

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Programa de Pós-Graduação e Ciência e Tecnologia de Alimentos

Juliana Dara Rabêlo Silva

**DESENVOLVIMENTO DE MASSA ÁCIDA COM FARINHA DE FEIJÃO PARA A
PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN**

Diamantina

2020

Juliana Dara Rabêlo Silva

**DESENVOLVIMENTO DE MASSA ÁCIDA COM FARINHA DE FEIJÃO PARA A
PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Mestra.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Schmiele

Diamantina

2020

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586c

Silva, Juliana Dara Rabêlo

Desenvolvimento de massa ácida com farinha de feijão para a produção de pão sem glúten / Juliana Dara Rabêlo Silva, 2021.
129 p.: il.

Orientador: Marcio Schmiele

Dissertação (Mestrado– Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2021.

1. Celiaco. 2. Panificação. 3. Feijão caupi. 4. Feijão carioca. 5. Digestibilidade. 6. Fermentação natural. I. Schmiele, Marcio. II. Título. III. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

CDD 664.7523

Ficha Catalográfica – Sistema de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecária: Viviane Pedrosa – CRB6/2641

JULIANA DARA RABÉLO SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE MASSA ÁCIDA COM FARINHA DE FEIJÃO PARA
A PRODUÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN**

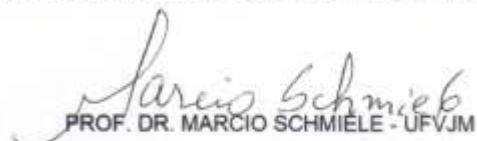
Dissertação apresentada ao
MESTRADO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, nível
de MESTRADO como parte dos
requisitos para obtenção do título de
MESTRA EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Orientador: Prof. Dr. Marcio Schmiele

Data da aprovação: 11/12/2020


PROFA. DRA. CLAUDIA REGINA VIEIRA - UFMG


PROFA. DRA. LARA TATIANE GEREMIAS FERREIRA BRITES - FAIT


PROF. DR. MARCIO SCHMIELE - UFVJM

DIAMANTINA

AGRADECIMENTOS

A Deus, por nunca ter me desamparado, por ter me sustentado frente aos desafios e me dado forças para continuar no caminho.

A minha mãe Eunice, base de tudo na minha vida, obrigada por tudo, por todo amor, força, motivação e pelo seu colo que sempre me acolheu quando precisei.

Ao meu pai Júlio Cesar, pelo suporte financeiro que foi essencial para minha permanência em Diamantina.

A minha “avó” Anna por todo seu conhecimento e sabedoria e ao seu filho e meu padrasto Rogério, por todo acolhimento, sou grata a vocês por todo incentivo e amparo.

Aos meus irmãos Julian Victor e Victor Gabriel pelo amor incondicional,

A minha querida e amada tia Cristiane, pelos conselhos e motivação.

Aos meus queridos amigos: Fillipe, Raquel, Cleonice, Silvia, Geovana, Luiz e Dorian, pela convivência, pela partilha de momentos e sentimentos, pela atenção e paciência.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcio Schmiele, por toda paciência, compreensão e dedicação, por toda confiança depositada em mim, pelos grandes ensinamentos e principalmente por contribuir com o meu crescimento pessoal e profissional.

A toda equipe do Laboratório de Tecnologia de Cereais pela convivência e suporte no desenvolvimento da pesquisa, especialmente à Mariana e à Paula por compartilharem do seu conhecimento, ao Guilherme por tornar meus dias mais alegres e principalmente pelo auxílio na realização das análises, ao Sander, Daniela e todos os envolvidos na execução das atividades, agradeço pela contribuição.

Aos técnicos dos Laboratórios do ICT, especialmente a Keyla, Nathália e Maraisa, pela assistência prestada ao longo da pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos por contribuírem com o seu conhecimento.

À banca examinadora, pela colaboração na conclusão do trabalho.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri pela oportunidade da minha formação acadêmica na graduação e, agora, na pós-graduação.

A todos que de alguma forma contribuíram com a minha jornada e no desenvolvimento deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

O aumento na prevalência de doença celíaca e de distúrbios associados ao glúten favorecem no aumento da demanda por produtos sem glúten e, juntos à busca por produtos alimentícios com maior valor nutricional ou benefícios para a saúde, tem influenciado e impulsionado a expansão do mercado sem glúten nos últimos anos. A exclusão do glúten resulta em pães de qualidade inferior, principalmente em relação ao volume específico e à maciez do miolo, bem como as propriedades sensoriais e nutricionais. A utilização de farinhas de leguminosas tem sido empregada na produção de novos produtos devido ao rico valor nutricional. A biotecnologia de fermentação natural tem sido estudada e seus efeitos dinâmicos demonstram influenciar nas propriedades funcionais, sensoriais, estruturais e nutricionais da panificação. O objetivo deste estudo foi verificar a aplicabilidade da massa ácida de farinha de arroz integral, farinha de feijão carioca e farinha de feijão caupi na produção de massas ácidas e de pães sem glúten. Foram elaboradas 6 massas ácidas sem e com a adição de leveduras (MA: massa com farinha de arroz integral, MP: massa com adição de farinha de feijão carioca e MV: massa com adição de farinha feijão caupi e respectivamente com adição de leveduras sendo MAf, MPf e MVf). Os pães elaborados foram classificados de acordo com a massa ácida utilizada, sendo: PMA: pão de massa ácida de farinha de arroz integral, PMP: pão de massa ácida de farinha de feijão carioca e PMV: pão de massa ácida de farinha de feijão caupi, e com as massas ácidas adicionadas de leveduras sendo: PMAf, PMPf e PMVf. Foram realizadas granulometria das farinhas, pH e acidez total titulável (ATT) nas massas ácidas e pães, volume de expansão das massas ácidas, composição centesimal (cinzas, carboidratos digeríveis, lipídeos, proteínas, fibras alimentares, valor calórico total) cor e umidade nas farinhas e pães, foi determinado o índice de nitrogênio solúvel, digestibilidade de proteínas, volume específico, textura instrumental e atividade de água nos pães. Os resultados demonstraram estabilidade na acidez das massas com redução do pH e aumento da acidez titulável total ao longo de 18 dias de fermentação. As massas ácidas com farinha de feijão apresentaram maior volume de expansão. Os pães elaborados com as massas ácidas adicionadas de leveduras (PMAf, PMPf e PMVf) apresentaram maior umidade e menores digestibilidade de proteínas, firmeza, dureza e mastigabilidade do miolo e menor variação de cor instrumental. O pão de arroz integral (PMAf) apresentou menor volume específico ($1,83 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$), firmeza (27,32 N) e dureza (28,71 N). Os pães de feijão caupi e feijão carioca (PMV e PMP) apresentaram parâmetros de textura inferiores, porém este efeito deletério foi minimizado com o uso de massa ácida adicionada de levedura (PMPf e PMVf),

em que o pão de feijão carioca PMPf apresentou os melhores resultados, indicando que há a necessidade de adição do fermento biológico como cultura iniciadora. Os pães com farinha de feijão apresentaram maior teor de cinzas, proteínas e fibras alimentares e menor teor de carboidratos digeríveis. A maior solubilidade de nitrogênio e maior digestibilidade proteica foi verificada nos pães de feijão caupi e carioca. Os resultados indicaram correlações entre os parâmetros de textura, físico-químicos (pH e ATT) e composição centesimal dos pães, em que a umidade, a solubilidade de nitrogênio e a digestibilidade proteica mostra-se relacionada com as características de textura dos pães. A adição de farinha de feijão carioca e feijão caupi na produção de pães sem glúten afetaram as propriedades físicas e estruturais dos pães, porém, a adição de fermento biológico na produção inicial de suas respectivas massas ácidas, demonstrou influenciar nas características de qualidade finais. Assim, foi possível a elaboração de pães sem glúten com farinha e massa ácida de feijão carioca e feijão caupi com características tecnológicas adequadas e classificá-los como alimentos ricos em fibras alimentares e fonte de proteínas.

Palavras-chaves: Celíaco. Panificação. Feijão caupi. Feijão carioca. Digestibilidade. Fermentação natural.

ABSTRACT

The increase in the prevalence of celiac disease and disorders associated with gluten favor an increase in demand for gluten-free products and, together with the search for food products with greater nutritional value or health benefits, has influenced and driven the expansion of the gluten-free market in the last years. The exclusion of gluten results in breads of inferior quality, mainly in relation to the specific volume and softness of the crumb, as well as the sensory and nutritional properties. The use of leguminous flours has been used in the production of new products due to the rich nutritional value. The biotechnology of natural fermentation has been studied and its dynamic effects have been shown to influence the functional, sensory, structural and nutritional properties of bread making. The objective of this study was to verify the applicability of the brown rice flour, carioca (common) bean flour and cowpea flour in the production of sourdough and gluten-free bread. Six sourdough were prepared without and with the addition of yeast (MA: sourdough with brown rice flour, MP: sourdough with addition of carioca bean flour and MV: sourdough with addition of cowpea beans and respectively with addition of yeasts being MAf, MPf and MVf). The prepared breads were classified according to the sourdough used, being: PMA: sourdough bread from brown rice flour, PMP: sourdough bread from common beans flour and PMV: sourdough bread from cowpea, and with the sourdough added with yeasts being: PMAf, PMPf and PMVf). Flour granulometry, pH and total titratable acidity (TTA) were carried out on the sourdough and breads, volume of acidic masses (sourdough) expansion, proximate composition (ash, digestible carbohydrates, lipids, proteins, dietary fibers, total caloric value) color and moisture in the flours and breads, the soluble nitrogen index, protein digestibility, specific volume, instrumental texture and water activity in the breads were determined. The results showed stability in the acidity of the masses with a reduction in pH and an increase in total titratable acidity over 18 days of fermentation. The sourdough with bean flour showed a greater volume of expansion. Breads made with sourdough added with yeast (PMAf, PMPf and PMVf) showed higher moisture and less protein digestibility, firmness, hardness and chewability of the crumb and less variation in instrumental color. Brown rice bread (PMAf) had a lower specific volume ($1.83 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$), firmness (27.32 N) and hardness (28.71 N). The cowpea and carioca bean breads (PMV and PMP) had lower texture parameters, however this deleterious effect was minimized with the use of acid yeast added mass (PMPf and PMVf), in which the PMPf carioca bean bread had the better results, indicating that there is a need to add biological yeast as a starter culture. Breads with bean flour had a higher content of ash, protein and dietary fiber and a lower content of digestible

carbohydrates. The higher nitrogen solubility and protein digestibility were found in cowpea and carioca beans. The results indicated correlations between the parameters of texture, physico-chemical (pH and ATT) and the proximate composition of the breads, in which moisture, nitrogen solubility and protein digestibility are shown related to the texture characteristics of the breads. The addition of carioca bean flour and cowpea beans in the production of gluten-free bread affected the physical and structural properties of the breads, however, the addition of biological yeast in the initial production of their respective acid doughs, has been shown to influence the final quality characteristics. It was possible to prepare gluten-free breads with flour and sourdough of carioca beans and cowpea beans with appropriate technological characteristics and classify them as foods rich in dietary fiber and source of proteins.

Keywords: Celiac. Bread. Flour. *Fabaceae*. Protein. Fermentation. Yeast.

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Teor de proteína bruta e frações de proteína em feijão carioca (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) e feijão caupi (<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp)	42
Tabela 3.2 – Composição nutricional de feijão carioca e feijão caupi	43
Tabela 4.1 – Denominação dos ensaios de acordo com a sua composição	73
Tabela 4.2 – Proporção de matérias primas em base farinha relacionadas a proporção das massas ácidas de farinha de arroz integral, feijão carioca e feijão caupi adicionadas à formulação dos pães sem glúten	74
Tabela 4.3 – Granulometria das farinhas de arroz integral, feijão carioca e feijão caupi	84
Tabela 4.4 – Composição centesimal (g. 100 g ⁻¹) e valor calórico total (kcal.100 g ⁻¹) das farinhas de arroz integral, feijão carioca e feijão caupi	86
Tabela 4.5 – Cor instrumental das farinhas de arroz integral, feijão carioca e feijão caupi	88
Tabela 4.6 – pH de massas ácidas elaboradas com farinha de arroz integral, farinha de feijão carioca e feijão caupi	90
Tabela 4.7 – Acidez total titulável de massas ácidas elaboradas com farinha de arroz integral, farinha de feijão carioca e feijão caupi	91
Tabela 4.8 – Volume de expansão de massas ácidas produzidas com farinha de arroz integral, feijão carioca e feijão caupi	95
Tabela 4.9 – Correlação de Pearson para pH, acidez titulável total e volume de expansão das massas em massas ácidas de farinha de arroz integral, feijão carioca e feijão caupi	96
Tabela 4.10 – Correlações de Pearson referente ao volume de expansão nas massas ácidas entre os diferentes tratamentos	100
Tabela 4.11 – pH e acidez total titulável da massa antes e após a fermentação e dos pães sem glúten, produzidos com massa ácida e farinhas de arroz integral, farinha de feijão carioca e feijão caupi	105
Tabela 4.12 – Correlações de Pearson para pH e ATT das massas e dos pães	105
Tabela 4.13 – Cor instrumental, atividade de água e umidade de pães sem glúten, produzidos com massa ácida e farinhas de arroz reconstituída, feijão carioca e feijão caupi	106
Tabela 4.14 – Correlação de Pearson para as características físico-químicas dos pães	107
Tabela 4.15 – Análise de imagem dos pães	108

Tabela 4.16 – Análises de perfil de textura e volume de pães sem glúten, produzidos com massa ácida e farinhas de arroz reconstituída, feijão carioca e feijão caupi	112
Tabela 4.17 – Correlação de Pearson para características físico-químicas, físicas e estruturais dos pães	112
Tabela 4.18 – Composição centesimal (g. 100 g ⁻¹), índice de nitrogênio solúvel (%) e valor energético (kcal. 100 g ⁻¹) em base úmida, de pães sem glúten, produzidos com massa ácida e farinhas de arroz integral, farinha de feijão carioca e feijão caupi	118
Tabela 4.19 – Correlação de Pearson para as características físico-químicas e composição centesimal dos pães	119

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	19
1.1 Referências	20
2 OBJETIVOS	23
2.1 Objetivo Geral	23
2.2 Objetivos Específicos	23
3 ARTIGO CIENTÍFICO I: A INTOLERÂNCIA AO GLÚTEN E INGREDIENTES E PROCESSOS NA PANIFICAÇÃO	25
3.1 Introdução	27
3.2 Distúrbios relacionados ao glúten	28
3.3 Glúten	32
3.4 Pão	33
3.5 Pão Sem Glúten	34
3.5.1 Ingredientes e biotecnologia no processamento de pães sem glúten	37
3.6 Fermentação e capacidade de expansão das massas	38
3.7 Arroz	39
3.8 Feijão	41
3.9 Amido	44
3.10 Hidrocoloides	46
3.11 Fermentação natural - Massa ácida	47
3.12 Conclusões	54
3.13 Referências	54
4. ARTIGO CIENTÍFICO II: PRODUÇÃO DE MASSA ÁCIDA E PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHA DE ARROZ INTEGRAL, FEIJÃO CARIOCA E FEIJÃO CAUPI: CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS, NUTRICIONAIS E ESTRUTURAIS	66
4.1 Introdução	70
4.2 Material e métodos	71
4.2.1 <i>Matéria prima</i>	71
4.2.2 <i>Obtenção das farinhas</i>	72
4.2.3 <i>Produção de massa ácida</i>	73
4.2.4 <i>Formulação dos pães sem glúten</i>	74

4.2.5 Composição centesimal	77
4.2.5.1 Umidade	77
4.2.5.2 Cinzas	78
4.2.5.3 Proteínas	78
4.2.5.4 Lipídeos	78
4.2.5.5 Carboidratos digeríveis	79
4.2.5.6 Fibra alimentar total	79
4.2.5.7 Valor calórico	79
4.2.6 Índice de nitrogênio solúvel	80
4.2.7 Digestibilidade de proteínas in vitro	80
4.2.8 Determinação de cor experimental	81
4.2.9 Determinação do volume de expansão das massas ácidas	81
4.2.10 Análise de pH e acidez total titulável	81
4.2.11 Análises específicas nos pães	82
4.2.11.1 Atividade de água	82
4.2.11.2 Volume específico	82
4.2.11.3 Textura instrumental	82
4.2.11.4 Análise de imagem	83
4.2.12 Análises estatísticas	83
4.3 Resultados e discussão	83
4.3.1 Caracterização das farinhas	83
4.3.1.1 Granulometria	83
4.3.1.2 Composição centesimal das farinhas	85
4.3.1.3 Cor instrumental	88
4.3.2 Caracterização das massas ácidas	88
4.3.2.1 pH e acidez total titulável	88
4.3.2.2 Volume de expansão – VEM	93
4.3.2.2 Correlação de variáveis – pH, ATT e VEM	94
4.3.3 Caracterização dos pães	102
4.3.3.1 pH e acidez total titulável das massas e dos pães	102
4.3.3.2 Cor instrumental, atividade de água e umidade dos pães	103
4.3.3.3 Análise de imagem, volume e textura instrumental dos pães	108

<i>4.3.3.4 Composição centesimal dos pães</i>	116
4.4 Conclusões	120
4.5 Referências	121
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	127

1 INTRODUÇÃO GERAL

O aumento da ingestão de alimentos que contêm glúten resulta em parte das diversas mudanças que ocorreram no padrão alimentar da população mundial, principalmente após o processo de industrialização, ou seja, houve uma maior incorporação dos cereais na dieta e alargamento na utilização de trigo pelas indústrias alimentícias (COZZOLINO, 2016). Este aumento reflete simultaneamente na maior ingestão dietética do glúten pela população em geral, associando-se em parte com: o constante aumento da prevalência da doença celíaca e de outros distúrbios associado às proteínas do glúten como a alergia ao trigo e a sensibilidade não celíaca ao glúten (SNCG) (HOLMES; MUIRHEAD, 2017). Os indivíduos que apresentam distúrbios relacionados à proteína do trigo precisam aderir a uma dieta livre de glúten, o que acarreta numa melhora dos sinais e sintomas a curto e longo prazo (RASHTAK; MURRAY, 2010).

Em vista de tais necessidades a indústria alimentícia precisa se adaptar, para atender não somente as demandas do mercado da panificação sem glúten como daqueles consumidores que estão frequentemente em busca de novas opções atribuídas à benefícios para a saúde. Porém existem grandes desafios na panificação sem glúten, principalmente pela perda das características de qualidade como: volume e maciez já que o glúten é o principal responsável pela qualidade final do produto (CAUVAIN, 2015). Para o pão ser considerado de qualidade deve apresentar atributos específicos que envolvam aspectos sensoriais como: aparência, cor, sabor e odor; físicos como: textura, formato e tamanho; nutricionais como: a presença de macronutrientes (carboidratos, proteínas e lipídeos) e micronutrientes como vitaminas e minerais (BOURNE, 2002).

Desta forma, a retirada da fração proteica responsável pela rede viscoelástica na produção de pão sem glúten reflete diretamente na escassez e/ou limitação da variedade de produtos sem glúten disponíveis no mercado (GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2004).

Os principais ingredientes utilizados na fabricação de pães sem glúten envolvem as farinhas isentas de glúten, amidos (nativos e modificados), hidrocolóides e farinhas proteicas ou proteínas isoladas (GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2004). Além disso, algumas fontes não convencionais de amido podem ser utilizadas na fabricação de pães sem glúten como: cereais (sorgo e painço); pseudocereais (quinoa e trigo sarraceno) e farinhas a base de raízes, tubérculos e leguminosas que podem ser aplicados como base ou como ingredientes adicionais para melhorar o valor nutricional dos produtos sem glúten (WITCZAK *et al.*, 2016).

Pesquisas tem demonstrado resultados positivos na aplicação de farinhas de leguminosas na fabricação de pães, principalmente como meio de fortificar e melhorar a

aplicabilidade de outras farinhas e ingredientes na formulação e enriquecer o produto nutricionalmente, devido ao alto teor de proteínas e fibras alimentares (MOHAMMED; AHMED; SENGE, 2012; SHIN; KIM; KIM, 2013; BHOL; DON BOSCO, 2014; RIZZELLO *et al.*, 2014; SHRIVASTAVA; CHAKRABORTY, 2018). Em pesquisas recentes, a presença de fibras alimentares possui ampla relação com a saúde em função dos benefícios que este carboidrato promove ao organismo (ANTUNES; FACHI; SOUZA, 2019; MENIS-HENRIQUE *et al.*, 2020).

Para melhorar a qualidade dos produtos da panificação sem glúten além de diferentes ingredientes as tecnologias ancestrais estão retomando o mercado e podem ser aplicados na fabricação de pães sem glúten. A biotecnologia de fermentação natural, massa ácida, massa madre ou *sourdough* consiste numa das atividades mais tradicionais, natural e sustentável ao longo dos anos com características metabólicas amplamente investigadas na determinação de propriedades físicas e nutricionais de pães pois apresenta capacidade de beneficiar a reologia da massa, aumentar a vida de prateleira e melhorar os perfis físicos (textura e volume), sensoriais (sabor e aroma) e nutricionais desses produtos bem como promover a maior disponibilidade de fibras alimentares, de minerais e a reduzir o índice glicêmico (GOBBETTI *et al.*, 2008; ZANNINI *et al.*, 2012; GOBBETTI *et al.*, 2014; DE VUYST *et al.*, 2016; ZHAO; SCHIEBER; GÄNZLE, 2016, CODA, *et al.*, 2017; PÉTEL; ONNO; PROST, 2017; BENDER *et al.*, 2018; VERNI; RIZZELLO; CODA, 2019; XU *et al.*, 2020; OLOJEDE; SANNI; BANWO, 2020; MAIDANA, 2020; BENDER; SCHÖNLECHNER, 2020).

A elaboração de pães, em combinação com farinhas de leguminosas e tecnologia de massa ácida apresenta-se como uma alternativa viável e promissora na panificação sem glúten, especialmente por apresentarem um perfil nutricional atraente devido ao seu alto teor de proteínas, fibras alimentares e minerais.

1.1 Referências

ANTUNES, K. H.; FACHI, J. L.; SOUZA, A. P. D. Microbiota-derived acetate protects against respiratory syncytial virus infection through a GPR43-type 1 interferon response. **Nature**, v. 10, p. 1-17, 2019.

BENDER, D. *et al.* Effects of selected lactobacilli on the functional properties and stability of gluten-free sourdough bread. **European Food Research and Technology**, v. 244, p. 1037 – 1046, 2018.

BHOL, S.; DON BOSCO, S. J. Influence os malted finger millet and red kidney bean flour on quality characteristics of developed bread. **LWT – Food Science and Technology**, v. 55, p. 294 – 300, 2014.

BOURNE, M. C. Texture, Viscosity, and Food. In: Bourne, M. C. Food Texture and Viscosity. 2nd ed. New York: Academic Press, 2002. 416p. 1st chapter.

CAUVAIN, S. **Technology of breadmaking**. 3^a ed. Witney, UK: Springer International Publishing. 2015.

CODA, R. *et al.* Improvement of the Protein Quality of Wheat Bread Through Faba Bean Sourdough Addition. **LWT - Food Science and Tecnology**, v. 82, p. 296 - 302, 2017. DOI 10.1016/j.lwt.2017.04.062.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 5^a ed. São Paulo: Editora Manole LTDA, 2016.

DE VUYST, L. *et al.* Yeast diversity of sourdoughs and associated metabolic properties and functionalities. **International Journal of Food Microbiology**, v. 239, p. 26 – 34, 2016

GALLAGHER, E.; GORMLEY, T. R.; ARENDT, E. K. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. **Food Science & Technology**, v. 15, p. 143 – 152, 2004.

GOBBETTI, M. *et al.* Sourdough lactobacilli and celiac disease. **Food Microbiology**, v. 24, p. 187 – 196, 2007. **Food Microbiol.**, v. 24, n. 2, p. 187 – 196, 2008.

GOBBETTI, M. *et al.* How the souurdough may affect the functional features of leavened baked goods. **Food Microbiology**, v. 37, p. 30 – 40, 2014.

HOLMES, G. K. T.; MUIRHEAD, A. Epidemiology of coeliac disease in a single centre in Southen Derbyshire 1958 – 2014. **BMJ Opne Gastro**, v. 4, n. 1, 2017.

MAIDANA, S. D.; *et al.* Biodiversity and technological-functional potential of lactic acid bacteria isolated from spontaneously fermented chia sourdough. **International Journal of Food Microbiology**, v. 316, p. 1-10, 2020.

MENIS-HENRIQUE, M. E. C.; *et al.* Cereal fiber: extrusion modifications for food industry. **Current Opinion in Food Science**, v. 33, p. 141-148, 2020.

MOHAMMED, I.; AHMED, A. R.; SENGE, B. Dough rheology and bread quality of wheat-chickpea flour blends. **Industrial Crops and Products**, v. 36, n. 1, p. 196 – 202, 2012.

OLOJEDE, A. O.; SANI, A. I.; BANWO, K. Rheological, textural and nutritional properties of gluten-free sourdough made with functionally importante lactic acid bactéria and yeast from Nigerian sorghum. **LTW**, v. 120, p 1-8, 2020.

PÉTEL, C.; ONNO, B.; PROST, C. Sourdough volatile compounds and their contribution to bread: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 59, p. 105-123, 2017.

RASHTAK, S.; MURRAY, J. A. Review article: coeliac disease, new approaches to therapy. **Alimentary Pharmacology and Therapeutics**, v. 35, p. 768 – 781, 2012.

RIZZELLO, C. G. *et al.* Use of sourdough fermentation and mixture of wheat, chickpea, lentil and bean flours enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of White bread. **International Journal of Food Microbiology**, v. 180, p. 78 – 87, 2014.

SHIN, D. J.; KIM, W.; KIM, Y. Physicochemical and sensory properties of soy bread made with germinated steamed, and roasted soy flour. **Food Chemistry**, v. 141, n. 1, p. 517 – 523, 2013.

SHRIVASTAVA, C.; CHAKRABORTY, S. Bread from wheat flour partially replaced by fermented chickpea flour: Optimizing the formulation and fuzzy anaçysis of sensory data. **LWT – Food Science and Technology**, v. 90, p. 215 – 223, 2018.

VERNI, M.; RIZZELLO, C. G.; CODA, R. Fermentation Biotechnology Applied to Cereal Industry By-Products: Nutritional and Functional Insights. **Frontiers in Nutrition**, v. 6, n. 42, p. 1-13, 2019

XU, D.; *et al.* Improving bread aroma using low-temperature sourdough fermentation. **Food Bioscience**, v. 37, p. 1-12, 2020.

WITCZAK, M. *et al.* Starch and starch derivatives in gluten-free systems – A review. **Journal of Cereal Science**, v. 67, p. 46 – 57, 2016.

ZANNINE, E. *et al.* Applications of microbial fermentations for production of gluten-free products and perspectives. **Appl Microbiol Biotechnol.**, v. 93, p. 473 – 485, 2012.

ZHAO, C. J.; SCHIEBER, A.; GÄNZLE, M. G. Formation of taste-active amino acids, amino acids derivatives and peptides in food fermentations – A review. **Food Research International**, v. 89, n. 1, p. 39 – 47, 2016.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi verificar a aplicabilidade e a qualidade de pães isentos de glúten elaborados com massa ácida de farinha de arroz integral, farinha de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) e farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp).

2.2 Objetivos Específicos

- Processar o feijão para a obter as farinhas;
- Determinar a granulometria e a composição centesimal das farinhas de arroz integral, farinha de feijão carioca e farinha de feijão caupi;
- Produzir massas ácidas com farinha de arroz integral, farinha de feijão carioca e farinha de feijão caupi, com e sem adição de fermento biológico instantâneo (*Saccharomyces cerevisiae*);
- Elaborar pães sem glúten com as massas ácidas produzidas;
- Determinar o volume de expansão das massas ácidas durante o processo de fermentação;
- Determinar o pH e a acidez total titulável (ATT) nas massas ácida e da massa e dos pães sem glúten;
- Determinar a atividade de água, a umidade, a cor instrumental, o volume específico, o índice de nitrogênio solúvel e o índice de digestibilidade in vitro dos pães;
- Analisar o perfil de textura e de imagem do miolo dos pães;
- Determinar a composição centesimal e valor energético das farinhas e dos pães;
- Avaliar os dados estatisticamente.

3 ARTIGO CIENTÍFICO I: INTOLERÂNCIA AO GLÚTEN E INGREDIENTES E PROCESSOS NA PANIFICAÇÃO

Juliana Dara Rabêlo Silva¹, Marcio Schmiele^{1*}

1 – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, Minas Gerais, Brasil.

*Autor para correspondência: Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Campus JK, Rodovia MGT-367 - Km 583, nº 5000 - Alto do Jacuba, Fone: 55 (38) 3532-1200 - VoIP 8447 - Sala 349, CEP: 39.100-000 – Diamantina, Minas Gerais, Brasil, e-mail: marcio.sc@ict.ufvjm.edu.br

RESUMO

A doença celíaca é uma enteropatia causada pela ingestão das proteínas do glúten presente nos alimentos, cujo único tratamento eficaz é a sua retirada da dieta. A produção de alimentos sem glúten na panificação é principalmente baseada na aplicação de diversos tipos de amidos e farinhas isentas de glúten. A retirada das proteínas do glúten resulta em pães de qualidade inferior, com perdas sensoriais, volume reduzido, miolo compacto e menor teor de nutrientes. A busca para melhorar a qualidade dos pães sem glúten é constante, e envolvem a adição de aditivos alimentares como hidrocolóides, combinações de ingredientes envolvendo outros cereais, pseudocereais, raízes, turbéculos e/ou leguminosas, e aplicação de diferentes métodos de processamento como extrusão, fermentação e germinação. Assim, o objetivo desta revisão foi realizar um levantamento bibliográfico a respeito da produção de pão sem glúten, considerando os principais ingredientes substitutos às suas proteínas formadoras, a utilização de leguminosas (feijão) e a aplicação de biotecnologia de massa ácida sobre os possíveis benefícios tecnológicos e nutricionais. A seleção prévia incluiu o título, as palavras chaves e o resumo dos trabalhos. Dentre os métodos de inclusão foram considerados principalmente os ingredientes, os objetivos e a metodologia de produção. A partir do levantamento foi possível verificar que a combinação de massa ácida de farinhas de cereais sem glúten combinadas com farinhas de leguminosas apresentam grande potencial para melhorar as propriedades tecnológica, sensorial e nutricional dos pães.

Palavras-chave: Celíaco, sem glúten, farinha, *fabaceae*, fermentação, panificação.

ABSTRACT

Celiac disease is an enteropathy caused by the ingestion of gluten proteins present in food, the only effective treatment of which is its removal from the diet. The production of gluten-free food in baking is mainly based on various gluten-free starches and flours, the removal of gluten proteins results in inferior quality breads, with sensory losses, reduced volume, compact crumb and less nutrient content. The quest to improve the quality of gluten-free bread is constant, and involve the addition of food additives such as hydrocolloids, combinations of ingredients involving other cereals, pseudo-cereals, roots, tubercules and / or legumes, and the application of different processing methods such as extrusion, fermentation and germination. Thus, the objective of this review was to carry out a general bibliographic survey regarding the production of gluten-free bread, considering the main substitute ingredients for gluten proteins, the use of legumes (beans) and the application of acid mass biotechnology on the possible benefits technological and nutritional. The previous selection included the title, keywords and summary of the works. Among the inclusion methods, the ingredients, objectives and production methodology were considered mainly. From the survey, it was possible to verify that the combination of acid mass of gluten-free cereal flours combined with leguminous flours has great potential to improve the technological, sensory and nutritional properties of breads.

Keywords: Celiac, gluten free, flour, *fabaceae*, fermentation, bakery.

3.1 Introdução

A doença celíaca é uma doença crônica não transmissível de caráter autoimune provocada pela ingestão dietética de glúten, especificamente pela ingestão da fração proteica da gliadina (CATASSI; GATTI; FASANO, 2014). Outros distúrbios relacionados ao glúten incluem: a sensibilidade não celíaca ao glúten e alergia ao trigo. O tratamento para os distúrbios relacionados ao glúten consiste principalmente na retirada do mesmo da dieta e na prevenção de contato com as proteínas do trigo (RUBIO-TAPIA *et al.*, 2013; CIANFERONI, 2015).

A ausência das proteínas formadoras da rede de glúten gera um grande desafio tecnológico na indústria alimentícia, pois esta é a principal responsável por conferir à massa a extensibilidade, elasticidade, coesividade e contribuir para a capacidade de absorção de água (WISER, 2007). A retirada dessas proteínas resulta em pães de qualidade inferior, com textura, sabor e aroma desagradáveis com baixo teor de proteínas e são principalmente constituídos de amido (MORONI; DAL BELLO; ARENDT, 2009).

Os principais ingredientes na panificação sem glúten incluem as farinhas alternativas e os amidos, os hidrocoloides e outros aditivos também podem ser combinados. A mistura de diferentes ingredientes e técnicas são aplicadas em busca de melhorar a qualidade dos pães (ARENDETT *et al.*, 2008). A utilização de farinhas isentas de glúten advindas de leguminosas tem sido aplicada como forma de melhorar as características nutricionais, texturais, e sensoriais dos pães, especialmente pelo seu alto teor de proteínas (OLOJEDE; SANNI; BANWO, 2020). Os ingredientes são combinados com diferentes tecnologias de produção, dentre as quais recentemente tem se destacado a biotecnologia de fermentação natural também conhecida como massa ácida ou *sourdough* (GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2004; MASURE; FIERENS; DELCOUR, 2016).

A fermentação natural é uma biotecnologia estabelecida para melhorar e diversificar a qualidade sensorial e as propriedades tecnológicas e nutricionais dos pães. Estas melhorias estão diretamente relacionadas às diversas e complexas atividades metabólicas que são realizadas pelos micro-organismos durante a fermentação como: a produção de dióxido de carbono, a fermentação láctica, a proteólise, a produção de exopolissacarídeos (EPS) e a síntese de compostos voláteis e de componentes antimicrobianos (CHAVAN; CHAVAN, 2011; VAN KERREBROECK; MAES; DE VUYST, 2017; BRANT, 2018; SAKANDAR *et al.*, 2019).

Esta revisão teve como objetivo realizar um levantamento bibliográfico geral a respeito da produção de pão sem glúten, considerando os principais ingredientes substitutos ao

glúten, a utilização de leguminosas e a aplicação de biotecnologia de massa ácida sobre os possíveis benefícios tecnológicos e nutricionais.

As bases de dados científicos utilizadas na busca dos artigos foram ScienceDirect (<https://www.sciencedirect.com>), Scopus (<http://www.scopus.com>), Scielo – Scientific Electronic Library Online (<https://www.scielo.org/>), PubMed (MEDLINE) (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>), Google Scholar (<https://scholar.google.com.br>) e Portal de Periódicos CAPES/MEC (<http://www.periodicos.capes.gov.br>). Os artigos selecionados incluíram pesquisas científicas atemporais, abordando os estudos focados na utilização de massa ácida para a produção de pão sem glúten.

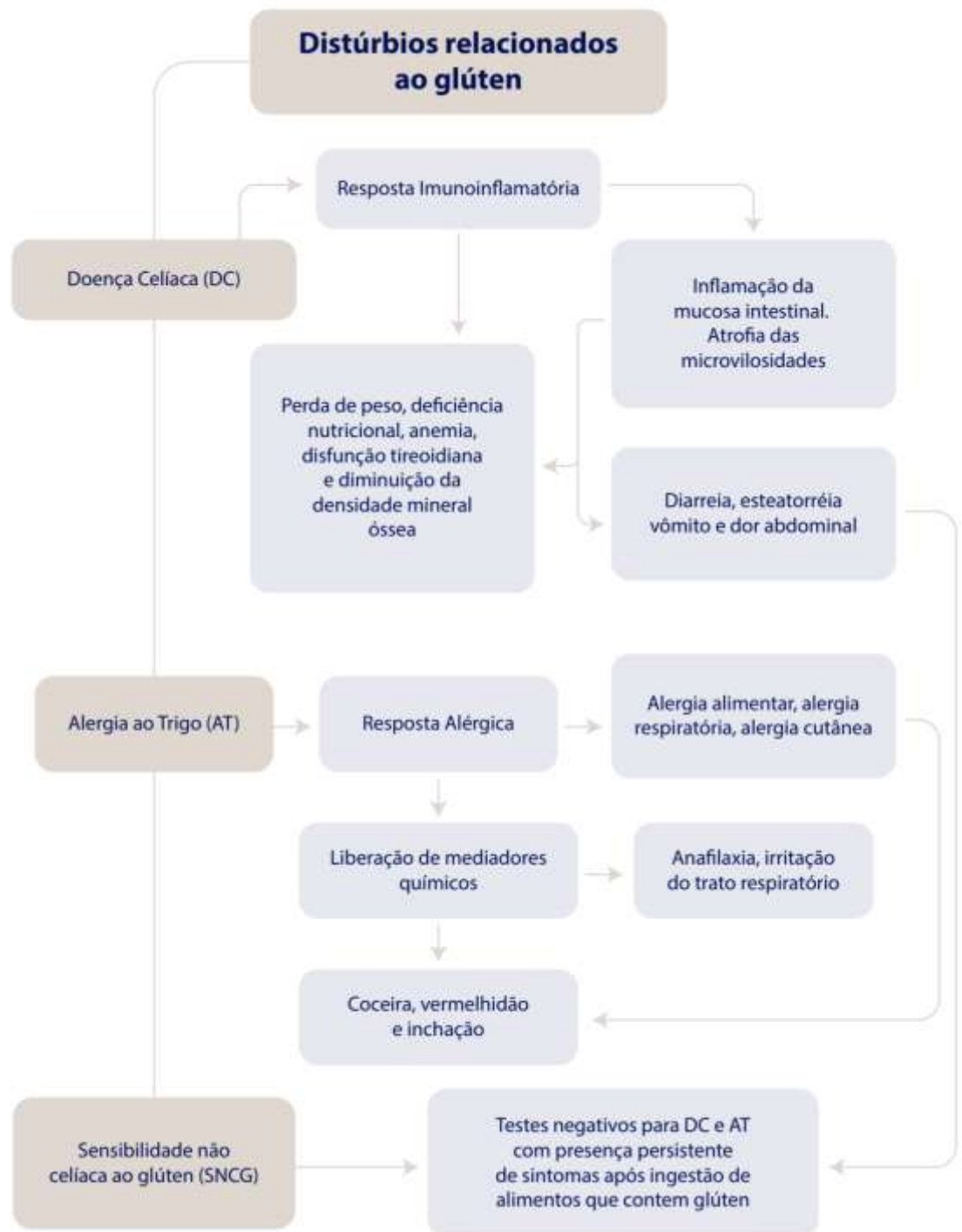
Os principais descritores utilizados foram: fabaceae, vigna, farinha (flour), tecnologia (technology), fermentação (fermentation), pão (bread) e glúten. A seleção prévia incluiu o título, as palavras chaves e o resumo dos trabalhos. Dentre os métodos de inclusão, foram considerados principalmente os ingredientes, objetivos e a metodologia de produção. Os artigos repetidos foram desconsiderados.

3.2 Distúrbios relacionados ao glúten

Os principais distúrbios relacionados ao glúten estão representados resumidamente na Figura 3.1. A doença celíaca é uma doença autoimune que afeta indivíduos com predisposição genética, apresenta maior incidência em indivíduos de ascendência europeia e em países de clima frio, podendo ocorrer em qualquer estágio da vida. Sua taxa de prevalência global corresponde atualmente a 1,4 e 0,7 % com base na sorologia e biópsia, respectivamente (SINGH *et al.*, 2018).

Considerando que o intestino delgado é responsável pela maior parte de absorção dos nutrientes advindos dos alimentos, na enteropatia decorrente da doença celíaca ocorre uma inflamação nas mucosas intestinais e atrofia das microvilosidades, resultando numa perda na área de absorção dos nutrientes e eletrólitos e uma redução na liberação de enzimas digestivas (SEMRAD *et al.*, 2016). Alguns dos principais sintomas acometidos pela doença celíaca em pacientes sintomáticos podem incluir: diarreia, esteatorreia, vômito e dor abdominal, além de anemia, disfunção tireoidiana e diminuição da densidade mineral óssea. Nos pacientes assintomáticos há presença de lesão mucosa específica, mas não ocorre a presença de sintomas típicos (SCHERF, 2019).

Figura 3.1 - Fluxograma dos principais distúrbios relacionados ao glúten.



Fonte: Elaboração da autora (2020).

A fisiopatologia da doença celíaca não é totalmente esclarecida. Existe o envolvimento do fator genético em que, segundo Meresse, Malamute e Cerf-Bensussan (2012), mais de 90 % dos pacientes celíacos apresentam um dos grupos de alelos HLA-DQ2 ou HLA-DQ8, esses são capazes de se ligar aos peptídeos presentes nas proteínas formadoras de glúten

(envolvendo os aminoácidos glutamina e prolina) como: na gliadina, presente no trigo, hordeínas no centeio e secalina na cevada. Um cereal naturalmente livre de proteínas formadoras da rede de glúten é a aveia, porém o seu cultivo, transporte, armazenamento, beneficiamento e processamento é feito rotineiramente junto com o trigo, o que pode resultar em uma contaminação cruzada. Em função disto a aveia é considerada como veículo destas proteínas podendo apresentar glúten em sua composição.

A gliadina presente no trigo é a principal envolvida nas reações adversas que ocorrem na doença celíaca. Esta fração proteica apresenta uma das principais sequências imunogênica importante na doença celíaca: o peptídeo 33-meressa (33-mer), localizado no domínio N-terminal das α -gliadina (SCHALK *et al.*, 2017). Este fragmento proteico é resistente à digestão enzimática sendo capaz de iniciar uma forte resposta imunológica com ativação de células T, desencadeando uma cascata imunoinflamatória responsável pelos danos causados à mucosa intestinal (CABANILLAS, 2019).

O diagnóstico para doença celíaca é feito por testes sorológicos de rastreamento com marcadores específicos para os celíacos. No caso de uma identificação sorológica positiva prossegue-se para uma avaliação histopatológica de biópsia no intestino delgado para confirmação de atrofia das vilosidades intestinais (TOVOLI *et al.*, 2014). O tratamento para os distúrbios relacionados ao glúten consiste na retirada total de alimentos que o contém, ou seja, é necessário a adesão permanente de uma dieta livre de glúten (RUBIO-TAPIA; MURRAY, 2010; RUBIO-TAPIA *et al.*, 2013).

Na alergia ao trigo ocorre uma reação adversa do sistema imunológico às proteínas contidas no mesmo, podendo ser percebida em minutos ou horas após a exposição. Diferente da doença celíaca não ocorre uma ativação da cascata inflamatória, mas sim uma resposta imunológica, mediada ou não por imunoglobulina E (IgE) (SCHERF, 2019).

As respostas imunológicas mediadas por imunoglobulina E (IgE) podem ser desencadeadas pela inalação do pó da farinha (alergia respiratória), contato com a pele (alergia cutânea) ou pela ingestão oral (alergia alimentar). Desta forma, ocorre a interação destas imunoglobulinas com sequências repetidas de frações proteicas presentes no glúten, resultando assim na ativação e liberação de mediadores químicos como a histamina. Esta interação resulta nos principais sintomas alérgicos: coceira, vermelhidão e inchaço. Outros sintomas podem estar presentes quando associados à ingestão do trigo: vômitos, dor abdominal, anafilaxia e sintomas respiratórios. O diagnóstico geralmente é realizado por teste cutâneo e quantificação de IgE (MANSUETO *et al.*, 2014).

O tratamento ao indivíduo alérgico ao glúten baseia-se na prevenção do contato com os alérgenos do trigo, sendo que esses pacientes devem ser orientados a identificar nos rótulos dos produtos os compostos alergênicos e excluir o trigo da dieta (CIANFERONI, 2015).

A sensibilidade não celíaca ao glúten é definida como uma reação inerente a ingestão do mesmo, em que os indivíduos apresentam exames clínicos e imunológicos negativos para doença celíaca e para alergia ao trigo mas continuam apresentando sintomas ao ingerir os alimentos que o contém sendo que após a retirada do mesmo ocorre melhora do quadro (SAPONE *et al.*, 2011; TANVER; AHMED, 2019).

A fisiopatologia da sensibilidade não celíaca ao glúten ainda é indeterminada (REESE *et al.*, 2018) e alguns autores sugerem que, além do glúten, outros componentes presentes no trigo podem estar relacionados à causa dos sintomas nesses indivíduos, entre os quais destacamos:

- a) Os inibidores da α -amilase/tripsina (ATIs), constituídos por proteínas de albumina encontradas no trigo, por serem altamente resistentes às proteases intestinais e capazes de provocar a ativação de células imunes inatas e inflamação intestinal (LEONARD *et al.*, 2017; MANSUETO *et al.*, 2019);
- b) A digestão incompleta e/ou absorção de oligo e monossacarídeos e polióis fermentáveis (FODMAPs), como os: fruto-oligossacarídeos (FOS), galacto-oligossacarídeos (GOS), xilo-oligossacarídeos (XOS), manano-oligossacarídeos (MOS), lactose, lactulose, frutose e polióis (como sorbitol, xilitol e manitol), os quais são açúcares de cadeias curtas que não são digeridos ou absorvidos no trato gastrointestinal, podendo apresentar um forte efeito osmótico e sofrer fermentação rápida no intestino, resultando em liquefação intestinal, produção excessiva de gases, inchaço e dor, podendo causar ou intensificar as irritações gastrointestinais (ROSZKOWSKA, 2019; MANSUETO *et al.*, 2019).

A identificação de um diagnóstico e tratamento proposto para uma sensibilidade não celíaca ao glúten deve levar em consideração os resultados negativos dos exames para doença celíaca e alergia ao trigo e a permanência da presença dos sintomas (VERAVERBEKE; DELCOUR, 2002; LUDVIGSSON; GREEN, 2011). A restrição dietética do glúten deve ser realizada e acompanhada cuidadosamente por um profissional, e deve ser feito o acompanhamento dos sintomas após a retirada do glúten (RESEE, 2018).

3.3 Glúten

O glúten é composto por uma mistura heterogênea de duas frações proteicas: as gliadinas e as gluteninas, as quais são responsáveis por desempenhar funções importantes como: melhor capacidade de absorção de água, coesão, viscosidade e elasticidade na massa. A combinação de ambas as frações proteicas forma uma massa viscoelástica, denominada rede de glúten, capaz de reter gás (principalmente CO₂) e estender sem se romper facilmente. Tais propriedades influenciam diretamente na qualidade final dos produtos de panificação como maior volume específico e maciez de pães (CAUVAIN, 2015).

As gliadinas são proteínas solúveis em soluções de água-álcool e são responsáveis por conferir a viscosidade e extensibilidade na massa. A fração da gliadina é composta por proteínas monoméricas, ou seja, possuem cadeias polipeptídicas simples e podem ser agrupadas em: α , β , γ e ω - gliadinas. As subunidades α/β - e γ - gliadinas são os principais componentes desta proteína, possuem resíduos de cisteínas e formam três e quatro ligações de dissulfeto intermolecular (S-S), respectivamente. Já as ω -gliadinas não possuem resíduos de cisteína, não sendo capazes de formarem a ligação de dissulfeto (WIESER; 2007, LAGRAIN; BRIJSE; DELCOUR, 2008; DAMODARAN; PARKIN, 2017; ORTOLAN; STEEL, 2017).

As gluteninas são proteínas insolúveis em álcool, coesas e elásticas. A fração glutenina é composta por proteínas poliméricas, ou seja, possuem polipeptídeos heterogêneos e a polimerização ocorre por ligações dissulfeto (SS) intramolecular e intermolecular. Os polímeros de gluteninas podem ser classificados de acordo com o peso molecular de suas subunidades, como: gluteninas de alto peso molecular (APM) e baixo peso molecular (BPM) (WIESER, BUSHUK; MACRITCHIE, 2006; DAMODARAN; PARKIN, 2017; WONG, 2018).

A formação da rede de glúten ocorre durante o processamento da massa quando a água é adicionada na farinha de trigo e, esta mistura, é submetida ao trabalho mecânico como o amassamento. Essa combinação faz com que essas proteínas se unam, principalmente por ligações dissulfeto, em sinergia com as interações eletrostáticas, as ligações de hidrogênio, as interações hidrofóbicas e as forças de Van der Waals, resultando em uma massa viscoelástica, coesa e capaz de reter o gás produzido durante a fermentação (VERAVERBEKE; DELCOUR, 2002; LAGRAIN; BRIJSE; DELCOUR, 2008; SCHMIELE *et al.*, 2015; SCHMIELE *et al.*, 2017).

Os produtos que contêm glúten devem obrigatoriamente notificar a presença deste componente nos rótulos. No Brasil, a legislação vigente é a Lei N° 10.674, de 16 de maio de

2003 que: “obriga que os produtos alimentícios comercializados informem sobre a presença de glúten, como medida preventiva e de controle da doença celíaca” (BRASIL, 2003).

O trigo é o cereal mais utilizado na indústria de alimentos, especialmente na elaboração de produtos de panificação, pois apresenta um glúten de melhor qualidade e em maior proporção, capaz de melhorar a capacidade tecnológica da massa, especialmente por conferir viscosidade, elasticidade e retenção de gás CO₂ durante o processamento dos pães (CAUVAIN, 2015).

A substituição do trigo na panificação sem glúten é feita por farinhas totalmente isentas de glúten. Estas são produzidas principalmente a partir de cereais (arroz, milho, sorgo, painço), pseudocereais (amaranto, quinoa, trigo sarraceno) e leguminosas (grão de bico, ervilha, feijão, lentilha e soja). Além disso, é amplo o uso de amidos nativos e modificados de milho, batata e mandioca (WANG *et al.*, 2017).

As propriedades tecnológicas em produtos de panificação elaborados com farinha de feijão foram observadas (HALLÉN; İBANOĞLU; AINSWORTH, 2004, MCWATTER *et al.*, 2004) em que a adição de 20 a 30 % da farinha afetaram a textura dos pães, resultando em menor volume específico, estrutura mais densa e um miolo mais compacto, já a adição de 15 % do feijão tornou possível a aplicação sem grandes impactos estruturais nos pães (OLAPADE; OLUWOLE, 2013).

3.4 Pão

Os produtos de panificação, em especial os pães, são alimentos amplamente consumidos no mundo. No Brasil, a aquisição de pães chega a 78 % dentre os produtos de panificação (ABIMAPI, 2018). Conforme a Resolução da Diretoria Colegiada – RDC n° 263 de 22 de setembro de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária:

Os pães são produtos obtidos da farinha de trigo e ou outras farinhas, adicionados de líquido, resultantes do processo de fermentação ou não e cocção, podendo conter outros ingredientes, desde que não descaracterizem os produtos. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos (BRASIL, 2005, p.2).

A fabricação de pães consiste basicamente na combinação da farinha de trigo, fermento biológico (*Saccharomyces cerevisiae*), água potável e cloreto de sódio (sal de cozinha). Outros ingredientes podem ser adicionados como: açúcares (principalmente sacarose), gordura, leite em pó ou líquido, ovos e/ou aditivos alimentares e coadjuvantes para

melhorar a qualidade da massa e do pão, contanto que seja mantido o perfil de suas características (CAUVAIN, 2015).

Em pães, as principais características de qualidade esperadas relacionam-se principalmente com a estrutura alveolar do miolo, espera-se, portanto, que um pão apresente menor dureza e firmeza acompanhada de um maior volume específico (ISHIDA; STEEL, 2014; CAUVAIN, 2015).

A textura em pães está relacionada com diversos fatores, especialmente pelos ingredientes utilizados. Estes podem influenciar diretamente na reologia da massa e na qualidade final do produto, como demonstrado por Bustillos *et. al.* (2020) em que a adição de ingredientes ricos em proteínas e fibras são capazes de afetar a viscosidade da massa e interferir na incorporação de ar, resultando em pães mais compactos e de textura mais firme.

Na indústria de alimentos, a textura é analisada principalmente por métodos instrumentais, sendo a força de compressão e a análise do perfil de textura instrumental (Texture Profile Analysis – TPA) os métodos mais utilizados para avaliar a qualidade dos produtos de panificação, devido principalmente à fácil execução, rapidez e baixo custo (LIRA, 2017). No Quadro 3.1. encontram-se os principais parâmetros desta análise em pães, estabelecido conforme a American Association of Cereal Chemist International (AACCI, 2010).

3.5 Pão sem glúten

O cenário global sobre a panificação sem glúten está crescendo. Em 2019, o mercado mundial de produtos sem glúten foi avaliado em US\$ 4,3 bilhões e estima-se que até 2027 esse valor chegue até US\$ 7,5 bilhões (KALE; ROSHAN, 2019). Porém, ainda existem grandes desafios na panificação sem glúten, principalmente quanto a diversificação desses produtos no mercado. Este fato é decorrente da exclusão do glúten na fabricação desses produtos, afetando diretamente as características finais dos pães, especialmente a estrutura do miolo, resultando em maior dureza e firmeza e menor volume específico, além de promover a alteração da cor, sabor não característicos, muitas vezes não apreciado pela maioria dos consumidores e redução da vida de prateleira (GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2003).

Quadro 3.1 - Principais parâmetros de Análise do Perfil de Textura Instrumental em pães

Parâmetros	Definição	Representação
Firmeza (N) (<i>Firmness</i>)	Deformação parcial que reflete o toque manual ao miolo do pão	Força necessária para deformar 40 % da compressão total da fatia
Dureza (N) (<i>Hardness</i>)	Força máxima para obter uma determinada deformação	Altura da força de pico durante a primeira compressão considerando uma deformação de 60 % da fatia
Coesividade (N) (<i>Cohesiveness</i>)	É a medida em que um material suporta uma segunda deformação em relação à sua resistência na primeira deformação sem se romper	Proporção das áreas de força positiva sob as primeiras e segundas compressões, isto é: a área de trabalho durante a segunda compressão dividida pela área de trabalho durante a primeira compressão
Gomosidade (N) (<i>Gumminess</i>)	Energia necessária para desintegrar um alimento semissólido para um ponto de deglutição: um produto com baixo grau de dureza e alto grau de coesão	Parâmetro secundário obtido pelo produto da dureza x coesividade
Mastigabilidade (N) (<i>Chewiness</i>)	Energia necessária para mastigar um alimento sólido ao ponto de deglutição: um produto de dureza, coesão e elasticidade	Parâmetro secundário obtido pelo produto da dureza x coesividade x elasticidade
Resiliência (<i>Resilience</i>)	É a capacidade que o produto tem de recuperar a altura original	É calculada dividindo a energia de curso ascendente da primeira compressão pela energia de curso descendente da primeira compressão
Elasticidade (<i>Springiness</i>)	Taxa na qual um material deformado retorna à condição não deformada após a remoção da força de deformação, isto é, o quão bem um produto retorna fisicamente depois de ter sido deformado durante a primeira compactação.	É expressa como uma proporção ou porcentagem da altura original de um produto, tipicamente, pela distância da altura detectada durante a segunda compressão dividida pela distância de compressão original.

*Fonte: Adaptada de Szczesniak (2002).

No processo de panificação sem glúten, os ingredientes são baseados em amidos, portanto não há a formação de uma rede tridimensional como ocorre quando há a utilização da farinha de trigo (ARENDR *et al.*, 2008). Para que haja uma melhor retenção de ar na massa torna-se necessário garantir a viscosidade e completa gelatinização do amido. Desta forma, as formulações baseadas em amido precisam de uma maior adição de água (BENDER; SCHÖNLECHNER, 2020), o que acaba por tornar a massa fluida.

Devido à fluidez nas massas sem glúten, o processo de fabricação diferencia-se dos processos de fabricação de pães convencionais, uma vez que as etapas de boleamento e modelagem não serão possíveis de serem executadas (BRITES; SCHMIELE; STEEL, 2018).

3.5.1 Ingredientes e biotecnologia no processamento de pães sem glúten

Dentre os principais ingredientes utilizados na panificação sem glúten, a farinha constitui o principal pois, são responsáveis por conferir a base e a estrutura da massa. As farinhas isentas de proteínas formadoras da rede de glúten, geralmente são ricas em amido e isso interfere diretamente na estrutura da massa e no processo de assamento dos pães, influenciados pela capacidade de absorção de água e da gelatinização do amido presente (ARENDR *et al.*, 2008, BENDER; SCHÖNLECHNER, 2020).

A absorção da água pela farinha é um fator determinante na incorporação e processamento da massa. A água exerce função essencial na produção de pães sem glúten, pois a quantidade e a distribuição adequada de água na massa são capazes de auxiliar na expansão de bolhas durante a fermentação e na gelatinização do amido, sendo capaz de controlar características importantes no produto final, tais como: volume específico, maciez do miolo, crocância da crosta e prazo de validade (WAGNER *et al.*, 2007).

Os amidos são utilizados principalmente para conferir textura e viscosidade, estabilizar emulsões, melhorar a estabilidade ao congelamento e descongelamento e, na panificação sem glúten, é um ingrediente constantemente empregado devido à capacidade de influenciar na reologia da massa (ONYANGO, 2016).

Na panificação sem glúten também são empregados hidrocoloides como melhoradores, principalmente pela capacidade de formar géis viscoelásticos, devido à alta capacidade de absorção e hidratação de água, porém são incapazes de apresentar extensibilidade sendo necessário a combinação com outros ingredientes (BEMILLER, 2008).

Outro componente que vem sendo aplicado na panificação sem glúten são as fontes de proteínas, utilizadas como meio de melhorar as propriedades tecnológicas e nutricionais dos pães (MOORE *et al.*, 2004; OLOJEDE; SANNI; BANWO, 2020). As proteínas mais utilizadas são as de origem vegetal, especialmente advinda da soja e de outras leguminosas como feijões, grão de bico e ervilha, e proteínas de origem animal como as proteínas lácteas e a proteína do ovo (albumina). Além de melhorarem o perfil nutricional de pães sem glúten, são capazes de formar uma rede proteica estrutural na massa, auxiliando na retenção de gás durante a o processo de fermentação e assamento (MOORE *et al.*, 2006).

Além dos diferentes ingredientes utilizados na panificação sem glúten, diversas tecnologias também podem ser empregadas como: a combinações de múltiplos ingredientes, a submissão de farinhas ou grãos a diferentes processos de obtenção ou tratamentos como extrusão e germinação, alterações no processo de fabricação dos pães como modificações nas etapas de mistura, no tempo de fermentação e de forneamento e o emprego de biotecnologias na produção desses pães, como a adição de fermento natural na formulação do pão, também conhecida como massa ácida (MASURE; FIERENS; DELCOUR, 2016).

A aplicação de massa ácida na produção de pães tem sido utilizada como meio de melhorar as características finais do produto, como melhorar o volume específico, a maciez do miolo, o sabor, o valor nutricional e a vida de prateleira (DE VUYST; VAN KERREBROECK; LEROY, 2017; PĂCULARU-BURADA; GEORGESCU; BAHRIM, 2020). A massa ácida é obtida através de uma fermentação natural espontânea ou com adição de culturas iniciadoras, pela combinação de água e farinha submetidos a um dado período de tempo, o que resultará em uma massa de perfil ácido predominado pelo ácido lático, mas com presença de ácido acético e succínico. Essa massa sofre um processo de fermentação por uma associação de leveduras e bactérias lácticas naturalmente presentes na farinha ou intencionalmente adicionadas. O resultado é uma massa fermentada com sabor característico e acidificado (GOBBETTI *et al.*, 2008; BRANDT, 2019; MAIDANA *et al.*, 2020).

3.6 Fermentação e capacidade de expansão das massas

Na produção de pães, um importante fator a ser considerado é a fermentação que ocorre na massa. O principal ingrediente responsável pela fermentação nas massas de pães é o fermento biológico, devido à capacidade de produção de CO₂ e etanol como produtos primários. A produção de gás CO₂ ocorre através da metabolização dos açúcares presentes no meio, tal característica é responsável pelo crescimento da massa devido ao aprisionamento do gás, essa

retenção auxilia diretamente no volume específico e na maciez dos pães, especialmente nos que apresentam a rede de glúten (CAUVAIN, 2015).

Durante a fermentação anaeróbica ocorre um processo de transformação bioquímica pelo metabolismo das leveduras, em que ocorre o consumo de carboidratos simples e há a formação de dióxido de carbono e álcool etílico (etanol) como os principais produtos finais, juntamente com a liberação de adenosina trifosfato (ATP). O metabolismo primário da fermentação é a glicólise. Neste processo, a levedura produz energia consumindo açúcares moleculares simples disponíveis na massa (sacarose, maltose, glicose e frutose) e ocorrem reações capazes de converter açúcares em piruvato e com liberação de ATP como fonte de energia (HEITMANN; ZANNINI; ARENDT, 2017). O piruvato é transformado em muitos compostos diferentes durante o desenvolvimento das leveduras, como dióxido de carbono, etanol e outros metabólitos orgânicos secundários de baixa massa molar como aldeídos, álcoois, cetonas, ésteres e ácidos carboxílicos (VERSTREPEN *et al.*, 2004).

Além disso, uma variedade de outros metabólitos podem ser produzida como: glicerol, ácidos orgânicos e compostos aromatizantes que envolvem outras vias metabólicas além da glicólise como: fermentação alcoólica, ciclo de tricarboxílico (TCA) e ciclo do glioxilato. A produção desses metabólitos secundários pode influenciar diretamente na qualidade sensorial dos pães, assim, o sabor pode ser atribuído a produção de precursores como ésteres, aldeídos e cetonas. A cor é desenvolvida através de reações envolvendo carboidratos e aminoácidos (reação de *Maillard*), liberando também compostos responsáveis por odor pela produção de composto aromáticos, podendo influenciar no prazo de validade devido à produção de ácidos e glicerol (DAMODARAN; PARKIN, 2017; HEITMANN; ZANNINI; ARENDT, 2017).

A massa é composta por diversos componentes, sendo as proteínas, os lipídios, os carboidratos, a água e o ar os principais constituintes e pode ser influenciada pelo: tipo e qualidade da farinha, teores de água, lipídeos e açúcares, adição de farelos e enzimas, que combinados com diferentes condições de processamento como mistura, fermentação e assamento, podem ser fatores determinantes para a formação do sistema coloidal da massa e da estrutura física dos produtos assados (AUTIO; LAURIKAINEN, 1997). A fixação da estrutura do miolo (gelatinização do amido e desnaturação das proteínas) e a formação da crosta (desidratação periférica) ocorrem em função de grandes mudanças estruturais durante as fases de processamento dos pães e, conseqüentemente, podem influenciar na aparência, textura, sabor e estabilidade final desses produtos (ROMANO *et al.*, 2007).

A expansão das massas é resultado do excesso de pressão nas células gasosas, causado pela produção de dióxido de carbono durante o processo de fermentação (HEITMANN; ZANNINI; ARENDT, 2017). Há ainda uma diferença entre produção e a retenção de gás em massas fermentadas, visto que ambas são controladas por meios diferentes, ou seja, a produção de gás é controlada pelo desempenho das leveduras e pela capacidade de fermentar em um meio propício para seu crescimento, enquanto a retenção do gás envolve especialmente a capacidade da massa de possuir uma matriz estruturada, capaz de reter o máximo de gás possível durante os processos de mistura, fermentação e assamento (SAHLSTRÖM; PARK; SHELTON, 2004). Em função disto, a combinação de ingredientes e o correto balanço é fundamental para atingir o sucesso da panificação sem glúten.

3.7 Arroz

O arroz é um cereal pertencente à família *Poaceae*, cuja espécie *Oryza sativa L.* é amplamente cultivada. Pode ser classificado em três subespécies, de acordo com a forma de seus grãos: *indica* cujo grão é longo e com pouca pegajosidade e *javânica* e *japônica*, cujos grãos são curtos e mais pegajosos (SINGH *et al.*, 2000; XU *et al.*, 2020; CORDERO-LARA, 2020).

O arroz constitui uma base alimentar importante para a população brasileira, não somente pelo fator cultural do país, mas também por fatores socioeconômico, pois apresenta baixo custo de aquisição e fornece boa parte das calorias da dieta. O cultivo do arroz está concentrado principalmente nos países em desenvolvimento, do qual o Brasil está entre os 10 maiores produtores do mundo, apresentando em média uma produção de 12 milhões de toneladas por ano (FAO, 2017).

Este cereal é rico em carboidratos, apresentando aproximadamente 80 % em teor de amido, além de possuir proteínas que apresentam os aminoácidos essenciais sulfurados metionina e cisteína, contém vitaminas, especialmente as do complexo B, e minerais como ferro, fósforo, potássio e magnésio e possui baixo teor de lipídeos (ROSSEL; MARCO, 2008). Durante o processamento do arroz, especificamente no processo de obtenção do arroz branco polido, há grandes perdas nutricionais do grão. Isso ocorre devido à retirada do farelo, o qual constitui uma fonte rica de lipídeos, proteínas, fibras alimentares, minerais e compostos bioativos com capacidade antioxidante como tocoferóis, tocotrienóis e γ -orizanól (SHARIF *et al.*, 2011; JAEKEL e SCHMIELE, 2015).

A obtenção da farinha de arroz é feita a partir de uma moagem seletiva e refinada dos grãos. Apresenta teor de amido elevado, o que o torna o principal responsável por

determinar as propriedades físicas e funcionais da farinha de arroz (ROSSEL; MARCO, 2008). O amido é constituído por um biopolímero de glicose composto por: amilose, um polímero essencialmente linear com poucas ramificações, e a amilopectina, um polímero ramificado e em maior proporção na farinha de arroz e outros cereais. Além disto, o amido apresenta um material intermediário denominado de glucanas (SCHMIELE, SAMPAIO e CLERICI, 2019). As características das farinhas de arroz, depende principalmente dos teores de amilose e amilopectina presentes, mas, outros fatores podem influenciar como, o tipo de arroz, fatores ambientais ao qual foi cultivado, métodos utilizados para moagem, entre outros (ROSSEL; MARCO, 2008).

O amido presente no arroz é de característica hipoalergênica, incolor e insípido de sabor, sendo amplamente disponível e de baixo custo no mercado. Desta forma, representa uma matéria-prima atrativa para elaboração de produtos sem glúten, destacando-se como um dos principais ingredientes utilizados na fabricação de pão sem glúten (SIVARAMAKRISHNAN; SENGE; CHATTOPADHYAY, 2004; BAO; BERGMAN, 2018).

No entanto, a farinha de arroz apresenta algumas limitações. Quando misturada com água não é capaz de formar uma rede estruturada como acontece com o glúten, como consequência, o gás produzido na fermentação não pode ser retido, resultando em pães com um volume específico reduzido e um miolo compacto. As proteínas do arroz são insolúveis e, portanto, incapazes de formar uma massa viscoelástica, contribuindo assim para as características indesejáveis do pão. A combinação de outros ingredientes como outras farinhas, amidos (nativos e modificados) e/ou hidrocoloides torna-se necessária para melhorar a aplicabilidade das farinhas e melhorar a qualidade do produto final (ROSSEL; MARCO, 2008).

3.8 Feijão

No Brasil, apenas duas espécies são consideradas como feijão pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a qual determina por meio da Instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008 que: “feijão são apenas os grãos provenientes das espécies *Phaseolus vulgaris* L. e *Vigna unguiculata* L. Walp, denominadas feijão comum (englobando o feijão preto e o carioca) e feijão caupi, respectivamente” (BRASIL, 2008).

O Brasil é o terceiro maior produtor de feijão do mundo (FAO, 2017). Em território nacional, a maior produção de feijão comum concentra-se nas regiões do Sul, sendo o estado da Paraná o líder de produção e produtividade, o Sudeste, com destaque ao estado de Minas Gerais, e a região centro-oeste (CONAB, 2018). Já a produção de feijão caupi concentra-se

principalmente nas regiões norte, nordeste e centro-oeste, sendo a região nordeste a maior produtora e consumidora desta leguminosa (BASTOS *et al.*, 2016; HASHIMOTO *et al.*, 2020).

O feijão representa um alimento importante na alimentação da população, sendo uma importante fonte de nutrientes, como proteínas, carboidratos digeríveis, fibras alimentares, vitaminas e minerais (PHILLIPS, 2003).

Os feijões são ricos em proteínas, as quais são classificadas conforme Osborne (1924) em: globulinas em maior quantidade seguidas de albuminas, glutelinas e prolaminas presentes em menor quantidade (MONTROYA *et al.*, 2010). O feijão carioca e feijão caupi apresentam diferentes proporções dessas frações proteicas, conforme apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Teor de proteína bruta e frações de proteína em feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) e feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp)

	<i>Phaseolus Vulgaris</i> L.	<i>Vigna Unguiculata</i> L. Walp
Proteína bruta (g/Kg) b.s	213-313	209-346
Frações proteicas (% da proteína total)		
Albumina	12-30	45
Globulina	54-79	51
Prolamina	2-4	1
Glutelina	20-30	3

Fonte: Adaptada de Montoya *et al.* (2010).

A qualidade do feijão e o teor de nutrientes varia de acordo com a composição do solo, clima, temperatura, fertilizantes usados no manejo, métodos de plantio, colheita, armazenamento, tipo de cultivares, entre outros (BRIGIDE; CANNIATTI-BRAZACA, 2006). A composição centesimal, de minerais e o perfil de aminoácidos estão resumidamente detalhados na Tabela 3.2.

Os feijões apresentam uma excelente fonte de aminoácidos, destacando-se principalmente por apresentar um aminoácido essencial, a lisina, porém, apresentam deficiência em metionina e cisteína. O inverso ocorre no arroz, assim, uma mistura de ambos representa uma complementação eficiente de aminoácidos essenciais para o organismo (COZZOLINO, 2016).

Tabela 3.2 - Composição nutricional de feijão carioca e feijão caupi

	Feijão Carioca <i>(Phaseolus vulgaris)</i>	Feijão Caupi <i>(Vigna unguiculata)</i>
Componetes (g.100g⁻¹) b.s		
Umidade	6,95	6,0
Proteína	16,45	24,5
Lipídeos	1,51	2,2
Carboidratos totais	56,38	51,4
Cinzas	4,31	2,6
Fibras alimentares		
Totais	18,27	19,4
Solúveis	5,14	2,7
Insolúveis	13,13	16,6
Valor Energético (Kcal)	316,88	323,4
	(FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008)	(PINTO, 2016)
Minerais (mg.100g⁻¹) b.s		
Potássio (K)	1512,0	1210,0
Cálcio (Ca)	130,0	60,8
Ferro (Fe)	6,45	6,17
Zinco (Zn)	3,37	4,1
Sódio (Na)	0,61	10,2
	(KATO, 2015)	(KATO, 2015)
Manganês (Mn)	1,04	1,5
Fosfóro (P)	465,0	510,0
	(FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008)	(PINTO, 2016)
Perfil de aminoácidos essenciais (g.100g⁻¹) b.s		
Metionina	0,72	1,77
Histidina	0,20	0,58
Isoleucina	0,97	1,05
Leucina	3,84	1,70
Lisina	1,04	1,36
Tirosina	2,67	0,34
Fenilalanina	3,64	1,24
Treonina	0,28	0,63
Triptofano	0,72	0,49
Valina	1,64	1,29
Glicina	0,28	0,93
	(LOS <i>et al.</i> , 2020)	(TEKA <i>et al.</i> , 2020)

Fonte: Elaboração da autora (2020).

Os feijões são fontes de carboidratos, principalmente de amido com elevado teor de amilose e são ricos em fibras alimentares, compostas principalmente por pectina, celulose e

hemicelulose (FIGUEROA, 2016). O elevado teor de amilose nessas leguminosas reflete na elevada quantidade de amido resistente que, juntamente com as frações fibrosas podem contribuir para a redução do índice glicêmico, auxiliando na menor digestibilidade e contribuindo para a redução de alterações na glicose plasmática e insulina após sua ingestão (PHILLIPS *et al.*, 2003; HOOVER *et al.*, 2010,).

Além disso, os feijões são fontes valiosas de vitaminas, incluindo especialmente as vitaminas do complexo B, como folato, tiamina, niacina e riboflavina (CELMELI *et al.*, 2018; KÖSE *et al.*, 2019), representam uma excelente fonte de minerais incluindo potássio, cálcio, ferro, selênio, zinco e fósforo (BASTOS, 2010) e de compostos bioativos com reconhecida capacidade antioxidante (YANG *et al.*, 2018; VASANTHARAJA *et al.*, 2019; ZAHEER *et al.*, 2020).

Embora os feijões sejam ricos nutricionalmente, assim como as outras leguminosas, apresentam naturalmente compostos antinutricionais, capazes de interferir na absorção e utilização de minerais, sendo os principais presentes: o ácido fítico, os taninos, as lectinas e os inibidores de proteases, os quais apresentam a capacidade de inibir a atividade das proteases, incluindo as do sistema digestivo e, conseqüentemente, reduzem a degradação das proteínas (AVILÉS-GAXIOLA *et al.*, 2018).

Vários métodos têm sido testados e adotados pela indústria de alimentos com o objetivo de aumentar e melhorar a qualidade nutricional das leguminosas, como reduzir os fatores antinutricionais e aumentar a disponibilidade de nutrientes no produto (VAGADIA; VANGA; RAGHAVAN, 2017). Dentre estas técnicas encontram-se as que envolvem altas temperaturas como a extrusão, técnicas convencionais como secagem e torrefação, imersão, autoclavagem, germinação e fermentação (EGOUNLETYA; AWORHB, 2003; SHIMELLIS; RAKSHIT, 2006; KAHTTAB; ARNTFIELD 2009; CARVALHO *et al.*, 2013; WORKU, SAHU, 2017).

Por ser uma matéria-prima de baixo custo e com perfil nutricional atraente, o uso do feijão tem se tornado um alvo para indústria de alimentos, sendo os grãos processados à farinha e aplicado geralmente com o objetivo de enriquecer nutricionalmente o produto final (MCWATTER *et al.*, 2004; FROTA *et al.*, 2009; OLAPADE; AWORH; OLUWOLE, 2011; OLAPADE; OLUWOLE, 2013).

3.9 Amido

O amido é o principal constituinte de reserva das plantas. Trata-se de um carboidrato constituído por grânulos semi-cristalinos, que quando aquecidos podem apresentar uma boa capacidade de espessamento devido à composição, rica em grânulos compostos por polímeros de amilose, amilopectina e material intermediário (BEMILLER, 2018).

A amilose é uma molécula essencialmente linear, caracterizada por unidades de α -D-glucopirranose ligadas por ligações glicosídicas α -(1 \rightarrow 4) e poucas ramificações α -(1 \rightarrow 6), permitindo uma fácil associação/cristalização das moléculas, capaz de formar filmes e estruturas fibrilares fortes e com certa elasticidade. A amilopectina é composta por cadeias de resíduos de α -D-glucopirranose ligados α -(1 \rightarrow 4), que são interligados por ligações α -(1 \rightarrow 6), conferindo uma estrutura de cadeias altamente ramificadas, em amidos apresentam níveis de concentração entre 72 a 75%, sendo mais disponíveis que a amilose (25% a 28%) (GOESAERT *et al.*, 2009; BEMILLER, 2018). O material intermediário é responsável por 5 a 7 % da composição do amido, formado por ligações glicosídicas com cadeias de tamanho curto, médio e longo e com propriedades diferentes da amilose e amilopectina (SCHMIELE; SAMPAIO; CLERICI, 2019; TACER-CABA; NILUFER-ERDIL, 2019).

A qualidade final do produto depende diretamente das características do amido, pois os amidos podem ser distintos e apresentar diferentes estruturas, grânulos, grau de cristalinidade e, principalmente, se diferenciar no conteúdo de amilose, amilopectina e material intermediário. Estas são as principais propriedades responsáveis por influenciar o processo de gelatinização e retrogradação no processamento dos pães (GAO *et al.*, 2018).

A gelatinização consiste em um processo importante para a formação de viscosidade, sendo a viscosidade a principal responsável por controlar a retenção de gás numa massa sem glúten (BENDER; SCHÖNLECHNER, 2020). Este fenômeno é resultado de uma modificação física no amido que ocorre quando o amido é aquecido em água a determinada temperatura, durante o aquecimento ocorre a perda de cristalinidade no amido devido à quebra de ligações de hidrogênio intermoleculares, resultando na entrada de água nos grânulos, resultando no inchamento ou intumescimento dos grânulos de amido, sendo este um processo irreversível (ARENDDT *et al.*, 2008).

Em contrapartida, a retrogradação ou recristalização do amido é considerado um efeito negativo, pois é responsável pelo aumento na firmeza do miolo e perda de frescor do pão, cujo processo envolve dois eventos principais; a migração da água do miolo para a crosta (perda de umidade) e a retrogradação das moléculas de amido (DEMIRKESEN *et al.*, 2014), ocorrendo

logo após a gelatinização. À medida que o miolo esfria, inicia-se um processo de reestruturação no amido, em que a amilopectina e amilose sofrem alterações em sua molécula e passam a se reorganizar e formar novas estruturas cristalinas (GOESAERT *et al.*, 2009).

Assim, a amilose é responsável pela retrogradação inicial, sendo a principal responsável pela retrogradação rápida nos pães sem glúten, enquanto a amilopectina retrograda mais lentamente. Ambos polímeros vão influenciar nas características finais e de envelhecimento do pão.

As principais fontes de amido na panificação sem glúten provêm de arroz, milho, mandioca e batata, os quais apresentam diferentes teores de amilose e amilopectina, o que lhes conferem propriedades tecnológicas diferentes. As características do amido como: tamanho do grânulo, teor e distribuição de amilose e amilopectina, volume e solubilidade em água, poder de geleificação, propriedades da pasta de amido e do gel (como: viscosidade, retrogradação e temperatura de gelatinização), são fatores determinantes nas características finais dos pães (WITCZAK *et al.*, 2016).

O amido de milho e a farinha de arroz apresentam temperatura de gelatinização mais elevadas e ocorre a formação de um gel maleável e pouco viscoso, com alto teor de amilose e, portanto, estão relacionados a maior taxa de retrogradação. Já a fécula de batata e de mandioca apresentam temperatura de gelatinização mais baixas, formação de géis mais fracos e pouco consistentes, porém mais viscosos, o teor de amilose é menor, por isso estão relacionados a menor tendência de retrogradação (SINGH *et al.*, 2003; OLIVEIRA, 2011).

3.10 Hidrocoloides

Os hidrocoloides são polissacarídeos de elevada massa molar e altamente hidratáveis, geralmente extraídos de material vegetal, animal ou de algas, produzidos por micro-organismos ou obtidos de forma sintética (BEMILLER, 2018). A aplicação de hidrocoloides na indústria de alimentos deve-se principalmente pela capacidade em formar géis viscoelásticos. O gel produzido é responsável pela formação de uma rede tridimensional, capaz de reter a água disponível no meio, fator que confere ao hidrocoloide a afinidade e alta capacidade em absorver água (BEMILLER, 2008 e ARENDT *et al.*, 2008).

Na panificação, os hidrocoloides atuam como estabilizantes, espessantes, geleificantes, aumentam a absorção de água e, conseqüentemente, aumentam a viscosidade da massa. Os hidrocoloides são capazes de aumentar a retenção de gás e retardar o processo de retrogradação do amido. Tais características relacionam-se com a melhora das características

do pão, como maior volume específico e melhor textura pela maior maciez proporcionada ao miolo (GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2004).

De acordo com Lazaridou *et al.* (2007), a quantidade e o tipo de hidrocolóides utilizados na fabricação de pão sem glúten pode influenciar nas características finais dos pães. A combinação de hidrocolóides e ingredientes tem sido estudada e resultados positivos foram encontrados para combinação entre hidrocolóides, farinhas e amidos, sendo a goma xantana e o hidroxipropilmetilcelulose os hidrocolóides mais utilizados (ROSSEL; ROJAS; BARBER, 2001; AHLBORN *et al.*, 2005; MOORE *et al.*, 2006; LAZARIDOU *et al.*, 2007).

A goma xantana é de origem microbiana, secretada pela bactéria *Xanthomonas campestris*. O limite máximo de aplicação em alimentos, no Brasil, é estabelecido a 1 g/100 g ou 100 ml conforme a Resolução RDC nº 45 de 03 de novembro de 2010 (BRASIL, 2010). Na indústria de alimentos, a goma xantana é utilizada principalmente como estabilizante, pois são estáveis a mudanças de temperatura e pH. Na panificação é principalmente responsável por melhorar a viscosidade da massa (BEMILLER, 2008).

3.11 Fermentação natural - massa ácida

A fermentação é uma das técnicas mais antigas empregadas na produção de alimentos a base de cereais, consiste em uma mistura de farinha e água, que é fermentada a um dado período de tempo, através de micro-organismos presentes no próprio meio. A qualidade e a estabilidade final da massa ácida é influenciada por diversos fatores como: temperatura, qualidade e quantidade de água adicionada, qualidade e composição da farinha e adição de outras matérias-primas como fermento (cultura iniciadora), açúcares, frutas, entre outros (RIPARI; GÄNZLE; BERARDI, 2016; NEVES *et al.*, 2020).

A massa ácida é composta principalmente por bactérias lácticas e leveduras, geralmente numa proporção de 100:1, respectivamente, em que durante o processo de fermentação da mistura ocorre a liberação de ácido lático e ácido acético resultando como produto final em uma massa de sabor característico ácido (GOBBETTI, 1998).

A massa ácida pode ser classificada, com base nas condições de processo aplicadas à produção em: tipos I, II, III e IV (DE VUYST *et al.*, 2014; SIEPMANN *et al.*, 2017; VAN KERREBROECK; MAES; DE VUYST, 2017, SAKANDAR *et al.*, 2019) conforme exemplificado em fluxograma na Figura 3.2.

A massa ácida tipo I refere-se à fermentação tradicional e espontânea, com uma propagação diária em que não é adicionada levedura e/ou bactérias lácticas como *starters*. A

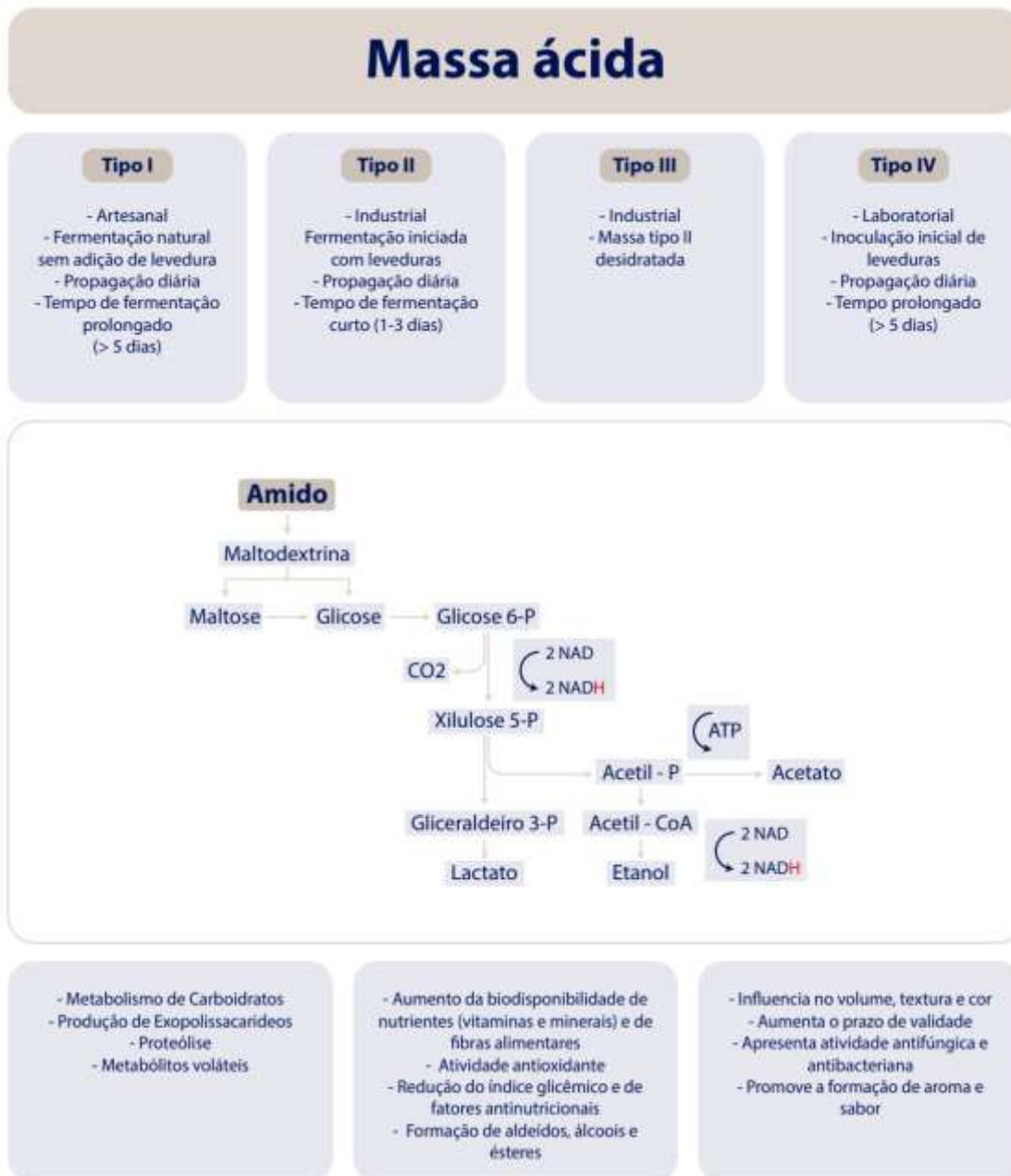
massa é alimentada diariamente com uma nova adição de água e farinha por um período de tempo prolongado (> 5 dias) ou seja, até que a massa fermentada seja capaz de atingir a maturação através de uma estabilidade microbiana (SIEPMANN *et al.*, 2017). A qualidade desse tipo de massa está diretamente relacionada aos produtos utilizados e ao ambiente de produção, considerando-se que a farinha é um produto artesanal não estéril e com uma microbiota rica em diversos micro-organismo. Esse tipo de massa possui ecossistemas únicos em que a redução no pH ao longo da fermentação favorece uma seleção de micro-organismos bem adaptados ao meio (DE VUYST *et al.*, 2014; SIEPMANN *et al.*, 2017; VAN KERREBROECK; MAES; DE VUYST, 2017, SAKANDAR *et al.*, 2019).

A tipo II corresponde a uma fermentação iniciada por cepas já adaptadas (culturas *starters*), ou seja, há adição de levedura e/ou bactérias lácticas em uma única etapa e duram de 1 a 3 dias, apresentam capacidade de acidificar rapidamente a massa quando comparada a massa do tipo I. A massa tipo II finalizada pode ser desidratada para comercialização, sendo classificada como tipo III, a qual é frequentemente usada pelas padarias industriais, pois é padronizada e de fácil manuseio, podem ser utilizados como ingredientes promotores de aromas sem viabilidade celular dos micro-organismos na produção de pão, ou podem ser adquiridas para realizar a fermentação de massa ácida junto à cultura iniciadora (cultura *starters*) em padarias (DE VUYST *et al.*, 2014; SIEPMANN *et al.*, 2017; VAN KERREBROECK; MAES; DE VUYST, 2017, SAKANDAR *et al.*, 2019).

A tipo IV constitui em uma mistura das massas ácida tipo I e tipo II, em que há a inoculação inicial de leveduras e uma fermentação prolongada seguida por propagação diária. Ocorre uma seleção natural entre as espécies dada pela competição entre a microbiota de crescimento espontâneo e a cultura inicial adicionada na massa. Neste processo a cultura inoculada inicialmente pode não se adaptar as condições do ambiente natural da massa ácida, podendo ser menos competitiva e adaptativa, prevalecendo assim somente aquelas predominantes na microbiota e adequadas ao desenvolvimento do ecossistema da massa fermentada (DE VUYST *et al.*, 2014; SIEPMANN *et al.*, 2017).

A microbiota das massas ácidas é complexa e de difícil compreensão, apresenta-se como um ecossistema rico em nutrientes e a estabilidade da massa está relacionada em partes pelas diversas interações tróficas entre os micro-organismos do meio e os substratos disponíveis no ambiente. Além disso, a complexidade dos consórcios microbianos é importante no desempenho e interação de cada membro o que, conseqüentemente, irá influenciar nas características finais do produto fermentado tais como sabor, odor, gosto e textura (GOBBETTI; CORSETTI; ROSSI, 1994; SAKANDAR *et al.*, 2019).

Figura 3.2 - Fluxograma simplificado para a produção da massa ácida



Fonte: Da autora (2020).

Os principais micro-organismos presentes na massa ácida são as leveduras e as bactérias ácido lácticas (BAL), as quais relacionam-se, principalmente, pelo metabolismo de carboidratos e de proteínas, e as interações são mediadas por compostos estimulatórios ou inibitórios resultantes destes processos (CHAVAN; CHAVAN, 2011). De acordo com Gobbetti; Corsetti e Rossi (1994) as BAL e leveduras na massa ácida são capazes de estimular o crescimento uma da outra por hidrólise da maltose e da sacarose, beneficiando a levedura

(como *Sacharomyces cerevisiae*) que é incapaz de hidrolisar e utilizar maltose e beneficia as BAL (como *L. plantarum*) que crescem melhor em meios com glicose.

As principais atividades metabólicas na massa ácida estão relacionadas com a acidificação e fermentação, sendo as BAL as principais responsáveis por conferir a acidez e a estabilidade na massa, principalmente pela produção de ácido láctico e, em menor grau, ácido acético e ácido succínico, contribuindo assim para a queda de pH na massa fermentada e aumento da acidez (DE VUYST, 2014).

As principais BAL presentes em massas fermentadas são as do gênero Lactobacilos, e podem ser caracterizadas como: homofermentativas, que produzem apenas ácido láctico como produto final da fermentação pelo ciclo glicolítico, e as heterofermentativas, que produzem principalmente ácido láctico, ácido acético e dióxido de carbono pelo ciclo metabólico de 6-fosfogluconato, sendo este tipo o mais comum nas massas ácidas, pois apresentam alta capacidade de adaptação ao meio (DE VUYST; NEYSENS, 2005; DE VUYST, 2014; DE VUYST *et al.*, 2016; VAN KERREBROECK; MAES; DE VUYST, 2017; SAKANDAR *et al.*, 2019). Assim, as massas que são submetidas a um período prolongado de fermentação com propagação diária apresentam maior predominância de BAL do gênero heterofermentativas (DE VUYST; NEYSENS, 2005).

Os lactobacilos heterofermentativos realizam a fermentação das pentoses através da oxidação de glicose-6-fosfato à gluconato-6-fosfato, o qual sofre descarboxilação liberando uma molécula de gás carbônico e ruptura da pentose resultante (xilulose-5-fosfato) em gliceraldeído-3-fosfato e acetilfosfato. O gliceraldeído-3-fosfato da origem ao lactato, enquanto o acetil-fosfato pode seguir dois caminhos distintos. Quando o acetil-fosfato é convertido a acetato ao invés de etanol, 1 mol adicional de ATP pode ser produzido pela atividade do acetato quinase que, na presença de receptores de elétrons, permite a reciclagem do NAD^+ sem a necessidade da formação de etanol (CORSETTI; SETTANI, 2007) como resumido na Figura 3.2.

Além disso, as BAL presentes em massa ácida podem realizar cofermentações, como alternativas metabólicas, utilizando substratos não fermentáveis e aumentando assim a adaptabilidade do micro-organismo, por exemplo a formação de piruvato e lactato derivados de substratos não convencionais, como aminoácidos (CHAVAN; CHAVAN, 2011). Neste caso, deve-se considerar o sistema proteolítico, que consiste em uma serina, peptídeos e oligopeptídeos e peptidases intracelulares, as proteases são agrupadas em proteínases, responsáveis por catalisar a degradação de proteínas em frações peptídicas menores e as peptidases responsáveis por hidrolisar as ligações peptídicas específicas ou degradar os

peptídeos em aminoácidos. No processo de cofermentação, a serina pode ser desaminada em amônia e piruvato e, posteriormente, reduzida a lactato. O piruvato é produzido diretamente (a partir da alanina) ou indiretamente (a partir do aspartato) por transaminação. A degradação do lactato é capaz de influenciar no sabor e textura do produto final, especialmente pela formação de acetato e CO₂ (LIU, 2003; LIU *et al.*, 2008).

Ainda, os aminoácidos e os peptídeos são capazes de influenciar no odor dos alimentos fermentados pois são precursores de compostos voláteis de baixa massa molar, bem como no sabor, já que os aminoácidos podem ser convertidos em compostos de sabor durante o cozimento; assim, a proteólise durante a fermentação relaciona-se com a melhora no sabor e odor do pão (THIELE; GÄNZLE; VOGEL, 2002; LIU *et al.*, 2008). De acordo com Coda *et al.* (2017b), a hidrólise de peptídeos pelos *Lactobacilos* na massa ácida é capaz de acumular aminoácidos na massa, em que foi verificado em seus estudos uma intensa atividade proteolítica durante a propagação de massas fermentadas por farinha de fava (*Vicia Faba* (L.)), a partir de uma diminuição do conteúdo de peptídeos e um aumento na concentração de aminoácidos livres nas massas (CODA *et al.* 2017b).

Um grande interesse tem sido despertado na comunidade científica em direção à aplicação de massa ácida em pães sem glúten, no intuito de melhorar características funcionais e nutricionais como melhorar o perfil do complexo de fibras alimentares, melhorar a disponibilidade de nutrientes, aumentar a disponibilidade de vitaminas e minerais e favorecer a redução do índice glicêmico (GOBBETTI *et al.*, 2014; DE VUYST *et al.*, 2016; CODA *et al.*, 2017a; BENDER *et al.*, 2018; GOBBETTI *et al.*, 2019). Alguns estudos dos últimos anos podem ser observados no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Principais características relacionadas a microbiota da massa ácida e aplicações em pães sem glúten

Título do trabalho	Matéria-prima principal	Procedimentos	Achados principais	Fonte
Significado do processo de fermentação nas propriedades bioquímicas de <i>Phaseolus vulgaris</i> (feijões vermelhos)	Farinha de feijão vermelho	- Fermentação natural espontânea – tipo I (4 dias) - Fermentação controlada com cultura iniciadora – massa ácida tipo II (4 dias)	- Redução de fatores antinutricionais - Aumento da digestibilidade proteica	WORKU (2017)
Propagação do tipo <i>Sourdough</i> da farinha de feijão fava: Dinâmica de consórcios microbianos e implicações bioquímicas	Farinha de fava nativa	- Fermentação natural espontânea – tipo I - Propagação diária (14 dias) - Isolamento de BAL	- Aumento de aminoácidos livres - Intensa atividade proteolítica - Aumento de fenóis totais e capacidade antioxidante - Redução de fatores antinutricionais	CODA <i>et al.</i> (2017a)
Caracterização físico-química e biológica do EPS produzido por <i>L. acidophilus</i> isolado de massa fermentada de farelo de arroz	Farelo de arroz	- Fermentação espontânea – tipo I - Propagação diária (10 dias) - Isolamento de BAL	- Produção de expolissacarídeos - Propriedades antioxidantes	ABDFAR <i>et al.</i> (2020)
Efeitos nutricionais e funcionais da fermentação de bactérias de ácido láctico em farinhas de leguminosas gelatinizadas	Farinha nativa e farinha gelatinizada de lentilha, feijão, grão de bico e ervilha	- Fermentação com cultura iniciadora selecionada – tipo II - Fermentação única (24h)	- Redução de fatores antinutricionais - Redução do índice de hidrólise do amido - Aumento da digestibilidade proteica - Degradação de fatores antinutricionais	PASQUALE <i>et al.</i> (2020)
Efeitos de lactobacilos selecionados nas propriedades funcionais e estabilidade do pão de massa fermentada sem glúten	Farinha de trigo sarraceno	- Fermentação com cultura iniciadora selecionada – tipo II - Fermentação única – 18h. - Fermentação com cultura iniciadora selecionada e fermentação espontânea propagação diária – 10 dias – tipo IV	- Diferentes períodos de propagação foram capazes de influenciar diferentemente nas propriedades tecnológicas dos pães sem glúten (textura, volume, firmeza e dureza) e nas concentrações de metabolitos na massa fermentada.	BENDER <i>et al.</i> (2018)

O desenvolvimento de pães sem glúten começou com massa ácida de linhaça e chia fermentada por bactérias de ácido láctico selecionadas	Sorgo, farinha de chia e farinha de linhaça	- Fermentação das farinhas de chia e linhaça com cultura iniciadora selecionada– Tipo II - Fermentação única - 24h	- Aumento de lactato, xilose, arabinose, aminoácidos livres e peróxido de hidrogênio nas massas após fermentação - Aumento de aminoácidos livres nas massas - Maior volume específico dos pães - Melhor aparência dos pães	MAIDANA (2020)
Propriedades reológicas, de textura e nutricionais da massa fermentada sem glúten feita com bactérias de ácido láctico funcionalmente importantes e leveduras do sorgo nigeriano	Farinha de milho e farinha de sorgo	- Germinação dos grãos de sorgo (24h) - Fermentação da farinha de sorgo com cultura iniciadora selecionada - tipo II - Fermentação única – 24h	- Aumento no teor de fibras alimentares - Maior dureza e menor volume, porém houve aumento na coesão, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade.	OLOJEDE (2020)

Fonte: Da autora (2020).

3.12 Conclusões

A massa ácida de farinhas de cereais sem glúten combinadas com farinhas de leguminosas demonstram viabilidade de aplicação, com baixo custo de aquisição e produção com grande potencial para melhorar as propriedades tecnológicas, sensoriais e nutricionais de pães. A complexidade das diversas reações metabólicas que ocorrem durante o processo de fermentação natural e maturação de massas ácidas mostra-se capaz de favorecer a liberação de diversos compostos capazes de influenciar nas variadas respostas de qualidade dos produtos finais. No entanto, mais estudos sobre a complexidade dos diferentes micro-organismos e interações com os ingredientes e fatores externos sejam necessários para avaliar a sua influência nas características de qualidade final de pães sem glúten. Além disso, a combinação adequada entre o balanço de formulação, os ingredientes e os métodos de panificação são de fundamental importância para a elaboração de um produto final de qualidade satisfatória para o consumidor.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) e ao Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) pelo suporte institucional e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro (código de financiamento 001).

3.13. Referências

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMIST INTERNATIONAL (AACCI). **AACC Approved Methods of Analysis**. 11^a ed. St Paul: Cereals & Grains Association, 2010.

AHLBORN, G. J. *et al.* Sensory, Mechanical, and Microscopic Evaluation of Staling in Low-Protein and Gluten-Free Breads. **Cereal Chemistry**, v. 82, n. 3, p. 328 – 335, 2005.

ARENDET, E. K. *et al.* Gluten-Free breads. *In*: ELKE, K.; BELL, F. B. **Gluten-Free Cereal Products and Beverages**. Academic Press, 2008. p. 289 – 319. Cap. 13.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE BISCOITOS, MASSAS ALIMENTÍCIAS E PÃES & BOLOS INDUSTRIALIZADOS (ABIMAPI). Estatísticas de pães & bolos. Disponível em: <https://abimapi.com.br/>. Acesso em 07 fev. 2020

AUTIO, K.; LAURIKAINEN, T. Relationship between flour/dough microstructure and dough handling and baking properties. *Trends in Food Science & Technology*, v. 8, n. 6, p. 181 – 185, 1997.

AVILÉS-GAXIOLA, S. *et al.* Effect of thermal processing and reducing agents on trypsin inhibitor activity and functional properties of soybean and chickpea protein concentrates. **LWT – Food Science and Technology**, v. 98, p. 629 – 634, 2018.

BAO, J.; BERGMAN, C. J. Rice Flour and Starch Functionality. *In*: SJÖÖ, M.; NILSSON, L. **Starch in Food: Structure, Function and Applications**. 2nd edition. Woodhead Publishing, 2018. p. 373 – 419. 10th chapter.

BASTOS, E. A. **Boletim agrometeorológico de 2008 para o Município de Teresina, Pi.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2010.

BASTOS, E. A. *et al.* **A cultura do Feijão-Caupi no Brasil**. Teresina: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, EMBRAPA Meio-Norte, 2016. 71 p.

BEMILLER, J. N. Hydrocolloids. *In*: **Gluten-Free Cereal Products and Beverages**. Academic Press, 2008. p. 203 – 215. 9th chapter.

BEMILLER, J. N. Polysaccharides: Occurrence, Structures, and Chemistry. *In*: BEMILLER, J. N. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. 3rd ed. Woodhead Publishing and AACC International Press, 2018. p. 75 – 101. 4th chapter.

BENDER, D. *et al.* Effects of selected lactobacilli on the functional properties and stability of gluten-free sourdough bread. **European Food Research and Technology**, v. 244, p. 1037 – 1046, 2018.

BENDER, D.; SCHÖNLECHNER, R. Innovative approaches towards improved gluten-free bread properties. **Journal of Cereal Science**, v. 91, p. 1 – 8, 2020.

BRANDT, M. J. Industrial production of sourdoughs for the baking branch – An overview. **International Journal of Food Microbiology**, v. 302, p. 3 – 7, 2019.

BRASIL. Casa Civil. 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. **Diário Oficial da União**: Brasília, 16 de maio 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde (MS). Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução – RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o “Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos”, constante do Anexo desta Resolução. **Diário Oficial da União**: Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 12 de 28 de março de 2008. Estabelece o Regulamento Técnico do Feijão, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde (MS). Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução de Diretoria Colegiada – RDC nº 45, de 03 de novembro de 2010. Dispõe sobre aditivos alimentares autorizados para uso segundo as Boas Práticas de Fabricação (BPF). **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 03 nov. 2010.

BRIGIDE, P.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Antinutrients and “in vitro” availability of iron in irradiated common beans (*Phaseolus vulgaris*). **Food Chemistry**, v. 98, n. 1, p. 85 – 89, 2006.

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

BUSTILLOS, M. A. *et al.* Rheological and microstructural characterization of batters and sponge cakes fortified with pea proteins. **Food Hydrocolloids**, v. 101, 2019.

CABANILLAS, B. Gluten-related disorders: Celiac disease, wheat allergy, and nonceliac gluten sensitivity. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1 – 16, 2019.

CARVALHO, A. W. *et al.* Heat-treatment reduces anti-nutritional phytochemicals and maintains protein quality in genetically improved hulled soybean flour. **Food Science and Technology**, v. 33, n. 2, p. 310 – 315, 2013.

CATASSI, C.; GATTI, S.; FASANO, A. The new epidemiology of celiac disease. **J Pediatr Gastroenterol Nutr.**, v. 59, n. 1, p. S7 – S9, 2014.

CAUVAIN, S. **Technology of breadmaking**. 3^a ed. Witney, UK: Springer International Publishing. 2015.

CHAVAN, R. S.; CHAVAN, S. R. Sourdough Technology – A traditional Way for Wholesome Foods: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 10, n. 3, p. 170 – 183, 2011.

CELMELI, T.; *et al.* The Nutritional Content of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Landraces in Comparison to Modern Varieties. **Agronomy**, v. 8, n. 166, p. 1-9, 2018

CIANFERONI, A. Wheat allergy: diagnosis and management. **Journal of Asthma and Allergy**, v. 9, p. 13 – 25, 2016.

CODA, R. *et al.* Improvement of the Protein Quality of Wheat Bread Through Faba Bean Sourdough Addition. **LWT - Food Science and Technology**, v. 82, p. 296 - 302, 2017a.

CODA, R. *et al.* Sourdough-type propagation of faba bean flour: Dynamics of microbial consortia and biochemical implications. **International Journal of Food Microbiology**, v. 248, p. 10 – 21, 2017b.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). 8^o ed. **Levantamento da safra brasileira de grãos 2017/2018**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 07 de fev. 2020

CORDERO-LARA, K. I. Temperate japonica rice (*Oryza sativa* L.) breeding: History, present and future challenges. **Chil. j. agric. res.** v. 80, n. 2, p. 303-314, 2020.

CORSETTI, A.; SETTANNI, L. Lactobacilli in sourdough fermentation. **Food Research International**, v. 40, n. 50, p. 539-558, 2007.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 5ª ed. São Paulo: Editora Manole LTDA, 2016.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema**. 5ª ed. Artmed Editora, 2018.

DE VUYST, L.; NEYSENS, P. The sourdough microflora: biodiversity and metabolic interactions. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16, n. 1 – 3, p. 43 – 56, 2005.

DE VUYST, L. *et al.* Microbial ecology of sourdough fermentations: diverse or uniform? **Food Microbiology**, v. 37, p. 11 – 39, 2014.

DE VUYST, L. *et al.* Yeast diversity of sourdoughs and associated metabolic properties and functionalities. **International Journal of Food Microbiology**, v. 239, p. 26 – 34, 2016.

DE VUYST, L.; VAN KERREBROECK, S.; LEROY, F. Microbial Ecology and Process Technology of Sourdough Fermentation. *In*: SARIASLANI, S.; GADD, G. M. **Advances in Applied Microbiology**. Elsevier, 2017. v. 100. p. 49 – 160. 2nd chapter.

DEMIRKESEN, I. *et al.* A Study on Staling Characteristics of Gluten-Free Breads Prepared with Chestnut and Rice Flours. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, p.806 – 820, 2014.

EGOUNLETY, M.; AWORH, O. C. Effect of soaking, dehulling, cooking and fermentation with *Rhizopus oligosporus* on the oligosaccharides, trypsin inhibitor phytic acid and tannins of soybean (*Glycine max* Merr.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and groundbean (*Macrotyloma geocarpa* Harms). **Journal of Food Engineering**, v. 56, n. 2 – 3, p. 249 – 254, 2003.

FIGUEROA, AMANDA MILEO. **Caracterização de amidos obtidos de diferentes feijões e sua aplicação em filmes biodegradáveis**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). FAOSTAT. Crops. 2017.

FROTA, K. M. G. *et al.* Utilização da farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) na elaboração de produtos de panificação. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 30, n. 1, p. 44 – 50, 2009.

FROTA, K. M. G.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Composição química do feijão caupi (*vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 28, n. 2, p. 470 – 476, 2008.

GALLAGHER, E.; GORMLEY, T. R.; ARENDT, E. K. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 153 – 161, 2003.

GALLAGHER, E.; GORMLEY, T. R.; ARENDT, E. K. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. **Food Science & Technology**, v. 15, p. 143 – 152, 2004.

GAO, Y. *et al.* Gluten-free bakery and pasta products: prevalence and quality improvement. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 53, p. 19 -32, 2018.

GOBBETTI, M.; CORSETTI, A.; ROSSI, J. The sourdough microflora. Interactions between lactic acid bacteria and yeasts: metabolism of carbohydrates. **Appl Microbiol Biotechnol**, v.41, p. 456-460, 1994.

GOBBETTI, M. The sourdough microflora: Interactions of lactic acid bacteria and yeasts. **Trends in Food Science & Technology**, v. 9, p. 267 – 274, 1998.

GOBBETTI, M. *et al.* Sourdough lactobacilli and celiac disease. **Food Microbiology**, v. 24, p. 187 – 196, 2007. **Food Microbiol.**, v. 24, n. 2, p. 187 – 196, 2008.

GOBBETTI, M. *et al.* How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. **Food Microbiology**, v. 37, p. 30 – 40, 2014.

GOBBETTI, M. *et al.* Novel insights on the functional/nutritional features of the sourdough fermentation. **International Journal of Food Microbiology**, v. 302, p. 103 – 113, 2019.

GOESAERT, H. *et al.* Amylases and Bread Firming-Na Integrated View. **Journal of Cereal Science**, v. 50, n. 1, p. 345 - 352, November 2009.

HALLÉN, E.; IBANOGLU, S.; AINSWORTH, P. Effect of fermented/germinated cowpea flour addition on the rheological and baking properties of wheat flour. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 177 – 184, 2004.

HASHIMOTO, J. M.; SCHMIELE, M.; NABESHIMA, E. H. Propriedade da pasta de farinha de cotilédones de feijão-caupi crua e extrusada. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, p. 1-11, 2020.

HEITMANN, M.; ZANNINI, E.; ARENDT, E. Impact of *Saccharomyces cerevisiae* metabolites produced during fermentation on bread quality parameters: a review. **Crit Rev Food Sci Nutr.**, v. 58, n. 7, p. 1152 – 1164, 2018.

HOOVER, R. *et al.* Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: a review. **Food Research International**, v. 43, n. 2, p. 399 – 413, 2010. DOI 10.1016/j.foodres.2009.09.001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399690900266X>. Acesso em: 24 julho 2020.

ISHIDA, P. M. G.; STEEL, C. J. Physicochemical and sensory characteristics of pan bread samples available in the Brazilian Market. **Food Science and Technology**, v. 34, n. 4, p. 746-754, 2014.

JAECKEL, L.; SCHMIELE, M. Tecnologia de cereais. Em: FERNANDES, M.S.; GARCIA, R.K.A. (Eds). **Princípios e inovações em ciência e tecnologia de alimentos**. Rio de Janeiro: AMC Guedes, 2015, p. 73-108.

KALE, R.; DESHMUKH, R. Gluten-Free Products Market by Type (Gluten-free Baby Food, Gluten-free Pasta, Gluten-free Bakery Products, and Gluten-free Ready Meals) and Distribution Channel (Convenience Stores, Specialty Stores, Drugstore & Pharmacy, and Others): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2020-2037. **FB: Nutraceutical/Wellness Food**, 2020. 245p. Disponível em: <https://www.alliedmarketresearch.com/gluten-free-products-market>. Acesso em: 24 julho 2020.

KATO, L. S. Caracterização química de feijão para produção de material de referência certificado. 2014. Dissertação (Mestrado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

KATO, L. S.; *et al.* Elemental characterization of Brazilian beans using neutron activation analysis. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 306, p. 701-706, 2015.

KHATTAB, R. Y.; ARNTFIELD, S. D. Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments 2. Antinutritional factors. **LWT – Food Science and Technology**, v. 42, n. 6, p. 1113 – 1118, 2009.

KÖSE, M. A.; EKBIÇ, E.; ARICI, Y. K. Determination of protein, vitamins, amino acids and mineral element content of Yenice and Pinarli bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Turkish Journal of Food and Agriculture Sciences**, v. 1, n. 1, p. 6-11, 2019.

LAGRAIN, B.; BRIJS, K.; DELCOUR, J. A. Reaction Kinetics of Gliadin – Glutenin Cross-Linking in Model Systems and in Bread Making. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 26, p. 10660 – 10666, 2008.

LAZARIDOU, A. *et al.* Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 3, p. 1033 – 1047, 2007.

LEONARD, M. M. *et al.* Celiac Disease and Nonceliac Gluten Sensitivity: A Review. **JAMA**, v. 318, n. 7, p. 647 – 656, 2017.

LIRA, ARLYANE PEREIRA. **Aplicação de ferinhas de cogumelos na produção de pão e avaliação das propriedades tecnológicas e sensoriais**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia, 2017.

LIU, S. Q. Practical implications of lactate and pyruvate metabolism by lactic acid bacteria in food and beverage fermentations. **International Journal of Food Microbiology**, v. 83, n. 2, p. 115-131, 2003.

LIU, M. *et al.* Comparative Genomics of Enzymes in Flavor-Forming Pathways from Amino Acids in Lactic Acid Bacteria. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 74, n. 5, p.4590-4600, 2008.

LOS, F. G. B. *et al.* Enzymatic hydrolysis of Carioca bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein as an alternative to commercially rejected grains. *LWT – Food Science and Technology*, v. 125, p. 1 – 8, 2020.

LUDVIGSSON, J. F.; GREEN, P. H. Clinical management of coeliac disease. *J Intern Med.*, v. 269, n. 6, p. 560 – 570, 2011.

MAIDANA, S. D.; *et al.* Biodiversity and technological-functional potential of lactic acid bacteria isolated from spontaneously fermented chia sourdough. *International Journal of Food Microbiology*, v. 316, p. 1-10, 2020.

MANSUETO, P. *et al.* Non-Celiac Gluten Sensitivity: Literature Review. *Journal of the American College of Nutrition*, v. 33, n. 1, p. 39 - 54, 2014.

MANSUETO, P. *et al.* Non-celiac wheat sensitivity: a search for the pathogenesis of a self-reported condition. *Italian Journal of Medicine*, v. 13, p. 15 – 23, 2019.

MASURE, H. G.; FIERENS, E.; DELCOUR, J. A. Current and forward looking experimntal approaches in gluten-free bread making research. *Journal of Cereal Science*, v. 67, p. 92 – 111, 2016.

MCWATTERS, K. H. *et al.* Baking performance and consumer acceptability of raw and extruded cowpea flour breads. *Journal of Food Quality*, v. 27, p. 337 – 351, 2004.

MERESSE, B.; MALAMUT, G.; CERF-BENSUSSAN, N. Celiac Disease: Na Immunological Jigsaw. *Immunity*, v. 36, n. 6, p. 907 – 919, 2012.

MONTONYA, C. A. *et al.* Phaseolin diversity as a possible strategy to improve the nutritional value of common beand (*Phaseolus vulgaris*). *Food Research International*, v. 43, n. 2, p. 443 – 449, 2010.

MOORE, M. M. *et al.* Network Formation in Gluten-Free Bread with Application of Transglutaminase. *Cereal Chemistry*, v. 83, n. 1, p. 28 – 36, 2006.

MOORE, M. M. *et al.* Texture Comparisons of Gluten-Free and Wheat-Based Doughs, Batters, and Breads. *Cereal Chemistry*, v. 81, n. 5, p. 567 – 575, 2004.

MORONI, A. V.; DAL BELLO, F.; ARENDT, E.K. Sourdough in gluten-free bread-making: An ancient technology to solve a novel issue? *Food Microbiology*, v. 26, n.7, p.676-684, 2009.

NEVES, N. A.; GOMES, P. T. G.; SCHMIELE, M. Estudo exploratório sobre a elaboração e avaliação de pães de forma com fermentação natural e adição de polpa de araticum (*Annona crassiflora* Mart.). *Research, Society and Development*, v. 9, n. 9, p. 1-27, 2020.

OLAPADE, A. A.; AWORH, O. C.; OLUWOLE, O. B. Quality attributes of biscuit from acha (*Digitaria exilis*) flour supplemented with cowpea (*Vigna unguiculata*) flour. *African Journal of Food Science and Technology*, v. 2, n. 9, p. 198-203, 2011.

OLAPADE, A. A.; OLUWOLE, O. B. Bread Making Potential of Composite Flour of Wheat-Acha (*Digitaria exilis* staph) Enriched with Cowpea (*Vigna unguiculata* L. walp) Flour. *Nigerian Food Journal*, v. 31, n. 1, p. 6 – 12, 2013.

OLIVEIRA, DAIANA CARDOSO DE. **Caracterização e potencial tecnológico de amidos de diferentes cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2011.

OLOJEDE, A. O.; SANNI, A. I.; BANWO, K. Rheological, textural and nutritional properties of gluten-free sourdough made with functionally importante lactic acid bactéria and yeast from Nigerian sorghum. **LWT – Food Science and Technology**, v. 120, p. 1-8, 2020.

ONYANGO, C. Starch and modified starch in bread making: A review. **African Journal of Food Science**, v. 10, n. 12, p. 344 – 351, 2016.

ORTOLAN, F.; STEEL, C. J. Protein Characteristics that Affect the Quality of Vital Wheat Gluten to be Used in Baking: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, p. 369-381, 2017.

OSBORNE, T. B. **The vegetable proteins**. London: University of California Libraries, 1924. Disponível em: <https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/18912#/summary>. Acesso em: 24 julho 2020.

PĂCULARU-BURADA, B.; GEORGESCU, L. A.; BAHRIM, G. Current approaches in sourdough production with valuable characteristics for technological and functional applications. **Food Technology**, v. 44, n. 1, p. 132-148, 2020.

PHILLIPS, R. D. *et al.* Utilization of cowpeas for human food. **Field Crops Research**, v. 82, n. 2 – 3, p. 193 – 213, 2003.

PINTO, JENNIFER VIEIRA. **Propriedades físicas, químicas, nutricionais e tecnológicas de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) de diferentes grupos de cor**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2016.

REESE, I. *et al.* Non-celiac gluten/wheat sensitivity (NCGS) – a currently undefined disorder without validated diagnostic criteria and of unknown prevalence. **Allergo J Int**, v. 27, p. 147 – 151, 2018.

RIPARI, V.; GÄNZLE, M. G.; BERARDI, E. Evolution of sourdough microbiota in spontaneous sourdoughs started with different plant materials. **International Journal of Food Microbiology**, v. 232, p. 35-42, 2016.

ROMANO, A. *et al.* Description of leavening of bread dough with mathematical modelling. **Journal of Food Engineering**, v. 83, p. 142 – 148, 2007.

ROSELL, C. M.; ROJAS, J. A.; DE BARBER, C. B. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. **Food Hydrocolloids**, v. 15, n. 1, p. 75 – 81, 2001.

ROSELL, C. M.; MARCO, C. Rice. In: ARENDT, E. K.; DAL BELLO, F. **Gluten-Free Cereal Products and Beverages**. Food Science and Technology, 2008. p. 81 – 100. 4th chapter.

- ROSZKOWSKA, A. *et al.* Non-Celiac Gluten Sensitivity: A Review. **Medicina**, v. 55, n. 6, p. 1 – 19, 2019.
- RUBIO-TAPA, A. *et al.* ACG Clinical Guidelines: Diagnosis and Management of Celiac Disease. **American Journal of Gastroenterology**, v. 108, n. 5, p. 656 – 676, 2013.
- RUBIO-TAPIA, A.; MURRAY, J. A. Classification and Management of Refractory Celiac Disease. **HSS Author Manuscripts**, v. 59, n. 4, p. 547 – 557, 2010.
- SAHLSTRÖM, S.; PARK, W.; SHELTON, D. R. Factors Influencing Yeast Fermentation and the Effect of LMW Sugars and Yeast Fermentation on Hearth Bread Quality. **Cereal Chemistry**, v. 81, n. 3, p. 328 – 335, 2004.
- SAKANDAR, H. A. *et al.* Sourdough bread: A contemporary cereal fermented product. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 3, p. 1 – 15, 2019.
- SAPONE, A. *et al.* Divergence of gut permeability and mucosal immune gene expression in two gluten-associated conditions: celiac disease and gluten sensitivity. **BMC Medicine**, v. 9, n. 23, p. 1 – 11, 2011.
- SEMRAD, C. E. Doença celíaca. *In*: ROSS, A. C. *et al.* **Nutrição Moderna de Shils: na saúde e na doença**. São Paulo: Manole, 2016. p. 1095 – 1101. Cap. 79.
- SCHALK, K. *et al.* Isolation and characterization of gluten protein types from wheat, rye, barley and oats for use as reference materials. **Plos One**, v. 12, n. 2, 2017.
- SCHERF, K. A. Immunoreactive cereal proteins in wheat allergy, non-celiac gluten/wheat sensitivity (NCGS) and celiac disease. **Current Opinion in Food Science**, v. 25, p. 35 – 41, 2019.
- SCHMIELE, M.; *et al.* Determinação da concentração de diferentes sistemas de solventes na solubilização de proteínas de análogos de carne. **Ciência Rural**, v. 45, n. 6, p. 1120-1125, 2015.
- SCHMIELE, M.; *et al.* Mixolab™ for rheological evaluation of wheat flour partially replaced by soy protein hydrolysate and fructooligosaccharides for bread production. **LWT – Food Science and Technology**, v. 76, n. B, p. 259-269, 2017.
- SCHMIELE, M.; SAMPAIO, U. M.; CLERICI, M. T. P. S. Basic Principles: Composition and Properties of Starch. *In*: CLERICI, M. T. P. S.; SCHMIELE, M. **Starches for Food Application: Chemical, Technological and Health Properties**. Elsevier, 2019. 460p. Capítulo 1.
- SHARIF, M. K. *et al.* Rice Bran: A Novel Functional Ingredient. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 54, n. 6, p. 807 - 816, 2014.
- SHIMELIS, E. A.; RAKSHIT, S. K. Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. **Food Chemistry**, v. 103, n. 1, p. 161 – 172, 2007.
- SIEPMANN, F.B. *et al.* Overview of Sourdough Technology: from Production to Marketing. **Food Bioprocess Technol**, v. 11, p. 242–270, 2018.

SINGH, N. *et al.* Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, n. 2, p. 219 – 231, 2003.

SINGH, P. *et al.* Global Prevalence of Celiac Disease: Systematic Review and Meta-analysis. **Clinical Gastroenterology and Hepatology**, v. 16, n. 6, p. 1 – 15, 2018.

SINGH, V. *et al.* Thermal and Physicochemical Properties of Rice Grain, Flour and Starch. **J. Agric. Food Chem.**, v. 48, p. 2639 – 2647, 2000.

SIVARAMAKRISHNAN, H. P.; SENGE, B.; CHATTOPADHYAY, P. K. Rheological properties of rice dough for making rice bread. **Journal of Food Engineering**, v. 62, p. 37 – 45, 2004.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, v. 13, n. 13, p.215-225, 2002.

TACER-CABA, Z.; NILUFER-ERDIL, D. Resistant Starch. **Encyclopedia of Food Chemistry**. Academic Press, 2019. p. 571-575.

TANVEER, M.; AHMED, A. Non-Celiac Gluten Sensitivity: A Systematic Review. **J Coll Physicians Surg Pak**, v. 29, n. 1, p. 51 – 57, 2019.

TEKA, T. A. *et al.* Protein fractions, in vitro protein digestibility and amino acid composition of select cowpea varieties grown in Ethiopia. *Food Bioscience*, v. 36, p. 1 – 45, 2020.

THIELE, C. GÄNZLE, M. G. VOGEL, R. F. Contribution of sourdough lactobacilli, yeast, and cereal enzymes to the generation of amino acids in dough relevant for bread flavor. *Cereal Chem*, v. 79, n. 1, p. 45-51, 2002.

TOVOLI, F. *et al.* Clinical and diagnostic aspects of gluten related disorders. **World J Clin Cases**, v. 3, n. 3, p. 275 – 284, 2015.

VAGADIA, B. H.; VANGA, S. K.; RAGHAVAN, V. Inactivation methods of soybean trypsin inhibitor – A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 65, p. 115 – 125, 2017.

VAN KERREBROECK, S.; MAES, D.; DE VUYST, L. Sourdoughs as a function of their species diversity and process conditions, a meta-analysis. **Trends in Food Science & Technology**, v. 68, p. 152 – 159, 2017.

VASANTHARAJA, R. *et al.* Influence of seaweed extracts on growth, phytochemical contents and antioxidant capacity of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 17, p. 589-594, 2019.

VERAVERBEKE, W. S.; DELCOUR, J. A. Wheat Protein Composition and Properties of Wheat Glutenin in Relation to Breadmaking Functionality. **Clinical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 42, n. 3, p. 179 – 208, 2002.

VERSTREPEN, K. J. *et al.* Glucose and sucrose: hazardous fast-food for industrial yeast? **TRENDS in Biotechnology**, v. 22, n. 10, p. 531 – 537, 2004.

XU, D.; *et al.* Improving bread aroma using low-temperature sourdough fermentation. **Food Bioscience**, v. 37, p. 1-12, 2020.

WAGNER, M. J. *et al.* Water transport in bread during baking. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 1167 – 1173, 2007.

WANG, K. *et al.* Recent developments in gluten-free bread baking approaches: a review. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 1, p. 1 – 9, 2017.

WIESER, H.; BUSHUK, W.; MACRITCHIE, F. The Polymeric Glutenins. *In: WRIGLEY, C.; BÉKÉS, F.; BUSHUK, W. Gliandin and Glutenin: The unique Balance of Wheat Quality*, 2006. p. 203 – 240. Cap. 7.

WIESER, H. Chemistry of gluten proteins. **Food Microbiology**, v. 24, n. 2, p. 115 – 119, 2007.

WITCZAK, M. *et al.* Starch and starch derivatives in gluten-free systems – A review. **Journal of Cereal Science**, v. 67, p. 46 – 57, 2016.

WONG, D. W. S. **Mechanism and Theory in Food Chemistry**. 2nd ed. Springer, 2018.

WORKU, A.; SAHU, O. Significance of Fermentation Process on Biochemical Properties of *Phaseolus vulgaris* (Red Beans). **Biotechnology Reports**, v. 16, p. 5 – 11, 2017.

YANG, Q. *et al.* Polyphenols in Common Beans (*Phaseolus vulgaris L.*): Chemistry, Analysis, and Factors Affecting Composition. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, p. 1518-1539, 2018.

4 ARTIGO CIENTÍFICO II: PRODUÇÃO DE MASSA ÁCIDA E PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHA DE ARROZ INTEGRAL, FEIJÃO CARIOCA E FEIJÃO CAUPI: CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS, NUTRICIONAIS E ESTRUTURAIS

Juliana Dara Rabêlo Silva¹, Guilherme Caldeira Rosa¹, Marcio Schmiele^{1*}

1 – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, Minas Gerais, Brasil.

*Autor para correspondência: Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Campus JK, Rodovia MGT-367 - Km 583, nº 5000 - Alto do Jacuba, Fone: 55 (38) 3532-1200 - VoIP 8447 - Sala 349, CEP: 39.100-000 – Diamantina, Minas Gerais, Brasil, e-mail: marcio.sc@ict.ufvjm.edu.br

RESUMO

A utilização de farinhas alternativas isentas de glúten e a aplicação de biotecnologia de fermentação natural na fabricação de pães tem sido estudada com intuito de melhorar as propriedades sensoriais, estruturais e nutricionais. O objetivo deste estudo foi verificar a aplicabilidade e a qualidade de pães isentos de glúten elaborados com massa ácida de farinhas de arroz integral, feijão carioca e feijão caupi. Massas ácidas com farinhas de arroz integral (MA e MAf), feijão carioca (MP e MPf) e feijão caupi (MV e MVf) foram elaboradas sem e com a adição de fermento biológico (*Sacharomyces cerevisiae*) representado pela letra “f” nas amostras. Os pães foram elaborados por método de batadura em duas fases, constituindo em formação de um creme e homogeneização dos ingredientes, posteriormente foram submetidos a fermentação e forneamento. Foram realizadas análises de pH, acidez total titulável, cor instrumental, atividade de água, umidade, análise de imagem, volume específico, análise de textura instrumental, composição centesimal e valor energético. Os resultados indicaram menor granulometria da farinha de arroz integral e maior teor de cinzas, proteínas e fibras alimentares nas farinhas de feijão carioca e feijão caupi. A acidez foi estabelecida nas massas ácidas a partir da redução do pH e aumento da ATT, ao final do período de fermentação as massas elaboradas com farinha de arroz integral apresentaram maior acidez. As massas elaboradas com feijão apresentaram maior volume de expansão. Pães elaborados com as massas ácidas adicionadas

de leveduras (PMAf, PMPf e PMVf) apresentaram menor diferença de cor e maior umidade. Menor volume ($1,83 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$), firmeza (27,32 N) e dureza (28,71 N) foi verificado no pão PMAf e o inverso foi verificado para o pão PMV ($2,01 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$, 38,13 N e 49,02 N respectivamente). O pão PMPf apresentou textura intrumental semelhante ao PMA, enquanto PMP e PMV apresentaram propriedades texturais inferiores. Os pães com farinha de feijão carioca e feijão caupi apresentaram maior teor de cinzas, proteínas e fibras alimentares e menor teor de carboidratos digeríveis. Os pães com feijão caupi apresentaram maior solubilidade de nitrogênio. Os pães com farinha de feijão carioca e caupi apresentaram maior digestibilidade proteica (PMP 89,04 %, PMV 87,09 %). Menor digestibilidade foi observada para os pães elaborados com massas ácidas adicionadas de leveduras (PMPf 70,60 %, PMPf 81,09 %, PMVf 80,89 %). A utilização de farinha de feijão carioca e caupi na elaboração de pães sem glúten afetaram as propriedades físicas e estruturais, foram ricos em fibras e com alto teor de proteínas, sendo que o feijão carioca demonstrou ser superior ao feijão caupi.

Palavras Chaves: Celiaco. Panificação. *Vigna*. *Phaseolus*. Proteína. Fermento.

ABSTRACT

The use of alternative gluten-free flours and the application of natural fermentation biotechnology in bread making has been studied in order to improve sensory, structural and nutritional properties. The aim of this study was to verify the applicability and quality of gluten-free breads made with sourdough from brown rice flour, carioca (common) beans and cowpea beans. Sourdough with brown rice flour (MA and MAf), carioca beans (MP and MPf) and cowpea beans (MV and MVf) were made without and with the addition of biological yeast (*Sacharomyces cerevisiae*) represented by the letter "f" in the samples. The breads were prepared using a two-stage battering method, constituting the formation of the cream and homogenization of the ingredients, after which they were subjected to fermentation and baking. Analyses of pH, total titratable acidity, instrumental color, water activity, humidity, image analysis, specific volume, analysis of instrumental texture, proximate composition and energy value were performed. The results indicated less granulometry of brown rice flour and higher ash, protein and dietary fiber content in carioca and cowpea flours. The acidity was established in the acidic masses (sourdough) by reducing the pH and increasing the ATT. At the end of the fermentation period, the masses made with brown rice flour showed greater acidity. Sourdough made with beans showed a greater volume of expansion. Breads made with sourdough added with yeast (PMAf, PMPf and PMVf) showed less color difference and higher humidity. Lower volume (1.83 cm³.g⁻¹), firmness (27.32 N) and hardness (28.71 N) was verified in PMAf bread and the reverse was verified for PMV bread (2.01 cm³.g⁻¹, 38.13 N and 49.02 N respectively). PMPf bread had an instrumental texture similar to PMA, while PMP and PMV had inferior textural properties. Breads with carioca bean flour and cowpea beans had a higher content of ash, protein and dietary fiber and a lower content of digestible carbohydrates. Breads with cowpea beans showed higher nitrogen solubility. Breads with carioca bean and cowpea flour showed higher protein digestibility (PMP 89.04%, PMV 87.09%). Less digestibility was observed for breads made with acid masses added with yeast (PMPf 70.60%, PMPf 81.09%, PMVf 80.89%). The use of carioca bean and cowpea flour in the preparation of gluten-free bread affected the physical and structural properties, rich in fiber and high in protein, and carioca beans proved to be superior to cowpea beans.

Keywords: Celiac. Bakery. *Vigna*. *Phaseolus*. Proteins. Yeast.

4.1 Introdução

O mercado de produtos sem glúten vem se expandindo nos últimos anos (KALE; ROSHAN, 2019). As novas demandas dos consumidores por produtos alimentícios com maior valor nutricional ou benefícios para a saúde tem impulsionado a indústria de panificação a fim de produzir novos alimentos e melhorar a qualidade nutricional dos produtos (CODA *et al.*, 2014).

Para se obter pães sem glúten com boas propriedades texturais, sensoriais e nutricionais é necessário a combinação de diferentes ingredientes especialmente de mistura de distintas farinhas isentas de glúten (ARENDRT *et al.*, 2008) e com tecnologias de produção, dentre a qual tem se destacado a biotecnologia de fermentação natural (GALLAGHER; GORMLEY; ARENDRT, 2004, MASURE; FIERENS; DELCOUR, 2016).

Há grande interesse em utilizar farinhas alternativas na panificação como: as farinhas de leguminosas para melhorar a qualidade nutricional dos produtos principalmente pelo alto teor de proteínas e fibras alimentares (OLOJEDE; SANNI; BANWO, 2020). Porém a utilização de farinhas alternativas na elaboração de pães é restrita pois influenciam na qualidade final dos produtos de panificação (GALLAGHER *et al.*, 2004)

O feijão carioca (*phaseolus vulgares*) e feijão caupi (*Vigna Unguiculata*) são ambas espécies reconhecidas e classificadas oficialmente como padrão oficial de classificação de feijão no Brasil pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA (BRASIL, 2008), ambas são amplamente consumidas e representam um alimento importante na alimentação da população brasileira pois são ricos em nutrientes e fonte de proteínas (PHILLIPS, 2003). Contêm carboidratos digeríveis e fibras alimentares constituídas principalmente por pectina, celulose e hemicelulose (FIGUEROA, 2016) são ricos em vitaminas especialmente as vitaminas do complexo B (CELMELI *et al.*, 2018; KÖSE *et al.*, 2019), representam uma excelente fonte de minerais incluindo potássio, cálcio, ferro, zinco e fósforo (KATO, 2014) e de compostos bioativos com reconhecida capacidade antioxidante (YANG *et al.*, 2018; VASANTHARAJA *et al.*, 2019; ZAHEER *et al.*, 2020).

A massa ácida resulta da fermentação natural e espontânea em que constitui de uma mistura de farinha e água fermentada a um dado período de tempo por bactérias lácticas (BAL) e leveduras presentes no próprio meio (MORONI, 2009). As principais atividades metabólicas na massa ácida estão relacionadas com a acidificação e fermentação sendo as BAL as principais

responsáveis por conferir a acidez e a estabilidade na massa, a partir da redução do pH e aumento da acidez (DE VUYST, 2014).

Segundo Gobbetti *et al.* (2014) durante a fermentação da massa ácida ocorrem alterações importantes como: a acidificação, proteólise e ativação de enzimas, síntese de metabólitos microbianos que influenciam na qualidade final dos produtos de panificação, especificamente na qualidade nutricional e funcional. É bem estabelecido que a massa ácida pode reduzir o índice glicêmico dos pães e a digestibilidade de amido, diminuir o nível de fatores antinutricionais como a redução do conteúdo de fitato, promover a biodisponibilidade do complexo de fibra alimentar, fitoquímicos, vitaminas, minerais, aminoácidos livres e proteínas (GOBBETTI *et al.*, 2014; DE VUYST *et al.*, 2016; CODA *et al.*, 2017; GOBBETTI *et al.*, 2019; BENDER *et al.*, 2018).

Para aprimorar as qualidades dos pães elaborados com farinha de leguminosa a biotecnologia de fermentação natural pode ser eficiente pois apresenta potencial de explorar as características nutricionais, funcionais e sensoriais de leguminosas e outras farinhas alternativas (CODA *et al.*, 2014)

Assim, a elaboração de pães em combinação com farinhas de leguminosas e tecnologia de massa ácida apresenta-se como uma alternativa viável e promissora na elaboração de pães sem glúten principalmente por apresentarem um baixo custo e um atrativo perfil nutricional e sensorial. Diante do exposto, este estudo teve como objetivo verificar a aplicabilidade e a qualidade de pães isentos de glúten elaborados com massa ácida de farinha de arroz integral, farinha de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) e farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp).

4.2 Materiais e métodos

4.2.1 Matéria-prima

O feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* (L.)), feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), os amidos de mandioca, batata e milho, os ovos in natura, a gordura vegetal hidrogenada, o óleo de soja, a sacarose, o cloreto de sódio e fermento biológico foram adquiridos em comércio local, localizado em Diamantina – MG. A farinha de arroz, o farelo de arroz, a lecitina e a goma xantana foram adquiridos no Mercado Central de Belo Horizonte – MG. A proteína hidrolisada de soja foi doada pela empresa HT Nutri – Camaquã – RS.

4.2.2 Obtenção das farinhas

A farinha de arroz integral foi obtida através da reconstituição com farinha de arroz refinada (90 %) e farelo de arroz (10 %). Para a obtenção das farinhas dos feijões, os grãos íntegros foram secos em estufa de circulação e renovação de ar (Tecnal - TE-394/1-MP, Piracicaba, BRA) a 35 ± 2 °C por 24 h para reduzir a umidade e facilitar o processo de moagem. Posteriormente, os grãos foram processados em macro moinho de facas com rotor vertical (Marconi - MA- 680, Piracicaba, BRA), dotada de peneira de aço inox com malha de 20 mesh com abertura de 0,85 mm. As frações que não foram totalmente moídas foram trituradas em liquidificador (MK Mondial, L28, Conceição do Jacuípe, BRA), para aproveitamento total dos grãos. As farinhas foram acondicionadas em embalagem de polietileno de baixa densidade e armazenada a temperatura de ambiente.

A análise granulométrica foi realizada conforme método 66-20.01 da American Association of Cereal Chemist International (AACCI, 2010). Foram utilizadas peneiras de 24 (710 μ m), 30 (600 μ m), 48 (300 μ m), 60 (250 μ m) e 80(180 μ m) mesh e agitador de peneiras (Bertel, Industria Metalúrgica Ltda, 110/220, Caieras, BRA). As peneiras foram montadas sobre plataforma vibratória de menor mesh (24) para o maior mesh (80) e base. As peneiras e a base foram previamente taradas, 100 g da amostra foi adicionada na peneira superior e a plataforma foi ajustada para a velocidade 7 de vibração por 30 minutos. Ao final do tempo, todas as peneiras foram pesadas e a massa retida registrada. A análise foi realizada em triplicata e os resultados foram expressos em porcentagem.

A porcentagem da fração retida foi multiplicada por fatores convencionados e constantes que decrescem de seis à zero com o decréscimo dos furos das peneiras. O índice de uniformidade (IU) e o módulo de finura (MF) foram determinados de acordo com Zanotto e Bellaver (1996). O diâmetro geométrico médio (DGM) foi determinado através da equação de Henderson e Perry (1976).

$$MF = \frac{\Sigma\%retido\ acumulado}{100}$$

Equação (1)

Onde: MF: Módulo de finura

$$DGM = 104,14 \times 2^{MF}$$

Equação (2)

Onde: DGM: Diâmetro geométrico médio; MF: Módulo de finura

4.2.3 Produção de massa ácida

As massas ácidas foram preparadas com uma proporção de 50:50 de água e farinha (CODA *et al.*, 2017), e nas massas ácidas com farinha de feijão, uma proporção de 85:15 foi considerada (determinados por pré-testes), para farinha de arroz integral e farinha de feijão carioca ou feijão caupi. As massas foram denominadas de acordo com a sua composição, conforme representado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Denominação dos ensaios de acordo com a sua composição

Denominação dos grupos		Matérias-primas
Farinha de arroz integral		
1)	MA	Farinha de arroz integral
2)	MAf	Farinha de arroz integral + fermento biológico*
Feijão carioca (<i>Phaseolus vulgaris</i>)		
3)	MP	Farinha de arroz integral + farinha de feijão carioca
4)	MPf	Farinha de arroz integral + farinha de feijão carioca + fermento biológico*
Feijão caupi (<i>Vigna unguiculata (L.) Walp</i>)		
5)	MV	Farinha de arroz integral + farinha de feijão caupi
6)	MVf	Farinha de arroz integral + farinha de feijão caupi + fermento biológico*

* Para o fermento biológico (*Sacharomyces cerivisae*) foi realizada a adição somente no primeiro dia de produção, na proporção de 1 % em base farinha.

As massas foram elaboradas com a mistura dos ingredientes secos e água e submetidas até a completa homogeneização em batedeira (PHILCO, PHP500 turbo, Manaus, BRA). Em seguida, as amostras foram armazenadas em vasilhas de polipropileno, tampadas e submetidas a temperatura controlada de 26±2 °C, em incubadora BOD (Lucadema, LUCA-161/01, São José do Rio Preto, BRA). As massas foram submetidas a uma alimentação diária durante 18 dias, com adição de valores correspondentes a 50 % da massa inicial, respeitando a proporção de 50:50 água/farinha. No 11º dia, o procedimento de alimentação das massas foi

modificado, de 50 % para 75 % do valor inicial, tornando possível a realização das análises diárias no período de 18 dias.

4.2.4 Formulação dos pães sem glúten

Os pães foram preparados conforme formulação representada na Tabela 4.2. produzidos conforme fluxograma na Figura 4.1.

Tabela 4.2 - Proporção de matérias primas em base farinha relacionadas a proporção das massas ácidas de farinha de arroz integral, feijão carioca e feijão caupi adicionadas à formulação dos pães sem glúten.

Matérias-primas (% em bf)	P	PMA	PMAf	PMP	PMPf	PMV	PMVf
Farinha de arroz	90	76,5	76,5	63	63	63	63
Farelo de arroz	10	8,5	8,5	7	7	7	7
Farinha de feijão	0	0	0	15	15	15	15
Massa ácida	0	15	15	15	15	15	15
Total	100	100	100	100	100	100	100

Legenda: P: Pão padrão; PMA: Pão com massa ácida de farinha de arroz integral (MA), PMAf: Pão com massa ácida de farinha de arroz integral (MAf), PMP: Pão com farinha e massa ácida de feijão carioca (MP), PMPf: Pão com farinha e massa ácida de feijão carioca (MPf), PMV: Pão com farinha e massa ácida de feijão caupi (MV), PMVf: Pão com farinha e massa ácida de feijão caupi (MVf).

No Brasil não existe regulamentação quanto a adição de fermento biológico em massas fermentadas, portanto considerando a microflora presente nas massas ácidas foi adotada recomendação internacional pelo Decreto n ° 93-1074, de 13 de setembro de 1993 (FRANÇA,1993), o qual determina o limite máximo é de até 0,2 % de fermento biológico (*Saccharomyces cerevisiae*) na elaboração de pães com massas naturalmente fermentadas. Para formulação padrão foram adicionados 1,4 % de fermento biológico (levedura).

Os ingredientes utilizados na elaboração dos pães foram: amido de mandioca (15 %), amido de batata (15 %), amido de milho (15 %), ovos in natura (15 %), gordura vegetal hidrogenada (4%), óleo de soja (4%), sacarose (4%), lecitina (1%), emulsificante comercial (2%) (composto por monoglicerídeos de ácidos graxos destilados (INS 471), estearato de potássio (INS 470), monoestearato de sorbitana (INS 491) e polioxietileno de monoestearato de sorbitana (INS 435)), goma xantana (1 %), proteína de soja hidrolisada (2 %), cloreto de sódio (2 %) e água (adicionada em quantidade satisfatória para desenvolvimento adequado da viscosidade da massa, determinada visualmente).

Inicialmente os ingredientes foram pesados e o método de processamento foi

efetuado em duas fases: a primeira fase consistiu na formação de um creme a partir da mistura de: gordura vegetal, óleo de soja, ovos, sacarose, lecitina, emulsificante e proteína de soja hidrolisada. A combinação dos lipídeos foi definida por pré-teste e juntamente com a utilização do emulsificante tiveram como objetivo principal melhorar a ação tecnológica, favorecendo a maior aeração e incorporação de ar na massa sem glúten. A segunda fase foi a de homogeneização da massa a partir da mistura dos demais ingredientes, massa ácida e água.

Figura 4.1 - Fluxograma de processamento dos pães sem glúten elaborados com massa ácida de farinhas de arroz integral, feijão carioca e feijão caupi.



Os ingredientes foram pesados em balança eletrônica semi analítica (Exacta, BL-3200AS-BI, Ribeirão Preto, BRA) e balança analítica (Shimadzu AUY220, Quioto, JPN), em seguida foram submetidos a batidura em batedeira (PHILCO, PHP500 turbo Manaus, BRA). Após a obtenção homogênea da massa, 450g da massa foram colocadas em formas de 24cm comprimento, 10 cm de largura e 5cm de altura, após foram submetidas a fermentação na BOD. O tempo de fermentação foi diferente para cada amostra e está demonstrado no quadro 4.1. em que foi determinado visualmente pelo tamanho máximo de crescimento das massas. Em seguida, as massas foram fornadas a 150°por 24 minutos. Os pães foram desenformados e resfriados à temperatura ambiente por 2h e armazenados em embalagem de polietileno de baixa densidade até o momento das análises.

Quadro. 4.1 Tempo de fermentação das massas dos pães sem glúten

Tratamento	Tempo de fermentação (minutos)
P	85
PMA	254
PMAf	180
PMP	190
PMPf	136
PMV	165
PMVf	138

Fonte: Da Autora.

4.2.5 Composição centesimal

A composição centesimal das farinhas e dos pães foi determinada a partir do teor de umidade, cinzas, proteínas, lipídeos, carboidratos digeríveis, fibra alimentar e valor energético. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

4.2.5.1 Umidade

O teor de umidade das farinhas e dos pães foi realizado por secagem em estufa com circulação de ar (Tecnal TE-394/1-MP, Piracicaba, BRA) a 130±2°C, conforme método

estabelecido pela AACCI (2010), método 44-17.01 para as farinhas e método 44-15.02 para os pães, capaz de determinar o teor de umidade de uma amostra que foi aquecida.

4.2.5.2 Cinzas

As cinzas foram determinadas por incineração pelo método 08-01.01. (AACCI, 2010). Inicialmente os cadinhos foram tarados e as amostras foram colocadas em chapa aquecedora a 350°C (IKA® C-MAG HP – 10, Uberaba, BRA), posteriormente foram incineradas em mulfla (El Labor, EL200F, Santo André, BRA) a 550°C/5h.

4.2.5.3 Proteínas

O teor de proteína foi calculado através da determinação de nitrogênio total pelo método de Kjeldahl, conforme o método 46-12.01 (AACCI, 2010). O fator de conversão de nitrogênio em proteína bruta foi de 6,25 para as farinhas de feijão carioca e caupi e 5,95 para a farinha de arroz integral. Nos pães manteve-se o fator de conversão de 5,95 para todas as amostras, considerando que a farinha de arroz foi o constituinte majoritário nas formulações.

$$\%proteínas = \frac{(B - S) \times N \times 0,014 \times 100 \times Fc}{\text{peso da amostra}}$$

Equação (3)

Onde:

B: titulação em mililitros gastos no branco;

S: titulação em mililitros gastos na amostra;

N: normalidade real do titulante;

Fc: fator de conversão.

4.2.5.4 Lipídeos

Os lipídeos foram determinados pela extração do extrato etéreo à frio com o uso de solventes (clorofórmio, metanol e água) de acordo com o método proposto por Bligh-Dyer (1959).

4.2.5.5 Carboidratos digeríveis

Os carboidratos digeríveis foram determinados pelo método ISI 27-1e (ISI, 1999), com titulometria de oxirredução, utilizando reagentes de Fehling. Os reagentes foram submetidos a aquecimento em chapa aquecedora a 340 °C (IKA® C-MAG HP – 10, Uberaba, BRA). Durante a titulação, a presença de açúcares redutores em meio alcalino permite a redução do íon cúprico (Cu^{2+}), presente no reagente, à íon cuproso (Cu^+), resultando em um precipitado vermelho tijolo de óxido cuproso. Os resultados foram expressos em glicose.

4.2.5.6 Fibra alimentar total

Os teores de fibras alimentares foram determinados por diferença entre os demais constituintes:

$$FA = 100 - (\text{umidade} + \text{cinzas} + \text{proteínas} + \text{lipídeos} + \text{CHO digeríveis})$$

Equação (4)

Onde:

FA: Fibra alimentar total.

CHO digeríveis: Carboidratos digeríveis

4.2.5.7 Valor Calórico

O valor calórico foi obtido através do coeficiente de Atwater (MERRIL; WATT, 1973) em:

$$VCT = (\text{proteína} \times 4\text{kcal/g}) + (\text{lipídeos} \times 9\text{kcal/g}) + (\text{CHO digeríveis} \times 4\text{kcal/g})$$

Equação (5)

Onde:

VCT: Valor calórico Total

CHO: Carboidratos digeríveis

4.2.6 Índice de nitrogênio Solúvel

O índice de nitrogênio solúvel foi determinado nos pães baseado no método 46.24-01 (AACCI, 2010), com modificações. Inicialmente, 15 g de amostra foram pesadas e adicionadas à 200 mL de água destilada, a mistura foi transferida para o mixer (Philco, PMX700, Curitiba, BRA) e misturadas em velocidade máxima por 8 minutos, após foi transferida para béquer para decantação. Posteriormente 15 ml do sobrenadante foram pipetados em tubos Falcon e centrifugados por 10 minutos em centrífuga (Fanen, 206BL, Guarulhos, BRA) à 2700 rpm. Ao final, 10 ml do líquido sobrenadante foram pipetados e transferidos para tubos de microkjeldahl e o valor de proteínas determinado pelo método 46.16-01 (AACCI, 2010), e INS foi então determinado de acordo com:

Equação (6)

$$\%INS = \frac{\% \text{ proteína dispersível em água} \times 100}{\% \text{ proteína total}}$$

Onde:

INS: Índice de nitrogênio solúvel

4.2.7 Digestibilidade de proteínas *in vitro*

A digestibilidade de proteínas foi determinada segundo Åkeson e Stahmann (1964), com modificações. Uma grama de amostra foi disposto em tubo de centrífuga Falcon de 50 mL com adição de 15 mL de HCl 0,1 M e 1,5 mg de pepsina. As amostras foram incubadas a 37 °C por 3 h em banho com agitação a 70 rpm. Após a incubação, as amostras foram neutralizadas com solução de NaOH 2M até atingir um pH de 7,0±0,1. Uma solução de pancreatina (4 mg) com tampão fosfato 0,2 M e pH 8,0 (7,5 mL) foi preparada e adicionada à solução neutralizada juntamente com 1 mL de tolueno, posteriormente a solução foi submetida a incubação por 24 h a 37 °C. Após a incubação foi realizada a inativação da enzima com 10 mL de ácido tricloroacético (20 % m/v) sob agitação. Por fim, a solução foi centrifugada a 2500 rpm por 20 min e então foi determinado o nitrogênio do sobrenadante através da metodologia microkjeldahl pelo método 46.16-01 (AACCI, 2010). Para os cálculos da digestibilidade *in vitro* de proteínas foi considerada uma amostra branco e o resultado calculado:

Equação (7)

$$DPIV = \frac{(\% \text{ proteínas do sobrenadante} - \% \text{ proteína do branco}) \times 100}{\% \text{ proteína da amostra}}$$

Onde:

DPIV: Digestibilidade de proteínas *in vitro*.

4.2.8 Determinação de cor experimental

A cor instrumental foi determinada nas farinhas e nos pães pelo método 14-22.01. (AACCI, 2010), utilizando espectrofotômetro (Konica Minolta CM-5, Tokyo, JPN). A cor instrumental foi avaliada considerando o espaço de cores CIEL*a*b* e CIEL*C*h, sendo: L^* a luminosidade, a^* a cor no campo verde/vermelho, b^* a cor no campo azul/amarelo, C^* a cromaticidade e h o ângulo de tonalidade. Ainda, foi determinado o valor de ΔE^* (diferença total de cor) nos pães. As análises foram realizadas em triplicata.

4.2.9 Determinação do volume de expansão das massas ácidas

As massas ácidas foram analisadas quanto à capacidade de expansão, baseada em método e modelo proposto por Romano *et al.* (2007):

$$VE = \frac{V(t) - V(0)}{V(0)}$$

Equação (8)

Onde:

VE: Volume de expansão,

V(t): Volume obtido no tempo t ,

V(0): Volume inicial.

Aproximadamente 50g de massas previamente alimentadas foram adicionadas em proveta de 250 mL, o aumento do volume da massa foi registrado a cada 10 minutos durante 90 minutos, os resultados obtidos foram utilizados para gerar a área sob a curva (*area under curve* – AUC)

4.2.10 Análise de pH e acidez total titulável

A análise de pH foi realizada de acordo com o método 02-52.01 (AACCI, 2010), utilizando medidor de pH de bancada (Tecnopon, mPA210, Piracicaba, BRA). A análise de acidez total titulável foi determinada de acordo com o método 02-31.01 (AACCI, 2010) por titulação utilizando solução de HCl 0,1 M e o indicador fenolftaleína e os resultados foram expressos em % de ácido lático. Nas massas ácidas, essas análises foram realizadas diariamente antecedente à alimentação das massas. Na fabricação dos pães, esses parâmetros foram analisados na massa inicial, antes e após o processo de fermentação. Posteriormente, tais parâmetros foram determinados nos pães assados. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

4.2.11 Análises específicas nos pães

As análises específicas nos pães foram realizadas no dia posterior à fabricação, em um intervalo de aproximadamente 18 horas, são elas: a atividade de água, volume específico, textura instrumental e análise de imagem.

4.2.11.1 Atividade de água

A atividade de água foi determinada por método direto através do equipamento higrômetro Aqualab (Decagon, 4TE Duo, São José dos Campos, BRA). As análises foram feitas em triplicata.

4.2.11.2 Volume específico

O volume específico foi determinado pelo método de deslocamento de sementes de painço conforme estabelecido pelo método 10-05.01 (AACCI, 2010), em triplicata, e os resultados expressos em mL.g⁻¹.

4.2.11.3 Textura instrumental

Os pães foram fatiados mecanicamente (Metalurgica Venâncio Ltda., FPV12, Venâncio Aires, Brasil) e submetidos a análise de perfil de textura, conforme estabelecido pelo

método 74-09.01 (AACCI, 2010). Foi utilizado texturômetro (Stable Micro Systems, TA – XT plus, Godalming, GBR) com probe cilíndrica P36R de 36 mm de diâmetro. Duas fatias de 12 mm de espessura cada foi submetida a compressão a uma velocidade de pré-teste e de teste de 1,0/mm/s e de pós-teste de 5 mm/s, com intervalo de 2s, a compressão foi de 20 % e o limiar de detecção foi de 0,049 N. As leituras foram realizadas em 8 repetições e os parâmetros avaliados foram: firmeza, dureza, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência.

4.2.11.4 Análise de imagem

Os pães foram avaliados quanto a sua estrutura alveolar, conforme Tasiguano *et al.* (2019). Foram avaliados os valores de área total, número de alvéolos, tamanho dos alvéolos e circularidade. As imagens foram obtidas por digitalização em resolução de 600 dpi em scanner (Brother, MFC-8952DW, Ho Chi Minh, VTN) utilizando papel de fundo preto. As imagens foram salvas no formato jpeg e analisadas pelo software Image J (National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA). As medidas das imagens digitalizadas foram obtidas em pixels e convertidas em mm usando valores de comprimento baseado na largura da forma (10 cm). Os dados foram obtidos após traçar o contorno da seção retangular da fatia do pão. Para a análise de células, as imagens foram configuradas para o formato de 8 bits em tons de cinza, o contraste foi ajustado, e o algoritmo de Otsu foi escolhido para a limiarização.

4.2.12 Análises estatísticas

Foi aplicada a análise de variância (ANOVA) e teste de Scott-Knott ($p < 0,05$), pelo programa de análise estatística Sisvar (versão 5.6). Os dados de pH, acidez total titulável e volume de expansão das massas ácidas, foram submetidos a regressão linear. O coeficiente de correlação de Pearson ($p < 0,05$) foi gerado para os dados das massas ácidas e dos pães.

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Caracterização das farinhas

4.3.1.1 Granulometria

A partir dos resultados expostos na Tabela 4.3. foi observado que a farinha de arroz integral foi mais fina quando comparada as farinhas de feijão carioca e feijão caupi, em que a maior proporção ficou retida nas peneiras com aberturas menores de 60 e 80 mesh (250 μm e 180 μm) e a maior granulometria foi observada na farinha de feijão carioca, com maior quantidade retida entre as peneiras 24 (710 μm) e 48 (300 μm) mesh. Ainda, a proporção relativa entre as partículas grossa, média e fina determinada pelo índice de uniformidade (IU), demonstrou que houve maior proporção de retenção das farinhas de feijões nas peneiras com aberturas maiores IU (24-30) feijão carioca (17,42 \pm 1,42 %) e feijão caupi (13,94 \pm 1,58 %), enquanto que para a farinha de arroz integral houve maior retenção nas peneiras com orifícios menores com IU (80 - <180) correspondendo a 37,23 \pm 2,35 %. Foi possível verificar a uniformidade das partículas pelo módulo de finura (MF) e classificar as farinhas de acordo com Henderson e Perry (1976) em grossa MF = 4,10; média MF = 3,20, fina MF= 2,30 e muito fina = 1,50. Assim, pode-se dizer que a farinha de arroz integral é fina (MF= 2,88 \pm 0,03) com menor diâmetro geométrico médio (DGM) (768,24 \pm 16,69) e as farinhas de feijão carioca (MF=3,91 \pm 0,05) e feijão caupi (MF=3,61 \pm 0,07) são de granulometria média.

Tabela 4.3 - Granulometria das farinhas de arroz integral, feijão carioca e feijão caupi

Mesh (μm)	Farinhas		
	Arroz integral	Feijão carioca	Feijão caupi
24 (710)	0,83 \pm 0,03 ^c	6,89 \pm 0,45 ^a	2,92 \pm 0,26 ^b
30 (600)	1,07 \pm 0,22 ^b	10,53 \pm 0,93 ^a	11,02 \pm 1,33 ^a
48(300)	25,24 \pm 1,41 ^c	60,88 \pm 0,66 ^a	47,60 \pm 0,10 ^b
60 (250)	36,58 \pm 0,71 ^a	13,91 \pm 0,89 ^c	29,30 \pm 0,54 ^b
80 (180)	30,08 \pm 1,36 ^a	4,70 \pm 0,78 ^b	2,19 \pm 0,13 ^b
>80 (<180)	7,14 \pm 0,98 ^a	2,79 \pm 0,12 ^b	6,22 \pm 1,36 ^a
IU (24-30)	1,90 \pm 0,19 ^c	17,42 \pm 1,42 ^a	13,94 \pm 1,58 ^b
IU (48-60)	61,81 \pm 2,12 ^b	74,79 \pm 0,28 ^a	76,89 \pm 0,63 ^a
IU (80 - <180)	37,23 \pm 2,35 ^a	7,48 \pm 0,65 ^b	8,4 \pm 1,43 ^b
MF	2,88 \pm 0,03 ^c	3,91 \pm 0,05 ^a	3,61 \pm 0,07 ^b
DGM (μm)	768,24 \pm 16,69 ^c	1611,61 \pm 2,55 ^a	1325,07 \pm 21,55 ^b

Médias \pm desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$). IU – Índice de uniformidade; MF – módulo de finura; DGM - diâmetro geométrico médio.

O tamanho e a uniformidade das partículas podem alterar a capacidade de absorção de água, a viscosidade da massa, influenciar na gelatinização do amido e na desnaturação proteica, alterando assim a estrutura de produtos de panificação, principalmente no que se refere ao volume específico e textura dos pães. Partículas uniformes tendem a absorver água na mesma velocidade enquanto partículas com diferentes tamanhos tendem a reduzir a velocidade de

absorção, tais características podem influenciar nas propriedades tecnológicas dos produtos (LAPČÍKOVÁ *et al.*, 2019).

Boukid *et al.* (2019) avaliaram o tamanho das partículas de farinhas de feijões e outras leguminosas e verificaram que quanto menor a granulometria das farinhas maior é a disponibilidade de amido livre. O contrário foi observado para farinhas com granulometria grossa, para as quais observaram uma influência na gelatinização, em que a farinha de arroz e as farinhas de leguminosas de menor granulometria apresentaram um maior grau de gelatinização.

4.3.1.2 Composição centesimal das farinhas

Os resultados da composição centesimal das farinhas estão expressos na Tabela 4.4. O teor de umidade foi significativamente menor nas farinhas de arroz integral ($11,23 \pm 0,04\%$) quando comparadas à farinha de feijão carioca ($12,32 \pm 0,07\%$) e feijão caupi ($12,39 \pm 0,01\%$). O teor de umidade nas farinhas é um importante parâmetro de qualidade, pois está diretamente relacionado com a conservação. Um teor de umidade elevado pode favorecer e contribuir para o desenvolvimento de micro-organismos, além de alterações químicas e bioquímicas. Portanto, uma umidade relativamente menor é desejável para garantir a qualidade e aumentar o prazo de validade do produto. A umidade das farinhas neste estudo atende aos padrões estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), de acordo com a RDC nº 263, de 22 setembro de 2005, a qual estabelece o limite máximo de 15 % (g/100g) (BRASIL, 2005).

A farinha de feijão caupi apresentou maiores teores de cinzas ($3,34 \pm 0,03\%$) seguida do feijão carioca ($3,94 \pm 0,01\%$) e contrário foi encontrado na farinha de arroz integral ($1,65 \pm 0,02\%$). As cinzas referem-se ao conteúdo de minerais e a maior concentração é disponível na parte externa dos grãos, na fração do pericarpo (KALSCHNE *et al.*, 2020). Uma maior quantidade de matéria inorgânica pode ser disponível nas farinhas integrais por serem elaboradas com seus tegumentos (ZAPATA-LUNA *et al.*, 2020). Considerando que as farinhas utilizadas foram integrais infere-se que as farinhas de feijão carioca e feijão caupi apresentam naturalmente maior conteúdo de minerais em sua composição. Resultados semelhantes foram encontrados por Kato (2014) em que o feijão carioca apresentou maior teor de cinzas ($4,10 \pm 0,16\%$) e o feijão caupi apresentou menor teor de cinzas ($3,37 \pm 0,27\%$) e Rocchetti *et al.* (2019) que investigaram e determinaram a composição aproximada de diversos cereais e leguminosas (feijão preto: cinzas 3,32 %, proteínas 23,70 % e arroz preto: cinzas 1,44 %, proteínas 10,62 %).

Os minerais apresentam importante papel no funcionamento do organismo, pois auxiliam no transporte de oxigênio, metabolismo energético, balanço hídrico, estrutural e cofatores para a atividade enzimática (COZZOLINO, 2016). Em estudo realizado por Kato (2015) foram determinados os minerais e diferentes elementos químicos (Br, Ca, Co, Cs, Fe, K, Mo, Na, Rb, Sc e Zn) foram identificados em feijões caupi e carioca, em concentrações distintas, sendo: maior concentração de Na, Br, Cs, Mo, e Zn em feijão caupi e maior concentração de Ca, Co, K e Sc em feijão carioca. A composição de diferentes cultivares de feijão podem ser influenciados por fatores extrínsecos referentes ao ambiente de produção como: a composição e a concentração de minerais presentes no solo, o uso de fertilizantes e as condições de crescimento e desenvolvimento da planta (CARVALHO *et al.*, 2014).

Tabela 4.4 - Composição centesimal (g. 100 g⁻¹) e valor calórico total (kcal.100 g⁻¹) das farinhas de arroz integral, feijão carioca e feijão caupi.

Componente	Farinhas		
	Arroz integral	Feijão carioca	Feijão caupi
Umidade (b.u)	11,23±0,04 ^b	12,32±0,07 ^a	12,39±0,01 ^a
Cinzas (b.s)	1,65±0,02 ^c	3,94±0,01 ^a	3,34±0,03 ^b
Proteínas (b.s)	9,79±0,36 ^c	20,33±0,89 ^b	24,27±0,73 ^a
Lipídeos (b.s)	2,77±0,05 ^b	3,76±0,56 ^a	2,88±0,07 ^b
Carboidratos digeríveis (b.s), expressos em glicose	70,47±2,62 ^a	36,42±2,46 ^b	35,64±1,52 ^b
Fibras alimentares (b.s)	15,32±2,55 ^b	35,91±2,97 ^a	33,91±1,32 ^a
Valor calórico total (b.s)	345,95±10,32 ^a	259,39±13,06 ^b	265,40±5,32 ^b

Legenda: b.u: base úmida; b.s: base seca. Médias ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knot ($p \leq 0,05$).

A farinha de feijão caupi e feijão carioca apresentaram maior teor de proteínas (24,27±0,7% e 20,33±0,89% respectivamente), enquanto menor teor de proteínas foi verificado na farinha de arroz integral (9,79±0,36%). Os feijões apresentam uma importante fonte de proteínas para nutrição humana e complementam as proteínas dos cereais, isto é, são especialmente ricos em lisina, um aminoácido essencial enquanto os cereais são pobres neste, mas ricos em aminoácidos sulfurados (metionina e cisteína) completando-se mutuamente (COZZOLINO, 2016). Os feijões apresentam um baixo custo de aquisição quando comparados a proteína de origem animal porém suas proteínas como as das demais leguminosas apresentam limitações devido a sua baixa digestibilidade e por apresentam naturalmente compostos antinutricionais como: tripsina, quimiotripsina e amilases responsáveis por inibir a atividade das proteases incluindo as do sistema digestivo e consequentemente reduz a degradação das

proteínas e sua digestibilidade, resultando ainda na menor biodisponibilidade de aminoácidos (AVILÉS-GAXIOLA *et al.*, 2018).

Vários métodos têm sido testados e adotados pela indústria de alimentos (como: extrusão, secagem, torrefação, imersão, autoclavagem, fermentação e germinação) para diminuir a atividade dos compostos antinutricionais no qual diversos fatores podem estar envolvidos na eficiência desta redução como: a própria técnica empregada, o tempo de duração, a temperatura, a umidade e o tamanho das amostras que serão submetidas ao tratamento (VAGADIA; VANGA; RAGHAVAN, 2017). O objetivo de tal redução é focado especialmente em aumentar e melhorar a qualidade nutricional das leguminosas devido a sua capacidade de enriquecimento nutricional e aplicabilidade tecnológica na indústria alimentícia, ainda as proteínas presentes nos feijões e determinadas leguminosas podem apresentar uma baixa alergenicidade, boa capacidade de solubilidade, função emulsificante, geleificante e estruturante atrativas para serem empregadas na produção de alimentos (BOYE *et al.*, 2018).

A fermentação natural é capaz de reduzir os fatores antinutricionais e assim aumentar a sua digestibilidade proteica nos feijões devido a produção de enzimas proteolíticas pelos microrganismos presentes na massa. Como foi demonstrado por Worku e Sahu (2017) em seu trabalho a fermentação natural em grãos de feijão vermelho foi capaz de reduzir significativamente os fatores antinutricionais (fitatos, atividade do inibidor de tripsina, saponinas, taninos e oligossacarídeos de rafinose) e aumentar em até 90% a digestibilidade proteica após a sua fermentação.

Em relação ao conteúdo de lipídeos, observou-se que uma maior quantidade foi encontrada na farinha de feijão carioca ($3,76 \pm 0,56$ %). Já a farinha de arroz integral apresentou maior conteúdo de carboidratos digeríveis e valor energético ($70,47 \pm 2,72$ % e $345,95 \pm 10,32$ kcal, respectivamente), sendo que não houve diferença significativa entre as farinhas de feijão caupi e feijão carioca. O inverso foi observado para os teores de fibras alimentares das farinhas de feijão carioca ($35,91 \pm 2,37$ %) e feijão caupi ($33,91 \pm 1,32$ %).

A substituição de farinha de trigo por farinha de leguminosas tem sido aplicada como meio de melhorar a qualidade nutricional em produtos de panificação. Em estudo realizado por Frota *et al.* (2010) utilizando até 30 % de farinha de feijão em substituição à farinha de trigo em biscoitos e bolo do tipo rocambole, encontraram um aumento no teor de proteínas, de fósforo, ferro, potássio, magnésio e zinco, demonstrando que a utilização da farinha de feijão foi capaz de aumentar o valor nutricional desses produtos. Em estudo realizado por Olapade e Oluwole (2013) foi verificado o aumento dos teores de proteínas, lipídeos, fibras alimentares e cinzas em pães enriquecidos com até 15 % de farinha de feijão.

Tais resultados demonstraram que as farinhas de feijão carioca e feijão caupi apresentam bom perfil nutricional, especialmente pela elevada quantidade de proteínas e fibras alimentares.

4.3.1.3 Cor instrumental

Os resultados da análise de cor instrumental podem ser observados na Tabela 4.5. A farinha de arroz integral apresentou maior valor de L^* (luminosidade) ($85,69 \pm 0,08$) enquanto o contrário foi observado na farinha de feijão carioca com L^* de $80,39 \pm 0,05$. Ao observar os parâmetros a^* , em que a variação vai do verde ao vermelho, e b^* que varia do azul ao amarelo, percebeu-se que a farinha de feijão carioca teve maior predominância na tonalidade de cor vermelha ($a^* = 2,62 \pm 0,03$) enquanto a farinha de feijão caupi apresentou maior predominância para o amarelo ($b^* = 13,56 \pm 0,16$).

Tabela 4.5 - Cor instrumental das farinhas de arroz integral, feijão carioca e feijão caupi.

Componentes	Arroz integral	Feijão carioca	Feijão caupi
L^*	$85,69 \pm 0,08^a$	$80,39 \pm 0,05^c$	$83,48 \pm 0,10^b$
a^*	$0,81 \pm 0,02^c$	$2,62 \pm 0,03^a$	$0,99 \pm 0,03^b$
b^*	$12,79 \pm 0,06^b$	$12,25 \pm 0,02^c$	$13,56 \pm 0,16^a$

Médias \pm desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knot ($p < 0,05$).

Tais resultados demonstram que a farinha de arroz integral foi mais clara enquanto a farinha de feijão carioca mais escura. Esta variação de cor é em função da composição das farinhas, particularmente nos feijões, sendo que a cor pode ter sido influenciada pela tonalidade dos seus respectivos tegumentos.

4.3.2 Caracterização das massas ácidas

4.3.2.1 pH e acidez total titulável

Os resultados de pH e acidez total titulável (ATT) estão apresentados na Tabela 4.6 e Tabela 4.7, respectivamente. Os tratamentos apresentaram inicialmente um maior valor de pH e um menor valor de ATT. Observou-se no primeiro momento, que as massas adicionadas de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) - MAf, MPf e MVf apresentaram uma maior acidez, representada pelo menor valor de pH e maior valor de ATT. Tal resultado remete ao

metabolismo inicial das leveduras, o qual libera dióxido de carbono (CO_2), e tal liberação é resultante principalmente da metabolização de carboidratos fermentáveis (sacarose, glicose, frutose e maltose). O CO_2 ao entrar em contato com água sofre uma reação química formando ácido carbônico (H_2CO_3), este é um ácido fraco que se dissocia em H^+ e HCO_3^- . Essa dissociação eleva a concentração de íon hidrogênio (H^+) no meio, acarretando assim em um menor pH (MOHAMED *et al.*, 2015). Assim, um aumento inicial na acidez é esperado e rapidamente observado em massas adicionadas de leveduras.

Foi observado variações nos valores de pH para todas as amostras seguidos de uma estabilidade entre as massas com e sem a adição de levedura, evidenciado claramente no 10° dia em: MA ($3,93 \pm 0,01$), MAf ($3,98 \pm 0,01$), MP ($4,01 \pm 0,01$), MPf ($4,01 \pm 0,01$), MV ($4,02 \pm 0,01$) e MVf ($4,01 \pm 0,01$). Foi observado um comportamento diferente na acidificação das massas elaboradas com farinha de feijão carioca (ATT: MP= $2,13 \pm 0,02$ % e MPf= $2,01 \pm 0,01$ %) e caupi (ATT: MV= $1,90 \pm 0,22$ % e MVf= $2,04 \pm 0,03$ %), em que não houve uma relação direta entre os parâmetros de pH e ATT, o que não era esperado, já que o pH e ATT se relacionam inversamente. Sugerindo-se assim uma capacidade de efeito tampão, provavelmente devido ao maior teor de proteínas, presentes na forma de polipeptídeos. Durante o desenvolvimento e maturação da massa ácida, ocorre a hidrólise de proteínas, resultando na liberação de macromoléculas de menor massa molar, tal comportamento foi verificado por Coda *et al.* (2017a) utilizando farinha de fava (*Vicia faba* L.). Outro fator que pode ter resultado neste resultado foi a heterogeneidade entre a produção de CO_2 , ácido lático e ácido acéticos pelas bactérias lácticas, o que pode justificar a falta de correlação entre o pH e a ATT.

Uma pequena variação pode ser observada no 12° dia decorrente da alteração que ocorreu no processo de alimentação das massas, porém é perceptível o rápido restabelecimento do pH nas massas. A partir do 13° dia observou-se um comportamento semelhante entre os tratamentos com e sem a adição de levedura e, ao final no 18° dia o pH das massas encontravam-se estáveis e as massas com farinha de arroz integral foram significativamente mais ácidas analisando-se o pH: MA ($3,83 \pm 0,01$) e MAf ($3,91 \pm 0,03$).

Tabela 4.6 - pH de massas ácidas elaboradas com farinha de arroz integral, farinha de feijão carioca e feijão caupi

Tempo (dias)	pH					
	MA	MAf	MP	MPf	MV	MVf
0	6,69±0,04 ^a	6,12±0,02 ^c	6,18±0,03 ^b	6,09±<0,01 ^d	6,13±0,01 ^c	6,07±0,01 ^d
1	5,28±0,05 ^d	5,78±0,01 ^a	5,47±0,03 ^c	5,66±0,03 ^b	5,20±0,05 ^e	5,77±0,01 ^a
2	4,35±0,02 ^e	4,59±0,02 ^b	4,37±0,05 ^e	4,48±0,02 ^c	4,43±0,05 ^d	4,75±0,03 ^a
3	4,24±0,01 ^c	4,24±0,01 ^c	4,30±<0,01 ^b	4,27±<0,01 ^c	4,38±<0,01 ^a	4,31±<0,01 ^b
4	4,10±0,02 ^c	4,09±<0,01 ^c	4,29±0,01 ^a	4,14±<0,01 ^b	4,29±0,01 ^a	4,16±<0,01 ^b
5	4,17±<0,01 ^b	4,06±<0,01 ^c	4,29±0,05 ^a	4,18±0,03 ^b	4,28±<0,01 ^a	4,19±0,01 ^b
6	4,08±0,01 ^c	4,11±0,01 ^c	4,24±0,03 ^a	4,18±0,01 ^b	4,23±<0,01 ^a	4,08±<0,01 ^c
7	4,00±0,04 ^c	4,00±<0,01 ^c	4,02±0,02 ^c	4,05±0,01 ^b	4,15±<0,01 ^a	4,06±<0,01 ^b
8	3,98±0,02 ^b	3,92±0,01 ^c	4,03±0,01 ^a	4,00±<0,01 ^b	4,06±0,04 ^a	4,07±<0,01 ^a
9	4,03±0,02 ^b	4,03±0,01 ^b	4,08±<0,01 ^a	4,02±0,01 ^b	4,08±<0,01 ^a	4,09±<0,01 ^a
10	3,93±<0,01 ^b	3,98±0,01 ^a	4,01±0,01 ^a	4,01±0,01 ^a	4,02±<0,01 ^a	4,01±<0,01 ^a
11	3,88±<0,01 ^c	4,04±0,04 ^a	3,95±0,01 ^b	3,95±0,01 ^b	3,95±0,02 ^b	3,96±0,02 ^b
12	3,97±0,01 ^b	3,96±<0,01 ^b	4,01±0,01 ^a	4,04±0,02 ^a	4,03±<0,01 ^a	4,02±<0,01 ^a
13	3,92±0,01 ^b	3,93±<0,01 ^b	3,88±0,02 ^b	3,90±0,01 ^b	3,97±0,01 ^a	3,95±0,01 ^a
14	3,96±0,07 ^b	3,88±0,01 ^c	4,02±0,02 ^a	4,03±0,02 ^a	4,06±0,01 ^a	4,05±<0,01 ^a
15	3,89±0,02 ^c	3,86±<0,01 ^c	3,97±0,02 ^b	4,01±0,01 ^a	4,02±0,01 ^a	4,04±<0,01 ^a
16	3,87±0,01 ^c	3,99±0,05 ^b	4,02±0,01 ^b	4,03±0,01 ^a	4,05±0,01 ^a	4,06±<0,01 ^a
17	3,84±0,01 ^c	3,76±0,01 ^d	3,97±0,01 ^b	4,02±<0,01 ^a	4,02±<0,01 ^a	4,03±<0,01 ^a
18	3,83±0,01 ^c	3,91±0,03 ^b	3,98±0,02 ^a	4,01±0,01 ^a	4,01±0,01 ^a	4,02±<0,01 ^a
p-valor	0,014	0,046	0,012	0,011	<0,001	0,040
R múltiplo	0,722	0,652	0,727	0,733	0,829	0,662
R ²	0,522	0,425	0,529	0,537	0,686	0,438
R ² ajustado	0,419	0,302	0,428	0,438	0,619	0,317

Legenda: MA: massa ácida de farinha de arroz integral, MAf: massa ácida de farinha de arroz integral com fermento biológico, MP: massa ácida com farinha de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*), MPf: massa ácida de farinha de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*) e fermento biológico. MV: massa ácida de farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata*), MVf: massa ácida de farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata*) com fermento biológico. Médias ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Tabela 4.7 - Acidez total titulável de massas ácidas elaboradas com farinha de arroz integral, farinha de feijão carioca e feijão caupi

Tempo (dias)	Acidez total titulável (% em ácido láctico)					
	MA	MAf	MP	MPf	MV	MVf
0	0,12±0,01 ^b	0,14±0,01 ^b	0,20±0,01 ^a	0,23±<0,01 ^a	0,21±0,01 ^a	0,24±0,01 ^a
1	0,41±0,01 ^b	0,31±0,01 ^b	0,51±0,02 ^a	0,42±0,01 ^b	0,54±<0,01 ^a	0,37±0,01 ^b
2	0,81±0,02 ^c	0,67±0,02 ^d	1,14±0,02 ^a	0,94±0,02 ^b	1,08±0,01 ^a	0,81±0,02 ^c
3	0,94±0,04 ^b	0,83±0,01 ^c	1,08±0,01 ^a	1,03±0,02 ^a	1,02±0,01 ^a	1,04±0,03 ^a
4	1,23±0,05 ^a	1,28±0,02 ^a	0,90±<0,01 ^c	0,96±0,01 ^b	0,99±0,01 ^b	1,04±0,02 ^b
5	1,25±0,05 ^b	1,42±0,02 ^a	0,94±0,03 ^d	1,02±0,03 ^d	1,01±<0,01 ^d	1,10±0,01 ^c
6	1,26±0,03 ^b	1,34±0,03 ^a	0,93±0,02 ^d	0,97±0,02 ^d	1,04±0,03 ^c	1,39±0,03 ^a
7	1,35±0,02 ^c	1,63±0,01 ^a	1,63±0,10 ^a	1,48±0,05 ^b	1,20±0,01 ^d	1,68±0,02 ^a
8	1,54±0,04 ^c	1,92±0,18 ^a	1,76±0,08 ^b	1,90±0,04 ^a	1,48±0,02 ^c	1,76±0,06 ^b
9	1,45±0,02 ^c	1,44±0,04 ^c	1,56±<0,01 ^b	1,78±0,07 ^a	1,59±0,04 ^b	1,70±0,03 ^a
10	1,62±0,04 ^d	1,50±0,04 ^e	2,13±0,02 ^a	2,01±0,01 ^b	1,90±0,22 ^c	2,04±0,03 ^b
11	1,72±0,01 ^c	1,31±0,02 ^e	1,88±0,05 ^b	1,61±0,04 ^d	1,85±0,03 ^b	1,98±0,08 ^a
12	1,38±0,01 ^c	1,43±0,04 ^c	1,64±0,09 ^b	1,61±0,12 ^b	1,63±0,02 ^b	1,73±0,04 ^a
13	1,62±0,06 ^d	1,43±0,02 ^e	1,71±0,08 ^c	1,89±0,07 ^b	1,73±0,02 ^c	2,02±0,09 ^a
14	1,42±<0,01 ^b	1,34±<0,01 ^b	1,56±0,02 ^a	1,57±0,05 ^a	1,49±0,02 ^a	1,56±0,05 ^a
15	1,44±0,05 ^c	1,32±0,04 ^d	1,65±0,04 ^a	1,56±0,03 ^b	1,56±0,04 ^b	1,52±0,03 ^b
16	1,45±0,02 ^{ns}	1,39±0,02 ^{ns}	1,45±0,03 ^{ns}	1,46±0,03 ^{ns}	1,41±0,02 ^{ns}	1,39±0,02 ^{ns}
17	1,33±0,01 ^{ns}	1,32±0,01 ^{ns}	1,36±0,02 ^{ns}	1,37±0,02 ^{ns}	1,38±0,02 ^{ns}	1,33±0,01 ^{ns}
18	1,35±<0,01 ^{ms}	1,36±0,01 ^{ns}	1,34±0,03 ^{ns}	1,32±<0,01 ^{ns}	1,36±0,01 ^{ns}	1,31±0,01 ^{ns}
p-valor	0,018	0,075	0,092	0,025	0,018	0,126
R múltiplo	0,707	0,617	0,599	0,691	0,708	0,572
R ²	0,500	0,380	0,359	0,477	0,501	0,327
R ² ajustado	0,393	0,247	0,222	0,365	0,394	0,183

Legenda: MA: massa ácida de farinha de arroz integral, MAf: massa ácida de farinha de arroz integral com fermento biológico, MP: massa ácida com farinha de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*), MPf: massa ácida de farinha de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*) e fermento biológico. MV: massa ácida de farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata*), MVf: massa ácida de farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata*) com fermento biológico. Médias ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Aplevicz (2013), ao estudar a cinética de fermentação de BAL (*Lactobacillus paracasei*) e leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*), demonstrou que as BAL resultaram em uma massa com um menor pH e uma maior acidez total titulável, sendo que uma tendência à aproximação dos resultados ao longo do tempo também foi observada.

No decorrer de uma fermentação espontânea, as leveduras (*Sacharomyces cerevisiae*) são submetidas à diversos estresses decorrentes do próprio processo fermentativo como: a presença de outros micro-organismos (principalmente de BAL), elevadas concentrações de ácidos e álcoois e baixo pH, disponibilidade de nutrientes, estresse osmótico (rendimento da massa, presença de carboidratos, sais e polissacarídeos), estresse oxidativo (presença de oxigênio) e flutuações de temperatura (DE VUYST *et al.*, 2016).

A acidez da massa favorece um ambiente seletivo para as comunidades de BAL visto que as leveduras são particularmente mais sensíveis ao meio ácido (DE VUYST, 2016 e VAN KERREBROECK; MAES; DE VUYST, 2017). Assim, as BAL são as principais responsáveis em influenciar a redução do pH e aumento da acidez total titulável nas massas, principalmente devido à produção de ácidos láctico e acético durante a fermentação (HAMMES *et al.*, 2005, CORSETTI; SETTANNI, 2007).

A produção de ácido láctico favorece o crescimento exponencial de bactérias lácticas e, conseqüentemente, essas se sobressaem às leveduras tornando-se culturas predominantes na massa. Uma estabilidade no pH remete a maturação da massa fermentada, ou seja, ocorre a estabilidade da microbiota e predominância de BAL, especialmente as BAL do tipo heterofermentativas. Assim, considera-se que neste estudo uma propagação de 18 dias foi o suficiente para maturação das massas, baseada na estabilidade da acidez (pH e ATT) e supõem-se que culturas dominantes de BAL podem ter sido estabelecidas nas massas.

Resultados semelhantes foram encontrados na literatura para uma massa fermentada ser considerada madura (pH >3,80) (GOBBETI *et al.*, 2005, DE VUYST *et al.*, 2014). Kerrebroeck, Maes e De Vuyst (2017) demonstraram que a estabilidade de comunidades microbianas na massa depende do tempo de propagação, sendo que no mínimo 10 etapas são necessárias para se obter culturas puras e dominantes, sendo capaz de reduzir a competitividade ou inibição de atividades metabólicas de outros micro-organismos.

A regressão linear foi aplicada e o p-valor foi significativo (<0,05) para todos os tratamentos. O R² foi relativamente baixo, sendo maior na massa MV (0,619) e menor na massa MAF (0,302). Isto indica que a redução do pH é influenciada ao longo do tempo de fermentação e de maturação da massa ácida, porém não há como prever, através de um modelo matemático, como se dá esse decréscimo do pH.

Em relação a ATT, observou-se que houve uma grande variação durante os dias de fermentação. As alterações na ATT podem estar relacionadas a liberação de outros ácidos nas massas, como ácido acético e o ácido succínico, isso pode ter contribuído para tais oscilações nos resultados visto que neste estudo a ATT é dada em % de ácido lático. Além disso, a dinâmica entre as diversas atividades metabólicas dos micro-organismos pode ter influenciado nesses resultados. De acordo com Hammes *et al.* (2005), o metabolismo do substrato (amilólise, proteólise e lipólise) durante a fermentação e, o perfil fisiológico dos micro-organismos presente na farinha, vão influenciar diretamente na acidez das massas.

Uma estabilidade na acidez foi estabelecida no 16° dia, sendo: MA (1,45±0,02 %), MP (1,45±0,03 %), MV (1,41±0,02 %), MAf (1,39±0,02 %), MPf (1,46±0,03 %) e MVf (1,39±0,02 %) e manteve-se estável até o 18° dia: MA (1,35±0,01 %), MP (1,34±0,03 %), MV (1,36±0,01 %), MAf (1,36±0,01 %), MPf (1,32±0,01 %) e MVf (1,31±0,01 %).

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) para: MV (p-valor 0,092), MAf (p-valor 0,074) e MVf (p-valor 0,125). O R^2 foi baixo em todos os tratamentos e a partir da análise de variância foi verificado que modelo não prediz os resultados.

4.3.2.2 Volume de expansão das massas

Os resultados obtidos para o volume de expansão das massas ácidas (VEM) estão expostos na Tabela 4.8. Observou-se que inicialmente a maior capacidade de expansão foi para as massas que continham levedura, como foi possível observar no 2° dia: uma maior área de expansão para MPf (74,42±14,65 AUC), MVf (56,06±12,53 AUC) e MAf (44,64±8,67 AUC). Esse crescimento inicial nas massas relaciona-se com a adição de leveduras, que favorecem no primeiro instante a maior liberação de CO₂. Posteriormente, o inverso é observado, onde os tratamentos sem adição de levedura apresentaram maior área de expansão, tais características podem estar relacionadas a liberação gradual e lenta de CO₂ pelas BAL ao longo do tempo.

Destaca-se aqui, uma explicação para os resultados obtidos no 11° dia, em que se observa nitidamente uma redução no volume de expansão das massas. Esse comportamento é reflexo da alteração que ocorreu no processo de alimentação das massas, porém a partir do 13° dia verifica-se a estabilização do VEM novamente, sendo: MV e MVf (52,60±8,74 AUC e 49,96±8,49 AUC) com áreas respectivamente maiores, seguido de MP e MPf (36,19±6,80 AUC e 37,98±8,01 AUC) e MA e MAf (35,07±8,25 AUC e 34,31±9,50 AUC) com áreas menores.

A análise de regressão linear não foi significativa. O modelo não foi capaz de prever os resultados.

4.3.2.3 Correlação de variáveis – pH, ATT e VEM

Para melhor compreender os resultados, a estatística de correlação de Pearson foi aplicada. O coeficiente de correlação Pearson (r) varia de -1 a 1, indicando correlação inversamente ou diretamente proporcionais entre as variáveis, respectivamente. Segundo Callegari-Jacques (2003), o coeficiente de correlação pode ser avaliado qualitativamente e as correlações podem ser: fraca ($\pm 0,00$ a $0,30$), moderada ($\pm 0,30$ a $0,60$), forte ($\pm 0,60$ a $0,90$) e muito forte ($\pm 0,90$ a $1,00$).

Diante do exposto, as variáveis relativas ao pH e ATT de tratamentos individualizado foram analisadas e os resultados estão expressos na Tabela 4.9. Observou-se que houve uma forte correlação entre os tratamentos com e sem a adição de leveduras (Ma e MAf; MP e MPf; MV e MVf).

A correlação entre a variável dia x pH demonstrou correlações fortes negativas, (variações de $-0,65$ a $-0,69$) e entre dia x ATT correlações positivas (variações de $0,59$ a $0,73$) em todos os tratamentos, o que era esperado visto que, com o aumento no número de dias, maior é a acidez estabelecida nas massas, portanto uma correlação inversa é esperada, ou seja, quanto menor o pH maior a ATT no decorrer dos dias. Uma melhor visualização deste comportamento para os tratamentos pode ser visualizada na Figura 4.1.

Em relação ao volume de expansão das massas ácidas (VEM), quando analisados individualmente (Tabela 4.9) observa-se principalmente que, a massa ácida MAf não apresentou correlação com as variáveis (pH, ATT e VEM) e resultado semelhante pode ser observado para MVf, em que apresentou correlação somente com o VEM de MV, já o inverso ocorreu com MPf, apresentando correlações apenas para pH e ATT.

Analisando as variáveis foi observado que houve correlação negativa entre pH x VEM para os tratamentos que não foram adicionadas leveduras (MA, MP e MV) e dentre os tratamentos com leveduras apenas MPf apresentou correlação, tais resultados indicaram que quanto menor foi o pH maior foi o volume de expansão dessas massas.

Tabela 4.8 - Volume de expansão de massas ácidas produzidas com farinha de arroz integral, feijão carioca e feijão caupi.

Tempo (dias)	Volume de expansão das massas (Área sob a curva - AUC)					
	MA	MAf	MP	MPf	MV	MVf
0	1,33±1,89 ^c	28,18±0,90 ^b	2,20±1,23 ^c	41,57±5,62 ^a	4,13±3,13 ^c	39,67±2,82 ^a
1	18,19±7,01 ^e	44,64±8,67 ^c	24,11±10,53 ^d	74,42±14,65 ^a	28,06±8,29 ^d	56,06±12,53 ^b
2	22,34±8,11 ^d	49,46±9,83 ^c	23,88±9,86 ^d	71,34±7,46 ^a	23,51±5,95 ^d	63,26±7,06 ^b
3	46,91±5,55 ^c	34,04±7,88 ^d	55,85±9,10 ^b	47,94±6,02 ^c	64,26±8,56 ^a	45,81±8,36 ^c
4	37,85±9,53 ^b	24,36±8,97 ^c	57,50±5,17 ^a	41,50±8,37 ^b	55,62±4,67 ^a	41,27±2,76 ^b
5	29,40±8,00 ^c	25,20±8,09 ^c	60,22±8,93 ^a	46,02±9,54 ^b	61,94±9,04 ^a	56,46±9,05 ^a
6	26,28±7,36 ^e	19,59±7,95 ^f	61,36±9,08 ^b	51,39±8,23 ^d	67,76±10,99 ^a	57,78±9,99 ^c
7	25,95±6,89 ^d	20,03±7,29 ^d	48,52±8,62 ^b	36,83±7,23 ^c	54,68±8,43 ^a	46,70±5,73 ^b
8	24,57±7,50 ^d	26,37±12,15 ^d	43,29±6,41 ^b	33,63±9,16 ^c	56,48±6,32 ^a	44,48±5,56 ^b
9	27,69±7,21 ^c	27,55±8,36 ^c	37,07±9,84 ^b	27,04±6,41 ^c	50,61±3,77 ^a	46,04±6,14 ^a
10	25,75±8,04 ^b	45,97±12,20 ^a	30,43±8,58 ^b	27,72±7,42 ^b	50,35±8,25 ^a	34,27±10,18 ^b
11	19,22±8,10 ^c	39,85±9,31 ^a	21,07±8,45 ^c	25,60±6,84 ^b	28,47±7,60 ^b	25,43±7,14 ^b
12	23,42±6,51 ^c	28,91±7,73 ^c	28,62±6,33 ^c	26,57±6,88 ^c	53,53±12,79 ^a	37,47±7,14 ^b
13	35,07±8,25 ^b	34,31±9,50 ^b	36,19±6,80 ^b	37,98±8,01 ^b	52,60±8,74 ^a	49,96±8,49 ^a
14	29,42±6,00 ^c	32,19±7,22 ^c	40,89±12,27 ^b	40,22±6,30 ^b	61,40±9,48 ^a	62,08±8,57 ^a
15	28,99±6,94 ^c	26,00±6,31 ^c	38,50±6,70 ^b	42,19±5,31 ^b	55,32±7,52 ^a	55,12±7,22 ^a
16	27,70±7,10 ^c	24,94±7,62 ^c	45,54±7,48 ^b	47,96±7,26 ^b	58,18±7,24 ^a	56,08±6,77 ^a
17	26,64±7,35 ^c	28,52±8,41 ^c	49,81±9,38 ^b	52,87±9,43 ^b	59,50±8,81 ^a	61,51±6,65 ^a
18	22,06±6,41 ^d	25,00±5,92 ^d	38,87±7,12 ^c	45,42±6,28 ^b	55,22±7,45 ^a	55,30±8,23 ^a
p-valor	0,420	0,274	0,403	0,362	0,304	0,402
R múltiplo	0,421	0,485	0,428	0,445	0,471	0,428
R ²	0,177	0,236	0,183	0,198	0,222	0,183
R ² ajustado	0,001	0,072	0,008	0,026	0,055	0,008

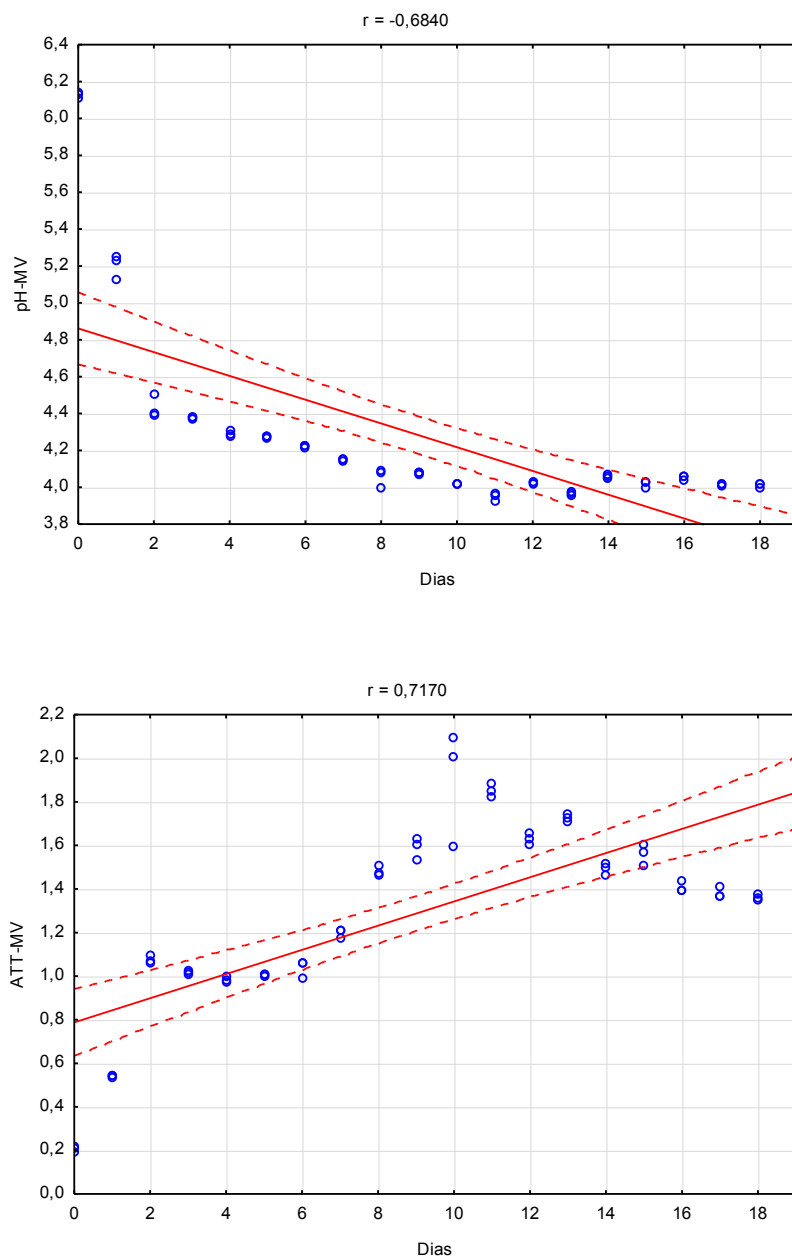
Legenda: MA: Massa ácida de farinha de arroz integral, MAf: massa ácida de farinha de arroz integral com fermento biológico, MP: massa ácida com farinha de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*), MPf: massa ácida de farinha de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*) e fermento biológico. MV: massa ácida de farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata*), MVf: massa ácida de farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata*) com fermento biológico. Médias ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

Tabela 4.9 - Correlação de Pearson para pH, acidez titulável total e volume de expansão das massas em massas ácidas de farinha de arroz integral, feijão carioca e feijão caupi.

Amostras	pH		Acidez titulável total		Volume de expansão das massas	
	MA	MAF	MA	MAF	MA	MAF
Dia	-0,65*	-0,69*	0,71*	0,59*	0,15	-0,18
PH - MA		0,96*	-0,90*	-0,83*	-0,56*	0,01
PH - MAF			-0,92*	-0,89*	-0,53*	0,16
ATT - MA				0,91*	0,38*	-0,05
ATT - MAF					0,34*	-0,25
VEM - MA						0,13
Massa ácida MP	MP	MPF	MP	MPF	MP	MPF
Dia	-0,68*	-0,65*	0,65*	0,67*	0,10	-0,34*
PH - MP		0,99*	-0,83*	-0,83*	-0,51*	0,33*
PH - MPF			-0,80*	-0,82*	-0,55*	0,37*
ATT - MP				0,96*	0,09	-0,55*
ATT - MPF					0,14	-0,61*
VEM - MP						0,21
Massa ácida MV	MV	MVF	MV	MVF	MV	MVF
Dia	-0,68*	-0,67*	0,72*	0,63*	0,46*	0,20
PH - MV		0,96*	-0,86*	-0,83*	-0,73*	-0,12
PH - MVF			-0,83*	-0,85*	-0,78*	-0,09
ATT - MV				0,93*	0,43*	-0,15
ATT - MVF					0,51*	-0,19
VEM - MV						0,47*

Legenda: MA: massa ácida de farinha de arroz integral, MAF: massa ácida de farinha de arroz integral com fermento biológico, MP: massa ácida com farinha de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*), MPf: massa ácida de farinha de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*) e fermento biológico, MV: massa ácida de farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata*), MVf: massa ácida de farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata*) com fermento biológico. *Correlação de Pearson com significância estatística ($p < 0,05$).

Figura 4.1 - Correlações de Pearson referente a evolução do pH e ATT por dias nas massas ácidas



Legenda: r: coeficiente de correlação de Pearson, VME: Volume de expansão da massa, MV: massa ácida de farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata*).

Já em relação a ATT, observou-se que as massas ácidas MA e MV apresentaram correlação positiva, ou seja, quanto maior o volume de expansão da massa, maior foi a ATT, o mesmo não foi observado para o tratamento MP, que não apresentou nenhuma correlação com a ATT.

Em contrapartida a massa ácida MPf apresentou uma correlação positiva, em que quanto maior o pH maior foi o volume de expansão, sendo possível verificar essa associação na Tabela 4.6 e Tabela 4.8 entre os dias 0-6, e uma correlação forte e negativa para a ATT, observado entre os dias 1-6 e 14-18 na Tabela 4.7 e Tabela 4.8. Já O VEM de MVf correlacionou-se apenas com o VEM de MV.

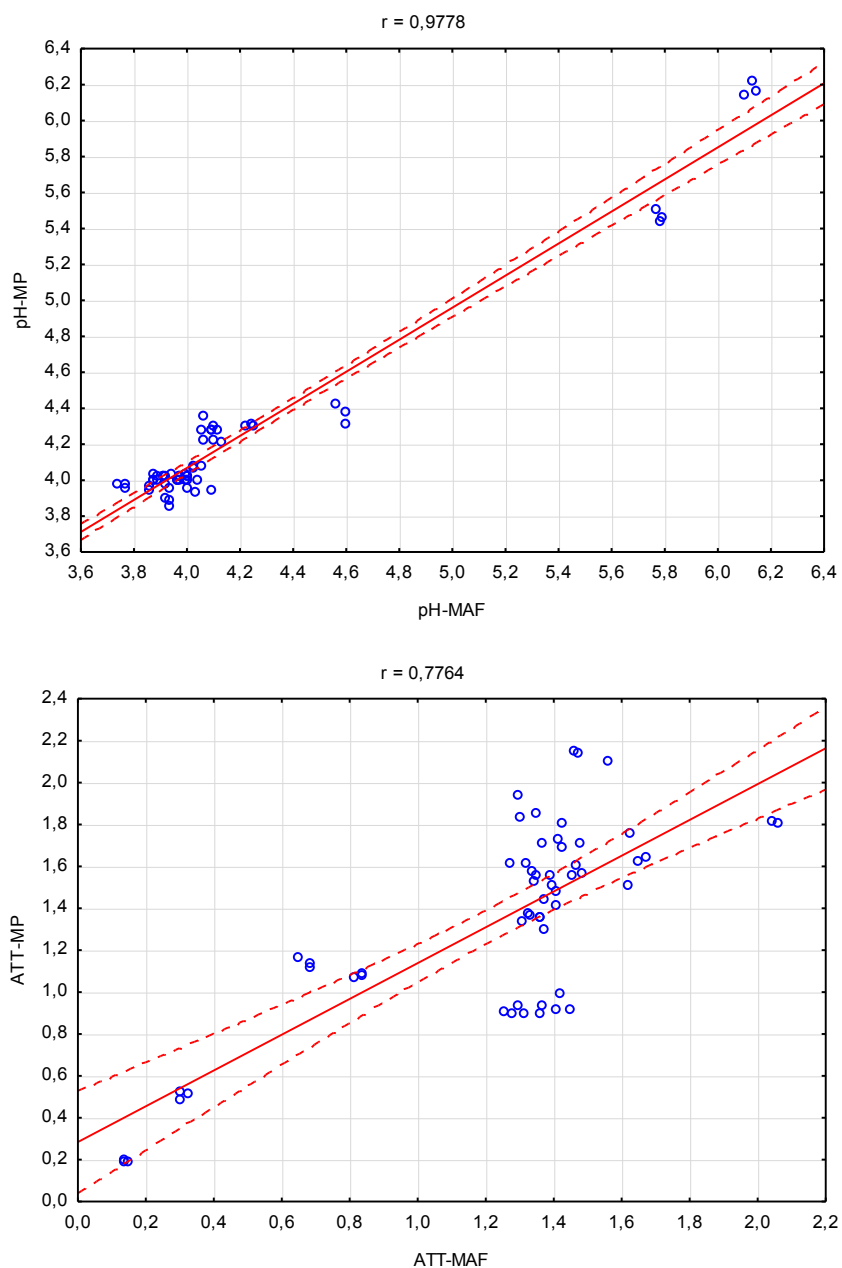
Entre os diferentes tratamentos, foram encontradas correlações fortes e positivas para o pH (variação de 0,65 a 0,99) e ATT (0,65 a 0,59), indicando um comportamento semelhante entres as massas ácidas, ou seja, houve a redução do pH e aumento da ATT em todos os tratamentos ao logo do tempo, melhor representado na Figura 4.2.

Em relação ao volume de expansão das massas ácidas (VEM) nos tratamentos individuais (Tabela 4.9) observou-se que o pH apresentou correlação negativa com o VEM para todos os tratamentos, demonstrando que quanto menor o pH maior foi o volume de expansão das massas ácidas. Já em relação a ATT observou-se que para as massas ácidas MA e MV houve correlação positiva, ou seja, quanto maior o volume de expansão da massa maior a ATT, o que não foi observado para o tratamento MP.

Porém o inverso ocorreu para as massas com fermento, ou seja, MAf e MVf não apresentaram correlações entre pH e ATT para o VEM, já MPf apresentou uma correlação fraca, mas positiva para a pH e negativa para a ATT, em que quanto menor foi o pH maior a ATT e menor foi o volume de expansão, sendo possível verificar essa associação na Tabela 4.6, Tabela 4.7 e Tabela 4.8.

A correlação do VEM entre os diferentes tratamentos também foi observada e estão demonstradas na Tabela 4.10. Diante do exposto observou-se que houve correlação positiva forte entre o VEM e os tratamentos sem adição de leveduras ($MA \times MP = 0,73$; $MA \times MV = 0,72$; e $MP \times MV = 0,81$). Isso se deve ao comportamento assumido por esses tratamentos ao longo dos dias, devido à liberação lenta e gradativa de CO_2 nessas massas pela fermentação espontânea, ao contrário do que ocorreu nas massas adicionadas de leveduras iniciadoras, pois com o fermento proporcionou um impulso no crescimento inicial das massas, a partir da rápida liberação de CO_2 em resposta as atividades realizadas pelas leveduras adicionadas no primeiro instante.

Figura 4.2 - Correlações de Pearson referente a evolução do pH e ATT nas massas ácidas de diferentes tratamentos.



Legenda: r: coeficiente de correlação de Pearson, VME: Volume de expansão da massa, MAF: massa ácida de farinha de arroz integral com fermento biológico, MP: massa ácida com farinha de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*).

Observou-se ainda uma correlação negativa para o VEM entre os tratamentos MAf com MP (-0,29) e MV (-0,28), demonstrando que quanto maior foi o VEM das massas ácidas elaboradas com feijão carioca e feijão caupi sem adição de leveduras menor foi o VEM de MAf, como melhor visualizado na Figura 4.3 Tais resultados indicam a melhor capacidade de expansão dessas massas com farinha de feijão por fermentação espontânea.

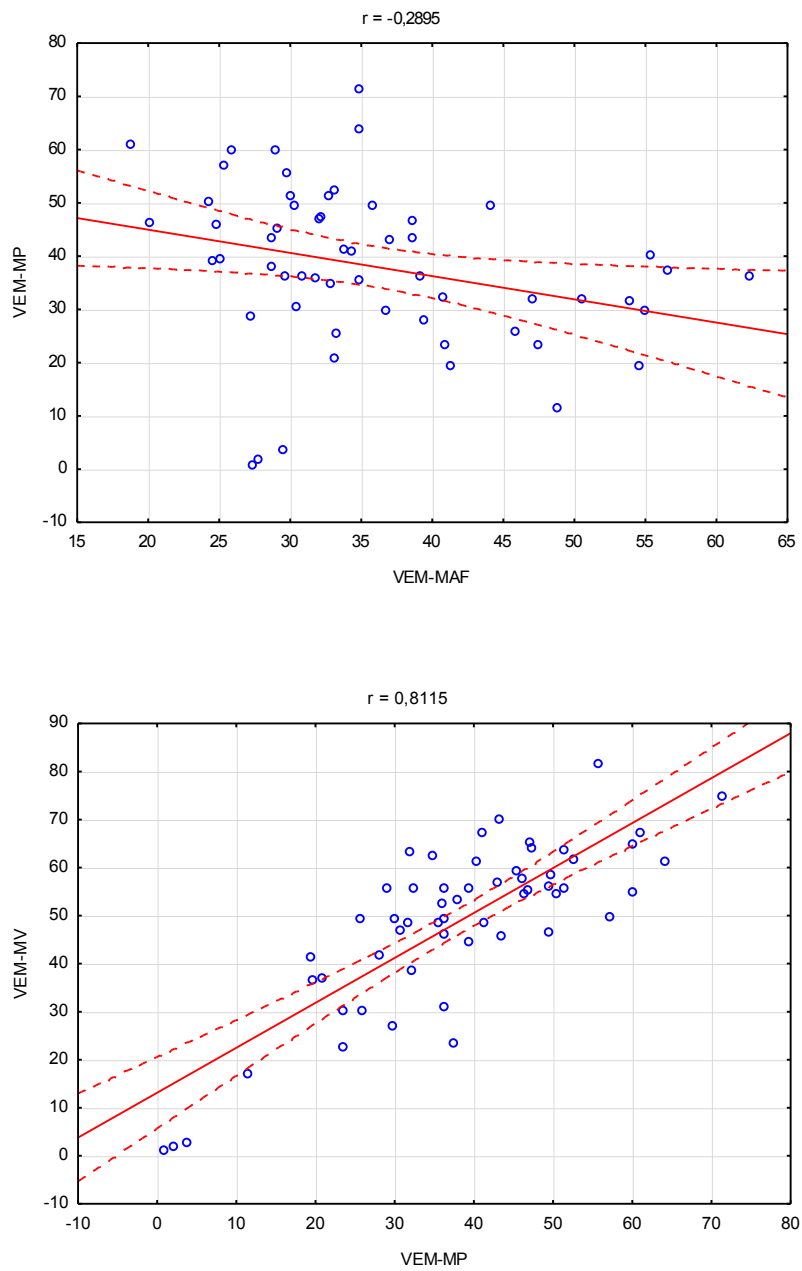
Correlações positivas foram observadas entre as massas elaboradas com feijão carioca e feijão caupi sendo: VEM MP x MV (0,81) e MVF (0,43); MPF x MV (0,62) e MV x MVF (0,47). Tais resultados demonstraram que quanto maior o volume de expansão de uma maior o volume da outra, e estão melhor representados na Figura 4.3. Cabe destacar aqui, a correlação diretamente proporcional entre as massas elaboradas com feijão carioca e feijão caupi, cujos resultados apresentaram correlações fortes para MP x MV (0,81) e MPF x MV (0,62).

Tabela 4.10 - Correlações de Pearson referente ao volume de expansão nas massas ácidas entre os diferentes tratamentos.

Variável	MA	MAF	MP	MPF	MV	MVF
Dias	0,15	-0,18	0,10	-0,34*	0,46*	0,20
MA		0,13	0,73*	0,29*	0,72*	0,43*
MAF			-0,29*	0,22	-0,28*	-0,11
MP				0,21	0,81*	0,43*
MPF					-0,03	0,62*
MV						0,47*

Legenda: MA: massa ácida de farinha de arroz integral, MAf: massa ácida de farinha de arroz integral com fermento biológico, MP: massa ácida com farinha de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*), MPf: massa ácida de farinha de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*) e fermento biológico, MV: massa ácida de farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata*), MVf: massa ácida de farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata*) com fermento biológico. *Correlação de Pearson com significância estatística ($p < 0,05$).

Figura 4.3 - Correlações de Pearson referente ao volume de expansão nas massas ácidas de diferentes tratamentos.



Legenda: r: coeficiente de correlação de Pearson, VME: Volume de expansão da massa, MP: massa ácida com farinha de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*), MAF: massa ácida de farinha de arroz integral com fermento biológico, MA: massa ácida de farinha de arroz integral.

4.3.3 Caracterização pães

4.3.3.1 pH e acidez total titulável das massas e dos pães

Os resultados do pH e da ATT das massas iniciais e finais e dos pães estão apresentados na Tabela 4.11. Verificou-se que a massa inicial, a massa final e os pães elaborados com farinha de arroz integral (PMA e PMAf) apresentaram menor pH, enquanto a ATT aumentou para todos os tratamentos após a fermentação inicial, isso pode ser justificado pelo alto teor de carboidratos fermentescíveis presente nas farinhas de arroz integral, pois a formação de ácidos durante a fermentação depende do metabolismo dos carboidratos (GÄNZLE; VERMEULEN; VOGEL, 2007).

A adição de substrato na elaboração das massas dos pães, o aumento de temperatura e do tempo de fermentação podem ter contribuído nas variações de pH e ATT das massas dos pães. Nas massas fermentadas com farinha de feijão, o pH e a ATT foram diretamente proporcionais, ratificando um provável efeito tamponante decorrente das proteínas nessas massas.

Observa-se que as massas dos pães após a fermentação apresentaram aumento da acidez, com diminuição do pH e aumento da ATT. Tal resultado é efeito da adição das massas ácidas na formulação. Ainda, houve correlações entre o pH e ATT das massas pós fermentação com o pH e ATT dos pães, demonstrados na Tabela 4.12. Comportamento semelhante foi encontrado por Jagelaviciute e Cizeikiene (2020), em massas sem glúten preparadas com diferentes farinhas de grãos (quinoa, cânhamo e chia).

No decorrer de uma fermentação espontânea, as leveduras (*Sacharomyces cerevisiae*) são submetidas a diversos estresses decorrentes do próprio processo fermentativo como: a presença de outros microrganismos (principalmente de BAL), elevadas concentrações de ácidos e álcoois e baixo pH. Alguns estudos assumem que os microrganismos podem desenvolver um processo adaptativo, capaz de reduzir a sua atividade metabólica e fisiológica no meio para garantir sua sobrevivência (BAI; ANDERSON; MOO-YOUNG, 2008). Este processo é denominado como um Estado viável mas não cultivável (VNC) ou seja, alguns microrganismos tem a sua capacidade de crescimento inibida porem, mantem sua viabilidade a partir de baixas atividades metabólicas como: atividade respiratória e manutenção de potencial de membrana (COLWELL, 200; HEIM *et al.*, 2002). Este processo torna-se reversível quando o meio retoma as condições favoráveis, como pelo aumento da disponibilidade de nutrientes, os microrganismos antes estagnados tendem a voltar a realizar e a suas atividades metabólicas. Brejning e Jespersen (2002) demonstraram um estado VNC de leveduras (*Saccharomyces*

cerevisiae) e a retomada de suas atividades metabólicas quando adicionadas em um substrato de glicose. É sugestivo que durante o processamento inicial em que há a adição dos ingredientes e aumento do pH essas leveduras retomam suas atividades podendo assim ter influenciado nos resultados obtidos neste estudo.

4.3.3.2 Cor instrumental, atividade de água e umidade dos pães

Os resultados de cor instrumental dos pães estão apresentados na Tabela 4.13. O parâmetro L^* (luminosidade) foi semelhante entre as amostras. Já para o parâmetro a^* , observou-se que foi maior para os pães elaborados com farinha de feijão carioca PMP ($5,32 \pm 0,09$) e PMPf ($5,19 \pm 0,14$), representando uma tonalidade mais avermelhada, enquanto os pães elaborados com farinha de feijão caupi e farinha de arroz integral apresentaram maior tendência para tonalidade amarela, cujo parâmetro b^* foram maiores em que PMA ($23,65 \pm 0,50$), PMAf ($23,33 \pm 0,06$), PMV ($23,01 \pm 0,31$) e PMVf ($22,90 \pm 0,30$).

A partir da determinação de ΔE^* foi possível inferir que os pães elaborados com farinha de feijão carioca apresentaram uma maior diferença de cor indicando tonalidades mais escura e perceptível quando comparado aos pães de farinha de arroz integral e farinha de feijão caupi.

De acordo com Mokrzycki e Tatol (2007) uma graduação no valor de ΔE^* entre 2 e 3,5 demonstra uma percepção de alteração da cor aos olhos de um observador não treinado. Houve menor diferença de cor para os pães elaborados com massa ácida adicionada de levedura (PMAf = $0,85 \pm 0,03$, PMPf = $2,39 \pm 0,09$ e PMVf = $1,45 \pm 0,13$). Os parâmetros de cores apresentaram fortes correlações entre a acidez das massas e dos pães, resultados expostos na Tabela 4.14 e entre a composição centesimal dos pães Tabela 4.19. As leveduras são inativadas em meio ácido porém durante a fabricação dos pães com a adição de substratos a acidez tende a diminuir e o pH se eleva favorecendo assim que as leveduras voltem a exercer suas atividades de forma ativa na massa. A cor instrumental possui dados muito distintos encontrados na literatura pois podem sofrer influência em função da formulação dos pães e do tempo de fermentação e temperatura de forneamento.

Não foi observada diferença estatística para atividade de água, porém maior teor de umidade foi observado nos pães elaborados com massa ácida adicionadas de levedura: sendo PMAf ($42,34 \pm 0,16$ %), PMVf ($41,35 \pm 0,05$ %) e PMPf ($40,62 \pm 0,48$ %) e menor umidade foi observada nos pães com farinha de feijão PMV ($40,03 \pm 0,04$ %) e PMP ($40,03 \pm 0,04$ %).

O teor de umidade é um importante parâmetro de qualidade na análise de pães, pois apresenta forte influência nas propriedades finais, especialmente na textura dos pães. Está

diretamente relacionada com a capacidades de absorção de água das farinhas, assim uma massa com baixa viscosidade e pouca absorção de água resulta em um menor teor de umidade e pode resultar em pães com volume reduzido, textura firme e com maior dureza, já os pães que apresentam uma umidade maior, podem apresentar uma melhor textura, maior volume e maciez (GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2003).

Tal associação pode ser observada neste estudo ao analisarmos a Tabela 4.16. O teor de umidade influenciou na textura instrumental dos pães, em que: os pães PMV apresentaram menor umidade e uma maior firmeza e dureza foram encontradas. Esta associação pode ser confirmada através da correlação de Pearson na Tabela 4.17, na qual a umidade correlacionou-se negativamente com estes parâmetros de textura, porém não houve correlação para o volume específico.

Tabela 4.11 - pH e acidez total titulável da massa antes e após a fermentação e dos pães sem glúten, produzidos com massa ácida e farinhas de arroz integral, farinha de feijão carioca e feijão caupi.

Tratamentos	Pré Fermentação		Pós Fermentação		Pães	
	pH	ATT	pH	ATT	pH	ATT
P	5,39±0,01 ^a	0,30±0,02 ^a	5,21±<0,01 ^a	0,25±0,01 ^d	5,64±0,02 ^a	0,21±<0,01 ^d
PMA	5,44±0,08 ^a	0,21±0,02 ^c	4,64±0,01 ^e	0,43±0,01 ^b	4,67±<0,01 ^e	0,44±0,01 ^b
PMAf	5,18±<0,01 ^b	0,28±0,02 ^a	4,82±0,02 ^d	0,44±0,01 ^b	5,03±0,02 ^d	0,40±0,01 ^c
PMP	5,45±<0,01 ^a	0,25±0,01 ^b	5,05±0,01 ^c	0,43±0,01 ^b	5,04±0,01 ^d	0,43±0,01 ^b
PMPf	5,45±0,03 ^a	0,25±0,01 ^b	5,15±0,01 ^b	0,40±0,01 ^c	5,15±<0,01 ^b	0,41±0,01 ^c
PMV	5,48±0,01 ^a	0,33±0,02 ^a	5,05±0,01 ^c	0,47±0,01 ^a	5,09±<0,01 ^c	0,44±<0,01 ^b
PMVf	5,50±<0,01 ^a	0,33±0,02 ^a	5,06±0,01 ^c	0,43±0,01 ^b	5,08±0,05 ^c	0,47±0,01 ^a

Legenda: P: Pão padrão; PMA: Pão com massa ácida de farinha de arroz integral (MA), PMAf: Pão com massa ácida de farinha de arroz integral (MAf), PMP: Pão com farinha e massa ácida de feijão carioca (MP), PMPf: Pão com farinha e massa ácida de feijão carioca (MPf), PMV: Pão com farinha e massa ácida de feijão caupi (MV), PMVf: Pão com farinha e massa ácida de feijão caupi (MVf). Médias ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knot ($p \leq 0,05$).

Tabela 4.12 - Correlações de Pearson para pH e ATT das massas e dos pães

Tratamentos	pH- pré fermentação	ATT- pré fermentação	pH- pós fermentação	ATT- pós fermentação	pH do pão	ATT do pão
Amostra	0,46*	0,45*	0,26	0,61*	-0,19	0,68*
pH- pré fermentação		0,03	0,31	0,09	-0,05	0,24
ATT- pré fermentação			0,47*	-0,10	0,47*	-0,12
pH- pós fermentação				-0,51*	0,84*	-0,46*
ATT- pós fermentação					-0,82*	0,93*
pH do pão						-0,83*

Correlação de Pearson com significância estatística ($p < 0,05$).

Tabela 4.13 - Cor instrumental, atividade de água e umidade de pães sem glúten, produzidos com massa ácida e farinhas de arroz reconstituída, feijão carioca e feijão caupi.

	Cor instrumental				C*	H	Aw	Umidade (% b.s)
	L*	a*	b*	ΔE				
P	67,87±0,53 ^{ns}	4,14±0,22 ^d	22,58±0,22 ^b	0,74±0,03 ^d	22,96±0,26 ^b	79,61±0,44 ^a	0,9968±0,0024 ^{ns}	42,43±0,02 ^a
PMA	66,53±0,63 ^{ns}	4,83±0,04 ^b	23,65±0,50 ^a	2,35±0,09 ^b	24,14±0,49 ^a	78,44±0,28 ^b	0,9892±0,0034 ^{ns}	40,53±0,06 ^c
PMAf	67,24±0,59 ^{ns}	4,63±0,09 ^c	23,33±0,06 ^a	0,85±0,03 ^d	23,78±0,08 ^a	78,78±0,18 ^b	0,9926±0,0034 ^{ns}	42,34±0,16 ^a
PMP	64,84±0,51 ^{ns}	5,32±0,09 ^a	22,61±0,09 ^b	3,49±0,37 ^a	23,23±0,10 ^b	76,76±0,20 ^c	0,9880±0,0048 ^{ns}	40,03±0,04 ^d
PMPf	66,19±0,51 ^{ns}	5,19±0,14 ^a	22,08±0,42 ^b	2,39±0,09 ^b	22,69±0,43 ^b	76,77±0,20 ^c	0,9832±0,0032 ^{ns}	40,62±0,48 ^c
PMV	65,87±0,40 ^{ns}	4,67±0,07 ^c	23,00±0,31 ^a	2,34±0,03 ^b	23,47±0,32 ^b	78,51±0,02 ^b	0,9860±0,0059 ^{ns}	39,81±0,11 ^d
PMVf	66,65±0,16 ^{ns}	4,54±0,06 ^c	22,90±0,30 ^a	1,45±0,13 ^c	23,35±0,30 ^b	78,78±0,01 ^b	0,9917±0,0008 ^{ns}	41,35±0,05 ^b

Legenda: b.s: base seca. P: Pão padrão; PMA: Pão com massa ácida de farinha de arroz integral (MA), PMAf: Pão com massa ácida de farinha de arroz integral (MAf), PMP: Pão com farinha e massa ácida de feijão carioca (MP), PMPf: Pão com farinha e massa ácida de feijão carioca (MPf), PMV: Pão com farinha e massa ácida de feijão caupi (MV), PMVf: Pão com farinha e massa ácida de feijão caupi (MVf). Médias ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knot ($p \leq 0,05$).

Tabela 4.14 - Correlação de Pearson para as características físico-químicas dos pães

Tratamentos	L	<i>a</i> *	<i>b</i> *	C	<i>h</i> *	DeltaE	Aw
Amostra	-0,42	0,27	-0,20	-0,17	-0,31	0,31	-0,40
pH- pré fermentação	-0,35	0,22	-0,34	-0,31	-0,29	0,27	-0,20
ATT- pré fermentação	0,20	-0,53*	-0,05	-0,13	0,47*	-0,31	0,17
pH- pós fermentação	-0,00	-0,12	-0,75*	-0,77*	-0,09	-0,07	0,02
ATT- pós fermentação	-0,52*	0,50*	0,28	0,35	-0,39	0,50*	-0,45*
pH do pão	0,40	-0,50*	-0,53*	-0,61*	0,32	-0,45*	0,36
ATT do pão	-0,56*	0,56*	0,25	0,33	-0,45*	0,53*	-0,50*
L		-0,79*	0,06	-0,06	0,74*	-0,96*	0,50*
<i>a</i> *			-0,12	0,02	-0,96*	0,82*	-0,60*
<i>b</i> *				0,99*	0,39	-0,02	0,03
C					0,26	0,10	-0,05
<i>h</i> *						-0,76*	0,57*
DeltaE							-0,50*

Legenda: Aw: atividade de água.

Correlação de Pearson com significância estatística ($p < 0,05$).

4.3.3.3 Análise de imagem, volume específico e textura instrumental dos pães

Os resultados para análise de imagem estão dispostos na Tabela 4.15. A maior área total foi verificada nos pães PMAf ($36,49 \pm 0,66 \text{ cm}^2$), enquanto a área total e o número de alvéolo dos pães elaborado com feijão carioca e feijão caupi foram semelhantes à área de PMA. Os tamanhos dos alvéolos dos pães elaborados com feijão carioca foram significativamente menores PMP ($0,12 \pm 0,01 \text{ mm}^2$ e PMPf $0,11 \pm 0,01 \text{ mm}^2$) enquanto PMAf apresentou maiores alveolos ($0,22 \pm 0,01 \text{ mm}^2$). A imagem das fatias dos pães pode ser visualizada na Figura 4.4. Houve uma forte correlação negativa entre a área total e o número de alvéolos para os parâmetros de textura instrumental (Tabela 4.17) porem a área total, o numero dos alvéolos e o tamanho médio dos alvéolos não se correlacionaram com o volume específico demonstrando que embora PMAf tenha apresentado maior estrutura alveolar o seu volume específico foi menor.

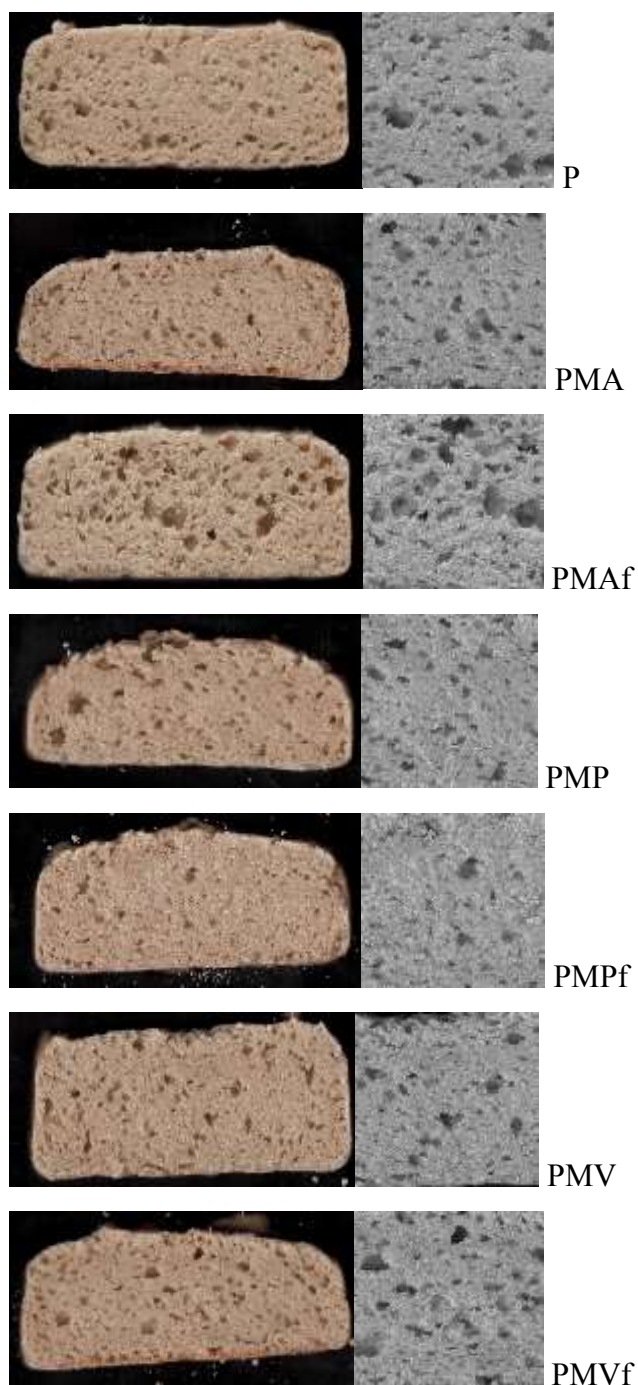
Tabela 4.15 - Análise de imagem dos pães

Amostra	Área total (cm ²)	Número dos alvéolos	Tamanho médio dos alvéolos (mm ²)	Circularidade dos alvéolos
P	38,64±0,93 ^a	148,37±10,50 ^b	0,17±0,02 ^b	0,84±0,01 ^{ns}
PMA	32,35±0,42 ^b	200,60±2,38 ^a	0,13±0,01 ^c	0,84±0,01 ^{ns}
PMAf	36,49±0,66 ^a	132,57±4,25 ^b	0,22±0,01 ^a	0,84±0,01 ^{ns}
PMP	32,19±0,98 ^b	233,17±12,36 ^a	0,12±0,01 ^d	0,84±0,01 ^{ns}
PMPf	31,94±2,69 ^b	224,97±21,36 ^a	0,11±0,01 ^d	0,83±0,01 ^{ns}
PMV	32,97±1,02 ^b	165,53±19,64 ^b	0,15±0,01 ^c	0,85±0,01 ^{ns}
PMVf	33,36±1,43 ^b	169,20±3,72 ^b	0,14±0,01 ^c	0,84±0,01 ^{ns}

Legenda: P: Pão padrão; PMA: Pão com massa ácida de farinha de arroz integral (MA), PMAf: Pão com massa ácida de farinha de arroz integral (MAf), PMP: Pão com farinha e massa ácida de feijão carioca (MP), PMPf: Pão com farinha e massa ácida de feijão carioca (MPf), PMV: Pão com farinha e massa ácida de feijão caupi (MV), PMVf: Pão com farinha e massa ácida de feijão caupi (MVf). Médias ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knot ($p \leq 0,05$).

Os pães PMP e PMPf apresentaram maior número de alvéolos e menores tamanhos comparados aos pães de feijão caupi, infere-se que tais resultados podem estar principalmente relacionados com o tipo de proteína presente na sua composição, visto que o feijão carioca apresenta maior teor de glutelina (Tabela 3.1). As glutelinas são proteínas solúveis em ácido e bases diluídos (OSBORNE, 1924).

Figura 4.4 - Análise de imagem dos pães elaborados com massa ácida de farinha de arroz integral, feijão carioca e feijão caupi.



Legenda: P: Pão padrão; PMA: Pão com massa ácida de farinha de arroz integral (MA), PMAf: Pão com massa ácida de farinha de arroz integral (MAf), PMP: Pão com farinha e massa ácida de feijão carioca (MP), PMPf: Pão com farinha e massa ácida de feijão carioca (MPf), PMV: Pão com farinha e massa ácida de feijão caupi (MV), PMVf: Pão com farinha e massa ácida de feijão caupi (MVf).

Na massa ácida essas proteínas apresentam maior solubilidade por causa da acidez, os tratamentos com feijão carioca demonstraram maior desempenho nas massas ácidas e melhor uniformidade alveolar (em relação ao tamanho e quantidade de alvéolos) nos pães, provavelmente devido a melhor solubilidade dessas proteínas. Infere-se que as proteínas presentes no feijão carioca, juntamente com a do ovo, leite e soja utilizados na formulação podem ter auxiliado na estrutura da massa demonstrando seu papel e função estrutural favorecendo a melhor retenção/distribuição de CO₂ durante a fermentação, resultando assim em uma melhor distribuição dos alvéolos nesses pães.

Os resultados do perfil de textura e volume específico dos pães estão representados na Tabela 4.16. Foi observado um maior volume específico para PMA ($2,04 \pm 0,01 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) e PMV ($2,01 \pm 0,01 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) enquanto menor volume específico foi observado para PMAf ($1,83 \pm 0,02 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) e PMP ($1,87 \pm 0,04 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$). Ainda, os pães elaborados com feijão carioca e feijão caupi apresentaram volume maior quando comparados à PMAf, tais resultados podem estar associados à capacidade de ligação de água das proteínas, favorecendo a viscosidade da massa e resultando em maior retenção e CO₂ durante a etapa de fermentação e na fase inicial do forneamento (BRITES *et al.*, 2018).

Uma mudança no padrão de relação entre volume específico, firmeza e dureza foi observado para PMA e PMV, em que, embora tenham apresentado maiores volume específico, houve aumento na firmeza e dureza, especialmente para PMV ($38,13 \pm 4,86 \text{ N}$ e $49,02 \pm 4,74 \text{ N}$ respectivamente). O inverso foi observado para PMAf que, embora tenha apresentado menor volume específico, houve menor firmeza e dureza associada ($27,32 \pm 2,73 \text{ N}$ e $28,71 \pm 1,39 \text{ N}$, respectivamente). Não houve correlações significativa entre o volume específico dos pães e a digestibilidade proteica enquanto esta foi fortemente correlacionada com os parâmetros de textura instrumental os resultados estão descritos na Tabela 4.17.

Os pães elaborados com massas ácidas adicionadas de levedura apresentaram menor digestibilidade de proteínas quando comparados aos que não receberam adição de levedura inicial (Tabela 4.18). Embora tenham apresentado menor digestibilidade os parâmetros de textura foram menos afetados principalmente a firmeza foi menor nesses pães, possivelmente devido a menor proteólise (PMAf = $28,71 \pm 1,40 \text{ N}$, PMPf = $37,88 \pm 1,85 \text{ N}$, PMVf = $36,41 \pm 1,85 \text{ N}$).

A digestibilidade refere-se a importância do valor nutritivo de uma proteína e os diversos valores encontrados podem estar relacionados a diferentes fatores tais como: a diferença da natureza desta proteína, ao processamento ao qual foi submetida e a sua origem, sendo que as proteínas advindas de animais apresentam maior digestibilidade comparadas a de

origem vegetal (COZZOLINO, 2016). Assim, a maior digestibilidade de proteínas relaciona-se com uma maior biodisponibilidade de aminoácidos, visto que durante a proteólise ocorre a quebra de proteínas em aminoácidos e peptídeos, desta forma, em relação a qualidade nutricional os pães elaborados sem adição de levedura na massa inicial apresentaram melhor benefício devido a sua maior digestibilidade, já em termos texturais os pães podem ser afetados, quando ocorre uma intensa atividade proteolítica há uma grande liberação de peptídeos no meio capaz de reduzir a viscosidade da massa e influenciar numa menor retenção de CO₂ podendo assim resultar em um pão denso, gomoso e com textura mais firme.

As proteínas de leguminosas são especialmente sensíveis a processamentos e ao ambiente, são facilmente desnaturadas quando expostas à aquecimento e a pH extremo, a desnaturação permite a exposição de seus grupos hidrofóbicos à superfície, favorecendo assim a formação de géis, de emulsões e espumas, esses responsáveis por influenciar nas características da massa e do produto final (LIN *et al.*, 2017). Quando um elevado teor de proteínas está disponível no meio pode ocorrer uma redução na disponibilidade de água, refletindo assim em uma maior dureza e firmeza dos pães (ZIOBRO *et al.*, 2013).

Menor coesividade foi observada no PMAf (0,56±0,04) e maior em PMVf (0,70±0,06), sendo que os demais (PMA, PMP, PMPF, PMV) não diferiram estatisticamente entre si. A coesividade está negativamente relacionada com a fragilidade do pão, assim uma baixa coesão indica maior suscetibilidade do pão a se quebrar ou esfarelar e um pão com alta coesão não desintegra facilmente durante a mastigação.

A gomosidade e a mastigabilidade são resultados secundários da análise de textura, as quais envolvem parâmetros de firmeza, coesão e elasticidade (BOURNE, 2002). Os resultados obtidos para tais parâmetros apresentaram uma relação direta e positiva com a firmeza, em que a gomosidade e a mastigabilidade foram maiores para PMV (29,47±4,12 N e 25,27±4,01 N) e menores para PMAf (15,25±1,95 N e 12,78±1,8 N), respectivamente. Observou-se maior resiliência em PMVf (0,46±0,04) e menor em PMAf (0,34±0,04), os demais foram semelhantes entre si.

Ziobro *et al.* (2013) verificaram o efeito da suplementação de pães sem glúten com diferentes fontes de proteína (albumina de ovo, proteína de tremçoço, proteína de soja, colágeno e proteína de ervilha) e os pães sem glúten suplementados com albumina apresentaram volume específico significativamente maior. De acordo com os autores, as mudanças no volume específico estão relacionadas a diferentes capacidades de retenção de dióxido de carbono da massa pelo tipo de proteína utilizada. Proteínas com capacidade de inchar e desnaturar em alta temperatura, como as albuminas, são capazes de fornecer suporte estrutural ao amido e

aos hidrocoloides presentes na massa, influenciando assim, na fermentação e nos estágios iniciais do assamento dos pães (ZIOBRO *et al*, 2013).

Shevkani *et al.* (2015) ao elaborar muffins sem glúten com isolados proteicos de feijão caupi, observaram que a incorporação de isolado proteico de feijão caupi branco, proporcionou pães com maiores volumes, porém maior firmeza também foi associada. Estudo realizado por Schmiele *et al.* (2017) verificou que as proteínas de leguminosas possuem propriedade surfactante (emulsificante e de aeração), favorecendo a retenção de CO₂ em processos de fermentação.

Tabela 4.16 - Análises de perfil de textura e volume de pães sem glúten, produzidos com massa ácida e farinhas de arroz reconstituída, feijão carioca e feijão caupi.

	P	PMA	PMAf	PMP	PMPf	PMV	PMVf
Volume específico (cm ³ .g ⁻¹)	2,08±0,02 ^a	2,04±<0,01 ^b	1,83± 0,02 ^e	1,87±0,04 ^d	1,93±0,01 ^c	2,01±0,01 ^b	1,94±<0,01 ^c
Firmeza (N)	22,28±1,56 ^d	32,76±3,74 ^b	27,32±2,73 ^c	32,08±2,17 ^b	32,09±2,43 ^b	38,13±4,86 ^a	32,33±1,45 ^b
Dureza (N)	22,85±1,45 ^e	39,19±3,15 ^c	28,71±1,40 ^d	41,79±3,91 ^b	37,88±1,85 ^c	49,02±4,74 ^a	36,41±1,85 ^c
Coesividade	0,55±0,03 ^c	0,65±0,03 ^b	0,56±0,04 ^c	0,64±0,04 ^b	0,66±0,05 ^b	0,65±0,02 ^b	0,70±0,06 ^a
Gomosidade (N)	12,29±0,63 ^d	25,39±3,06 ^b	15,25±1,95 ^c	24,49±2,19 ^b	24,72±1,81 ^b	29,47±4,12 ^a	26,08±1,30 ^b
Mastigabilidade (N)	10,46±0,63 ^c	21,70±2,93 ^b	12,78±1,84 ^c	20,31±1,52 ^b	19,76±1,64 ^b	25,27±4,01 ^a	21,54±0,77 ^b
Resiliência	0,33±0,03 ^c	0,43±0,02 ^b	0,34±0,04 ^c	0,40±0,03 ^b	0,41±0,04 ^b	0,42±0,02 ^b	0,46±0,05 ^a

Legenda: P: Pão padrão; PMA: Pão com massa ácida de farinha de arroz integral (MA), PMAf: Pão com massa ácida de farinha de arroz integral (MAf), PMP: Pão com farinha e massa ácida de feijão carioca (MP), PMPf: Pão com farinha e massa ácida de feijão carioca (MPf), PMV: Pão com farinha e massa ácida de feijão caupi (MV), PMVf: Pão com farinha e massa ácida de feijão caupi (MVf). Médias ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knot ($p \leq 0,05$).

Tabela 4.17 - Correlação de Pearson para características físico-químicas, físicas e estruturais dos pães.

Tratamento	Área Total	Nº de Alvéolos	Tamanho médio dos alvéolos	Volume específico	Firmeza	Dureza	Coesividade	Gomosidade	Mastigabilidade	Resiliencia
Amostra	-0,50*	0,16	-0,33	-0,30	0,61*	0,62*	0,66*	0,70*	0,69*	0,68*
pH- pré fermentação	-0,53*	0,49*	-0,77*	0,44*	0,42	0,47*	0,68*	0,65*	0,63*	0,70*
ATT- pré fermentação	0,30	-0,58*	0,39	0,07	0,07	-0,03	0,00	-0,00	0,04	0,02
ATT- pós fermentação	-0,63*	0,23	-0,15	-0,47*	0,69*	0,74*	0,45*	0,67*	0,68*	0,48*
pH do pão	0,61*	-0,33	0,22	0,24	-0,55*	-0,51*	-0,37	-0,56*	-0,55*	-0,41
ATT do pão	-0,70*	0,35	-0,34	-0,41	0,72*	0,68*	0,62*	0,77*	0,75*	0,66*
L	0,64*	-0,69*	0,62*	0,31	-0,62*	-0,65*	-0,46*	-0,65*	-0,65*	-0,47*
<i>a</i> *	-0,71*	0,82*	-0,66*	-0,48*	0,40	0,46*	0,36	0,46*	0,41	0,35
<i>h</i> *	0,67*	-0,83*	0,70*	0,47*	-0,32	-0,41	-0,38	-0,42	-0,36	-0,35
DeltaE	-0,64*	0,72*	-0,59*	-0,29	0,59*	0,62*	0,40	0,61*	0,60*	0,40
Aw	0,47*	-0,54*	0,51*	0,12	-0,43	-0,45*	-0,39	-0,49*	-0,43	-0,38
INS	-0,70*	0,31	-0,36	-0,33	0,77*	0,79*	0,69*	0,83*	0,82*	0,73*
DPIV	-0,64*	0,52*	-0,53*	-0,24	0,68*	0,77*	0,57*	0,76*	0,75*	0,58*
Umidade	0,71*	-0,69*	0,70*	-0,04	-0,72*	-0,85*	-0,57*	-0,81*	-0,80*	-0,59*
Cinzas	-0,66*	0,61*	-0,63*	-0,31	0,53*	0,62*	0,54*	0,63*	0,60*	0,52*
Proteínas	-0,46*	0,41	-0,61*	-0,00	0,44*	0,51*	0,73*	0,62*	0,56*	0,71*
CHO	0,48*	-0,53*	0,64*	0,15	-0,42	-0,53*	-0,59*	-0,58*	-0,54*	-0,57*
FAT	-0,57*	0,63*	-0,67*	-0,14	0,51*	0,66*	0,53*	0,64*	0,62*	0,53*
VCT	0,42	-0,51*	0,55*	0,22	-0,32	-0,45*	-0,43	-0,45*	-0,43	-0,41
Área total		-0,59*	0,65*	0,19	-0,72*	-0,65*	-0,64*	-0,80*	-0,77*	-0,65*
Nº de Alvéolos			-0,90*	-0,09	0,18	0,38	0,47*	0,41	0,33	0,45*
Tamanho médio dos alvéolos				-0,15	-0,35	-0,46*	-0,64*	-0,59*	-0,52*	-0,63*
Firmeza						0,84*	0,56*	0,93*	0,95*	0,60*
Dureza							0,55*	0,85*	0,86*	0,57*

Coesividade	0,81*	0,73*	0,99*
Gomosidade		0,99*	0,83*
Mastigabilidade			0,77*

Legenda: INS: Índice de Nitrogênio solúvel, DPIV: Digestibilidade de proteínas *in vitro*, CHO: Carboidratos digeríveis, FAT: Fibras alimentares totais, VCT: Valor calórico total, Aw: Atividade de água.

*Correlação de Pearson com significância estatística ($p < 0,05$).

Hallén, İbanoglu e Ainsworth (2004) verificaram que a substituição de farinha de trigo por farinha de feijão caupi nativo, germinado e/ou fermentado influenciaram nas propriedades tecnológicas e estruturais das massas e dos pães, sendo que os resultados apresentaram relação direta com a proporção de farinha de feijão adicionada nas massas. A maior substituição pela farinha de feijão (20%) resultou no menor volume específico dos pães, porém, a adição de até 15% da farinha de feijão caupi germinado e/ou fermentado resultaram em um melhor perfil tecnológico.

Boukid *et al.* (2019), ao elaborar pães sem glúten com adição de farinha de feijão, observaram que, embora tenha influenciado negativamente em algumas características como: escurecimento do miolo e menor mastigabilidade, os pães apresentaram uma menor digestibilidade de amido e menor índice glicêmico comparados a um pão elaborado somente com farinha de arroz.

Coda *et al.* (2017a) verificaram que a substituição de farinha de trigo por 30 % de farinha de feijão fava (*Vicia Faba L.*) nativa ou após fermentação natural influenciam negativamente no perfil de textura dos pães, porém a adição de massa ácida das farinhas de fava resultaram em pães com um melhor perfil de aminoácidos, maior digestibilidade proteica e menor índice glicêmico (CODA *et al.*, 2017b).

Sugere-se que os pães elaborados com farinhas de feijão carioca ou caupi podem ter apresentado uma menor viscosidade na massa, sendo possível considerar um aumento na hidrólise das proteínas durante os processos de fermentação, o que pode ter acarretado no aumento de polipeptídeos e/ou aminoácidos livres na massa, podendo assim contribuir para a redução da viscosidade, e ter influenciado nas propriedades finais destes pães.

Pães sem glúten elaborados com a adição de massa ácida geralmente apresentam volume e perfil de textura inferior a pães tradicionais. A intensa atividade metabólica que ocorre nas massas durante seu processo de maturação, parece influenciar nas propriedades finais dos pães, dentre os quais: maior acidez da massa, menor pH, menor capacidade de produção de CO₂ pelas BAL, aumento na taxa de hidrólise de amido e aumento na quebra de proteínas (DE VUYST; NEYSENS, 2005, CHAVAN, CHAVAN, 2011).

Neste estudo foi possível verificar que o pH e a ATN apresentaram correlações com o volume específico e a textura dos pães, e o teor de proteínas, a solubilidade de nitrogênio e a digestibilidade proteica, se correlacionaram com todos os parâmetros de textura instrumental, resultados expostos na Tabela 4.17. Tais resultados indicam um importante papel da fermentação natural e da composição das farinhas na influência das características tecnológicas (volume e textura) e nutricionais dos pães finais.

4.3.3.4 Composição centesimal dos pães

Diferenças significativas foram observadas na composição centesimal dos pães elaborados com massa ácida e os resultados estão expressos na Tabela 4.18. O teor de cinzas foi significativamente menor nos pães elaborados com massa ácida de arroz integral (PMA $1,38 \pm 0,03$ % e PMAf $1,38 \pm 0,01$ %). Já os pães elaborados com farinha de feijão apresentaram maior teor de proteínas PMP ($6,71 \pm 0,26$ %), PMPf ($7,27 \pm 0,85$ %), PMV ($6,89 \pm 0,30$ %) e PMVf ($7,22 \pm 0,65$ %), respectivamente, enquanto o menor teor de proteínas foi observado nos pães de farinha de arroz integral PMA ($5,58 \pm 0,23$ %) e PMAF ($5,00 \pm 0,11$ %). Este elevado teor de proteínas está diretamente relacionado com a composição das farinhas, visto que as farinhas de feijão caupi e carioca apresentaram maiores teores de proteínas, como já descrito. Embora não significativo, foi notado uma pequena redução no valor absoluto de proteínas dos pães elaborados com massa ácida.

De acordo com Gänzle, Lopenen e Gobbetti (2008), a degradação de proteínas que ocorre durante a fermentação da massa está entre os principais fenômenos que afetam a qualidade geral do pão fermentado. As proteinases catalisam a degradação de proteínas em frações peptídicas menores; peptidases hidrolisam ligações peptídicas específicas ou quebram completamente peptídeos em aminoácidos. Uma intensa atividade proteolítica foi demonstrada durante a propagação da massa ácida com farinha de leguminosa (*Vicia Faba* L.), demonstrando uma diminuição do conteúdo de peptídeos e um aumento na concentração de aminoácidos livres nas massas (CODA *et al.*, 2017b).

Em relação ao índice de nitrogênio solúvel (INS) observou-se que maior solubilidade da proteína foi encontrada nos pães elaborados com farinha de feijão caupi PMV ($12,00 \pm 0,23$ %) e PMVf ($11,94 \pm 0,31$ %) e feijão carioca PMP ($10,56 \pm 0,62$ %) e PMPf ($10,46 \pm 0,20$ %). Os pães elaborados com massa ácida de farinha de arroz integral - PMA e PMAf, apresentaram diferença significativa entre si, em que PMA apresentou maior solubilidade (PMA: $10,31 \pm 0,33$ e PMAf: $9,52 \pm 0,36$).

O INS refere-se à solubilidade da proteína em água. De acordo com Tan *et al.* (2014), a interação entre água e proteína podem ser influenciadas pelo pH, quando extremos, ou seja, quando valores de pH estão acima ou abaixo do pH isoelétrico de uma proteína, há uma carga líquida na superfície da proteína que aumenta a repulsão eletrostática e assim, induz a interação entre água e proteína, conseqüentemente ocorre uma maior hidratação dos resíduos proteicos e um aumento da solubilidade. Isso pode ser bem observado na Tabela 4.11, no pH

dos pães, em que PMA apresentou menor pH comparado a PMAf e o inverso foi observado para o ISN, tal relação é confirmada pela correlação de Pearson na Tabela 4.19.

Em relação a digestibilidade de proteínas *in vitro* (DPIV), observou-se uma diferença significativa entre os pães elaborados com massas adicionadas de levedura (PMAf, PMPf e PMVf), as quais apresentaram uma menor DPIV quando comparadas com as respectivas massas sem leveduras (PMA, PMP e PMV). Os pães elaborados com farinha de feijão carioca e caupi apresentaram maior DPIV ($89,04 \pm 0,90$ e $87,09 \pm 2,39$ %, respectivamente). Os resultados de digestibilidade de proteína encontrados neste estudo foram maiores que os relatados por Rizzelo *et al.* (2014) (68,98-77,85 %) e Coda *et al.* (2017b) (63,6-74,1 %).

A intensa proteólise pode afetar a textura dos pães, isso fica bem esclarecido na Tabela 4.16, referente a textura dos pães, em que os pães PMP e PMV apresentaram maior digestibilidade de proteínas quando relacionada à maior dureza ($41,79 \pm 3,91$ N e $49,02 \pm 4,74$ N, respectivamente). Além disso, foi possível verificar pela correlação de Pearson que a DPIV está fortemente correlacionada com os parâmetros avaliados de textura instrumental na Tabela 4.17.

Não houve diferença estatística para o teor de lipídeos. O teor de carboidratos digeríveis e valor calórico total foram significativamente maiores nos pães elaborados com farinha de arroz integral PMA ($39,05 \pm 2,42$ e $233,98 \pm 1,03$ kcal) e PMAf ($39,44 \pm 2,60$ e $232,97 \pm 2,83$ kcal) e o contrário foi observado para o teor de fibras alimentares, em que os pães elaborados com farinha de feijão carioca e caupi, apresentaram quantidades superiores PMP ($13,12 \pm 0,26$ %), PMV ($11,67 \pm 0,48$ %), PMPf ($10,67 \pm 0,15$ %) e PMVf ($9,24 \pm 1,07$ %).

A Resolução da diretoria colegiada – RDC N° 359, de 23 de dezembro de 2003, define o tamanho das porções de alimentos com base em uma alimentação diária de 2000 Kcal, determinando o valor energético médio de cada porção, para os pães o tamanho da porção corresponde a 50 g (BRASIL, 2003). A Resolução da diretoria colegiada – RDC N° 54 de 12 de novembro de 2012, dispõe sobre o regulamento técnico sobre informação nutricional complementar e, determina que para um alimento ser considerado fonte ou rico em nutrientes devem atender os valores estabelecidos em seu anexo. Alimentos considerados fontes de proteínas e fibra alimentar devem conter 6 g de proteínas e 2,5 g de fibra por porção, e para serem considerados ricos devem apresentar no mínimo no mínimo 12 g de proteína e 5 g de fibra alimentar por porção (BRASIL, 2012).

Tabela 4.18 - Composição centesimal (g. 100 g⁻¹), índice de nitrogênio solúvel (%) e valor energético (kcal. 100 g⁻¹) em base úmida, de pães sem glúten, produzidos com massa ácida e farinhas de arroz integral, farinha de feijão carioca e feijão caupi.

	Umidade (%)	Cinzas (%)	Proteínas (%)	Índice de nitrogênio solúvel (INS)	Digestibilidade de proteínas (DPIV)	Lipídios (%)	CHO digeríveis (%)	Fibras alimentares (%)	Valor calórico total (kcal)
P	42,43±0,02 ^a	1,35±0,04 ^c	5,67±0,39 ^b	5,68±0,02 ^d	69,34±3,13 ^d	6,11±0,04 ^{ns}	37,33±1,29 ^b	7,05±0,70 ^d	227,22±2,49 ^b
PMA	40,53±0,06 ^c	1,38±0,03 ^c	5,58±0,23 ^b	10,31±0,33 ^b	76,90±0,89 ^c	6,14±0,06 ^{ns}	39,05±2,42 ^a	7,27±0,26 ^d	233,98±1,03 ^a
PMAf	42,34±0,16 ^a	1,38±0,01 ^c	5,00±0,11 ^b	9,52±0,36 ^c	70,60±3,29 ^d	6,09±0,15 ^{ns}	39,44±2,60 ^a	5,65±0,59 ^e	232,97±2,83 ^a
PMP	40,03±0,04 ^d	1,58±0,02 ^a	6,71±0,26 ^a	10,56±0,62 ^b	89,04±0,90 ^a	6,09±0,07 ^{ns}	32,48±0,74 ^d	13,12±0,26 ^a	211,51±0,86 ^d
PMPf	40,62±0,48 ^c	1,59±0,02 ^a	7,27±0,85 ^a	10,46±0,22 ^b	81,55±1,99 ^b	6,07±0,05 ^{ns}	33,81±0,89 ^c	10,67±0,15 ^b	218,82±1,36 ^c
PMV	39,81±0,11 ^d	1,55±0,02 ^a	6,89±0,30 ^a	12,00±0,23 ^a	87,09±2,39 ^a	6,16±0,04 ^{ns}	33,87±1,88 ^c	11,67±0,48 ^b	218,67±2,13 ^c
PMVf	41,35±0,05 ^b	1,49±0,01 ^b	7,22±0,65 ^a	11,94±0,31 ^a	80,89±1,56 ^b	6,09±0,17 ^{ns}	34,60±2,36 ^c	9,24±1,07 ^c	222,17±5,16 ^c

Legenda: P: Pão padrão; PMA: Pão com massa ácida de farinha de arroz integral (MA), PMAf: Pão com massa ácida de farinha de arroz integral (MAf), PMP: Pão com farinha e massa ácida de feijão carioca (MP), PMPf: Pão com farinha e massa ácida de feijão carioca (MPf), PMV: Pão com farinha e massa ácida de feijão caupi (MV), PMVf: Pão com farinha e massa ácida de feijão caupi (MVf). Médias ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knot ($p \leq 0,05$).

Tabela 4.19 - Correlação de Pearson para as características físico-químicas e composição centesimal dos pães

Tratamentos	INS	DPIV	Umidade	Cinzas	Proteínas	CHO	FAT	VCT
Amostra	0,83*	0,66*	-0,46*	0,70*	0,71*	-0,66*	0,56*	-0,53*
pH- pré fermentação	0,38	0,50*	-0,59*	0,52*	0,65*	-0,62*	0,59*	-0,49*
ATT- pré fermentação	0,09	-0,04	0,25	0,05	0,28	-0,17	-0,03	-0,08
pH- pós fermentação	-0,25	0,13	0,08	0,39	0,49*	-0,63*	0,43	-0,61*
ATT- pós fermentação	0,90*	0,60*	-0,58*	0,45*	0,24	-0,21	0,33	-0,15
pH do pão	-0,68*	-0,33	0,50*	-0,13	0,02	-0,15	-0,04	-0,19
ATT do pão	0,95*	0,63*	-0,61*	0,49*	0,36	-0,29	0,38	-0,22
L	-0,56*	-0,73*	0,78*	-0,69*	-0,39	0,62*	-0,76*	0,62*
<i>a</i> *	0,49*	0,61*	-0,68*	0,71*	0,34	-0,48*	0,60*	-0,47*
<i>b</i> *	0,13	-0,18	-0,01	-0,47*	-0,43	0,60*	-0,44*	0,60*
C	0,19	-0,09	-0,11	-0,37	-0,39	0,54*	-0,36	0,53*
<i>h</i> *	-0,42	-0,61*	0,62*	-0,79*	-0,44*	0,61*	-0,67*	0,60*
DeltaE	0,51*	0,70*	-0,77*	0,68*	0,35	-0,54*	0,70*	-0,54*
Aw	-0,48*	-0,53*	0,64*	-0,57*	-0,39	0,40	-0,49*	0,34
INS		0,72*	-0,67*	0,62*	0,54*	-0,45*	0,50*	-0,33
IDPV			-0,86*	0,81*	0,55*	-0,76*	0,88*	-0,76*
Umidade				-0,71*	-0,50*	0,60*	-0,79*	0,55*
Cinzas					0,75*	-0,86*	0,84*	-0,78*
Lipídeos					0,11	0,08	-0,12	0,27
Proteínas						-0,81*	0,62*	-0,58*
CHO							-0,93*	0,94*
FAT								-0,95*

Legenda: INS: Índice de Nitrogênio solúvel, DPIV: Digestibilidade de proteínas *in vitro*, CHO: Carboidratos digeríveis, FAT: Fibras alimentares totais, VCT: Valor calórico total, Aw: Atividade de água.

*Correlação de Pearson com significância estatística ($p < 0,05$).

As diferenças observadas entre os pães elaborados com feijão carioca e feijão caupi neste estudo, podem estar associadas à sua composição, em que ambos apresentam diferenças quanto as suas frações proteicas. O feijão caupi apresenta elevado teor de albumina enquanto o feijão carioca apresenta maior teor de glutelina (MONTROYA *et al.*, 2010). Tais características parecem influenciar as diferentes respostas observadas.

Os pães elaborados com farinha de feijão carioca e caupi apresentaram ser fontes de proteínas, e os pães de arroz integral (P, PMA e PMAf) não atenderam tal recomendação. Ainda, os pães elaborados neste estudo apresentaram ser um alimento rico em fibras, com exceção à amostra PMAf, a qual pode ser classificada como fonte de fibras. É bem elucidado a relação da ingestão de fibras alimentares com os diversos benefícios à saúde, especialmente na redução do colesterol, controle da glicemia, manutenção do peso corporal e melhor funcionamento intestinal (CHUTKAN, 2012; KIN, 2016).

4.5 Conclusões

Os resultados deste trabalho demonstraram que as massas ácidas com farinha de arroz integral, feijão carioca e feijão caupi, independente da adição de fermento biológico apresentaram estabilidade na acidez pela redução de pH e aumento da acidez total titulável a um longo período de fermentação (18 dias).

Os pães com farinhas de feijão carioca e caupi foram afetados quanto as propriedades tecnológicas (alvéolos, textura e volume específico), porém apresentaram melhor benefício nutricional, pelo maior teor de minerais, proteína e fibra alimentares, cujos apelos de rico em fibras alimentares e fonte de proteínas puderam ser atribuídos.

A adição de fermento biológico como cultura iniciadora demonstrou potencial para melhorar as propriedades físico-químicas e texturais dos pães, favorecendo uma menor diferença de cor, maior umidade e menor digestibilidade proteica e influenciou positivamente nos parâmetros de textura, a partir da redução nos valores de firmeza, dureza e mastigabilidade.

A elaboração de massa ácida com farinha de feijão carioca e adição de fermento biológico demonstrou potencial para aplicação na produção de pão sem glúten, sem grandes prejuízos nas propriedades tecnológica e maior valor nutricional agregado.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) e ao Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) pelo suporte institucional e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro (código de financiamento 001).

4.6 Referências

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMIST INTERNATIONAL (AACCI). **AACC Approved Methods of Analysis**. 11^a ed. St Paul: Cereals & Grains Association, 2010.

AKESON, W. R.; STAHMANN, M. A. A pepsin pancreatin digest index of protein quality evaluation. **The Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 83, n. 3, p. 257-261, 1964.

APLEVICZ, K. S. Identificação de bactérias lácticas e leveduras em fermento natural obtido a partir de uva e sua aplicação em pães. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de pós-graduação em ciências dos alimentos, 2013.

BENDER, D. *et al.* Effects of selected lactobacilli on the functional properties and stability of gluten-free sourdough bread. **European Food Research and Technology**, v. 244, p. 1037 – 1046, 2018.

BOUKID, F. *et al.* Does cell wall integrity in legumes flours modulate physiochemical quality and *in vitro* starch hydrolysis of gluten-free bread? **Journal of Functional Foods**, v. 59, p. 110 - 118, August 2019.

BOURNE, M. C. Texture, Viscosity, and Food. *In*: BOURNE, M. C. **Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement**. Academic Press, 2002. p. 1-32. Capítulo 1.

BOYLE, C.; HANSEN, L.; HINNENKAMP, C.; ISMAIL, B. P. Emerging Camelina Protein: Extraction, Modification, and Structural/Functional Characterization. **JAACS, Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 95, n. 8, p. 1049–1062, 2018.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 359, de 23 de dezembro de 2003, aprova o Regulamento Técnico de Porções de Alimentos Embalados para Fins de Rotulagem Nutricional, conforme o Anexo. Brasília: **Ministério da Saúde**, ANVISA, 23 de dezembro de 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução - RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o “Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos”. A diretoria Colegiada da ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília, **Diário Oficial da União**, 2005.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 54, de 12 de novembro de 2012, aprova o Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar, nos termos do Anexo. Brasília: **Ministério da Saúde**, ANVISA, 23 de dezembro de 2012.

BRITES, L. T. G. F.; SCHIMIELE, M.; STEEL, C. J. Gluten-Free Bakery and Pasta Products. *In: HOLBAN, A. M.; GRUMEZESCU, A. M. **Alternative and Replacement Foods***. Academic Press, 2018. p. 385 – 410. Cap. 13

CARVALHO, J. J.; *et al.* Teor e acúmulo de nutrientes em grãos de feijão comum em semeadura direta, sob déficit hídrico. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, n. 01, p. 104-117, 2014.

CHAVAN, R. S.; CHAVAN, S. R. Sourdough Technology – A traditional way for Wholesome Foods: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 10, p. 169 – 183, 2011.

CHUTKAN, R. *et al.* **Viscous versus nonviscous soluble fiber supplements**: Mechanisms and evidence for fiber-specific benefits, *Journal of the American Association of Nurse Practitioners*, v. 24, p. 476 – 487, 2012.

CELMELI, T.; *et al.* The Nutritional Content of Common Bean (*Phaseolus vulgaris L.*) Landraces in Comparison to Modern Varieties. **Agronomy**, v. 8, n. 166, p. 1-9, 2018

CIANFERONI, A. Wheat allergy: diagnosis and management. **Journal of Asthma and Allergy**, v. 9, p. 13 – 25, 2016.

CODA, R. *et al.* Influence of particle size on bioprocess induced changes on technological functionality of wheat bran. **Food Microbiology**, v. 37, p. 69 - 77, February 2014.

CODA, R. *et al.* Improvement of the Protein Quality of Wheat Bread Through Faba Bean Sourdough Addition. **LWT - Food Science and Technology**, v. 82, p. 296 - 302, 2017a.

CODA, R. *et al.* Sourdough-type propagation of faba bean flour: Dynamics of microbial consortia and biochemical implications. **International Journal of Food Microbiology**, v. 248, p. 10 – 21, 2017b.

CORSETTI, A.; SETTANNI, L. Lactobacilli in sourdough fermentation. **Food Research International**, v. 40, n. 50, p. 539-558, 2007.

COZZOLINO, S. M. F. Biodisponibilidade de nutrientes. 5ª ed. São Paulo: Editora Manole LTDA, 2016.

DE VUYST, L. *et al.* Microbial ecology of sourdough fermentations: diverse or uniform? **Food Microbiology**, v. 37, p. 11 – 39, 2014.

DE VUYST, L. *et al.* Yeast diversity of sourdoughs and associated metabolic properties and functionalities. **International Journal of Food Microbiology**, v. 239, p. 26 – 34, 2016.

FIGUEROA, AMANDA MILEO. **Caracterização de amidos obtidos de diferentes feijões e sua aplicação em filmes biodegradáveis**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2016.

FRANCE. Décret n° 93-1074 du 13 septembre 1993 pris pour l'application de la loi du 1er août 1905 en ce qui concerne certaines catégories de pains. France, 1993.

FROTA, K. M. G.; *et al.* Utilização da farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) na elaboração de produtos de panificação. **Food Science and Technology**, v. 30, n. 1, p. 44-50, 2010.

GALLAGHER, E.; GORMLEY, T. R.; ARENDT, E. K. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 153 – 161, 2003.

GALLAGHER, E.; GORMLEY, T. R.; ARENDT, E. K. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. **Food Science & Technology**, v. 15, p. 143 – 152, 2004.

GÄNZLE, M. G.; VERMEULEN, N.; VOGEL, R. F. Crbohydrate, peptide and lipid metabolismo of lactic acid bactéria in sourdough. **Food Microbiology**, v. 24, n. 2, p. 128-138, 2007.

GÄNZLE; M. G.; LOPONEN, J.; GOBBETTI, M. Proteolysis in soursough fermentations: mechanisms and potential for improved bread quality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 19, n. 10, p. 513-521, 2008.

GOBBETTI, M. *et al.* How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. **Food Microbiology**, v. 37, p. 30 – 40, 2014.

GOBBETTI, M. *et al.* Novel insights on the functional/nutritional features of the soursough fermentation. **International Journal of Food Microbiology**, v. 302, p. 103 – 113, 2019.

HALLÉN, E.; IBANOGLU, S.; AINSWORT, P. Effect of fermented/germinated cowpea flour addition on the rheological and baking properties of wheat flour. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 2, p. 177 - 184, 2004.

HAMMES, W. P. *et al.* Microbial ecology of cereal fermentations. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16, n. 1 – 3, p. 4 – 11, 2005.

HENDERSON, S. M.; PERRY, R. L. **Agricultural process engineering**. 3. ed. Westport: AVI Publishing, 1976. 442 p. Chapter 6: Size reduction. p. 130-159.

JAGELAVICIUTE, J.; CIZEIKIENE, D. The influence of non-traditional sourdough made with quinoa, hemp and chia flour on the characteristics of gluten-free maize/rice bread. **LWT - Food Science and Tecnology**, 2020.

KATO, L. S. Caracterização química de feijão para produção de material de referência certificado. 2014. Dissertação (Mestrado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

KATO, L. S.; *et al.* Elemental characterization of Brazilian beans using nêutron activation analysis. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 306, p. 701-706, 2015.

KALSCHNE, D.L. *et al.* **Arroz e farelo de arroz de diferentes cultivares**: caracterização físico-química, por espectroscopia e análise térmica. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 41, n. 6, p. 3081-3092, 2020.

KALE, R.; DESHMUKH, R. Gluten-Free Products Market by Type (Gluten-free Baby Food, Gluten-free Pasta, Gluten-free Bakery Products, and Gluten-free Ready Meals) and Distribution Channel (Convenience Stores, Specialty Stores, Drugstore & Pharmacy, and Others): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2020-2037. **FB: Nutraceutical/Wellness Food**, 2020. 245p. Disponível em: <https://www.alliedmarketresearch.com/gluten-free-products-market>. Acesso em: 24 julho 2020.

KÖSE, M. A.; EKBIÇ, E.; ARICI, Y. K. Determination of protein, vitamins, amino acids and mineral element content of Yenice and Pinarli bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Turkish Journal of Food and Agriculture Sciences**, v. 1, n. 1, p. 6-11, 2019.

LAPCIKOVÁ, B. *et al.* Impact of particle size on wheat dough and bread characteristics. **Food Chemistry**, v. 297, p. 1 - 7, November 2019.

LIN, D.; *et al.* Interactions of vegetable proteins with other polymers: Structure-function relationships and applications in the food industry. **Trends in Food Science & Technology**, v. 68, p. 130-144, 2017.

MASURE, H. G.; FIERENS, E.; DELCOUR, J. A. Current and forward looking experimntal approaches in gluten-free bread making research. **Journal of Cereal Science**, v. 67, p. 92 – 111, 2016.

MERRIL, A. L.; WATT, B. K. **Energy value of foods: basis and derivation**. U.S. Dept. of Agriculture, Washington, 1973.

MOHAMED, F. B. A. *et al.* Effect of Temperature on the Solubility of CO₂ in Bread Dough. **International Journal of Food Properties**, v. 18, n. 5, p. 1097-1109, 2015.

MOKRZYCKI, W.; TATOL, M. Color difference Delta E – A survey. **Machine Graphics and Vision**, v. 20, n. 4, p. 383 – 411, 2011.

MONTONYA, C. A. *et al.* Phaseolin diversity as a possible strategy to improve the nutritional value of common beand (*Phaseolus vulgaris*). **Food Research International**, v. 43, n. 2, p. 443 – 449, 2010.

MORONI, A. V.; DAL BELLO, F.; ARENDT, E.K. Sourdough in gluten-free bread-making: An ancient technology to solve a novel issue? **Food Microbiology**, v. 26, n.7, p.676-684, 2009.

OLAPADE, A. A.; OLUWOLE, O. B. Bread Making Potential of Composite Flour of Wheat-Acha (*Digitaria exilis* staph) Enriched with Cowpea (*Vigna unguiculata* L. walp) Flour. **Nigerian Food Journal**, v. 31, n. 1, p. 6 – 12, 2013.

OLOJEDE, A. O.; SANI, A. I.; BANWO, K. Rheological, textural and nutritional properties of gluten-free sourdough made with functionally importante lactic acid bactéria and yeast from Nigerian sorghum. **LWT – Food Science and Technology**, v. 120, p. 1-8, 2020.

PHILLIPS, R. D. *et al.* Utilization of cowpeas for human food. **Field Crops Research**, v. 82, n. 2 – 3, p. 193 – 213, 2003.

RIZZELLO, C. G. *et al.* Use of sourdough fermentation and mixture of wheat, chickpea, lentil and bean flours for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of white bread. **International Journal of Food Microbiology**, v. 180, p. 78 - 87, June 2014.

ROCCHETTI, G.; *et al.* Gluten-free flours from cereals, pseudocereals and legumes: Phenolic fingerprints and in vitro antioxidante properties. *Food Chemistry*, v. 271, p. 157-164, 2019.

ROMANO, A. *et al.* Description of leavening of bread dough with mathematical modelling. **Journal of Food Engineering**, v. 83, p. 142 – 148, 2007.

SCHMIELE, M.; *et al.* MixolabTM for rheological evaluation of wheat flour partially replaced by soy protein hydrolysate and fructooligosaccharides for bread production. **LWT – Food Science and Technology**, v. 76, n. B, p. 259-269, 2017.

SHEVKANI, K.; *et al.* Cowpea protein isolates: Functional properties and application in gluten-free rice muffins. **LWT – Food Science and Technology**, v. 63, n. 2, p. 927-933, 2015.

TASIGUANO, B. L. *et al.* Efecto del tiempo de Cocción del Zapallo (*Cucurbita maxima*) y la adición de Glucosa Oxidasa en el Aumento de Almidón Resistente del Pan de Molde. **Información tecnológica**, v. 30, n. 3, p. 167-178, 2019

VAN KERREBROECK, S.; MAES, D.; DE VUYST, L. Sourdoughs as a function of their species diversity and process conditions, a meta-analysis. **Trends in Food Science & Technology**, v. 68, p. 152 – 159, 2017.

VASANTHARAJA, R. *et al.* Influence of seaweed extracts on growth, phytochemical contents and antioxidant capacity of cowpea (*Vigna unguiculata L. Walp*). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 17, p. 589-594, 2019.

WORKU, A.; SAHU, O. Significance of fermentation process on biochemical properties of *Phaseolus vulgaris* (red beans). **Biotechnology Reports**, v. 16, p. 5-11, 2017.

YANG, Q. *et al.* Polyphenols in Common Beans (*Phaseolusvulgaris L.*): Chemistry, Analysis, and Factors Affecting Composition. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, p. 1518-1539, 2018.

ZANOTTO, D. L.; BELLAYER, C. Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves. Santa Catarina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves (CNPISA), 1996. 5p.

ZAPATA-LUNA, R. L. *et al.* Physicochemical, morpho-structural and rheological characterization of starches from three *Phaseolus* spp. landraces grown in Chiapas. *Food Measure*, 2020.

ZIOBRO, R.; *et al.* Supplementation of gluten-free bread with non-gluten proteins. Effect on dough rheological properties and bread characteristic. **Food Hydrocolloids**, v. 32, n. 2, p. 213-220, 2013.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As formulações utilizando farinha de feijão carioca e feijão caupi apresentaram massas com maior capacidade de volume de expansão, porém os resultados estruturais e texturais foram afetados, sendo que respostas melhores foram possíveis com massas adicionadas de fermento biológico. Os pães de feijão carioca e feijão caupi apresentaram melhor perfil nutricional pelo maior teor de proteínas e fibras alimentares devido à composição intrínseca do grão.

Torna-se viável a investigação de outras técnicas e análises para melhor compreender o desempenho e função das massas acidas na produção e perfil final dos pães sem glúten como: aplicar o processo de germinação nos grãos, analisar o conteúdo de ácidos orgânicos (lático e acético), peptídeos livres, perfil total de aminoácidos, fatores antinutricionais nas massas e nos pães e verificar o índice glicêmico dos pães.