274, p. 664-671, 2019/02/15/ 2019.

ROMÁN, L.; MARTÍNEZ, M. M.; ROSELL, C. M.; GÓMEZ, M. Effect of Microwave Treatment on Physicochemical Properties of Maize Flour. **Food and Bioprocess Technology**, 8, n. 6, p. 1330-1335, 2015/06/01 2015.

ROMAN, L.; REGUILON, M. P.; GOMEZ, M.; MARTINEZ, M. M. Intermediate length amylose increases the crumb hardness of rice flour gluten-free breads. **Food Hydrocolloids**, 100, 2020.

ROMAN, L.; REGUILON, M. P.; MARTINEZ, M. M.; GOMEZ, M. The effects of starch cross-linking, stabilization and pre-gelatinization at reducing gluten-free bread staling. **LWT**, 132, p. 109908, 2020/10/01/ 2020.

ROMÁN, S.; SÁNCHEZ-SILES, L. M.; SIEGRIST, M. The importance of food naturalness for consumers: Results of a systematic review. **Trends in Food Science & Technology**, 67, p. 44-57, 2017/09/01/ 2017.

ROSA, D. S.; GUEDES, C. G. F.; PEDROSO, A. G. Gelatinized and nongelatinized corn starch/ poly(ϵ -caprolactone) blends: characterization by rheological, mechanical and morphological properties. **Polímeros**, 14, p. 181-186, 2004.

ROSELL, C. M.; BARRO, F.; SOUSA, C.; MENA, M. C. Cereals for developing gluten-free products and analytical tools for gluten detection. **Journal of Cereal Science**, 59, n. 3, p. 354-364, 2014/05/01/ 2014.

ROZIN, P.; FISCHLER, C.; SHIELDS-ARGELÈS, C. European and American perspectives on the meaning of natural. **Appetite**, 59, n. 2, p. 448-455, 2012/10/01/ 2012.

RUAN, R.; YE, X.; CHEN, P.; DOONA, C. J. Ohmic Heating. *In*: RICHARDSON, P. (Ed.). **Thermal Technologies in Food Processing**. Londres: Woodhead Publishing Limited, 2001.

RUBIO-TAPIA, A.; LUDVIGSSON, J.; BRANTNER, T. L.; MURRAY, J. *et al.* **The Prevalence of Celiac Disease in the United States**. 2012. 1538-1544 p.

SAMPLE, D. A.; SUNWOO, H. H.; HUYNH, H. Q.; RYLANCE, H. L. *et al.* AGY, a Novel Egg Yolk-Derived Anti-gliadin Antibody, Is Safe for Patients with Celiac Disease. **Digestive Diseases and Sciences**, 62, n. 5, p. 1277-1285, 2017/05/01 2017.

SANDIFORD, C. P.; TATHAM, A. S.; FIDO, R.; WELCH, J. A. *et al.* Identification of the major water/salt insoluble wheat proteins involved in cereal hypersensitivity. **Clin Exp Allergy**, 27, n. 10, p. 1120-1129, Oct 1997.

SANG, S.; XU, D.; MA, Y.; JIN, Y. *et al.* Effect of egg yolk on the properties of wheat dough and bread. **Food Bioscience**, 37, p. 100689, 2020/10/01/ 2020.

SANTOS, F. G.; AGUIAR, E. V.; CENTENO, A. C. L. S.; ROSELL, C. M. *et al.* Effect of added psyllium and food enzymes on quality attributes and shelf life of chickpea-based gluten-free bread. **LWT**, p. 110025, 2020/08/07/ 2020.

SAPONE, A.; BAI, J. C.; CIACCI, C.; DOLINSEK, J. *et al.* Spectrum of gluten-related disorders: consensus on new nomenclature and classification. **BMC Medicine**, 10, n. 1, p. 13, February 07 2012. journal article.

SASTRY, S. Ohmic Heating and Moderate Electric Field Processing. **Food Science and Technology International**, 14, n. 5, p. 419-422, 2008.

SAUERESSIG, A. L. C.; KAMINSKI, T. A.; ESCOBAR, T. D. Inclusão de fibra alimentar em pães isentos de glúten. **Brazilian Journal of Food Technology**, 19, 2016.

SCHERF, K. A. Immunoreactive cereal proteins in wheat allergy, non-celiac gluten/wheat sensitivity (NCGS) and celiac disease. **Current Opinion in Food Science**, 25, p. 35-41, 2019/02/01/ 2019.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature methods**, 9, n. 7, p. 671-675, 2012.

SCIARINI, L. S.; RIBOTTA, P. D.; LEÓN, A. E.; PÉREZ, G. T. Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality. **Journal of Food Engineering**, 111, n. 4, p. 590-597, 2012/08/01/ 2012.

SCIBILIA, J.; PASTORELLO, E. A.; ZISA, G.; OTTOLENGHI, A. *et al.* Wheat allergy: A double-blind, placebo-controlled study in adults. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, 117, n. 2, p. 433-439, 2006/02/01/ 2006.

SEETAPAN, N.; LIMPARYOON, N.; YOOBERG, R.; LEELAWAT, B. *et al.* Influence of addition of extruded rice flour on preparation and quality of fresh gluten-free yellow alkaline noodles. **Journal of Cereal Science**, 90, p. 102828, 2019/11/01/ 2019.

SHARANAGAT, V. S.; SUHAG, R.; ANAND, P.; DESWAL, G. *et al.* Physico-functional, thermo-pasting and antioxidant properties of microwave roasted sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench]. **Journal of Cereal Science**, 85, p. 111-119, 2019/01/01/ 2019.

SHEN, Y.; CHEN, G.; LI, Y. Bread characteristics and antioxidant activities of Maillard reaction products of white pan bread containing various sugars. **LWT - Food Science and Technology**, 95, p. 308-315, 2018/09/01/ 2018.

SHEWRY, P. R. Wheat. **Journal of Experimental Botany**, 60, n. 6, p. 1537-1553, 2009.

SHEWRY, P. R.; HALFORD, N. G.; BELTON, P. S.; TATHAM, A. S. The structure and properties of gluten: an elastic protein from wheat grain. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, 357, n. 1418, p. 133-142, 2002.

SHOAIB, M.; SHEHZAD, A.; OMAR, M.; RAKHA, A. *et al.* Inulin: Properties, health benefits and food applications. **Carbohydrate Polymers**, 147, p. 444-454, 2016/08/20/ 2016.

SIGÜENZA-ANDRÉS, T.; GALLEGO, C.; GÓMEZ, M. Can cassava improve the quality of gluten free breads? **LWT**, 149, p. 111923, 2021/09/01/ 2021.

SILANO, M.; VINCENTINI, O.; DE VINCENZI, M. Toxic, immunostimulatory and antagonist gluten peptides in celiac disease. **Curr Med Chem**, 16, n. 12, p. 1489-1498, 2009.

SILVA, M. R.; SILVA, M. A. A. P. d.; CHANG, Y. K. *Utilização da farinha de jatobá (Hymenaea stigonocarpa Mart.) na elaboração de biscoitos tipo cookie e avaliação de aceitação por testes sensoriais afetivos univariados e multivariados.* **Food Science and Technology**, 18, p. 25-34, 1998.

SIMONATO, B.; DE LAZZARI, F.; PASINI, G.; POLATO, F. *et al.* IgE binding to soluble and insoluble wheat flour proteins in atopic and non-atopic patients suffering from gastrointestinal symptoms after wheat ingestion. **Clin Exp Allergy**, 31, n. 11, p. 1771-1778, Nov 2001.

SINGH, P.; ARORA, A.; STRAND, T. A.; LEFFLER, D. A. *et al.* Global Prevalence of Celiac Disease: Systematic Review and Meta-analysis. **Clinical Gastroenterology and Hepatology**, 16, n. 6, p. 823-836.e822, 2018.

SLIKKER, W.; DE SOUZA LIMA, T. A.; ARCHELLA, D.; DE SILVA, J. B. *et al.* Emerging technologies for food and drug safety. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, 98, p. 115-128, 2018/10/01/ 2018.

SOLAESA, Á. G.; VILLANUEVA, M.; MUÑOZ, J. M.; RONDA, F. Dry-heat treatment vs. heat-moisture treatment assisted by microwave radiation: Techno-functional and rheological modifications of rice flour. **LWT**, 141, p. 110851, 2021/04/01/ 2021.

SOLLID, L. M.; KHOSLA, C. Future therapeutic options for celiac disease. **Nature Clinical Practice Gastroenterology & Hepatology**, 2, p. 140, 03/01/online 2005. Review Article.

SRIDHARAN, S.; MEINDERS, M. B. J.; BITTER, J. H.; NIKIFORIDIS, C. V. Pea flour as stabilizer of oil-in-water emulsions: Protein purification unnecessary. **Food Hydrocolloids**, 101, p. 105533, 2020/04/01/ 2020.

STAUFFER, C. E. Principles of Dough Formation. *In: Technology of Breadmaking*. Boston, MA: Springer, 2007.

SUMNU, G. A review on microwave baking of foods. **International Journal of Food Science & Technology**, 36, n. 2, p. 117-127, 2001.

SUN, D.-W. **Emerging Technologies for Food Processing**. Second edition ed. Academic Press, 2014. 635 p. 978-0-12-411479-1.

SUN, X.; OHANENYE, I. C.; AHMED, T.; UDENIGWE, C. C. Microwave treatment increased protein digestibility of pigeon pea (*Cajanus cajan*) flour: Elucidation of underlying mechanisms. **Food Chemistry**, 329, p. 127196, 2020/11/01/ 2020.

TALENS, C.; ÁLVAREZ-SABATEL, S.; RIOS, Y.; RODRÍGUEZ, R. Effect of a new microwave-dried orange fibre ingredient vs. a commercial citrus fibre on texture and sensory properties of gluten-free muffins. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 44, p. 83-88, 2017/12/01/ 2017.

TEXTURE TECHNOLOGIES CORP. AND STABLE MICROSYSTEMS. **Overview of Texture Profile Analysis**. 2019. Disponível em: <https://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis#tpa-measurements>. Acesso em: 26/05/2020.

TORBICA, A.; HADNADEV, M.; DAPCEVIC, T. Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheatflour. **Food Hydrocolloids**, 24, p. 626-632, 2010.

TSEVDOU, M.; GOGOU, E.; TAOUKIS, P. 4 - High hydrostatic pressure processing of foods. *In: CHEMAT, F. e VOROBIEV, E. (Ed.). Green Food Processing Techniques*: Academic Press, 2019. p. 87-137.

TULBEK, M. C.; LAM, R. S. H.; WANG, Y.; ASAVAJARU, P. *et al.* Chapter 9 - Pea: A Sustainable Vegetable Protein Crop. *In: NADATHUR, S. R.; WANASUNDARA, J. P. D., et al (Ed.). Sustainable Protein Sources*. San Diego: Academic Press, 2017. p. 145-164.

TUTA ŞİMŞEK, S. Evaluation of partial-vacuum baking for gluten-free bread: Effects on quality attributes and storage properties. **Journal of Cereal Science**, 91, p. 102891, 2020/01/01/ 2020.

VALLONS, K. J. R.; RYAN, L. A. M.; ARENDT, E. K. Promoting structure formation by high pressure in gluten-free flours. **LWT - Food Science and Technology**, 44, n. 7, p. 1672-1680, 2011/09/01/ 2011.

VAN DEN BERG, R. W.; HOOGLAND, H.; LELIEVELD, H. L. M.; VAN SCHEPDAEL, L. High Pressure Equipment Designs for Food Processing Applications. *In: HENDRICKX M.E.G., K. D., Ludikhuyze L., Van Loey A., Heinz V. (Ed.). Ultra High Pressure Treatments of Foods*. Boston, MA: Springer, 2001. (Food Engineering Series).

VANGA, S. K.; WANG, J.; RAGHAVAN, V. Effect of ultrasound and microwave processing on the structure, in-vitro digestibility and trypsin inhibitor activity of soymilk proteins. **LWT**, 131, p. 109708, 2020/09/01/ 2020.

VARELA, P.; FISZMAN, S. M. Exploring consumers' knowledge and perceptions of hydrocolloids used as food additives and ingredients. **Food Hydrocolloids**, 30, n. 1, p. 477-484, 2013/01/01/ 2013.

VELÁSQUEZ-HERRERA, J. D.; LUCAS-AGUIRRE, J. C.; QUINTERO-CASTAÑO, V. D. Physical-chemical characteristics determination of potato (*Solanum phureja* Juz. & Bukasov) starch. **Acta Agronómica**, 66, p. 323-330, 2017.

VILLANUEVA, M.; HARASYM, J.; MUÑOZ, J. M.; RONDA, F. Microwave absorption capacity of rice flour. Impact of the radiation on rice flour microstructure, thermal and viscometric properties. **Journal of Food Engineering**, 224, p. 156-164, 2018/05/01/ 2018.

VILLANUEVA, M.; HARASYM, J.; MUÑOZ, J. M.; RONDA, F. Rice flour physically modified by microwave radiation improves viscoelastic behavior of doughs and its bread-making performance. **Food Hydrocolloids**, 90, p. 472-481, 2019/05/01/ 2019.

WANG, K.; LU, F.; LI, Z.; ZHAO, L. *et al.* Recent developments in gluten-free bread baking approaches: a review. **Food Science and Technology**, 37, n. 1, p. 1-9, 2017.

WANG, M.; SUN, M.; ZHANG, Y.; CHEN, Y. *et al.* Effect of microwave irradiation-retrogradation treatment on the digestive and physicochemical properties of starches with different crystallinity. **Food Chemistry**, 298, p. 125015, 2019/11/15/ 2019.

WANG, W.-C.; SASTRY, S. K. Starch gelatinization in ohmic heating. **Journal of Food Engineering**, 34, n. 3, p. 225-242, 1997/11/01/ 1997.

WANG, W.; GUO, Z.; LI, R.; ZHANG, J. *et al.* Ultra-thin, planar, broadband, dual-polarity plasmonic metalens. **Photonics Research**, 3, n. 3, p. 68-71, 2015/06/01 2015.

WILLIAMS, P. A.; PHILLIPS, G. O. 1 - Introduction to food hydrocolloids. *In*: PHILLIPS, G. O. e WILLIAMS, P. A. (Ed.). **Handbook of Hydrocolloids (Second Edition)**: Woodhead Publishing, 2009. p. 1-22.

WITCZAK, M.; KORUS, J.; ZIOBRO, R.; JUSZCZAK, L. Waxy starch as dough component and anti-staling agent in gluten-free bread. **LWT**, 99, p. 476-482, 2019/01/01/ 2019.

WU, T.; WANG, L.; LI, Y.; QIAN, H. *et al.* Effect of milling methods on the properties of rice flour and gluten-free rice bread. **LWT**, 108, p. 137-144, 2019/07/01/ 2019.

XU, Y.-Y.; JIANG, N.-N.; WEN, L.-P.; LI, H. *et al.* Wheat allergy in patients with recurrent urticaria. **World Allergy Organization Journal**, 12, n. 2, p. 100013, 2019/01/01/ 2019.

YANO, H.; FUKUI, A.; KAJIWARA, K.; KOBAYASHI, I. *et al.* Development of gluten-free rice bread: Pickering stabilization as a possible batter-swelling mechanism. **LWT - Food Science and Technology**, 79, p. 632-639, 2017.

YOUNG, N. W. G.; O'SULLIVAN, G. R. 5 - The influence of ingredients on product stability and shelf life. *In*: KILCAST, D. e SUBRAMANIAM, P. (Ed.). **Food and Beverage Stability and Shelf Life**: Woodhead Publishing, 2011. p. 132-183.

YU, S.; MA, Y.; SUN, D.-W. Impact of amylose content on starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage. **Journal of Cereal Science**, 50, n. 2, p. 139-144, 2009/09/01/ 2009.

ZAILANI, M. A.; KAMILAH, H.; HUSAINI, A.; RIZAL AWANG SERUJI, A. Z. *et al.* Functional and digestibility properties of sago (Metroxylon sagu) starch modified by microwave heat treatment. **Food Hydrocolloids**, p. 107042, 2021/07/15/ 2021.

ZHAO, Y.; SALDAÑA, M. D. A. Hydrolysis of cassava starch, chitosan and their mixtures in pressurized hot water media. **The Journal of Supercritical Fluids**, 147, p. 293-301, 2019/05/01/ 2019.

ZHONG, Y.; XIANG, X.; ZHAO, J.; WANG, X. *et al.* Microwave pretreatment promotes the annealing modification of rice starch. **Food Chemistry**, 304, p. 125432, 2020/01/30/ 2020.