

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

FLORA MIRANDA ARCANJO

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE PÃO SEM
GLÚTEN ENRIQUECIDO COM FARINHAS DAS RAÍZES DE
MACA PERUANA (*Lepidium meyenii*), SEMENTES DE ALPISTE
(*Phalaris canariensis*) E NÍGER (*Guizotia abyssinica*).**

DISSERTAÇÃO

MEDIANEIRA

2017

FLORA MIRANDA ARCANJO

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE PÃO SEM
GLÚTEN ENRIQUECIDO COM FARINHAS DAS RAÍZES DE
MACA PERUANA (*Lepidium meyenii*), SEMENTES DE ALPISTE
(*Phalaris canariensis*) E NÍGER (*Guizotia abyssinica*).**

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Angela Claudia Rodrigues

Co-orientadora: Profa. Dra. Nadia Cristiane Steinmacher

MEDIANEIRA

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE PÃO SEM GLÚTEN ENRIQUECIDO COM FARINHAS DAS RAÍZES DE MACA PERUANA (*Lepidium meyenii*), SEMENTES DE ALPISTE (*phalaris canariensis*) E NÍGER (*guizotia abyssinica*)

Por

FLORA MIRANDA ARCANJO

Essa dissertação foi apresentada às catorze horas, do dia trinta e um de março de dois mil e dezessete, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos, Linha de Ciência e Tecnologia de Produtos Alimentícios, no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos - PPGTA, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profa. Dra. Angela Claudia Rodrigues (Orientadora – PPGTA)

Profa. Dra. Cristiana da Silva (Membro Externo – UTFPR/MD)

Prof. Dr. Aloisio Henrique Pereira de Souza (Membro Externo – IFMS)

A via original com as assinaturas encontra-se na secretaria do programa.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

A668d

Arcanjo, Flora Miranda

Desenvolvimento e caracterização de pão sem glúten enriquecido com farinhas das raízes de maca peruana (*Lepidium meyenii*), sementes de alpiste (*Phalaris canariensis*) e níger (*Guizotia abyssinica*) / Flora Miranda Arcanjo – 2017.

108 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Angela Claudia Rodrigues

Coorientador: Nadia Cristiane Steinmacher

Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos. Medianeira, 2017.

Inclui bibliografias.

1. Doença celíaca. 2. Proteínas na nutrição humana 3. Alimentos – Dissertações. I. Rodrigues, Angela Claudia, orient. II. Steinmacher, Nadia Cristiane, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos. III. Título.

CDD: 664

Biblioteca Câmpus Medianeira
Marci Lucia Nicodem Fischborn CRB 9/1219

À todas as pessoas que sofrem de doença celíaca e que buscam sempre maior qualidade de vida a partir da alimentação saudável.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao meu companheiro de amor e vida Ricardo Maccord pelo incentivo, apoio e dedicação ao meu trabalho do Mestrado. Sem este auxílio eu não conseguiria completar essa pesquisa.

À orientadora, Prof^a. Dr^a. Angela Claudia Rodrigues, pela orientação, parceria, compreensão e confiança ao longo desses dois anos de convivência.

À co-orientadora, Prof^a. Dr^a. Nádia Cristiane Steinmacher, pela orientação, dedicação e exemplarismo.

Ao Prof. Dr. Aloisio Henrique, pelo auxílio nos momentos de revisão do trabalho e pela disponibilidade em atuar nas bancas de qualificação e defesa deste trabalho.

À Profa. Dr^a Cristiana Silva pela disponibilidade de atuar como banca da qualificação e defesa deste trabalho, contribuindo com suas revisões precisas e assertivas.

À Profa. Dr^a Saraspathy Naidoo pelos ensinamentos, incentivo e exemplarismo no âmbito da Nutrição, sendo um apoio muito importante para minha formação como Mestre.

À CAPES, programa este que financiou a bolsa de Mestrado a qual fui contemplada do início ao fim desta pesquisa.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira, por toda estrutura oferecida para que fosse possível a realização desta pesquisa.

Às minhas colegas, Alexia, Rubiane, Marci, Tania, Daneysa e Rosana, pelos ensinamentos e auxílio em todos os momentos de dúvidas.

Aos graduandos da UTFPR – Medianeira, Maristela, Anandra e Nadilson pelo auxílio, disposição, bom humor e prontidão em todos os momentos desta pesquisa.

Por fim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma me auxiliaram ou contribuíram para este trabalho.

RESUMO

ARCANJO, Flora Miranda. Desenvolvimento e caracterização de pão sem glúten enriquecido com as farinhas de maca peruana (*Lepidium meyenii*), sementes de alpiste (*Phalaris canariensis*) e niger (*Guizotia abyssinica*). 2017. 108 f. Dissertação. (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2017.

O glúten é uma proteína advinda do trigo e subdivide-se em duas frações: gliadina e glutenina. A doença celíaca é uma intolerância ao glúten, que causa inflamação à mucosa do intestino, dificultando a absorção de nutrientes causando diarreia crônica, flatulência, anemia, entre outros problemas. Em função da má absorção, o celíaco necessita consumir alimentos fortificados para auxiliar no aporte nutricional. A maca peruana (*Lepidium meyenii*) é uma raiz originária do Peru e possui altos teores de cálcio (150 mg/100 g de farinha) e ferro (16,6 mg de ferro/100 g de farinha) e pode ser uma opção para o enriquecimento nutricional dos pães sem glúten. A farinha das sementes de niger (*Guizotia abyssinica*) e alpiste (*Phalaris canariensis*) também podem ser uma ótima alternativa para aumentar o valor nutricional de pães sem glúten. O presente estudo teve como objetivo elaborar pães sem glúten enriquecidos com farinhas de maca peruana, alpiste e niger. Para tanto foram utilizados dois planejamentos de misturas para compor o melhor pão (um planejamento para atingir melhor proporção de maca peruana, fécula de batata, polvilhos doce e azedo e outro planejamento para obter melhor pão enriquecido com farinhas de niger e alpiste, a partir da utilização da melhor formulação com maca peruana). Os planejamentos de misturas com pseudocomponentes serviram para investigar as melhores respostas nos quesitos volume específico, perfil de textura e análise sensorial dos pães enriquecidos com maca, alpiste e niger. Para os pães enriquecidos com maca, a formulação que melhor atendeu aspectos nutricionais, reológicos (volume específico e perfil de textura) e o fator desejabilidade foi a formulação 4 (25% de maca; 50% de fécula de batata e 25% de polvilho doce). Para os pães enriquecidos com niger e alpiste, a formulação que melhor atendeu aspectos nutricionais, sensoriais, fator de desejabilidade e parâmetros reológicos (volume específico e perfil de textura) foi a formulação 9 (compondo 16% de niger, 67% de alpiste e 16% de arroz). Assim, pode-se comprovar que a maca peruana, as sementes de niger e alpiste podem ser uma alternativa viável no enriquecimento de farinhas para pães sem glúten.

Palavras-chave: Doença celíaca. Planejamento de misturas. Análise sensorial. Pão sem glúten.

ABSTRACT

ARCANJO, Flora Miranda. Development and characterization of gluten-free bread enriched with maca (*Lepidium meyenii*), canary seed (*Phalaris canariensis*) and niger (*Guizotia abyssinica*) flours. 2017. 108 f. Dissertação. (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2017.

Gluten is a wheat protein and is subdivided into two fractions: gliadin and glutenin. Celiac disease is an intolerance to gluten, which causes inflammation of the intestinal mucosa, making it difficult to absorb nutrients, causing chronic diarrhea, flatulence, anemia, among other problems. Due to malabsorption, the celiac needs to consume fortified foods to aid in nutritional intake. Maca (*Lepidium meyenii*) is a native root from Peru and has high levels of calcium (150 mg / 100 g flour) and iron (16.6 mg iron / 100 g flour) and may be an option for nutritional enrichment of gluten-free breads. The flour from niger seeds (*Guizotia abyssinica*) and canary seed (*Phalaris canariensis*) can also be used to increase the nutritional value of gluten-free breads. The present study had as objective to elaborate gluten-free breads enriched with flours of maca, canary and niger. In order to do this, two statistical modeling of mixtures were used to compose the bread improvement (a planning to get the best proportion between maca, potato starch, sweet and sour manioc and another planning to obtain a better bread enriched with niger and canary flour, using as base the best formulation with maca). The statistical modeling of mixtures with pseudo components served to investigate the best answers in the specific volume, texture profile and sensory analysis of the enriched breads with maca, canary seed and niger. In maca enriched breads, the formulation with best nutritional and rheological factors and desirability requirements was formulation 4 (25% maca, 50% potato starch and 25% sweet manioc). In breads enriched with niger and canary seed, the formulation with best results in nutritional, sensory, desirability and rheological requirements was formulation 9 (16% niger, 67% canary seed and 16% rice flour). Thus, it could be proven that maca, niger and canary seed flours, can be a viable alternative in flour enrichment for gluten-free breads.

Key words: Celiac disease. Statistical modeling of mixtures. Sensory analysis. Gluten-free bread.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 1. Iceberg Celiaco	17
Figura 2. Composição do glúten.....	19
Figura 3. Característica estrutural das gluteninas	19
Figura 4. Estrutura molecular do Hidroxipropilmetilcelulose.....	22
Figura 5. Estrutura unitária (monômero) do polissacarídeo da goma xantana	22
Figura 6. (a) Folhas e flores da Niger; (b) sementes de Niger.....	26
Figura 7. (a) Folha do Alpiste; (b) Sementes do alpiste.	28
Figura 8. Raízes de maca peruana crua e na forma de farinha.	31

ARTIGO 1

Figura 1. Aparência da estrutura interna e externa das formulações dos pães sem glúten adicionados de maca peruana.....	63
Figura 2. Gráficos de desejabilidade.	64
Figura 3. Gráfico aranha dos resultados obtidos pelo teste sensorial	65

ARTIGO 2

Figura 1. Aparência e estrutura interna dos pães sem glúten adicionados com farinhas de alpiste e niger	97
Figura 2. Gráfico desejabilidade com os componentes mastigabilidade, gomosidade dureza e volume específico.....	101
Figura 3. Gráfico desejabilidade com os componentes resiliência, mastigabilidade, gomosidade, coesividade, dureza e volume específico	103
Figura 4. Gráfico aranha que demonstra os resultados obtidos pela média do teste sensorial.....	106

LISTA DE TABELAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 1. Níveis médios dos principais ácidos graxos presentes nas sementes de niger	26
Tabela 2. Valor nutricional da semente de niger (100 g)	27
Tabela 3. Valor nutricional da semente de alpiste (100 g)	30
Tabela 4. Valor nutricional da farinha de maca peruana (100 g).....	32

ARTIGO 1

Tabela 1. Matriz de ensaios do planejamento de misturas. Os valores reais de cada farinha estão demonstrados entre parênteses	66
Tabela 2. Respostas dos parâmetros estudados dos pães sem glúten contendo maca peruana.	67
Tabela 3. Resultados da ANOVA, coeficientes de regressão, p-valor, intervalo de confiança, somatório quadrático e coeficiente de determinação das respostas volume específico e dureza, no planejamento de misturas com quatro pseudocomponentes, para o pão isento de glúten.....	68
Tabela 4. Resultados da ANOVA, coeficientes de regressão, p-valor, intervalo de confiança, somatório quadrático e coeficiente de determinação das respostas mastigabilidade e gomosidade, no planejamento de misturas com quatro pseudocomponentes, para o pão isento	69
Tabela 5. Composição centesimal das formulações dos pães enriquecidos com maca peruana (g por 100 g de produto).....	70

ARTIGO 2

Tabela 1. Matriz de ensaios do planejamento de misturas dos pães acrescidos com as farinhas de niger e alpiste. Os valores reais de cada farinha estão demonstrados entre parênteses	96
Tabela 2. Respostas dos parâmetros estudados no planejamento de misturas com três pseudocomponentes e o ponto centroide, aplicado no desenvolvimento de pão isento de glúten contendo plantas alimentícias não convencionais.	98
Tabela 3. ANOVA, coeficientes de regressão, p-valor, intervalo de confiança, somatório quadrático e coeficiente de determinação das respostas volume específico, dureza, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência no planejamento de misturas com três pseudocomponentes, para o pão isento de glúten	99
Tabela 4. Coloração de pães sem glúten enriquecidos com maca peruana, alpiste e niger.	102
Tabela 5. Composição centesimal das formulações dos pães enriquecidos com maca peruana (g por 100 de produto).....	104
Tabela 6. Composição de ácidos graxos encontrados majoritariamente em pães enriquecidos com farinha de niger e alpiste em diferentes concentrações (g de ácido graxo em 100 g do produto).....	105

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AACC	American Association for Clinical Chemistry
ACELBRA	Associação dos celíacos do Brasil
ANOVA	Análise de variância
AOAC	Official methods of analysis
DC	Doença celíaca
F _{CAL}	F Calculado
FMP	Farinha de maca peruana
F _{TAB}	F tabelado
GL	Graus de Liberdade
HLA	Human Leucocyte Antigen
HPMC	Hidroxipropilmetilcelulose
n-3	Ácido linolênico
n-6	Ácido linoleico
n-9	Ácido oleico
PANC	Plantas Alimentícias não Convencionais
PSG	Pães sem glúten
SQ	Soma Quadrática
TPA	Perfil de Textura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 DOENÇA CELÍACA.	15
3.1.1 Manifestações clínicas	16
3.1.2 Epidemiologia e Diagnóstico da Doença Celíaca	17
3.2 O GLÚTEN	18
3.3 DESENVOLVIMENTO DE PÃES SEM GLÚTEN	20
3.3.1 Papel dos ingredientes no preparo de pães sem glúten	20
3.4 ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL DE PRODUTOS SEM GLÚTEN	24
3.4.1 Niger (<i>Guizotia abyssinica</i>)	25
3.4.2 Alpiste (<i>Phalaris canariensis</i>)	28
3.4.3 Maca peruana (<i>Lepidium meyenii</i>)	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
ARTIGO 1	40
ARTIGO 2	71

1 INTRODUÇÃO

A alimentação é indispensável à sobrevivência, por isso através dela obtemos os nutrientes necessários para desenvolver e reparar possíveis danos celulares, bem como repor a energia gasta no dia-a-dia. Contudo, existem indivíduos que, por diversas razões, não toleram certos alimentos, e desenvolvem dificuldades em digerí-los ou absorvê-los, o que ocasiona deficiência nutricional no organismo (BARDELLA *et al*; 2007).

Neste contexto, destaca-se a doença celíaca (DC), um processo inflamatório da mucosa do intestino delgado ocasionada pela intolerância ao glúten. Acomete indivíduos geneticamente predispostos e ocasiona a atrofia das vilosidades intestinais, má absorção de nutrientes e uma variedade de manifestações clínicas (SILVA; FURNALETTO; 2010).

O glúten subdivide-se em duas frações proteicas de acordo com a solubilidade: a glutenina e gliadina, que possuem a propriedade de formar, juntamente com a água, uma substância viscoelástica, insolúvel em água, responsável pela textura de massas e pães. As prolaminas consideradas tóxicas ao celíaco se diferem de acordo com o tipo de cereal, sendo denominadas de gliadina no trigo, secalina no centeio, hordeína na cevada e avenina na aveia (NASCIMENTO; BARBOSA; TAKEITI; 2012).

Na doença celíaca, os sintomas podem ser inúmeros como diarreia crônica, distensão abdominal, flatulência, osteoporose (estágio inicial precoce), anemia ferropriva, hipocalcemia, deficiência de ácido fólico e vitaminas lipossolúveis (SILVA; FURNALETTO; 2010) e o tratamento da doença celíaca é dietético, o que consiste na exclusão do glúten de forma definitiva. A falta do glúten leva à remissão de sintomas e danos à mucosa intestinal (LIU *et al*; 2014; BARADA *et al*; 2012).

Devido tais deficiências, os celíacos necessitam compensar a dificuldade de absorção de nutrientes a partir da inserção de alimentos ricos em vitaminas e minerais, junto às farinhas refinadas e amidos, que na grande maioria das vezes, não são enriquecidas ou fortificadas (SCIARINI, *et al*; 2010).

No enriquecimento das pré-misturas para pão sem glúten, constituídas na maioria das vezes por amido de arroz, fécula de batata e polvilho (doce ou azedo),

pesquisas comprovam resultados significativos no uso de farinhas das sementes de chia, linhaça, quinoa, amaranto e soja como estratégia para aumento de ácidos graxos, fibras, proteínas e minerais. (PEREIRA *et al*; 2013; COSTA *et al*; 2014; ELGETI, *et al*; 2014; PAGAMUNICI *et al*; 2014; OSUNA, *et al*; 2014).

Além do uso de sementes conhecidas pelo mercado consumidor, é possível agregar valor nutricional e econômico ao produto sem glúten, através do uso das farinhas de sementes alimentícias não convencionais, como por exemplo o alpiste (*Phalaris canariensis*) e a niger (*Guizotia abyssinica*). Classificadas como plantas alimentícias não convencionais (PANC), tais espécies são estigmatizadas como ervas-daninhas ou alimentos que compõem ração de pássaro, porém possuem quantidades satisfatórias de nutrientes benéficos ao organismo humano (KINUPP & LORENZI; 2014).

Outro componente funcional que pode auxiliar no enriquecimento de alimentos para celíacos, é a farinha das raízes de maca peruana (*Lepidium meyenii*), um tubérculo nativo da região Andina, que possui propriedades medicinais no tratamento da osteoporose, câncer de próstata, infertilidade, depressão, fadiga e anemia (GONZALES *et al*; 2014).

Encontrar produtos de panificação sem glúten com características sensoriais agradáveis, é também um grande problema enfrentado pelos celíacos. A ausência de produtos industrializados sem glúten, faz com que o celíaco produza os alimentos de maneira caseira, com a utilização de farinhas não usualmente utilizadas. Por vezes, os resultados sensoriais dessas preparações nem sempre são satisfatórios (ARAÚJO *et al*; 2010).

Com o intuito de melhorar as características reológicas e sensoriais do pão sem glúten, são utilizados aditivos como hidrocolóides (a exemplo da goma xantana; hidroxipropilmetilcelulose - HPMC), também conhecidos como gomas alimentares, o que constitui uma alternativa para melhorar a textura, aparência, volume final, características estruturais, bem como a vida útil dos pães sem glúten (CAPRILES & ARÊAS; 2011).

Com base nas informações apontadas, o presente estudo tem como objetivo desenvolver pão sem glúten, enriquecido com as farinhas de maca peruana, alpiste e niger, visando atender as necessidades nutricionais dos pacientes celíacos e avaliar as características reológicas, físico-químicas e sensoriais deste produto.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar pão sem glúten enriquecido com as farinhas das raízes de maca peruana (*Lepidium meyenii*), sementes de niger (*Guizotia abyssinica*) e alpiste (*Phalaris canariensis*), a fim de enriquecer nutricionalmente o produto final.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar planejamento experimental de misturas para testar a melhor formulação de pães acrescidos de maca peruana, niger e alpiste.
- Caracterizar física e quimicamente os pães adicionados somente com maca peruana e dos pães acrescidos com as sementes de niger e alpiste.
- Caracterizar sensorialmente os pães adicionados somente com maca peruana e dos pães acrescidos com as sementes de niger e alpiste.
- Identificar os ácidos graxos presentes nas formulações enriquecidas com farinhas de niger e alpiste.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DOENÇA CELÍACA.

A Doença Celíaca (DC) é uma patologia autoimune caracterizada por um processo inflamatório que envolve a mucosa do intestino delgado, provocada pela ingestão do glúten por indivíduos geneticamente predispostos. Essa patologia pode levar a atrofia das vilosidades intestinais e má absorção de nutrientes (SILVA; FURNALETTO; 2010).

Na DC, as frações proteicas do glúten são modificadas durante a absorção que dispara uma resposta local e em muitos casos, aciona o sistema imune sistêmico. Nos casos não tratados, a estimulação imune excessiva, somado à inflamação, resultam eventualmente em dano à mucosa intestinal, secreção alterada de neuropeptídeos, aumento de linfócitos intra-epiteliais e funções digestivas e absorptivas diminuídas (FASANO *et al*; 2003).

As células das vilosidades se tornam deficientes em dissacaridases e peptidases necessárias para a digestão, e também, nos carreadores necessários para transportar nutrientes na corrente sanguínea. Devido a inflamação sistêmica, ocorre o achatamento e atrofia das vilosidades o que compromete a absorção de micro e macronutrientes (MARSH; 1992). Ainda segundo Marsh, a liberação diminuída de hormônios peptídeos do intestino delgado resulta em secreções reduzidas da vesícula biliar e do pâncreas, o que contribui para a má digestão.

O desenvolvimento da DC envolve a interação dos fatores genéticos, ambientais e imunológicos. Em se tratando dos fatores genéticos, sua prevalência ocorre em parentes de primeiro grau (cerca de 10%). A concordância em gêmeos monozigóticos é de aproximadamente 75% (NASCIMENTO; BARBOSA; TAKEITI; 2012).

A predisposição genética se relaciona aos alelos *Human Leucocyte Antigen* (HLA), particularmente, os alótipos HLA-DQ2 e HLA-DQ8. Quase todos os pacientes

com DC expressam, pelo menos, um desses alelos; no entanto, o HLA-DQ2 é mais fortemente associado com a DC do que o HLA-DQ8. Mesmo com a associação genética, é possível que eles contribuam para a doença, mas não sejam suficientes para provocar o seu desenvolvimento, o que reforça a importância da interação com outros fatores (ABADIE *et al*; 2011).

O principal fator ambiental que favorece a evolução da DC na infância é a exposição precoce ao glúten através da alimentação. Tal condição poderia ser evitada se houvesse o prolongamento do aleitamento materno e a oferta tardia do glúten (ROSSI; SCHWARTZ; 2010).

3.1.1 Manifestações clínicas

As manifestações clínicas podem ser classificadas na forma clássica, atípica, silenciosa, latente ou refratária (SILVA; FURNALETTO; 2010). A forma clássica se manifesta principalmente nos primeiros dezoito meses de vida com sintomas como diarreia ou constipação crônica, anorexia, vômitos, emagrecimento, comprometimento variável do estado nutricional, irritabilidade, inapetência, déficit do crescimento, dor e distensão abdominal, atrofia da musculatura glútea e anemia ferropriva (NASCIMENTO; BARBOSA; TAKEITI; 2012).

A forma atípica é classificada como ausência de sintomas ou poucos sintomas gastrointestinais, presença de anemia por deficiência de ferro, osteoporose ou osteopenia, infertilidade, baixa estatura (SILVA; FURNALETTO; 2010).

A manifestação silenciosa é caracterizada pelo diagnóstico ocasional, histológico ou sorológico nos indivíduos assintomáticos (SILVA; FURNALETTO; 2010). A forma latente, apresenta-se através de biópsia duodenal, atrofia parcial ou total das vilosidades intestinais, onde podem voltar à normalidade com a retirada do glúten na dieta (ARAÚJO, *et al*; 2010).

Ainda segundo Silva e Furnaletto (2010), a forma refratária torna-se condição mais preocupante, pois os pacientes com DC não respondem ao tratamento com dieta isenta de glúten.

As manifestações clínicas da doença celíaca podem ser analogicamente comparadas à um iceberg (Fig.1). A forma clássica da doença, por ser diagnosticada, representa a ponta do iceberg e as formas não clássicas, permanecem “submersas” na água ou sem diagnóstico conclusivo, o que aumenta as chances de mortalidade da doença (RUBIO-TAPIA; *et al*; 2009).

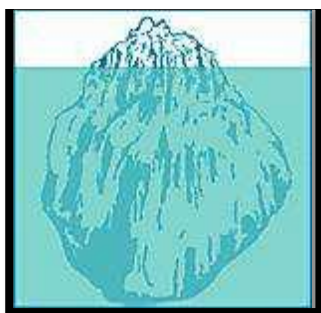


Figura 1. Iceberg Celíaco
Fonte: BAI, J.C. *et al*; (2012).

3.1.2 Epidemiologia e Diagnóstico da Doença Celíaca

De acordo com Boice (2010), a definição das áreas de risco para a doença celíaca baseia-se na história das migrações dos povos ancestrais e no fato de a doença resultar de fatores genéticos e ambientais. Assim, a DC é comum na Europa, América, norte de África, sudeste asiático e Austrália, onde se associam a presença dos povos geneticamente suscetíveis e o elevado consumo de glúten.

A doença celíaca é mais frequente nos adultos e pode surgir em qualquer faixa etária, uma vez que cerca de 20% dos pacientes têm mais de 55 anos no momento do diagnóstico. Embora esteja presente em 1 a cada 100 pessoas, estima-se que apenas cerca de 10 a 15% dos celíacos são devidamente diagnosticados (WALKER; TALLEY, 2011).

Índices epidemiológicos são possíveis em função da descoberta da doença, porém seu diagnóstico não é simples. Pode basear-se no exame clínico, anamnese detalhada, análise histopatológica do intestino delgado e avaliação dos marcadores séricos (ARAÚJO *et al*; 2011). O padrão ouro do diagnóstico para DC ainda é a biópsia

do intestino delgado, que revela vilosidades atrofiadas, alongamento das criptas e aumento dos linfócitos epiteliais (NASCIMENTO; BARBOSA; TAKEITI; 2012).

O diagnóstico pode ser estabelecido pelo teste denominado *4 out of 5 rules*. De acordo com este método, é confirmado o diagnóstico para DC quando há presença de pelo menos 4 dos 5 critérios: 1 – Apresentação de sintomas típicos; 2 – resultado positivo para anticorpos IgA específicos para DC; 3 – presença dos alelos HLA DQ2 ou DQ8; 4 – presença de danos à mucosa intestinal, detectada a partir da biópsia de intestino delgado e 5 – resposta positiva para dieta livre de glúten (HOROWITZ; 2011).

No Brasil, estima-se que existam 300 mil brasileiros portadores da doença, o que representa uma frequência de 1 para cada 681 pessoas. A maior incidência concentra-se na Região Sudeste (ARAÚJO, *et al*; 2011; NASCIMENTO; BARBOSA; TAKEITI; 2012).

Na população europeia a doença acomete de 0,3% a 1% das pessoas (LIU, *et al*; 2014), nos EUA a proporção é de 1:250 habitantes, no Reino Unido a prevalência encontrada foi de 1:300 habitantes (WALKER; TALLEY, 2011) e na Espanha 47,8% da população manifesta a DC silenciosa (NASCIMENTO; BARBOSA; TAKEITI; 2012). Países como a Palestina e Jordânia, a incidência é de 1:2500 habitantes e 1:2800, respectivamente (NASCIMENTO; BARBOSA; TAKEITI; 2012).

3.2 O GLÚTEN

O glúten é um excelente ingrediente para produtos de panificação, devido sua capacidade de retenção do gás carbônico, o que promove maior volume, textura interna sedosa e granulometria aberta aos pães, sua maciez e característica sensorial aos pães (GISSLEN, 2011; ARAÚJO, *et al*; 2011).

Das proteínas que compõem o glúten, 15% correspondem à globulinas e albuminas (não formadoras de glúten) e 85% correspondem à proteína gliadina (alta extensibilidade e baixa elasticidade) e glutenina (baixa extensibilidade e alta elasticidade) (ARAÚJO *et al*; 2011; CAPRILLES; ARÉAS; 2011).

O gliadina e glutenina combinadas com água e energia mecânica, podem formar uma rede tridimensional, viscoelástica e insolúvel em água, denominada glúten (Figura 2) (BOBBIO; 1992).

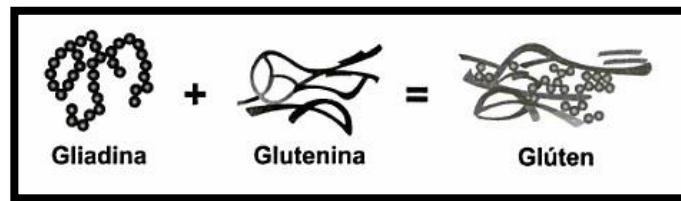


Figura 2. Composição do glúten
Fonte: ARAÚJO et al; (2009).

A massa molecular média da gliadina é de 40.000, possui cadeia simples e é extremamente gomosa quando hidratada. Possui pouca resistência à extensão, sendo a mesma responsável pela coesividade da massa. Esta fração do glúten é a principal prolamina que causa a reação inflamatória em pessoas com doença celíaca, em função de seu contato com as células do intestino delgado, provocando uma resposta imune e produção de anticorpos à essa fração (ARAÚJO, et al; 2011).

As prolaminas secalina (presentes no centeio), hordeína (presentes na cevada) e avenina (presentes na aveia), também possuem toxicidade ao celíaco, porém são menos consumidas pela população se comparada à gliadina presente no trigo (NASCIMENTO; BARBOSA; TAKEITI; 2012).

A glutenina tem massa molecular média de 100.000 a vários milhões, possui propriedade elástica, e baixa coesividade. A glutenina tem o papel de resistência à extensão na massa e possui menos capacidade inflamatória ao celíaco (TEDRUS et al 2001).



Figura 3. Característica estrutural das gluteninas
Fonte: DELCOUR, et al; (2012).

Devido a necessidade de maior informação nutricional ao público celíaco, foi criada pela ANVISA, a lei nº 10.674, em 16 de maio de 2013, que “*obriga os produtos alimentícios comercializados informar sobre a presença de glúten como medida preventiva e de controle da doença celíaca*”, sendo necessário que o fabricante acrescente no rótulo da embalagem do seu produto a sentença “**contém glúten**” ou “**não contém glúten**” (BRASIL, 2013).

3.3 DESENVOLVIMENTO DE PÃES SEM GLÚTEN

As pessoas com doença celíaca possuem dificuldades de encontrar produtos isentos de glúten com sabor e textura agradáveis. Além disso, a disponibilidade desses produtos é baixa e o custo geralmente elevado, o que compromete a adesão à dieta (SINGH; WHELAN, 2011).

De acordo com a Associação dos Celíacos do Brasil (ACELBRA), em 2004 realizou-se uma pesquisa de intenção de compra com celíacos de todo Brasil, onde foi feita a seguinte pergunta: *Quais produtos sem glúten você gostaria de encontrar com facilidade?* Dentre as respostas dadas pelos participantes, 47% das pessoas responderam ser o pão, seguido do macarrão (21%), bolachas ou biscoitos (21%) e pizza (11%) (ACELBRA, 2004).

O processo de fabricação dos pães sem glúten (PSG) torna-se desafiante pois a massa possui baixa coesividade, apresentando-se suave e difícil de manusear, com textura mais pegajosa e pastosa. Devido a fraca atividade de ligação do dióxido de carbono, o volume do produto final torna-se menor, se comparado à um pão com glúten (HOUBEN; HOCHSTOTTER; BECKER; 2012).

Porém, a produção de PSG difere fundamentalmente da produção de pães de trigo em relação ao tempo. Tradicionalmente, as massas dos pães com trigo são misturadas, fermentadas (descanso), divididas, modeladas, fermentadas e forneadas. A produção de PSG requer menor tempo de mistura e fermentação, tornando a produção mais rápida (ARENDRT *et al*, 2008).

3.3.1 Papel dos ingredientes no preparo de pães sem glúten

A substituição da farinha de trigo por outros amidos tem sido uma tarefa desafiadora, pois representa uma tentativa de desenvolver estrutura similar à rede de glúten e que consiga reter o gás carbônico produzido na fermentação, o que mantém a

expansão da massa e possibilita a obtenção de um pão com volume e as características finais com qualidades adequadas (SEGURA; ROSELL; 2011).

A principal substituta da farinha de trigo é a farinha de arroz, que pode ser combinada à outras farinhas e amidos à base de outros cereais e tubérculos. Porém, a farinha de arroz não forma a rede similar ao glúten, sendo utilizados emulsificantes, gomas alimentares e hidrocolóides, que visam melhorar as propriedades reológicas da massa, volume final, as características estruturais, bem como a vida útil de pães sem glúten (GALLAGHER *et al*; 2004; STORCK *et al*; 2009).

Os emulsificantes tornam possível a formação e manutenção de uma mistura uniforme entre duas ou mais substâncias imiscíveis em um alimento. Tal ingrediente apresenta como característica, que a mesma molécula possui uma porção polar (hidrofílica) e uma porção apolar (hidrofóbica), o que permite a mistura entre as substâncias (HOUBEN; HOCHSTOTTER; BECKER; 2012).

Com isso, nos produtos de panificação, os emulsificantes proporcionam aeração, estabilização das emulsões, retardo na retrogradação do amido, além de ser substituto de gorduras para manter a qualidade global no armazenamento (STORCK *et al*; 2009)

Os hidrocolóides são polissacarídeos solúveis em água com propriedades funcionais e atuam inclusive, como emulsificantes, o que os tornam muito úteis para a tecnologia de alimentos. Podem comportar-se como agentes espessantes, que auxiliam na estabilização e gelatinização da massa de pães sem glúten (HOUBEN; HOCHSTOTTER; BECKER; 2012).

O hidroximetilpropilcelulose (HPMC), é um dos hidrocolóides derivados da celulose, que pode ser obtido a partir da modificação química da celulose e com isso, possui estrutura linear (Figura 4). Devido seu caráter hidrofílico, possui capacidade de ligar-se às moléculas de água e cria uma rede de gel reversível, o que aumenta a viscosidade e estabilização da massa. Durante o assamento, devido sua capacidade de ligação com o gás carbônico, o volume do pão torna-se aumentado (HORSTMANN, *et al.*, 2016; HOUBEN; HOCHSTOTTER; BECKER; 2012).

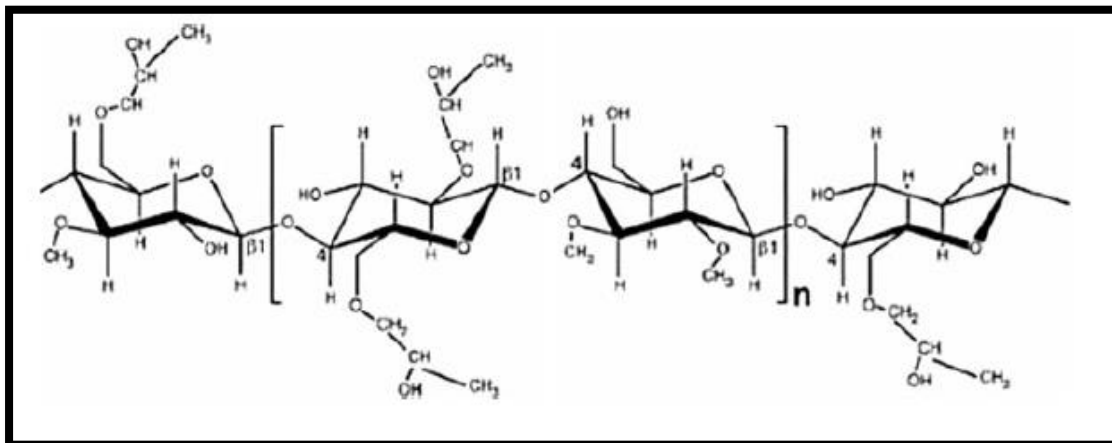


Figura 4. Estrutura molecular do Hidroxipropilmetilcelulose.
Fonte: HOUBEN *et al.*; (2012).

Outro hidrocoloide importante para a produção de produtos sem glúten é a goma xantana, que proporciona alta viscosidade à massa, mesmo em baixas concentrações e na variação de temperatura entre 0°C a 100°C, o que é incomum entre as gomas alimentícias. É produzida pela bactéria *Xantomonas campestris*, encontrada nas folhas das plantas das famílias das couves. Tal bactéria, produz durante a fermentação com D-glucose, um polissacarídeo denominado xantana, com cadeia principal idêntica à da celulose, sendo uma molécula bem rígida (NERY, *et al.*; 2008) (Figura 5).

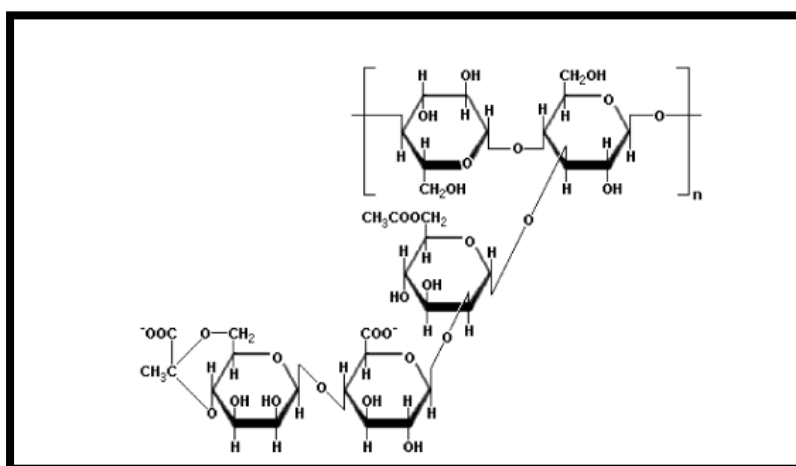


Figura 5. Estrutura unitária (monômero) do polissacarídeo da goma xantana
Fonte: Nery *et al.*, (2008).

Porém não só os hidrocoloides e emulsificantes fazem a diferença na composição de alimentos sem glúten, mas a junção de outros ingredientes como ovos,

óleos, fermento, sal, açúcar e água, podem melhorar a qualidade de textura da massa, bem como aspectos nutricionais dos pães sem glúten (HORSTMANN, *et al*; 2016).

O açúcar é o ingrediente responsável pela velocidade da fermentação, o que melhora a maciez, desenvolvimento da coloração da crosta (casca do pão), bem como retenção da umidade no miolo e acentuação do sabor (PHILIPPI; 2006).

Quando os ovos e açúcar são batidos junto dos outros ingredientes do pão sem glúten (mistura esta que se assemelha à massa para bolos), uma grande quantidade de bolhas de ar minúsculas, fica presa nessa massa por meio das proteínas ativas na superfície da clara do ovo e das lipoproteínas. Essa mistura forma um filme protetor em torno das bolhas de gás, o que impede a perda das bolhas de gás (CAUVAIN, YOUNG; 2009).

A gordura vegetal age como agente lubrificante molecular, o que aumenta a plasticidade e conseqüentemente, a extensibilidade da massa. Tal efeito, durante a mistura, faz com que os cristais de gordura absorvam as bolhas de gás, o que as estabiliza. No assamento a gordura derrete e possibilita a expansão do gás e conseqüentemente, o aumento no volume do pão (EL-DASH; 1986).

O fermento biológico auxilia na produção de gás carbônico devido ação das leveduras. Este processo aumenta o volume da massa e conseqüentemente do pão. No processo de fermentação, ocorre a produção de substâncias responsáveis pelo aroma e sabor dos pães (PHILIPPI; 2006). A quantidade de sal pode alterar a velocidade de fermentação do pão, pois quanto maior a quantidade de sal, menor a velocidade de fermentação (CAUVAIN, YOUNG; 2009).

As massas de pães sem glúten, tem como base a farinha de arroz, sendo assim há necessidade de maior quantidade de água hidratação quando comparadas às massas preparadas com farinha de trigo. A adição de quantidades adequadas de água às massas de PSG leva a uma melhoria considerável da estabilidade da massa durante a mistura (EL-DASH; 1986).

De acordo às informações acima, os ingredientes utilizados para preparações sem glúten, requer combinações específicas de cada elemento, o que favorece a melhoria da massa e proporciona um produto final com características reológicas aceitáveis pelo público celíaco.

3.4 ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL DE PRODUTOS SEM GLÚTEN

Pessoas com doença celíaca podem apresentar má absorção de nutrientes que são essenciais para a manutenção fisiológica do organismo, a exemplo do ferro, ácido fólico, cálcio e vitaminas lipossolúveis (SATURNI; FERRETTI; BACCHETTI; 2010). Em função desta ocorrência, faz-se necessário o uso de alimentos enriquecidos a fim de ampliar a demanda de ofertas de nutrientes bem como sua absorção (MATOS; ROSELL; 2012).

A dieta livre de glúten não garante a ingestão adequada de nutrientes, sendo possível detectar deficiências nutricionais após o tratamento de exclusão do glúten da dieta. Estudos realizados nos EUA, que incluíam a análise da dieta de 47 mulheres celíacas, mostraram que o consumo ideal de cálcio, ferro e fibras foi alcançado por 33%, 44% e 46% das mulheres (THOMPSON, *et al*; 2005).

Devido à exclusão total de alguns alimentos ricos em carboidratos e fibras, a dieta do celíaco habitualmente é composta em sua maior parte de gorduras (margarina, manteigas, óleos) e proteínas (carne em geral) e, em menor parte, de carboidratos (massas sem glúten, açúcares, entre outros) (MATOS; ROSELL; 2012).

Os carboidratos consumidos na dieta *gluten-free* são em sua maioria, refinados, ou seja, no processo de refinamento a camada exterior do grão, onde contém maior quantidade de fibras e minerais, é removido e deixado apenas a camada interior, normalmente pobre em nutrientes (SATURNI; FERRETTI; BACCHETTI; 2010).

O desenvolvimento de alimentos sem glúten enriquecidos, bem como o uso de pseudocereais em substituição ao trigo, têm sido alternativas para o incremento dos teores de proteínas, fibras, ferro e cálcio (LEE, *et al*; 2009).

Como opção para agregar valor nutricional ao pão sem glúten, é possível adicionar farinhas de sementes comestíveis que não são convencionais ao consumo humano, com objetivo de diminuir o custo do produto e valorizar sementes que hoje são classificadas como “ração de pássaros” ou ervas-daninhas.

As PANC são plantas que possuem uma ou mais partes que podem ser utilizadas diretamente na alimentação humana tais como raízes tuberosas, tubérculos, bulbos, rizomas, cormos, talos, folhas, brotos, flores, frutos e sementes, sendo essas

partes possuidoras de quantidades satisfatórias de nutrientes benéficos ao corpo humano (KINUPP, LORENZI; 2014).

Tais plantas denominadas como “daninhas”, “matos” ou “invasoras”, por brotarem em locais denominados impróprios como ruas, quintais e plantações, são espécies com grande importância alimentícia e nutricional. Também podem ser classificadas PANC, plantas totalmente desconhecidas, de usos restritos, distribuição geográfica limitada, porém com grande potencial pelo sabor, versatilidade culinária, resiliência e rusticidade na natureza (KINUPP, LORENZI; 2014).

3.4.1 Niger (*Guizotia abyssinica*)

A Niger (*Guizotia abyssinica*) é uma semente oleaginosa com papel importante na economia de países como Índia e Etiópia em função da extração do óleo da semente que é utilizado para fins alimentícios. Suas utilidades vão além das aplicações culinárias, sendo uma importante matéria-prima para ração de pássaros, sabonetes, tintas, artigos de iluminação, lubrificantes, além de potencial fonte de biodiesel (GELETA; STYMNE; BRYNGELSSON; 2011; RAMADAN; 2011).

Pertencente à mesma família botânica do girassol e cártamo (Compositae), é uma planta dicotiledônea, bem ramificada e pode alcançar até 2 m de altura (Figura 6) (RAMADAN; 2011; YADAV, *et al*; 2012). Suas sementes podem ser consumidas fritas, como temperos para legumes ou utilizadas como farinha desengordurada misturada ao mel, sendo uma iguaria para confecção de bolos (SHAHIDI; DESILVA; AMAROWICZ; 2003).



Figura 6. (a) Folhas e flores da Niger; (b) sementes de Niger
 Fonte: <http://www.biopix.com>

Segundo Ramadan (2011), a semente de niger possui de 30-50% de sua massa é constituída de ácidos graxos e sua composição pode ser demonstrada a seguir na Tabela 1.

Tabela 1. Níveis médios dos principais ácidos graxos presentes nas sementes de niger

Ácido graxo	Quantidades médias (%) de ácidos graxos nas sementes de niger
Ácido palmítico (16:0)	8,0 - 16,9
Ácido esteárico (18:0)	5,6 – 8,10
Ácido oleico (18:1n-9)	5,9 – 11,00
Ácido linoleico (18:2n-6)	63,0 - 79,20

Fonte: Adaptado Ramadan (2011).

A composição da semente de niger possui também elevados níveis de tocoferol (720-935 $\mu\text{g g}^{-1}$), sendo 90% de α -tocoferol, um antioxidante que aumenta a estabilidade do óleo e atua na prevenção de doenças cardiovasculares e processos inflamatórios de maneira geral (GELETA; STYMNE; BRYNGELSSON; 2011).

Contendo propriedades nutricionais significativas, a farinha de niger é classificada como fonte de antioxidantes naturais (SHAHIDI; DESILVA; AMAROWICZ; 2003) e sua composição nutricional pode ser conferida na Tabela 2.

Tabela 2. Valor nutricional da semente de niger (100 g)

Componentes	Quantidades médias
Calorias	483,00 Kcal
Umidade	5,30 g 100 g ⁻¹
Proteína	23,50 g 100 g ⁻¹
Carboidrato	36,50 g 100 g ⁻¹
Fibras	11,00 g 100 g ⁻¹
Cinzas	5,85 g
Cálcio	318,50 mg
Ferro	59,50 mg
Fósforo	490,00 mg
Tiamina	27,50 mg
Riboflavina	0,38 mg
Niacina	3,66 mg

Fonte: Adaptado Ramadan; 2011; Thatte, Lakshmi; 2011.

Em se tratando do teor de ferro, mineral pouco biodisponível ao celíaco, a semente de niger possui valores significativos, entre 57-62 mg em 100 g de farinha. Tais valores são aproximadamente seis vezes maiores do que os valores encontrados no feijão tipo “carioca” (9,31 mg por 100g de feijão) (TRATTE; LAKSHMI; 2012; (MOURA; CANNIATTI-BRAZACA; 2006).

Os níveis consideráveis de ferro, cálcio e ômega 6 (n-6) presentes na semente de niger, podem auxiliar o paciente celíaco no suprimento desses nutrientes, visto que o mesmo possui dificuldade de absorção de minerais e vitaminas, o que pode causar anemia, osteoporose e *déficit* de vitaminas lipossolúveis (LIU, *et al*; 2014; SILVA, FURNALETTO; 2010).

A utilização das sementes de niger na alimentação humana é limitada, pois a coloração escura e alta concentração de fibras faz o consumidor optar por sementes mais claras e cotidianas. Porém, por ser oleaginosa, a utilização da farinha de niger pode ser uma excelente opção para enriquecimento nutricional de refeições, o que aumenta o aporte calórico, de ferro, proteínas, antioxidantes, bem como melhorias de efeito de textura no alimento (RAMADAN; 2011).

Há relatos que demonstram que o óleo contido na semente de niger é extraído para consumo humano à cerca 5000 anos e se assemelha ao óleo de gergelim ou

azeite de oliva, sendo utilizados para fins culinários ou farmacêuticos (THATTE; LAKSHMI; 2012).

No Brasil, as sementes de niger são comercializadas em sua grande maioria, como ração para pássaros, porém algumas pessoas utilizam o broto como alimento (KINUPP; LORENZI; 2014). Não há relatos da sua utilização na forma de farinha para enriquecimento de produtos.

3.4.2 Alpiste (*Phalaris canariensis*)

Outro componente funcional que pode auxiliar no enriquecimento de alimentos para celíacos é a farinha de sementes de alpiste (*Phalaris canariensis*) (Figura 7), pertencente à família das gramíneas, natural da região do Mediterrâneo. Antes da década de 90, o alpiste não era considerado viável ao consumo humano em virtude das espículas (pelos na casca do grão), as quais causam irritação quando entram em contato com a pele ou pulmão humano, além de ser associado ao câncer de esôfago. Porém, este problema foi resolvido a partir da mutagênese para criar sementes de alpiste sem pelos (ESTRADA-SALAS *et al*; 2013).



Figura 7. (a) Folha do Alpiste; (b) Sementes do alpiste.

Fonte: <http://www.biopix.com>

As sementes de alpiste podem ser utilizadas como plantas ornamentais nas regiões tropicais e temperadas do mundo, além de alimentação para pássaros e matéria-prima para cola nas indústrias têxteis. Sua utilização na alimentação humana

se dá a partir do uso em sopas, doces e pastéis, sendo mais utilizada no oriente (BALBI *et al*; 2008).

No que se refere aos ácidos graxos, 55% é constituído de ácido linoleico (n-6), 29% de ácido oleico (n-9), 11% de ácido palmítico e 2,5% de ácido linolênico (n-3) (ABDEL-AAL; HUCL; SOSULSKI; 1997). A Tabela 3 demonstra a composição nutricional da semente de alpiste.

Segundo Abdel-Aal e colaboradores (2011), o alpiste possui níveis significativos de triptofano (2,8 g por 100 g de alpiste), se comparado a 1,1g/100g da farinha de trigo. A farinha de alpiste destaca-se como opção saudável para o preparo de pães, visto que seu teor de amido é menor se comparado ao trigo (55% no alpiste para 73% no trigo).

Tabela 3. Valor nutricional da semente de alpiste (100 g)

Componentes	Quantidades médias/ 100 g de sementes de alpiste
Amido	55,80 g
Proteína	22,70 g
Ácidos graxos	7,70 g
Fibras	5,90 g
Cinzas	2,30 g
Cálcio	40,00 mg
Ferro	6,50 mg
Fósforo	64,00 mg
Tiamina	0,85 mg
Riboflavina	0,16 mg
Niacina	0,68 mg

Fonte: ABDEL-AAL *et al*, 2011; COGLIATTI, 2012.

O alpiste também contém quantidades altas de carotenoides como a luteína (2.667-3370 µg / kg) e betacaroteno (4946 µg / kg), se comparado ao trigo, que possui 674-2111 µg / kg e 176-362 µg / kg, respectivamente (LI *et al*; 2012; OKARTER *et al*; 2010). Tais carotenoides são antioxidantes naturais que auxiliam na prevenção de doenças crônico-degenerativas e devem ser obtidos a partir da dieta. A luteína tem papel na saúde dos olhos e pele por constituir os pigmentos na retina humana. O betacaroteno desempenha importante papel na biossíntese de vitamina A fator essencial na reprodução celular (LI *et al*; 2012).

Por não possuir frações de glúten na composição, a farinha de alpiste pode ser utilizada para enriquecer preparações como pães e biscoitos (ABDEL-AAL, *et al*; 2011; SOTILES *et al*; 2015). Segundo Abdel-Aal e colaboradores (2011), pães realizados com até 25% de sementes de alpiste apresentaram características reológicas como cor do miolo, crosta e volume específico semelhantes aos pães de forma feitos somente com farinha de trigo.

3.4.3 Maca peruana (*Lepidium meyenii*)

A maca peruana (*Lepidium meyenii*) é um tubérculo nativo da região Andina, que possui propriedades medicinais que auxilia no tratamento da osteoporose, câncer

de próstata, infertilidade, depressão, fadiga e anemia (GONZALES, *et al*; 2014). Sua composição nutricional demonstra valores significativos de proteínas e minerais (Tabela 4).

Consumida pelos povos andinos desde os anos 4000 a 1200 a.C, a maca tem suas raízes utilizadas na forma desidratada, cozida, crua, ou na forma de farinha (Figura 8) (PINA-FIGUEROA, NGUYEN, MAHER; 2010). A maca também é consumida fervida com água ou leite e adicionada a bebidas como sucos, coquetéis, bebidas alcoólicas e até junto ao café (WANG *et al*; 2007).



Figura 8. Raízes de maca peruana crua e na forma de farinha.

Fonte: <http://www.biopix.com>

No que se refere à benefícios terapêuticos, a maca peruana destaca-se por apresentar funções antioxidantes, onde seus polissacarídeos demonstraram ser captadores de radicais livres hidroxila e radicais superóxidos, podendo ser comparada ao chá verde (ZHAA *et al*; 2014).

No que tange a melhoria da fertilidade, Gonzales e colaboradores (2014), relataram que a maca possui compostos funcionais similares aos efeitos da testosterona no controle biológico do corpo e estimula a espermatogênese e atividade sexual, devido efeito direto dos extratos da maca na secreção de hormônios sexuais.

A maca também é utilizada como reguladora de problemas como anemia, menopausa e desequilíbrio hormonal feminino (PENAGOS, VASQUEZ, MENACHO; 2015). Lee e colaboradores (2011) comprovaram que extratos da maca reduziram efeitos colaterais da menopausa e demonstrou aumento da densidade mineral óssea na região lombar de ratas inférteis (sem ovários). Tais resultados foram possíveis em função dos efeitos de fitoesteróis e fitoestrogênios contidos na maca.

Além das funções terapêuticas citadas, a farinha de maca peruana pode ser utilizada como ingrediente funcional na composição de pães sem glúten, visto que o público celíaco possui dificuldades de absorção de nutrientes como cálcio, sendo este

composto presente em quantidades significativas na maca (PENAGOS, VÁSQUEZ, MENACHO; 2014).

Tabela 4. Valor nutricional da farinha de maca peruana (100 g)

Componentes	Quantidades médias/ 100 g de farinha de maca peruana
Calorias	158 kcal
Proteína	8,87 – 11,60%
Ácidos graxos**	1,09 – 2,20 %
Carboidratos	54,60 – 60,00 %
Sacarose*	23,40 %
Glucose*	1,55 %
Oligossacarídeos*	4,56 %
Polissacarídeos*	30,40 %
Fibras	8,23 – 9,08 %
Cinzas	5,00 %
Cobre	5,90 mg
Fósforo	183,00 mg
Cálcio	150 - 2050 mg
Ferro	16,60 mg
Zinco	3,80 mg

*Frações de carboidratos.

** Da quantidade relatada, 53 a 60% dos ácidos graxos são compostos de ácido linoleico e ácido oleico (PENAGOS, VÁSQUEZ, MENACHO; 2014).

Fonte: WANG *et al*; 2007; PENAGOS, VÁSQUEZ, MENACHO; 2014.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIE, Valérie et al. Integration of genetic and immunological insights into a model of celiac disease pathogenesis. **Annual Review of Immunology**; v. 29; n.1; p.493-525; 2011.

ABDEL-AAL, El Sayed. M.; HUCL, Pierre. J.; SOSULSKI, Frank.W. Structural and Compositional Characteristics of Canaryseed (*Phalaris canariensis* L.). **Journal Agricola. Food Chem**; n.45; p.3049-3055, 1997.

ABDEL-AAL, El Sayed et al. Microstructure and nutrient composition of hairless canary seed and its potential as a blending flour for food use. **Food Chemistry**. n.125, 410–416, 2011.

ARENDT Elke et al. **Gluten free bread- Gluten-free cereal products and beverages**. Cap 13. p. 289-311. Oxford, UK; Elsevier; 2008.

ASSOCIAÇÃO DOS CELÍACOS DO BRASIL (ACELBRA). **Dados estatísticos: Quais produtos você gostaria de encontrar com facilidade**. Disponível em: <<http://www.ancelbra.org.br/2004/estatisticas.php>> Acesso em: 17/08/2016.

ARAÚJO, Halina M. C. et al. Coeliac disease. Following the diet and eating habits of participating individuals in the Federal District, Brazil. **Appetite**. v.57, p.105-109, 2011.

BAI, Julio.C et al. **A. Doença Celíaca. World Gastroenterology Organisation Global Guidelines**; 2012.

BALBI, Ana Paula.C.et al. Efeito hipotensor do extrato aquoso de alpiste (*Phalaris canariensis* L.) em ratos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.10, n.3, p.51-56, 2008.

BARADA, Kassem et al. Celiac disease in the developing world. **Gastrointestinal Endoscopy Clinics of North America**. v.22, p.773-796; 2012.

BARDELLA, Maria.T et al. Silent celiac disease is frequent in the siblings of newly diagnosed celiac patients. **Digestion: International Journal of Gastroenterology**; v. 75; n. 4; p.182-187; 2007.

BIOPIX. **Digital Nature Photos**. < <http://www.biopix.com>> Acesso em: 17/08/ 2016.

BOBBIO, Paulo. A.; BOBBIO, Florinda. O. **Química de Processamento de Alimentos**. 3. ed., São Paulo: Varela, p. 232; 1992.

BOICE, Joshua. A. et al. Guidelines for the diagnosis and management of food allergy in the United States: report of the NIAID-sponsored expert panel. **Journal Allergy Clinic Immunology**; v. 126; p. 1-58; 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Lei nº 10.674, de 16 de maio de 2013**. Disponível em:
<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/e62b4c804745968e9e65de3fbc4c6735/lei_10674.pdf?MOD=AJPERES> Acesso em: 17/08/ 2016.

CAPRILES, Vanessa. D.; ARÊAS, José. A. G. Avanços na produção de pães sem glúten: aspectos tecnológicos e nutricionais. **Brasil CEPPA**, Curitiba, v. 29, n. 1, p. 129-136; 2011.

CAUVAIN, Stanley P., YOUNG, Linda S. **Tecnologia da Panificação**. Editora Manole; 2º edição; São Paulo; p.91; 2009.

COGLIATTI, Maximiliano. Canaryseed Crop. **Scientia Agropecuaria**. v. 3, n. 1, p. 75-88, 2012.

COSTA, Laiana. O. et al. Elaboração e aceitabilidade de pão enriquecido com farinha de linhaça e cenoura. **Rev. Engenharia e Tecnologia de Alimento** - XX Congresso Brasileiro de Eng Química; 2014

DELCOUR, Jan A. et al. Wheat Gluten Functionality as a Quality Determinant in Cereal-Based Food Products; **Annual Review of Food Science and Technology**; n. 3; p. 469–92; 2012.

EL-DASH, Ahmed. A. Fundamentos da tecnologia de panificação: tecnologia agroindustrial. São Paulo: **Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia**. 347 p.1986

ELGETI, Dana et al. Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour. **Journal of Cereal Science**; v. 59, n. 1, p. 41-47, 2014.

ESTRADA-SALAS, Patricia et al. Characterization of Antidiabetic and Antihypertensive Properties of Canary Seed (*Phalaris canariensis* L.) Peptides. *Journal. Agricultural Food Chemistry.*; n.62; p. 427–433; 2014.

FASANO, A. et al. Prevalence of celiac disease in at-risk and not-at-risk groups in the United States: a large multicenter study. *Archives of Internal Medicine.* v. 163; p. 286-92; 2003.

GALLAGHER, Eimear.; GORMLEY, Ronan T.; ARENDT, Elke. K. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*; v. 15, n. 3, p. 143-152, 2004.

GELETA, Mulatu.; STYMNE, Sten.; BRYNGELSSON, Tomas. Variation and inheritance of oil content and fatty acid composition in niger (*Guizotia abyssinica*). *Journal of Food Composition and Analysis*; n. 24; p.995–1003; 2011.

GENET, Tsige. Path Coefficient Analysis in Ethiopian Noug (*Guizotia abyssinica* Cass.); *The Ethiopian Journal of Science and Technology*; v. 1; n. 5; p. 57-67; 2007.

GONZALES, Gustavo F. et al. Maca (*Lepidium meyenii* WALP), una revisión sobre sus propiedades biológicas. *Revista. Peruana de Medicina. Experimental y. Salud Publica*; n. 31; v. 1; p. 100-110; 2014.

GISSLEN, Wayne. *Panificação e Confeitaria Profissionais*. 5. ed. Barueri: Manole; p. 770; 2011.

HOROWITZ, See. Celiac disease: new directions in diagnosis, treatment, and prevention. *Alternative and Complementary Therapies*, v.17; n.2; 2011.

HORSTMANN, Stefan W. et al. Fundamental Study on the Impact of Gluten-Free Starches on the Quality of Gluten-Free Model Breads. *Foods*; v.5; n.2; 2016.

HOUBEN, Andreas, HOCHOTTER, Agnes, BECHER, Thomas. Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview; *European Food Research and Technology*; v. 235; p. 195-208; 2012.

KINUPP, Valdely.F.; LORENZI, Harri. *Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) no Brasil – guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas*. Editora Instituto Plantarum de Estudos da Flora; São Paulo; 2014.

LEE, Myeong S. et al. Maca (*Lepidium meyenii*) for treatment of menopausal symptoms: A systematic review; **The European Menopause Journal**; v. 70; p. 227-233; 2011.

LI, Wend. et al. The analysis of phenolic constituents in glabrous canaryseed groats. **Food Chemistry**, v.127, p. 10–20; 2011.

LIU, Shinfay. M et al. Doença Celíaca. **Revista de Medicina Minas Gerais**; v. 24; n. 2; p. 38-45; 2014.

MATOS, Maria E.; ROSELL, Cristina M. Relationship between instrumental parameters and sensory characteristics in gluten-free breads. **European Food Research and Technology**, v.235, n.1, p.107-117, 2012.

MARSH, Michael. N. Mucosal pathology in gluten sensitivity. In: MARSH M. N. **Coeliac disease**.p. 136-91; 1992.

MOURA, Neila, C. de; CANNIATTI-BRAZACA, Solange, G. Avaliação da disponibilidade de ferro de feijão comum (*Phaseolus vulgaris L.*) em comparação com carne bovina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**; v. 26; n. 2; p. 270-276; 2006.

NASCIMENTO, O. Kamila.; BARBOSA, Maria. I. M. J.; TAKEITI, Cristina. Y. Doença Celíaca: Sintomas, Diagnóstico e Tratamento Nutricional. **Saúde Revista., Piracicaba**; v. 12; n. 30; p. 53-63; 2012.

NERY, Tatiana B. R. et al. Biossíntese da goma xantana a partir da fermentação do soro de leite: rendimento e viscosidade. **Química Nova**; v.31 n.8;2008.

OKARTER, Neal et al. Phytochemical content and antioxidant activity of six diverse varieties of whole wheat. **Food Chemistry**, v.119, p. 249–257; 2010.

OSUNA, Mariana. B et al. Improvement of Fatty Acid Profile and Studio of Rheological and Technological Characteristics in Breads Supplemented with Flaxseed, Soybean, and Wheat Bran Flours. **The Scientific World Journal**; p. 1-10; 2014.

PAGAMUNICI, Lilian, M. et al. Development, characterization and chemometric analysis of a gluten-free food bar containing whole flour from a new cultivar of amaranth. **Revista Ciência e Agrotecnologia**; v.38; n.3; p. 270-277; 2014.

PENAGOS, Gabriel S.; VÁSQUEZ, Suzan. L., MENACHO, Luz. M.P. Study of Maca (*Lepidium meyenii*), Andean crop with therapeutic properties. **Scientia Agropecuaria** v.6; n.2; p.131 -140 (2015).

PEREIRA, Beatriz S et al. Análise físico-química e sensorial do pão de batata isento de glúten enriquecido com farinha de chia. **DEMETRA: Alimentação, Nutrição & Saúde**. Rio de Janeiro, v.8, n. 2, p. 125-136, 2013.

PHILIPPI, Sonia T. **Nutrição e técnica dietética**. 2 ed. Barueri: Manole, 2006.

PINO-FIGUEROA, Alejandro.; NGUYEN, Diane.; MAHER, Timothy. J. Neuroprotective effects of *Lepidium meyenii* (Maca). **Annals of the New York Academy of Sciences**. n. 1199; p. 77–85; 2010.

RAMADAN, Mohamed. Functional properties, nutritional value and industrial applications of niger oilseeds (*Guizotia abyssinica* Cass.). **Critical Reviews in Food science and Nutrition**; v. 52, p. 1–8; 2012.

ROSSI, Maria.; SCHWARTZ, K. B. Editorial: Celiac disease and intestinal bacteria: not only gluten? **Journal of Leukocyte Biology**; v. 87; n.5; p.749-751; 2010.

RUBIO-TAPIA, Alberto et al. Increased prevalence and mortality in undiagnosed celiac disease. **Gastroenterology**; v.137; n.1, p.88-93; 2009

SATURNI, Letizia; FERRETTI, Giana; BACCHETTI, Tiziana. The Gluten-Free Diet: Safety and Nutritional Quality. **Nutrients**; v.2; p. 16-34; 2010.

SCIARINI, Lorena, S. et al. Effect of hydrocolloids on gluten-free batter properties and bread quality. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n. 11, p. 2306–2312, 2010.

SILVA, Tatiana, S. da G.; FURLANETTO, Tania. W. Diagnóstico de Doença Celíaca em adultos. **Revista. Associação. Médica Brasileira**; v.56; n.1; p. 122-126; 2010.

SEGURA, Maria Estela,M., ROSELL, Cristina.M. Chemical Composition and Starch Digestibility of Different Gluten-free Breads; **Plant. Foods Human. Nutrition.**; v.66; p.224–230; 2011.

SHAHIDI, Fereidoon; DESILVA, Cyril; AMAROWICZ, Ryszard. Antioxidant activity of extracts of defatted seeds of niger (*Guizotia abyssinica*). **Journal of the American Oil Chemists' Society**. v. 80; p. 443–450; 2003.

SINGH, John.; WHELAN, Kevin. Limited availability and higher cost of gluten-free foods. **Journal of Human Nutrition and Dietetics**. v.24, p.479-486, 2011.

SOTILES, Anne. R. et al. Technological use of green banana and birdseed flour in preparing cookies. **Acta Scientiarum. Technology**. v 37, n. 4, p. 423-429; 2015.

STORK, Catia. R. et al. Características tecnológicas de pães elaborados com farinha de arroz e transglutaminase. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 2, p. 71-77, 2009.

TEDRUS, Guilherme de A. S. et al. Estudo da adição de vital glúten à farinha de arroz, farinha de aveia e amido de trigo na qualidade de pães. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**; Campinas, v.21; n.1; p. 20-25; 2001.

THATTE, Prachi; LAKSHIMI, Jyothi A. Nutritional potential, bioaccessibility of minerals and antioxidant properties of niger (*Guizotia abyssinica*.) seed protein. **International Journal of Food Science and Technology**; v. 47; p. 656–663; 2012.

THOMPSON, T. et al. Gluten-free diet survey: are Americans with coeliac disease consuming recommended amounts of fibre, iron, calcium and grain foods? **Journal. Humane. Nutrition. Dietetics**. v. 18; p. 163-9; 2003.

WANG, Yali et al. Maca: An andean crop with multipharmacological functions. **Food Research International**; v.40; p.783–92; 2007.

WALKER, Marjorie.M.; TALLEY, Nicholas.J. Clinical value of duodenal biopsies – Beyond the diagnosis of celiac disease. **Pathology, research and practice**, v.207; n.9; p.538-544; 2011.

YADAV, Sangita; et al. **Biomass and Bioenergy**. v. 43; p. 72-78; 2012.

ZHAA, Shenghua et al. Extraction, purification and antioxidant activities of the polysaccharides from maca (*Lepidium meyenii*). **Carbohydrate Polymers**; v.111; p. 584 – 587; 2014.

APRESENTAÇÃO

Essa dissertação é composta por dois artigos científicos.

ARTIGO 1

Flora Arcanjo; Angela Claudia Rodrigues. Aplicação de delineamento de misturas no desenvolvimento de pão sem glúten enriquecido com maca peruana (*Lepidium meyenii*). LWT – Food Science and Technology.

ARTIGO 2

Flora Miranda Arcanjo; Angela Claudia Rodrigues. Aplicação de delineamento de misturas em pão sem glúten contendo plantas alimentícias não convencionais: Alpiste (*Phalaris canariensis*) e niger (*Guizotia abyssinica*).

ARTIGO 1

Aplicação de delineamento de misturas no desenvolvimento de pão sem glúten enriquecido com maca peruana (*Lepidium meyenii*).

Flora Miranda Arcanjo^a, Angela Claudia Rodrigues^{b*}.

^aMestranda no Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UTFPR), Medianeira, Paraná. CEP: 85.884-000, Brasil.

^bProfessora do Departamento de Química da Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UTFPR), Medianeira, Paraná, CEP 85.884-000, Brasil.

1 **APLICAÇÃO DE DELINEAMENTO DE MISTURAS NO**
2 **DESENVOLVIMENTO DE PÃO SEM GLÚTEN ENRIQUECIDO COM MACA**
3 **PERUANA (*LEPIDIUM MEYENII*)**

4
5 Flora Miranda Arcanjo^a, Angela Claudia Rodrigues^{b*}

6
7 ^aDepartment of Food, Federal Technological University of Paraná (UTFPR), Medianeira,
8 Paraná, P.O. Box: 271, Postal Code 85.884-000, Brazil.

9 ^bDepartment of Chemistry, Federal Technological University of Paraná (UTFPR),
10 Medianeira, Paraná, P.O. Box: 271, Postal Code 85.884-000, Brazil.

11
12 ***Corresponding Author**

13 Angela Claudia Rodrigues

14 Graduate Program in Food Technology, Federal Technological University of Paraná
15 (UTFPR), Medianeira, Paraná, P.O. Box: 271, Postal Code 85.884-000, Brazil.

16 e-mail: angelac.utfpr@gmail.com

17 Phone: +55 45 99911-7937

18

19

20

21

22

23

24 **Resumo**

25 O objetivo do estudo foi aplicar o planejamento de misturas, com pseudocomponentes
26 para desenvolver e avaliar as propriedades do pão isento de glúten enriquecido com maca
27 peruana. As farinhas de maca peruana, fécula de batata, polvilho doce e azedo, foram
28 modeladas e investigadas as respostas de volume específico, perfil de textura, aspectos
29 sensoriais e nutricionais, a fim de obter a melhor formulação. Todas as formulações
30 obtiveram pães com crostas douradas, brilhantes, homogêneas, espessuras finas,
31 consistentes e bem definidas. O modelo especial cúbico foi aplicado para o volume
32 específico, dureza, mastigabilidade e gomosidade. Os coeficientes de determinação
33 elevados mostram que os modelos foram bem ajustados e há uma boa explicação dos
34 fenômenos na região avaliada, com significativa contribuição de maca peruana. De
35 acordo com fator desejabilidade, a formulação com 25,00% de maca peruana, 50,00% de
36 amido de batata, 25,00% de polvilho doce e sem polvilho azedo, foi o pão com melhores
37 características físicas e os atributos sensoriais variam de gostei ligeiramente a gostei
38 moderadamente. Os parâmetros higiênico-sanitários foram satisfatórios no pão com alto
39 aporte nutricional.

40

41 **Palavras-chave:** Doença celíaca, Planejamento de Misturas, Textura, Maca peruana

42

43

44

45

46

47

48 **1.Introdução**

49

50 A doença celíaca é uma intolerância à ingestão do glúten desenvolvida por indivíduos
51 geneticamente predispostos, que causa processos inflamatórios no intestino delgado,
52 promove a atrofia das vilosidades intestinais, má absorção de nutrientes e sintomas como
53 distensão abdominal, flatulência, anemia ferropriva, osteoporose, entre outros (Silva &
54 Furnaletto, 2010). O glúten subdivide-se em duas frações de acordo com a solubilidade:
55 a glutenina e gliadina, que possuem a propriedade de formar, juntamente com a água,
56 uma substância viscoelástica, insolúvel em água, responsável pela textura de massas e
57 pães (Nascimento, Barbosa & Takeitti, 2012). A melhoria dos sintomas da doença celíaca
58 se dá com a exclusão do glúten da dieta e portadores de doença celíaca necessitam
59 compensar a dificuldade de absorção de nutrientes, ingerindo alimentos ricos em
60 vitaminas e minerais, sendo assim, o enriquecimento de farinhas e amidos que são base
61 das preparações sem glúten, podem melhorar a saúde desses indivíduos, visto que estes
62 ingredientes não são comumente enriquecidos ou fortificados (Sciarini et al., 2010). Os
63 carboidratos consumidos na dieta *gluten-free* são em sua maioria, refinados, ou seja, a
64 camada exterior do grão, onde contém maior quantidade de fibras e minerais, é removido,
65 deixando apenas a camada interior, normalmente pobre em nutrientes (Saturni, Ferretti &
66 Bacchetti, 2010).

67 O pão, por ser o alimento mais importante dentre os produtos sem glúten, torna-se um
68 grande desafio para a Tecnologia de Alimentos desenvolvê-lo com alta qualidade
69 (Paciulli et al., 2016). No que se refere às características físicas e sensoriais, a massa sem
70 glúten possui estrutura fraca e tecnologicamente difícil de ser trabalhada, sendo assim,
71 um grande número de farinhas, amidos, enzimas, proteínas, hidrocoloides, têm sido

72 utilizados para imitar as características do glúten, melhorando a aceitabilidade do produto
73 (Pelegri & Augostone, 2015). No enriquecimento das farinhas para pão sem glúten,
74 constituídas na maioria das vezes por amido de arroz, fécula de batata e polvilho (doce
75 ou azedo), pesquisadores comprovam resultados significativos no uso de farinhas das
76 sementes de chia, linhaça, quinoa, amaranto e soja como estratégia para aumento de
77 ácidos graxos, fibras, proteínas e minerais. (Pereira et al, 2013; Costa et al, 2014; Elgeti
78 et al, 2014; Farfán, Marcílio, Spehar, 2005; Osuna et al, 2014).

79 Um componente funcional que pode auxiliar no enriquecimento de pães sem glúten, é a
80 farinha das raízes de maca peruana (*Lepidium meyenii*), um tubérculo nativo da região
81 Andina, que possui propriedades medicinais, auxiliando no tratamento da osteoporose,
82 câncer de próstata, infertilidade, depressão, fadiga e anemia (Gonzales et al, 2014). Seu
83 consumo data de 4000 a.C., sendo utilizada em sua forma desidratada, cozida, crua ou na
84 forma de farinha (Pina-Figueroa, Nguyen & Maher, 2010). A maca peruana destaca-se
85 por apresentar funções antioxidantes, onde seus polissacarídeos demonstraram ser
86 captadores de radicais livres hidroxila e radicais superóxidos, podendo ser comparada ao
87 chá verde (Zhaa et al, 2014), além de possuir em média 16 mg de ferro e 150 mg - 2050
88 mg de cálcio em 100 g de produto (Penagos, Vásquez, Menacho, 2014). O objetivo deste
89 estudo foi elaborar pão sem glúten enriquecido com farinha de maca peruana (*Lepidium*
90 *meyenii*) através do planejamento de misturas com pseudocomponentes, para indivíduos
91 celíacos e analisar as características físicas, químicas e sensoriais deste produto em um
92 processo interativo de otimização da melhor formulação.

93

94 **2. Material e Métodos**

95 *2.1 Material*

96 Os ingredientes das formulações dos pães foram: farinha de maca peruana, farinha de
97 arroz, polvilho doce, polvilho azedo, fécula de batata, açúcar, sal, ovos, óleo de girassol,
98 água, fermento biológico seco e os hidrocoloides goma xantana e
99 hidroxipropilmetilcelulose (HPMC). Todos os ingredientes foram adquiridos no
100 comércio local na cidade de Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. Os equipamentos e utensílios
101 utilizados foram: balança semi-analítica (SHIMADZU / BL 3200H), batedeira planetária
102 (Arno 400W), com probe em formato de gancho, estufa de fermentação (Perfecta/Modelo
103 Vipão 1.9), forno industrial elétrico (Perfecta/Modelo Vipão 1.9), facas, colheres e formas
104 de alumínio para pão, nas seguintes dimensões 11 cm de largura x 9,5 cm de altura e,
105 bacias poliméricas.

106

107 *2.2. Análise de viscosidade das farinhas de maca peruana*

108 Foram avaliadas as viscosidades de duas marcas de farinha de maca peruana (marca A e
109 B), com o intuito de escolher a farinha que contribuísse para melhoria dos atributos
110 volume específico e perfil de textura dos pães sem glúten. Para análise da viscosidade
111 foram pesados separadamente 5,00 g de cada marca de farinha de maca peruana (A e B)
112 em bécheres, e solubilizou-se em 50 mL de água à 90 °C. Após a diluição, as soluções
113 foram homogeneizadas com bastão de vidro, por 30 segundos e deixadas em repouso até
114 atingirem a temperatura de 25°C. A solução com a farinha de maca A foi colocada no
115 aparelho viscosímetro (Brookfield DV III Ultra), com spindle de ASC4 – 25 e variação
116 das rotações em 50, 100 e 150 RPM (Rotações por minuto). A solução com farinha B foi
117 analisada no mesmo viscosímetro, modificado o spindle para ASC4-31, variando as
118 rotações em 50, 100 e 150 RPM. Foram utilizados spindles de calibres diferentes para as
119 farinhas devido a diferença de viscosidade entre elas.

120

121 *2.3 Delineamento experimental*

122 Avaliação da influência da incorporação de maca peruana nos seguintes parâmetros:
123 volume específico, dureza, coesividade, elasticidade, adesividade, mastigabilidade,
124 viscosidade e gomosidade, através de um delineamento de misturas com quatro
125 pseudocomponentes e ponto centroide no desenvolvimento de pão isento de glúten. O
126 percentual de cada uma das variáveis foi calculado em relação à proporção de farinha
127 mista e as formulações foram realizadas aleatoriamente, em duplicata, seguindo a matriz
128 do planejamento de misturas conforme a Tabela 2 (Anexo 5).

129

130 *2.4. Processamento das formulações*

131 As formulações continham como base a farinha mista composta pela farinha de arroz
132 (52% fixos = 75,4 g), amido de batata (variação de 36% a 12% = 52,2 g a 17,4 g), polvilho
133 doce (variação de 12% a 0% = 17,4 g a 0 g), polvilho azedo (variação de 12% a 0% =
134 17,4 g a 0 g) e farinha de maca peruana (variação 36% a 12% = 52,2 g a 17,4 g) de acordo
135 com o delineamento de misturas (Tabela 1 – Anexo 4). Os demais ingredientes que
136 compuseram o pão permaneceram fixos e suas concentrações foram calculadas com base
137 no total de farinha mista (145 g = 100% de farinha mista) foi de 15,00 g de açúcar
138 (10,3%), 1,50 g de sal (1,03%), 2,50 g de fermento biológico seco (1,74%),
139 hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) 0,875 g (0,60%), 2,50 g de goma xantana (1,74%),
140 50,00 g de água (34,48%), 18,75 g de óleo de girassol (12,93%) e 50,00 g de ovos
141 (34,48%).

142 Os ingredientes secos foram pesados e misturados manualmente por 30 segundos em
143 seguida adicionados os líquidos (a água adicionada foi aquecida a 38 °C), em que a

144 mistura ocorreu com uso da batedeira com misturador de massas médias na velocidade 5,
145 por 1 minuto. Em seguida, foi acrescentado o fermento (dissolvido em 10 mL de água a
146 38 °C) e misturado à massa, com auxílio da batedeira, na velocidade 1, por 2 minutos.
147 Após essa etapa, a massa foi moldada em formas de alumínio retangulares, previamente
148 untadas com banha de porco, e mantidas em ambiente com umidade (80% de umidade
149 relativa do ar) controlada por 50 minutos a 40 °C (processo de fermentação da massa) e
150 depois assadas em forno pré-aquecido a 180 °C por 20 minutos. As amostras foram
151 armazenadas em caixas de polipropileno antes das análises.

152

153 *2.5 Composição centesimal*

154 A medição da umidade e do teor de matéria volátil (método nº 925.10), da cinza (método
155 nº 923.3) e da proteína bruta (método nº 920.87) seguiu as técnicas descritas pelo método
156 da Associação de Analíticos Oficiais (AOAC, 1995), com um fator de 6,25 para converter
157 o teor de nitrogênio em proteína bruta. Os lipídeos totais foram extraídos e determinados
158 de acordo com Bligh e Dyer (1959). O carboidrato total foi calculado por diferença, de
159 acordo com a Equação 1.

160

Equação 1

161
$$\text{Carboidrato} = 100 - (\text{Proteína bruta} + \text{cinzas} + \% \text{ de água} + \text{lipídeos totais})$$

162

163 *2.6. Volume específico*

164 O volume específico (mL g⁻¹) dos pães foi obtido através do método de deslocamento de
165 semente de painço (El-Dash, Camargo, & Diaz, 1982). Foi calculado a razão entre o
166 volume (mL⁻¹) e a massa do pão (g), 1 (uma) hora após o assamento.

167 *2.7. Perfil de textura*

168 O perfil de textura dos pães foi obtido pelo método TPA (Texture Profile
169 Analysis) que analisou os parâmetros de dureza, coesividade, elasticidade, adesividade,
170 mastigabilidade, viscosidade e gomosidade dos pães (Szczesniak, 2002). O Texturômetro
171 TA-XT2i (Stable Micro Syste) foi utilizado, conforme o método proposto pela AACC
172 74-09 (AACC, 1995). Os pães foram fatiados (2,50 mm de espessura) e as fatias externas
173 de ambas as laterais foram descartadas. As amostras foram comprimidas até 40% da altura
174 com um probe cilíndrico de 36,00 mm de diâmetro, velocidade de pré-teste, teste e pós-
175 teste de 1,00, 1,70 e 10,00 mm s⁻¹, respectivamente, força de gatilho 5,00 g. Para cada
176 pão, foram realizadas 2 (duas) repetições. Este teste foi realizado 1 hora após o pão ter
177 sido assado.

178

179 *2.8. Análise sensorial e Comitê de ética.*

180 Os testes de aceitação foram aplicados às formulações de pão sem glúten, com atributos
181 de aroma, cor, sabor, textura e aceitação global. Uma equipe de 112 provadores
182 voluntários, não treinados, não consumidores de produtos sem glúten, com idade acima
183 de 18 anos de ambos os sexos, avaliou as amostras usando uma escala hedônica de 9
184 pontos (1 = desgostei muitíssimo a 9 = gostei muitíssimo, Dutcosky, 2011). A água foi
185 fornecida aos provadores para lavar a boca entre as avaliações. O teste sensorial foi
186 previamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo seres humanos da
187 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, número 013192/2016.

188

189 *2.9 Análises microbiológicas*

190 De acordo com a Instrução Normativa nº 62 (Ministério da Agricultura, 2003), dentro dos
191 parâmetros da Resolução RDC nº 12 (BRASIL, 2001), foram realizadas análises dos

192 coliformes a 45 °C; *Salmonella sp* e estafilococos coagulase positivos, a fim de verificar
193 o cumprimento das condições sanitárias aplicáveis à preparação de alimentos para
194 consumo humano.

195

196 *3.0 Análises estatísticas e multivariadas*

197 O planejamento de misturas foi constituído de pontos experimentais, com
198 repetição de quatro pontos, sendo um destes o ponto centroide e, os valores obtidos
199 representam a média de quatro repetições para cada mistura realizada através dos
200 parâmetros de qualidade avaliados. Primeiramente foram obtidos os valores dos efeitos
201 principais, interações e análise de variância (ANOVA). Posteriormente, a normalidade e
202 a homogeneidade de variância dos resíduos foram verificadas. Procedeu-se com a análise
203 de variância (ANOVA entre os grupos) para todas as respostas investigadas. O somatório
204 de todos os componentes deverá ser igual a 100%. O modelo matemático básico para
205 ajustar os dados no planejamento de misturas está demonstrado na Equação 4:

206

Equação 4

207

$$x_1 + x_2 = 1$$

208 O presente estudo aplicou a técnica dos pseudocomponentes devido a necessidade de
209 restringir as proporções dos quatro componentes, que perfazem a mistura, na produção
210 do pão isento de glúten com maca peruana. Esses intervalos foram necessários por
211 motivos técnicos, no final o intervalo fechado foi entre 0 e 1. Desta forma foi obtido um
212 espaço experimental através de uma sub-região da região investigada inicialmente. É
213 recomendado que o modelo cúbico ou especial cúbico, dos pontos candidatos devam
214 incluir os vértices da região, os terços das arestas, os centroides do plano das restrições,
215 o centroide geral e os pontos axiais, que são os pontos médios no intervalo do centroide

216 geral com os vértices. Abaixo a representação matemática do modelo especial cúbico para
 217 quatro pseudocomponentes, aplicado neste estudo (Equação 5):

218 Equação 5

$$219 \quad y = b_1^*x_1' + b_2^*x_2' + b_3^*x_3' + b_4^*x_4' + b_{12}^*x_1'x_2' + b_{13}^*x_1'x_3' + b_{14}^*x_1'x_4' + b_{23}^*x_2'x_3' +$$

$$220 \quad b_{24}^*x_2'x_4' + b_{34}^*x_3'x_4' + b_{123}^*x_1'x_2'x_3' + b_{124}^*x_1'x_2'x_4' + b_{234}^*x_2'x_3'x_4' + b_{1234}^*x_1'x_2'x_3'x_4'$$

221 Em que: y é a resposta esperada, b_1^*, \dots, b_{1234}^* são os termos de regressão.

222 Assim, os limites superiores e/ou inferiores nas misturas foram apresentados desta forma:

$$223 \quad 0 \leq L_i \leq x_i \leq U_i \leq 1; i = 1, \dots, q$$

224

225 Em que L_i é o limite inferior e U_i é o limite superior da proporção do componente i .

226 Para obtenção de uma resposta global foram selecionadas algumas equações, com o
 227 intuito de proceder com a otimização do experimento. Através da função de
 228 desejabilidade foi realizada a transformação de cada variável resposta (Y_i) estimada para
 229 um valor desejável (d_i), em que $0 \leq d_i \leq 1$.

230 Se o objetivo T na resposta Y_i é o valor máximo (Equação 6):

231 Equação 6

$$232 \quad d_i = \begin{cases} 0 & Y_i < L \\ \left(\frac{Y_i - L}{T - L}\right)^r & L \leq Y_i \leq T \\ 1 & Y_i > T \end{cases}$$

233

234 Se o objetivo T na resposta Y_i é o valor mínimo (Equação 7):

235

236 Equação 7

$$237 \quad d_i = \begin{cases} 1 & Y_i < T \\ \left(\frac{U - Y_i}{U - T}\right)^r & T \leq Y_i \leq U \\ 0 & Y_i > U \end{cases}$$

238

239 Em que, L é o limite inferior e U é o superior. A função de conveniência é linear quando
240 o peso r é igual a 1. Caso seja escolhido $r > 1$ há mais ênfase no valor próximo ao alvo.
241 Ao preferir $0 < r < 1$ este é menos importante. Os valores individuais de desejabilidade
242 (d_i) foram combinados através de uma média geométrica para formar uma conveniência
243 global ou geral (D). Este valor único de D $[0, 1]$ fornece a avaliação global da
244 conveniência e os níveis de resposta combinados, e D irá aumentar à medida que o
245 equilíbrio das propriedades se torna mais favorável (Derringer, Suich et al, 1980).

246 As análises estatísticas e multivariadas foram realizadas no programa software *Statistica*,
247 versão 8.0, sendo adotado o nível de 5% ($p < 0,05$) de significância para rejeição da
248 hipótese de nulidade em todas as análises.

249

250 **3. Resultados e discussões**

251 *3.1 Viscosidade das farinhas de maca peruana*

252 As marcas A e B das farinhas de maca peruana apresentaram diferença significativa entre
253 as viscosidades. A farinha A apresentou viscosidade de $2,40 \pm 0,40$ mPas (a 50 RPM);
254 $3,15 \pm 0,15$ mPas (a 100 RPM) e $3,30 \pm 0,10$ mPas (a 150 RPM), e a farinha B apresentou
255 viscosidade $576,00 \pm 5,00$ (a 50 RPM), $398,30 \pm 5,00$ (a 100 RPM) e $323,00 \pm 5,00$ (a 150
256 RPM). A maca que apresentou maior viscosidade (B), não pode ser utilizada para o
257 preparo dos pães pois ao ser incorporada na massa, ela cria uma solução espessa e
258 gelatinosa que prejudica a fermentação e o crescimento do pão, tornando-o mais duro e
259 menos aerado. Para a obtenção dos pães sem glúten enriquecidos com maca peruana,
260 utilizou-se a farinha A, que apresentou menor viscosidade, pois ao ser incorporada à
261 massa, proporcionou pães mais macios e aerados, com alvéolos bem formados e miolos
262 menos densos. A interferência na viscosidade da maca peruana na massa dos pães pode

263 ser dar devido a formação de gel espessante, o que torna a massa mais condensada com
264 formação de pães menores, mais endurecidos, gomosos e menos elásticos.

265

266 *3.2 Estrutura física dos pães*

267 Todas as formulações resultaram em pães com crostas douradas, brilhantes, homogêneas,
268 com pouca espessura (finas), consistentes e bem definidas. Os resultados demonstraram
269 que a interação entre os ingredientes foi positiva para a formação deste tipo de crosta. A
270 maca peruana possui em sua composição de 54% a 60% de carboidratos totais, dentre
271 eles, 23% é composto de sacarose (Penagos, Vásquez, Menacho, 2014). Essa informação
272 pode justificar que a partir das reações de Caramelização e Maillard, a maca peruana junto
273 ao açúcar presente na massa, pode ter contribuído para a formação da crosta homogênea
274 e bem definida, com características benéficas ao pão (Figura 1 – Anexo 1). Todas as
275 formulações apresentaram a formação de miolos consistentes, homogêneos e sem buracos
276 que comprometessem a estrutura do pão. As formulações 9, 14 e 16 (que possuem maiores
277 proporções de maca peruana), apresentaram miolos com menos alvéolos, se comparados
278 às demais formulações. A formulação 9, dentre as três apresentadas, formou miolo mais
279 homogêneo, o que pode ser correlacionado à fermentação da massa que constitui, como
280 ponto decisivo na constituição dos alvéolos, etapa esta em que há retenção das bolhas de
281 CO₂ na massa (El-Dash, 2006). A presença de polvilho azedo na formulação também
282 pode ser um contribuinte na formação do miolo de qualidade, visto que é um amido
283 modificado, com propriedade de expansão sem uso de agente levedante (Cereda et al,
284 2001). Por ser uma fécula fermentada, o polvilho azedo apresenta-se mais solúvel em
285 água, com maior propriedade de adsorção de água e menos viscosidade se comparado ao

286 polvilho doce. A expansão de produtos de panificação não é obtida quando se usa a fécula
287 em seu estado natural (Sanchez, Osella, Torre, de la, 2002).

288 A matriz de ensaios realizados com as concentrações (%) das variáveis estudadas bem
289 como as respostas dos parâmetros volume específico, dureza, coesividade, elasticidade,
290 adesividade, mastigabilidade, viscosidade e gomosidade estão apresentados na Tabela 2
291 (Anexo 5). Os parâmetros coesividade, fenômeno este que mede o quanto o pão será
292 resistente à aspectos como tração da mandíbula (mordida), resistência à estresse de
293 empacotamento e transporte (Szczeniak, 2002) e elasticidade, característica esta que
294 equivale o quão resistente é a integridade estrutural do alimento quando sofre alta
295 compressão (Szczeniak, 2002), apresentaram coeficiente de determinação (R^2) de 0,57 e
296 0,49 respectivamente. Isso significa pressupor que em ambos os casos, não há uma boa
297 explicação para os modelos, sendo que o modelo linear foi o significativo, para estas
298 respostas. O conjunto de dados obtidos para as respostas adesividade e viscosidade, não
299 tiveram nenhum modelo (linear, quadrático, cúbico ou especial cúbico), que explicasse
300 os efeitos dos diferentes ingredientes nas propriedades dos pães sem glúten. Houve falta
301 de ajuste e o R^2 foi inferior a 0,30. Estes parâmetros são relevantes para o pão isento de
302 glúten adicionado de maca peruana, porém isolados, não são critérios de aumento ou
303 diminuição da qualidade (Szczeniak, 2002).

304 O modelo especial cúbico (Equação 3) foi o modelo que melhor ajustou os dados
305 encontrados o volume específico, dureza, mastigabilidade e gomosidade (Tabelas 2 e 3 –
306 Anexos 5 e 6). Os coeficientes de determinação elevados demonstram que os modelos
307 foram bem ajustados e há uma boa explicação dos fenômenos na região avaliada. Os
308 resíduos apresentaram distribuição aleatória, normalidade e homogeneidade na variância.
309 Apenas o pseudocomponente, polvilho doce (x'_3), para a mastigabilidade e gomosidade

310 não foram significativos, mas sua significância foi avaliada através das interações com os
311 demais pseudocomponentes das misturas e comprovado pelo p-valor. Verificou-se uma
312 boa correlação dos valores previstos pelos valores observados pelo modelo. Isso é
313 comprovado pelo valor de $R^2_{\text{calculado}}$ e este permitiu explicar 65% dos fenômenos
314 ocorridos no parâmetro mastigabilidade e até 94% no volume específico, dentro da faixa
315 de estudo investigada. Os efeitos principais dos pseudocomponentes (x'_1 , x'_2 , x'_3 e x'_4)
316 podem ser obtidos através da multiplicação por dois dos respectivos coeficientes de
317 regressão. O pseudocomponente x'_3 (polvilho doce) permaneceu nos modelos para
318 atender a hierarquia matemática. Devido a isto, as interações $x'_1x'_3$, $x'_2x'_3$, $x'_3x'_4$ e $x'_2x'_3x'_4$
319 foram significativas, isso demonstra que a significância do polvilho doce nas misturas
320 está contida nas interações, exceto para a mastigabilidade, quando interage com a maca
321 peruana. Entretanto, apresenta significância, pois a sua subtração compromete a
322 qualidade de explicação do modelo (R^2).

323 No volume específico a interação $x'_1x'_3x'_4$ não foi significativa, mas permaneceu no
324 modelo devido a contribuição sinérgica significativa desses pseudocomponentes, que se
325 retirada, haveria uma depreciação do coeficiente de determinação. O mesmo fenômeno
326 foi verificado na interação binária $x'_1x'_2$ (pseudocomponentes maca peruana e fécula de
327 batata) (Tabela 3 – Anexo 6). Os pães sem glúten apresentam dificuldades na expansão
328 da massa, em função de não reterem o gás formado durante o período de fermentação, o
329 que compromete o volume específico do produto. Porém a adição de amidos, como a
330 maca peruana, que devido alta quantidade de sacarose, contribui para o aumento da
331 fermentação, o polvilho doce, cumpre o papel de goma na interação entre os componentes
332 do pão, e o polvilho azedo, em virtude da sua elasticidade, auxilia na retenção do gás CO_2
333 na ampliação do volume específico (Singh, Geveke & Yadav, 2017, Paciulli et al, 2016).

334 A função de desejabilidade (Figura 2 – Anexo 2) teve como objetivo demonstrar a melhor
335 formulação através do máximo de volume específico, menor dureza, menor
336 mastigabilidade e menor gomosidade. O pão sem glúten contendo a proporção de 0,25%
337 de maca peruana, 0,50% de farinha de batata e 0,25% de polvilho doce e 0,00% de
338 polvilho azedo (Formulação 4), foi considerado, o melhor produto, conforme a
339 conveniência dos fatores investigados no delineamento de misturas.

340

341 *3.3 Análise sensorial*

342 Dentre as 20 formulações realizadas na pesquisa, foram testadas sensorialmente 4
343 formulações: Formulação 14 (nível superior de todos os pseudocomponentes),
344 Formulação 7 (nível inferior de todos os pseudocomponentes), Formulação 1 (ponto
345 centroide) da matriz de planejamentos e a formulação considerada ótima, de acordo com
346 o fator desejabilidade obtida a partir do delineamento de misturas.

347 As avaliações variaram entre 6,52 e 7,37 (gostei ligeiramente a gostei moderadamente),
348 o que demonstrou uma boa aceitação de todas as formulações oferecidas. As formulações
349 testadas na análise sensorial não obtiveram diferença significativa entre si ($p < 0,05$),
350 porém a formulação 14 (75,00% de maca peruana), obteve maiores notas em quase todos
351 os atributos, com exceção da cor, que obteve destaque no pão da formulação 6 (50,00%
352 de maca peruana, ponto centroide) (Figura 3 – Anexo 3). O resultado obtido se deve ao
353 fato de que quanto maior a quantidade de maca peruana no pão, maior foi a aceitabilidade
354 do público. A maca, devido sabor adocicado, pelo alto teor de sacarose, pode ter
355 contribuído na melhoria da textura, aparência e sabor do pão. É relevante considerar que
356 o público de provadores não eram pessoas consumidoras de produtos sem glúten,
357 tornando estes provadores mais exigentes quanto a textura e sabor dos pães.

358 Pesquisadores testaram sensorialmente pães sem glúten adicionados de diferentes tipos
359 de sacarídeos (inulina, fruto-oligossacarídeos, sacarose, frutose, sucralose, estévia e sem
360 adição de sacarídeo), e os que continham sacarose obtiveram melhores notas nos atributos
361 aparência, sabor, cor do miolo e aceitação global, pontuando em menores valores, porém
362 com diferenças não significativas apenas nos quesitos aroma e maciez, o que corrobora
363 para a importância da sacarose no preparo da massa e aspecto do produto final (Morais,
364 Cruz, Bolini, 2013).

365

366 *3.4 Parâmetros nutricionais*

367 Os pães foram analisados conforme a composição de macronutrientes. Os dados
368 em relação à matéria seca estão demonstrados na Tabela 5 (Anexo 8). O aumento da
369 concentração de maca peruana (Formulação 14) demonstrou pequeno aumento das
370 concentrações de carboidratos, cinzas e proteínas, se comparado à formulação com menor
371 quantidade de maca. Segundo Penagos, Vasquez & Menacho (2014) é possível encontrar
372 na farinha de maca peruana 8,87 – 11,60% de proteína, 54,60 – 60,00% de carboidratos,
373 5,00% de cinzas, 1,09 – 2,20% de lipídeos. A alta porcentagem de lipídeos pode se dar
374 devido a adição de ovos e óleo de girassol, porém a alta prevalência de carboidratos é
375 resultante da composição obtida pela maca. Observa-se que o aumento da concentração
376 de maca peruana na formulação, proporcionou maior quantidade de cinzas, o que
377 corrobora o fato da maca peruana ter em sua composição quantidades significativas de
378 cálcio (247 mg 100 g⁻¹ de farinha), ferro (14,7 mg de ferro 100 g⁻¹ de farinha) e fósforo
379 (183 mg 100 g⁻¹ de farinha) (Penago, Vásquez, Menacho, 2015). Os tubérculos, sementes,
380 legumes, frutas entre outros ingredientes estão sendo utilizados em pães sem glúten com
381 o intuito de agregarem valor nutricional aos pães (Capriles, Arêas, 2014) e a maca peruana

382 por se tratar de uma raiz, pode contribuir no enriquecimento nutricional de pães sem
383 glúten. A umidade dos pães, adicionados de maca peruana, demonstraram menor umidade
384 se comparado aos pães de batata com adição de chia (Pereira et al, 2013).

385

386 *3.5 Análises microbiológicas*

387 A pesquisa de coliformes a 45 °C as amostras analisadas apresentaram valores de
388 inferiores a 3,00 NMP g⁻¹, no intervalo de confiança de 95% (limite inferior não aplicável
389 e limite superior de 9,50 NMP g⁻¹). Isto comprova condições higiênicas e sanitárias de
390 preparo satisfatórias, pois os valores encontram-se abaixo do máximo tolerado de 100
391 NMP g⁻¹ para coliformes a 45 °C. As amostras apresentaram ausência de *Salmonella sp.* e
392 de *Estafilococos coagulase*, o método de processamento aplicado no presente estudo,
393 permite obter pães isentos de glúten próprios para o consumo humano.

394

395 **4. Conclusão**

396 O delineamento de misturas contendo pontos experimentais, com repetição de quatro
397 pontos, dos quais, o ponto centroide fez parte, na investigação dos fatores volume
398 específico, dureza, mastigabilidade e gomosidade, apresentou-se como uma estratégia
399 promissora para o desenvolvimento de pão sem glúten. Nos modelos pode-se observar a
400 significativa contribuição da maca peruana na massa dos pães. A função desejabilidade
401 selecionou a formulação do melhor pão, com características desejadas pelo consumidor
402 (máximo de volume específico, menor dureza, menor mastigabilidade e menor
403 gomosidade). Assim, a formulação 4 que contém 25% de maca peruana, 50% de farinha
404 de batata e 25% de polvilho doce e 0% de polvilho azedo, foi a melhor condição para
405 obter o pão isento de glúten. Na análise sensorial não houve diferença significativa entre

406 as amostras avaliadas, que variam de gostei ligeiramente a gostei moderadamente. Os
407 parâmetros higiênico-sanitários foram satisfatórios a fim de obter um produto com bom
408 aporte nutricional e seguro.

409

410

411

412

413

414

415

416

417

418

419

420

421

422

423

424

425

426

427

428

429

430 **Referências bibliográficas**

- 431 AACC. American Association of Cereal Chemists. (1995). *Approved Methods of*
432 *American Association of Cereal Chemists*. St. Paul: Approved Methods
433 Committee.
- 434 Amaya-Farfan, J., Marcílio, R., Spehar, C.R. (2005). Should Brazil invest in new crop
435 grains? The potential of amaranth (*Amaranthus sp.*). *Segurança Alimentar e*
436 *Nutricional*, 12, 47-56.
- 437 AOAC. Association of Official Analytical Chemists. (1995). *Official Methods of Analysis*
438 *of AOAC international*. Washington: AOAC.
- 439 Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and
440 purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8), 911-917.
- 441 BRASIL. Resolução - RDC no. 12. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos
442 para alimentos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2001.
- 443 Capriles, V. D., Arêas, J. A. G. (2011). Avanços na produção de pães sem glúten: aspectos
444 tecnológicos e nutricionais. *Brasil CEPPA*, 29, 129-136.
- 445 Capriles, V. D., Arêas, J. A. G. (2014). Novel Approaches in Gluten-Free Breadmaking:
446 Interface between Food Science, Nutrition, and Healths. *Comprehensive*
447 *Reviews in Food Science and Food Safety*, 13, 871-890.
- 448 Cereda, M. P., et al (2001). Propriedades gerais do amido. *Fundação Cargill, Série:*
449 *Culturas de tuberosas amiláceas Latino-americanas*, 1, 212-213.
- 450 Derringer, G., Suich, R (1980). Simultaneous optimization of several response variables.
451 *Journal of Quality Technology*, 12, 214-219.
- 452 Dutcosky, S. (Ed). (2011). *Análise Sensorial de Alimentos*. Champagnat.

- 453 El-Dash, A. A., Camargo, C. R. O., & Diaz, N. (1982). *Fundamentos de Tecnologia de*
454 *Panificação*. Série Agro-Industrial, 6.
- 455 El-Dash, A (2006). *Ciência Agricultura e Sociedade*, Edição 1, Embrapa, 503 p.
- 456 Elgeti D., Nordlohne, S.D., Föste, M., Besl , M., Linden, M.H., Heinz, V., Jekle, M
457 (2014). Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa
458 white flour. *Journal of Cereal Science*, 59, 41-47.
- 459 Gonzales, G. F., Villaorduña, L., Gasco, M., Rubio, J., Gonzalez, C (2014). Maca
460 (*Lepidium meyenii*), una revisión sobre sus propiedades biológicas. *Revista*
461 *Peruana de Medicina. Experimental y. Salud Publica*, 31, 100-110.
- 462 Moraes, E., Cruz, A. G. Bolini, H. M. A. (2013). Gluten-free bread: multiple time–
463 intensity analysis, physical characterisation and acceptance test. *International*
464 *Journal of Food Science and Technology*, 48, 2176–2184.
- 465 Osuna, M. B., Judis, M.A., Romero, A.M., Avallone, C.M., Bertola, C (2014).
466 Improvement of Fatty Acid Profile and Studio of Rheological and Technological
467 Characteristics in Breads Supplemented with Flaxseed, Soybean, and Wheat
468 Bran Flours. *The Scientific World Journal*, 1-10.
- 469 Paciulli, M., Rinaldi, M., Cirlini, M., Scazzina, F., Chiavaro, E. (2016). Chestnut flour
470 addition in commercial gluten-free bread: A shelf-life study. *LWT - Food*
471 *Science and Technology*, 70, 88-95.
- 472 Pellegrini, N., Augostoni, C. (2015). Nutritional aspects of gluten-free products. *Journal*
473 *of the Science of Food and Agriculture*, 95, 2380-2385.
- 474 Penagos S. G., Vásquez, S. L., Menacho, L. M. P (2015). Study of Maca (*Lepidium*
475 *meyenii*), Andean crop with therapeutic properties. *Scientia Agropecuaria* 6, 131
476 -140.

- 477 Pereira, B. da S., Pereira, B. da S., Cardoso E. dos S., Mendonça, J. O. B., Souza, L. B.,
478 Santos, M. P., Zago, L., Freitas, S. M. L. (2013). Physical, chemical and sensory
479 analysis of gluten-free potato bread enriched with chia flour. *DEMETRA:*
480 *Alimentação, Nutrição & Saúde*. 8, 125-136.
- 481 Pina-Figueroa, A., Nguyen, D., MAHER, T. J. (2010). Neuroprotective effects of
482 *Lepidium meyenii* (Maca). *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1199,
483 77–85.
- 484 Pizzinatto, A., Magno, C. P. R. S., Campagnolli, D. M. F., Vitti, P., Leitao, R. F. F (1993).
485 *Avaliação tecnológica de produtos derivados de farinha de trigo (pão,*
486 *macarrão, biscoito)*, 3ª Edição, 54p.
- 487 Sanchez, H.D., Osella, C.A., Torre, de la, M.A (2002). Optimization of Gluten-Free
488 Bread Prepared from Cornstarch, Rice Flour, and Cassava Starch. *Journal Food*
489 *Science*, 67, 416-419.
- 490 Saturini, L; Ferretti, G., Bacchetti, T (2010). The Gluten-Free Diet: Safety and Nutritional
491 Quality. *Nutrients*,2, 16-34.
- 492 Sciarini, L., Ribota, P. D., Leo'n, A. E., Perez, G. T. (2010). Effect of hydrocolloids on
493 gluten-free batter properties and bread quality. *International Journal of Food*
494 *Science and Technology*, 45, 2306–2312.
- 495 Singh, A., Gevek, D., Yadav, M. P (2017), Improvement of rheological, thermal and
496 functional properties of tapioca starch by using gum Arabic. *LWT - Food Science*
497 *and Technology*,80, 155-162.
- 498 Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*,
499 13, 215-225.

500 Zhaa, S., Zhaoa, Q., Chena, J., Wanga, L., Zhanga, G., Zhangc, H., Zhaoa, B (2014).

501 Extraction, purification and antioxidant activities of the polysaccharides from

502 maca (*Lepidium meyenii*). *Carbohydrate Polymers*, *111*, 584–587.

503

504

505

506

507

508

509

510

511

512

513

514

515

516

517

518

519

520

521

522

523

524 Anexo 1

525



526

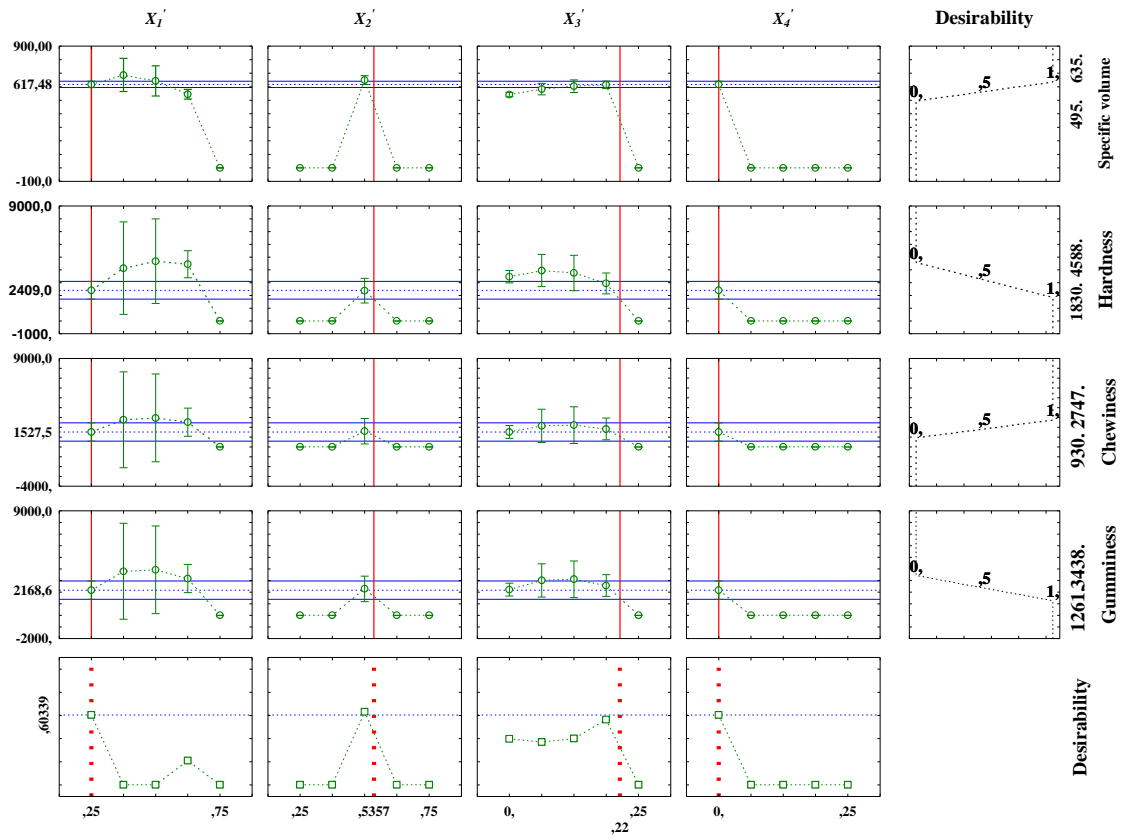
527 **Figura 1** Aparência da estrutura interna e externa das formulações dos pães sem glúten adicionados de
528 maca peruana.

529 *A codificação F significa Formulação.

530

531

532 Anexo 2



533

534 **Figura 2** Gráfico de deseabilidade

535

536

537

538

539

540

541

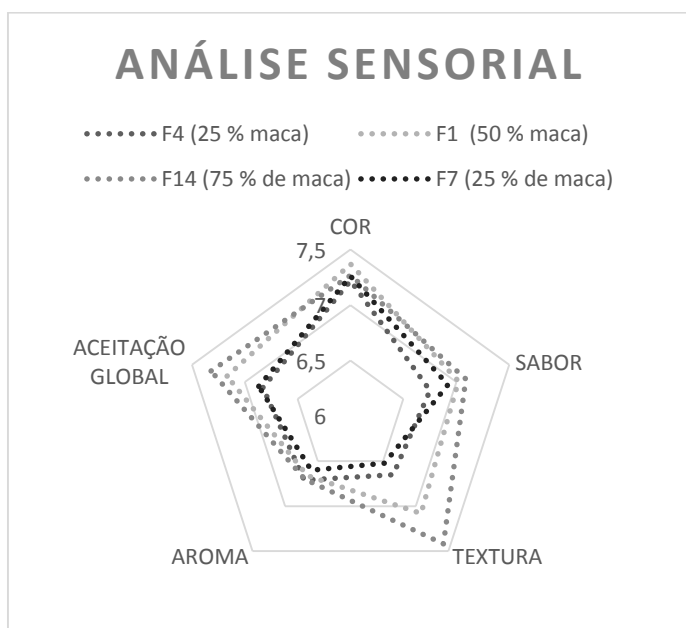
542

543

544

545 **Anexo 3**

546



547

548 **Figura 3** Gráfico aranha dos resultados obtidos pelo teste sensorial.

549

550

551

552

553

554

555

556

557

558

559

560

561

562 **Anexo 4**563 **Tabela 1** Matriz de ensaios do planejamento de misturas. Os valores reais de cada farinha estão

564 demonstrados entre parênteses.

**F.	x ₁ '*	x ₂ '*	x ₃ '*	x ₄ '*
1	0,500 (34,8 g)	0,250 (17,4 g)	0,125 (8,7 g)	0,125 (8,7 g)
2	0,500 (34,8 g)	0,250 (17,4 g)	0,000 (0,0 g)	0,250 (17,4 g)
3	0,333 (23,3 g)	0,333 (23,3 g)	0,250 (17,4 g)	0,084 (5,9 g)
4	0,250 (17,4 g)	0,500 (34,8 g)	0,250 (17,4 g)	0,000 (0,0 g)
5	0,500 (34,8 g)	0,500 (34,8 g)	0,000 (0,0 g)	0,000 (0,0 g)
6	0,750 (52,2 g)	0,250 (17,4 g)	0,000 (0,0 g)	0,000 (0,0 g)
7	0,250 (17,4 g)	0,625 (43,5 g)	0,125 (8,7 g)	0,000 (0,0 g)
8	0,250 (17,4 g)	0,750 (52,2 g)	0,000 (0,0 g)	0,000 (0,0 g)
9	0,625 (43,5 g)	0,250 (17,4 g)	0,000 (0,0 g)	0,125 (8,7 g)
10	0,500 (34,8 g)	0,250 (17,4 g)	0,250 (17,4 g)	0,000 (0,0 g)
11	0,250 (17,4 g)	0,250 (17,4 g)	0,250 (17,4 g)	0,250 (17,4 g)
12	0,250 (17,4 g)	0,375 (26,1 g)	0,125 (8,7 g)	0,250 (17,4 g)
13	0,500 (34,8 g)	0,250 (17,4 g)	0,000 (0,0 g)	0,250 (17,4 g)
14	0,750 (52,2 g)	0,250 (17,4 g)	0,000 (0,0 g)	0,000 (0,0 g)
15	0,500 (34,8 g)	0,500 (34,8 g)	0,000 (0,0 g)	0,000 (0,0 g)
16	0,625 (43,5 g)	0,250 (17,4 g)	0,125 (8,7 g)	0,000 (0,0 g)
17	0,250 (17,4 g)	0,250 (17,4 g)	0,250 (17,4 g)	0,250 (17,4 g)
18	0,250 (17,4 g)	0,750 (52,2 g)	0,000 (0,0 g)	0,000 (0,0 g)
19	0,250 (17,4 g)	0,500 (34,8 g)	0,000 (0,0 g)	0,250 (17,4 g)
20	0,250 (17,4 g)	0,625 (43,5 g)	0,000 (0,0 g)	0,125 (8,7 g)

565 * Pseudocomponentes – x₁' : maca; x₂' : fécula de batata x₃' : polvilho doce; x₄' : polvilho azedo.

566 **F = Formulação

567

568

569 Anexo 5

570 Tabela 2 Respostas dos parâmetros estudados dos pães sem glúten contendo maca peruana.

Formulações	Volume específico	Dureza	Coesividade	Elasticidade	Adesividade	Mastigabilidade	Viscosidade	Gomosidade
1	1,955	4129,86	0,77	0,45	-0,84	2570,40	0,75	3437,81
2	2,054	2846,05	0,64	0,44	-1,24	1580,65	0,70	2337,14
3	2,143	2310,63	0,80	0,48	-2,25	1170,74	0,66	1774,19
4	2,268	2029,88	0,75	0,44	-0,61	1476,43	0,76	1924,57
5	1,946	4452,32	0,62	0,34	0,00	2131,23	0,75	2833,95
6	1,902	4134,26	0,66	0,36	-0,08	2099,81	0,78	2704,19
7	2,071	2981,59	0,84	0,45	-2,14	1515,01	0,68	2394,94
8	1,929	3341,89	0,75	0,46	-1,47	1534,93	0,67	2276,06
9	1,768	4333,83	0,69	0,36	-1,41	1946,82	0,65	2969,35
10	2,071	1830,28	0,83	0,51	-1,42	958,27	0,73	1261,36
11	1,929	2617,21	0,79	0,46	-0,38	1412,66	0,74	1897,32
12	1,920	1922,20	0,80	0,50	-0,63	930,16	0,67	1353,51
13	2,036	3088,91	0,67	0,38	-1,27	2687,62	0,75	3220,81
14	1,804	4190,33	0,68	0,38	-1,68	2118,44	0,74	2888,12
15	1,911	4040,56	0,66	0,35	-0,34	1825,53	0,67	2731,20
16	1,875	4587,56	0,73	0,33	-0,02	2746,63	0,90	3174,76
17	1,911	2749,82	0,80	0,47	-1,18	1560,30	0,71	2185,01
18	1,930	2748,37	0,77	0,48	-0,22	1063,59	0,69	1529,51
19	2,089	2441,34	0,77	0,43	-3,20	1251,98	0,67	1879,09
20	1,875	4072,46	0,62	0,34	-0,39	1952,80	0,77	2515,96

571

572

573

574

575

576

577

578 **Anexo 6**

579 **Tabela 3.** Resultados da ANOVA, coeficientes de regressão, p-valor, intervalo de confiança, somatório quadrático e coeficiente de determinação das respostas volume
580 específico e dureza, no planejamento de misturas com quatro pseudocomponentes, para o pão isento de glúten

	Volume específico					Dureza				
	GL	Coeficientes	p	-95%*	95%*	GL	Coeficientes	p	-95%*	95%*
x'_1	1	529,62	0,0000	505,03	554,21	1	4383,8	0,0000	3608,4	5159,2
x'_2	1	541,41	0,0000	522,50	560,32	1	3067,6	0,0000	2480,3	3654,9
x'_3	1	726,58	0,0000	666,58	786,58	1	-5422,8	0,0207	-9804,4	-1041,2
x'_4	1	979,05	0,0000	772,28	1185,82	1	-4191,4	0,0487	-8353,9	-29,0
$x'_1x'_2$	0	-	-	-	-	1	2090,8	0,1625	-1018,3	5199,9
$x'_1x'_3$	1	-226,54	0,0120	-391,34	-61,74	1	10621,2	0,0168	2419,4	18823,1
$x'_1x'_4$	1	-739,75	0,0022	-1144,39	-335,10	1	11102,7	0,0105	3296,9	18908,6
$x'_2x'_3$	0	-	-	-	-	1	12141,5	0,0116	3448,1	20834,9
$x'_2x'_4$	1	-715,16	0,0021	-1103,70	-326,613	1	13092,0	0,0055	4921,9	21262,2
$x'_3x'_4$	1	-1280,79	0,0001	-1720,38	-841,210	1	29766,2	0,0002	18489,4	41043,0
$x'_1x'_2x'_3$	1	3248,55	0,0220	576,67	5920,418	0	-	-	-	-
$x'_1x'_3x'_4$	1	1147,81	0,0515	-8,82	2304,434	0	-	-	-	-
$x'_2x'_3x'_4$	0	-	-	-	-	1	-47799,1	0,0082	-79857,6	-15740,7
Falta de ajuste	4	234,04 (SQ)	-	-	-	4	998601,00 (SQ)	-	-	-
Erro puro	5	978,25 (SQ)	0,8689	-	-	5	301018,00 (SQ)	-	-	-
Total ajustado	19	21269,80 (SQ)	-	-	-	19	16125473,00 (SQ)	-	-	-
Modelo aplicado	9	20059,51 (SQ)	0,0058	-	-	9	14825855,00 (SQ)	0,0082	-	-
		Modelo especial cúbico					Modelo especial cúbico			
Teste F (modelo)	14,9168	$F_{\text{tab. 95\% regressão/resíduo}}(1,9) = 5,12$				10,2671	$F_{\text{tab. 95\% regressão/resíduo}}(1,9) = 5,12$			
Teste F (falta de ajuste)	0,2965	$F_{\text{tab. 95\% falta de ajuste/erro puro}}(4,5) = 5,19$				4,1468	$F_{\text{tab. 95\% falta de ajuste/erro puro}}(4,5) = 5,19$			
R^2		0,9431					0,9194			

581

Pseudocomponentes – x'_1 : maca peruana; x'_2 : farinha de batata; x'_3 : polvilho doce; x'_4 : polvilho azedo. *Intervalo de confiança: -95% e +95%. GL: graus de liberdade. SQ: somatório quadrático. R^2 : coeficiente de determinação.

Fonte: A autora

582 Anexo 7

583 **Tabela 4** Resultados da ANOVA, coeficientes de regressão, p-valor, intervalo de confiança, somatório quadrático e coeficiente de determinação das respostas mastigabilidade
584 e gomosidade, no planejamento de misturas com quatro pseudocomponentes, para o pão isento

	Mastigabilidade					Gomosidade				
	GL	Coeficientes	p	-95%*	95%*	GL	Coeficientes	p	-95%*	95%*
x'_1	1	2327,8	0,0000	1710,5	2944,95	1	3131,3	0,0000	2501,2	3761,5
x'_2	1	1386,7	0,0001	886,7	1886,81	1	2022,3	0,0000	1511,7	2532,8
x'_3	1	-3442,9	0,1174	-7889,7	1003,79	1	-4370,1	0,0578	-8910,3	170,0
x'_4	1	1726,1	0,0044	650,4	2801,86	1	2330,1	0,0006	1231,8	3428,4
$x'_1x'_3$	1	7786,7	0,0578	-300,8	15874,24	1	9320,4	0,0301	1063,0	17577,8
$x'_2x'_3$	1	9122,5	0,0411	435,1	17809,99	1	11990,2	0,0123	3120,3	20860,2
$x'_3x'_4$	1	9480,6	0,0478	105,9	18855,35	1	12512,2	0,0147	2940,6	22083,8
$x'_2x'_3x'_4$	1	-33910,0	0,0364	-65282,7	-2537,40	1	-42360,6	0,0138	-74392,2	-10329,1
Falta de ajuste	7	1118895,00 (SQ)	0,5649	-	-	7	1220579,00 (SQ)	0,5161	-	-
Erro puro	5	883537,00 (SQ)	-	-	-	5	866847,00 (SQ)	-	-	-
Total ajustado	19	5732098,00(SQ)	-	-	-	19	7648795,00 (SQ)	-	-	-
Modelo aplicado	7	3729666,00 (SQ)	0,0375	-	-	7	5561369,00 (SQ)	0,0106	-	-
	Modelo especial cúbico					Modelo especial cúbico				
Teste F (modelo)	3,1930	$F_{\text{tab. 95\% regressão/resíduo (1,12)} = 4,75$			4,5672	$F_{\text{tab. 95\% regressão/resíduo (1,12)} = 4,75$				
Teste F (falta de ajuste)	0,9046	$F_{\text{tab. 95\% falta de ajuste/erro puro (7,5)} = 4,88$			1,0058	$F_{\text{tab. 95\% falta de ajuste/erro puro (7,5)} = 4,88$				
R^2		0,6507				0,7270				

585 Pseudocomponentes – x'_1 : maca peruana; x'_2 : farinha de batata; x'_3 : polvilho doce; x'_4 : polvilho azedo. *Intervalo de confiança: -95% e +95%. GL: graus de liberdade. SQ:
586 somatório quadrático. R^2 : coeficiente de determinação

587 **Fonte:** A autora

Anexo 8

Tabela 5 Composição centesimal dos pães de maca analisados.

Parâmetros (%)	Formulação 01*	Formulação 04**	Formulação 07***	Formulação 14****
Umidade	27,35±1,06	30,92±1,76	30,79±0,86	27,13±0,89
Cinzas	1,22±0,07	1,03±0,08	1,03±0,04	1,29±0,35
Carboidratos	52,27±0,82	48,66±1,65	50,05±0,49	53,07±0,78
Proteína	10,29±0,17	10,12±0,46	9,58±0,48	10,45±0,27
Lipídeos	8,84±0,52	8,81±0,18	8,54±1,20	8,06±0,32

* Formulação 01 (razão:0,500: 0,250: 0,125: 0,125: maca / fécula de batata / polvilho doce/ polvilho azedo);

** Formulação 04 (razão: 0,250: 0,500: 0,250: 0,000: maca / fécula de batata / polvilho doce/ polvilho azedo);

*** Formulação 07 (razão: 0,250: 0,625: 0,125: 0,000: maca / fécula de batata / polvilho doce/ polvilho azedo);

**** Formulação 14 (razão: 0,750: 0,250: 0,000: 0,000: maca / fécula de batata / polvilho doce/ polvilho azedo).

ARTIGO 2**Aplicação de delineamento de misturas em pão sem glúten contendo plantas alimentares não convencionais: alpiste (*Phalaris canariensis*) e niger (*Guizotia abyssinica*)**

Flora Miranda Arcanjo^a, Angela Claudia Rodrigues^{b*}.

^aMestranda no Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UTFPR), Medianeira, Paraná. CEP: 85.884-000, Brasil.

^bProfessora do Departamento de Química da Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UTFPR), Medianeira, Paraná, CEP 85.884-000, Brasil.

1 **APLICAÇÃO DE DELINEAMENTO DE MISTURAS EM PÃO SEM GLÚTEN**
2 **CONTENDO PLANTAS ALIMENTARES NÃO CONVENCIONAIS: ALPISTE**
3 *(Phalaris canariensis) E NIGER (Guizotia abyssinica)*

4
5 Flora Miranda Arcanjo^a, Angela Claudia Rodrigues^{b*}

6
7 ^aGraduate Program in Food Technology, Federal Technological University of Paraná (UTFPR),
8 Medianeira, Paraná, P.O. Box: 271, Postal Code 85.884-000, Brazil.

9 ^bDepartment of Chemistry, Federal Technological University of Paraná (UTFPR), Medianeira,
10 Paraná, P.O. Box: 271, Postal Code 85.884-000, Brazil.

11
12 ***Corresponding Author**

13 Angela Claudia Rodrigues

14 Graduate Program in Food Technology, Federal Technological University of Paraná (UTFPR),
15 Medianeira, Paraná, P.O. Box: 271, Postal Code 85.884-000, Brazil.

16 e-mail: angelac.utfpr@gmail.com

17 Phone: +55 45 99911-7937

18
19
20
21
22
23
24

25 **Resumo**

26 O objetivo do presente estudo foi aplicar o planejamento de misturas, com pseudocomponentes
27 para desenvolver e avaliar as propriedades do pão isento de glúten com plantas alimentares não
28 convencionais: alpiste e niger. As farinhas de alpiste, niger e arroz, foram modeladas, sendo
29 verificadas as seguintes respostas: volume específico, perfil de textura e aspectos sensoriais, na
30 seleção da formulação promissora. Os modelos foram ajustados e significativos. As respostas de
31 adesividade e elasticidade apresentaram baixo coeficiente de determinação, o que não permitiu
32 fazer a modelagem. Houve uma significativa e semelhante contribuição das farinhas de niger e
33 alpiste no produto. A função de desejabilidade foi aplicada em duas etapas, com uma faixa de
34 ótimo, que variou de 63-68% na farinha de alpiste, 37-32% para farinha de arroz e, sem a farinha
35 de niger. Através da análise sensorial foi possível verificar a mesma tendência, com médias
36 maiores em todos os atributos investigados na formulação com 67% de farinha de alpiste. Além
37 disso, as formulações de pães isentos de glúten possuem em sua composição a farinha de maca
38 peruana, que em estudo preliminar auxiliou na melhora nutricional do produto. Os parâmetros
39 higiênico-sanitários avaliados foram satisfatórios no processamento dos pães.

40

41 **Palavras-chave:** Doença celíaca, Planejamento de Misturas, Textura, Plantas Alimentares Não
42 Convencionais.

43

44

45

46

47

48

49

50 **1.Introdução**

51

52 A alimentação é indispensável à sobrevivência dos seres humanos. É através dela que obtemos
53 os nutrientes necessários para desenvolver e reparar possíveis danos celulares, bem como repor
54 a energia dispendida no dia-a-dia. Contudo, existem indivíduos que, por diversas razões, não
55 toleram certos alimentos, por apresentarem dificuldade ao digeri-los ou absorvê-los, o que pode
56 desenvolver algum tipo de deficiência, por falta de nutrientes no organismo (Bardella et al, 2007).
57 Neste contexto, destaca-se a doença celíaca (DC), uma intolerância ao glúten, que acomete
58 indivíduos geneticamente predispostos, sendo um processo inflamatório que está relacionado à
59 mucosa do intestino delgado e, pode levar a atrofia das vilosidades intestinais, má absorção de
60 nutrientes e uma variedade de manifestações clínicas (Elli et al, 2015).

61 Os sintomas da doença celíaca podem ser inúmeros, como diarreia crônica, distensão abdominal,
62 flatulência, osteoporose (estágio inicial precoce), anemia ferropriva, hipocalcemia, deficiência
63 de ácido fólico e vitaminas lipossolúveis. O tratamento é dietético, no que consiste na exclusão
64 do glúten de forma definitiva. Isso permite à remissão de sintomas e danos à mucosa intestinal
65 (Fasano et al, 2008).

66 Devido a estas deficiências, os celíacos necessitam compensar a dificuldade de absorção de
67 nutrientes, via o consumo de alimentos ricos em vitaminas e minerais, junto às farinhas refinadas
68 e amidos, que na grande maioria das vezes, não apresentam um balanço ideal de nutrientes
69 essenciais (Sciarini et al, 2010).

70 Pesquisas recentes sobre o enriquecimento de produtos de panificação, com ou sem glúten,
71 constituídos na sua maioria por farinha de trigo, nos convencionais, e os sem glúten por amido
72 de arroz, batata e com os polvilhos doce ou azedo, comprovam através do uso de farinhas
73 integrais obtidas dos grãos de chia, linhaça, quinoa e amaranto uma boa estratégia no aumento
74 de ácidos graxos essenciais, fibras alimentares, proteínas e minerais (Zanqui et al, 2014;

75 Pagamunici et al, 2014a; Pagamunici et al, 2014b; Gohara et al, 2015; Elgeti et al, 2014; Osuna
76 et al, 2014).

77 Além do uso das sementes conhecidas pelo mercado consumidor, é possível agregar valor
78 nutricional e econômico ao produto sem glúten, com a aplicação de farinhas obtidas por sementes
79 alimentícias não convencionais, como por exemplo, o alpiste (*Phalaris canariensis*) e a niger
80 (*Guizotia abyssinica*). Essas plantas alimentícias são consideradas não convencionais (PANC) e,
81 são estigmatizadas como ervas-daninhas ou alimentos que compõem ração de pássaros. Contudo,
82 o alpiste e a niger possuem quantidades satisfatórias de nutrientes benéficos ao organismo
83 humano (Kinupp & Lorenzi, 2014).

84 Outro componente funcional que pode auxiliar na melhora da composição nutricional de
85 alimentos destinados aos celíacos, é a farinha das raízes da maca peruana (*Lepidium meyenii*),
86 um tubérculo nativo da região Andina, que possui propriedades medicinais, auxilia no tratamento
87 da osteoporose, câncer de próstata, infertilidade, depressão, fadiga e anemia (Gonzales et al,
88 2014).

89 No desenvolvimento de alimentos sem glúten faz-se necessário o uso de um planejamento
90 apropriado, a fim de se obter uma melhor resposta quanto às características físicas, químicas e
91 nutricionais do produto (Souza et al, 2015; Gohara et al, 2014). Os planejamentos de mistura são
92 uma ferramenta dinâmica, que possibilita avaliar várias variáveis simultaneamente, seus efeitos
93 e ter maior confiabilidade nos resultados, em um processo iterativo de adição ou retirada de
94 ensaios no modelo. Assim é viabilizada a seleção das principais variáveis e apresentação de
95 modelos matemáticos com conclusões a partir de resultados qualitativos. Destaca-se que em
96 algumas situações é importante avaliar parte dos ingredientes que irão compor o produto, o que
97 é possível realizar através dos pseudocomponentes que partem de uma fração predeterminada
98 dos componentes, ao qual, se objetiva investigar. Essa ferramenta quimiométrica permitirá

99 extrair informações sobre os ingredientes e até mesmo as concentrações que podem ser variados
100 no produto (Neto, Scarmínio & Bruns, 2001).

101 Assim, o presente estudo teve como objetivo elaborar pão sem glúten enriquecido com farinha
102 de alpiste (*Phalaris canariensis*) e niger (*Guizotia abyssinica*), como forma de complementação
103 do estudo com maca peruana (*Lepidium meyenii*) através do planejamento de misturas com
104 pseudocomponentes, na obtenção de um produto com boas características físicas, químicas,
105 sensoriais e elevado aporte nutricional em um processo interativo de otimização da melhor
106 formulação.

107

108 **2. Material e métodos**

109

110 *2.1 Material*

111 Os ingredientes das formulações dos pães foram: farinha de maca peruana, alpiste, niger, arroz;
112 polvilhos: doce e azedo; amido de batata, açúcar cristal branco, sal iodado, ovos *in natura*, óleo
113 de girassol, água destilada, fermento biológico seco e os hidrocoloides goma xantana e
114 hidroxipropilmetilcelulose (HPMC). Todos os ingredientes foram adquiridos no comércio local
115 na cidade de Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. Os equipamentos e utensílios utilizados foram:
116 balança semi-analítica (SHIMADZU / BL 3200H), batedeira planetária (Arno 400W), com probe
117 em formato de gancho, estufa de fermentação (Perfecta/Modelo Vipão 1.9), forno industrial
118 elétrico (Perfecta/Modelo Vipão 1.9), facas, colheres e fôrmas de alumínio para pão, as fôrmas
119 apresentavam as seguintes dimensões 11 cm de largura x 9,5 cm de altura e, bacias poliméricas.

120

121 *2.2 Análise de viscosidade das farinhas de maca peruana*

122 Foram avaliadas as viscosidades de duas marcas de farinha de maca peruana (marca A e B), com
123 o intuito de escolher a farinha que contribuísse para melhoria dos atributos volume específico e

124 perfil de textura dos pães sem glúten. Para análise da viscosidade foram pesados separadamente
125 5,00 g de cada marca de farinha de maca peruana (A e B) em bécheres, e solubilizou-se em 50
126 mL de água à 90 °C. Após a diluição, as soluções foram homogeneizadas com bastão de vidro,
127 por 30 segundos e deixadas em repouso até atingirem a temperatura de 25°C. A solução com a
128 farinha de maca A foi colocada no aparelho viscosímetro (Brookfield DV III Ultra), com spindle
129 de ASC4 – 25 e variação das rotações em 50, 100 e 150 RPM (Rotações por minuto). A solução
130 com farinha B foi analisada no mesmo viscosímetro, modificado o spindle para ASC4-31,
131 variando as rotações em 50, 100 e 150 RPM. Foram utilizados spindles de calibres diferentes
132 para as farinhas devido a diferença de viscosidade entre elas.

133

134 *2.3 Delineamento experimental*

135 O efeito da adição das farinhas de alpiste e niger no desenvolvimento de pão sem glúten foram
136 investigados os seguintes parâmetros: volume específico, dureza, coesividade, elasticidade,
137 adesividade, mastigabilidade, gomosidade e resiliência, com a aplicação de um delineamento de
138 misturas com três pseudocomponentes e ponto centroide. O percentual de cada uma das variáveis
139 foi calculado em relação à proporção de farinha mista e as formulações foram realizadas
140 aleatoriamente, em duplicata, como é demonstrada na matriz do planejamento de misturas
141 (Tabela 2). Este trabalho é uma continuidade do estudo realizado com pseudocomponentes na
142 influência do enriquecimento do pão sem glúten com a farinha de maca peruana (Autora,
143 Artigo1).

144

145 *2.4 Processamento das formulações*

146 As formulações consistiram em um somatório de 145,00 g de farinhas em cada formulação. No
147 estudo preliminar foi realizado um planejamento com quatro pseudocomponentes, para modelar
148 69,60 g no total de farinhas. A melhor mistura foi que apresentou 25% (17,40 g) de maca peruana,

149 50% (34,80 g) de amido de batata, 25% (17,40 g) de polvilho doce, sem o polvilho azedo. A
150 outra parte do total de farinhas (75,40 g) era de farinha de arroz (Autora, Artigo 1). No presente
151 estudo foi aplicado um novo planejamento de misturas, com três pseudocomponentes, em que
152 consistiu modelar a fração de farinha de arroz (75,40 g).

153 A matriz do planejamento com os três pseudocomponentes (Tabela 1): farinha de alpiste
154 (variação de 52% a 0% = 75,40 g a 0,00 g), farinha de niger (variação de 52% a 0% = 75,40 g a
155 0,00 g) e farinha de arroz (variação de 52% a 0% = 75,40 g a 0,00 g). Os demais ingredientes dos
156 pães permaneceram fixos e suas concentrações foram calculadas com base no total de farinhas
157 (100% = 145,00 g de farinhas): 50,00 g de água (34,48%), 50,00 g de ovos *in natura* (34,48%),
158 18,75 g de óleo de girassol (12,93%), 15,00 g de açúcar cristal branco (10,30%), 2,50 g de
159 fermento biológico seco (1,74%), 2,50 g de goma xantana (1,74%), 1,50 g de sal iodado (1,03%)
160 e, hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) 0,875 g (0,60%).

161 Os ingredientes secos foram misturados manualmente por 30 segundos, posteriormente foram
162 adicionados os líquidos (a água foi aquecida a 38 °C). Procedeu-se com a homogeneização dos
163 ingredientes, na batedeira com o misturador de massas médias na velocidade 5, por 1 minuto.
164 Em seguida, foi acrescentado o fermento, com dissolução em 10 mL de água a 38 °C e,
165 incorporado à massa, com auxílio da batedeira, na velocidade 1, por 2 minutos. Após essa etapa,
166 a massa foi moldada em formas de alumínio retangulares, previamente untadas com banha de
167 porco, e mantidas em ambiente com controle da umidade relativa (80 a 80%) por 50 minutos a
168 40 °C, para fermentação da massa. Na sequência os pães foram assados em forno pré-aquecido a
169 180 °C por 20 minutos. The products were removed from the tins when cold and stored in
170 polythene packages in polypropylene boxes until analysis. As condições de processamento foram
171 as mesmas aplicadas em estudo prévio (Autora, Artigo 1).

172

173 *2.5 Composição proximal*

174 A medição da umidade e do teor de matéria volátil (método nº 925.10), da cinza (método nº
175 923.3) e da proteína bruta (método nº 920.87) seguiu as técnicas descritas pelo método da
176 Associação de Analíticos Oficiais (AOAC, 1995), com um fator de 6,25 para converter o teor de
177 nitrogênio em proteína bruta. Os lipídeos totais foram extraídos e determinados de acordo com
178 Bligh e Dyer (1959). O carboidrato total foi calculado por diferença, de acordo com a Equação
179 2.

180 Equação 2

181
$$\text{Carboidratos totais} = 100 - (\% \text{proteína bruta} + \% \text{cinzas} + \% \text{umidade} + \% \text{lipídios totais})$$

182

183 *2.6 Esterificação e transesterificação de ácidos graxos*

184 As preparações de ésteres metílicos de ácidos graxos foram efetuadas conforme método descrito
185 por Hartman & Lago, 1973, e adaptado por Maia & Rodriguez-Amaya, 1993. Os ésteres serão
186 armazenados a -18°C para posterior análise.

187

188 *2.6.1 Análise cromatográfica dos ésteres metílicos de ácidos graxos*

189 Os ésteres metílicos de ácidos graxos foram separados em cromatógrafo a gás, com detector de
190 ionização em chama e coluna capilar de sílica fundida Select FAME (100 m, 0,25 mm e 0,25 μm
191 d.i., Agilent J&W). As condições cromatográficas para a análise das amostras foram: vazões dos
192 gases de 1,30 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ para o gás de arraste (He); 45 e 450 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ para o gás H_2 e para o
193 ar sintético, respectivamente. A razão de divisão da amostra (split) foi de 1:50. As injeções foram
194 realizadas em triplicatas e o volume das injeções foi de 1,0 μL . A identificação dos ácidos graxos
195 foi baseada na comparação dos tempos de retenção com os dos ésteres metílicos da mistura
196 padrão contendo os isômeros geométricos dos ácidos linoleico e alfa-linolênico (Sigma FAMEs).

197

198 *2.6.2 Quantificação dos ésteres metílicos de ácidos graxos*

199 As quantificações serão efetuadas em relação ao padrão interno, tricosanoato de metila (23:0) de
200 concentração 1,0 mg.mL⁻¹ em iso-octano. A adição do padrão interno foi realizada no tubo de
201 esterificação, em seguida o solvente foi evaporado sob fluxo de nitrogênio e foi efetuada a
202 pesagem da amostra no mesmo tubo. Para a determinação da quantidade dos ácidos graxos
203 identificados nas amostras, em mg g⁻¹ de amostra, foi utilizada a Equação 3 (Visentainer &
204 Franco; 2006):

205

206 Equação 3

$$207 \quad Mx = \frac{Ax \cdot Mp \cdot F_{CT}}{Ap \cdot MA \cdot F_{CEA}}$$

208

209 2.7. Volume específico

210 O volume específico (mL g⁻¹) dos pães foi obtido através do método de deslocamento de semente
211 de painço (El-Dash, Camargo, & Diaz, 1982). Foi calculado a razão entre o volume (mL⁻¹) e a
212 massa do pão (g), 1 (uma) hora após o assamento.

213

214 2.8 Perfil de textura

215 O perfil de textura dos pães consistiu em um método TPA (Texture Profile Analysis),
216 com análise dos parâmetros de dureza, coesividade, elasticidade, adesividade, mastigabilidade,
217 viscosidade, gomosidade e resiliência nas formulações (Szczesniak, 2002). As condições de
218 instrumentais do texturômetro TA-XT2i (Stable Micro Systeme) seguiu o método proposto pela
219 AACC 74-09 (AACC, 1995). Os pães de cada formulação foram fatiados (2,50 mm de
220 espessura), com o descarte das fatias externas de ambas as laterais, para padronizar o
221 procedimento experimental. As amostras foram comprimidas até 40% da altura com um probe
222 cilíndrico de 36,00 mm de diâmetro, velocidade de pré-teste, teste e pós-teste de 1,00, 1,70 e
223 10,00 mm s⁻¹, respectivamente, força de gatilho 5,00 g. Essa análise foi realizada em duplicata

224 para réplica autêntica das formulações demonstradas na matriz do delineamento (Tabela 2), com
225 o produto após uma hora da cocção. Todas essas condições foram às mesmas aplicadas no estudo
226 com a maca peruana (Autora, Artigo1).

227

228 2.9 *Análise de cor*

229 A cor do miolo dos pães foi determinada 2 horas após o assamento. As amostras com espessura
230 de 25 mm foram analisadas com o auxílio de colorímetro (Minolta Chroma Meter CR-300), logo
231 após o corte, tendo em vista que, o miolo do pão tende a escurecer após exposição excessiva ao
232 ambiente. Cor dos pães (miolo) foram expressas em valores de L*, a* e b* (coordenadas do
233 sistema CIE L*a*b*). Os parâmetros de cor foram: Luminosidade (L) = (0 = cor preta a = 100=
234 cor branco); a = variando da cor verde (-60,00) a vermelha (+60,00); b= variando da cor azul (-
235 60,00) a amarela (+60,00). Estes parâmetros foram usados em cálculos para a determinação dos
236 índices de cor Hue e Chroma. Para cálculo do ângulo Hue os valores a* e b* foram convertidos
237 conforme a Equação 5 e o cálculo da saturação (Chroma C) conforme a Equação 4.

238

Equação 4

239

$$C = \sqrt{(a^2 + b^2)}$$

240

Equação 5

241

$$H^\circ = \text{tg}^{-1} \frac{b^*}{a^*}$$

242

243 2.9.1 *Análise sensorial e Comitê de ética*

244 Os testes de aceitação foram aplicados às formulações de pão sem glúten, com atributos de
245 aroma, cor, sabor, textura e aceitação global. Uma equipe de 112 provadores voluntários, não

246 treinados, não consumidores de produtos sem glúten, com idade acima de 18 anos de ambos os
247 sexos, avaliou as amostras usando uma escala hedônica de 9 pontos (1 = desgostei muitíssimo a
248 9 = gostei muitíssimo, Dutcosky, 2011). A água foi fornecida aos provadores para lavar a boca
249 entre as avaliações. O teste sensorial foi previamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa
250 envolvendo seres humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, número
251 013192/2016.

252

253 2.9.2 Análises microbiológicas

254 De acordo com a Instrução Normativa nº 62 (Ministério da Agricultura, 2003), dentro dos
255 parâmetros da Resolução RDC nº 12 (BRASIL, 2001), foram realizadas análises dos coliformes
256 a 45 °C; *Salmonella sp* e estafilococos coagulase positivos, a fim de verificar o cumprimento das
257 condições sanitárias aplicáveis à preparação de alimentos para consumo humano.

258

259 2.9.3 Análise estatística e multivariada

260 O planejamento de misturas foi constituído de 10 pontos experimentais distintos, com o
261 ponto centroide. Cada experimento foi realizado em duplicata e, os valores obtidos representam
262 a média de quatro repetições das análises, para os parâmetros de qualidade investigados.
263 Primeiramente foram obtidos os valores dos efeitos principais, interações e análise de variância
264 (ANOVA). Posteriormente, a normalidade e a homogeneidade de variância dos resíduos foram
265 verificadas. Procedeu-se com a análise de variância (ANOVA entre os grupos) para todas as
266 respostas. O somatório de todos os componentes deverá ser igual a 100%. O modelo matemático
267 básico para ajustar os dados no planejamento de misturas é apresentado na Equação 6:

268

Equação 6

269

$$x_1 + x_2 = 1$$

270 O presente estudo aplicou a técnica dos pseudocomponentes por necessitar restringir as
 271 proporções dos três componentes, que perfazem a mistura, na produção do pão isento de glúten
 272 com plantas alimentares não convencionais. No final o intervalo fechado foi entre 0 e 1. Desta
 273 forma foi obtido um espaço experimental através de uma sub-região da região inicialmente
 274 analisada. Os modelos modelo cúbico ou especial cúbico são preferidos. Assim, na seleção dos
 275 pontos candidatos devem incluir os vértices da região, os terços das arestas, os centroides do
 276 plano das restrições, o centroide geral e os pontos axiais, que são os pontos médios no intervalo
 277 do centroide geral com os vértices. Abaixo a representação matemática do modelo especial
 278 cúbico para três pseudocomponentes, aplicado neste estudo (Equação 7):

279 Equação 7

$$280 \quad y = b_1^*x'_1 + b_2^*x'_2 + b_3^*x'_3 + b_{12}^*x'_1x'_2 + b_{13}^*x'_1x'_3 + b_{23}^*x'_2x'_3 + b_{123}^*x'_1x'_2x'_3$$

281 Em que: y é a resposta esperada, b^*_1, \dots, b^*_{123} são os termos de regressão.

282 Logo, os limites superiores e/ou inferiores nas misturas são apresentados desta forma:

$$283 \quad 0 \leq L_i \leq x_i \leq U_i \leq 1; i = 1, \dots, q$$

284

285 Em que L_i é o limite inferior e U_i é o limite superior da proporção do componente i .

286 Para obtenção de uma resposta global foram selecionadas algumas equações, com o
 287 intuito de proceder com a otimização do experimento. Através da função de desejabilidade foi
 288 realizada a transformação de cada variável resposta (Y_i) estimada para um valor desejável (d_i),
 289 em que $0 \leq d_i \leq 1$.

290 Se o objetivo T na resposta Y_i é o valor máximo (Equação 8):

291 Equação 8

$$292 \quad d_i = \begin{cases} 0 & Y_i < L \\ \left(\frac{Y_i - L}{T - L}\right)^r & L \leq Y_i \leq T \\ 1 & Y_i > T \end{cases}$$

293

294 Se o objetivo T na resposta Y_i é o valor mínimo (Equação 9):

295

296

Equação 9

297

$$d_i = \begin{cases} 1 & Y_i < T \\ \left(\frac{U - Y_i}{U - T}\right)^r & T \leq Y_i \leq U \\ 0 & Y_i > U \end{cases}$$

298

299

300

301

302

303

304

305

Em que, L é o limite inferior e U é o superior. A função de conveniência é linear quando o peso r é igual a 1. Caso seja escolhido $r > 1$ há mais ênfase no valor próximo ao alvo. Ao preferir $0 < r < 1$ este é menos importante. Os valores individuais de desejabilidade (d_i) foram combinados através de uma média geométrica para formar uma conveniência global ou geral (D). Este valor único de D [0, 1] fornece a avaliação global da conveniência e os níveis de resposta combinados, e D irá aumentar à medida que o equilíbrio das propriedades se torna mais favorável (Derringer & Suich, 1980).

306

307

308

309

As análises estatísticas e multivariadas foram realizadas no programa software *Statistica*, versão 8.0, sendo adotado o nível de 5% ($p < 0,05$) de significância para rejeição da hipótese de nulidade em todas as análises.

310

3. Resultados e discussão

311

312

3.1 Viscosidade das farinhas de maca peruana

313

314

315

316

317

318

As marcas A e B das farinhas de maca peruana apresentaram diferença significativa entre as viscosidades. A farinha A apresentou viscosidade de $2,40 \pm 0,40$ mPas (a 50 RPM); $3,15 \pm 0,15$ mPas (a 100 RPM) e $3,30 \pm 0,10$ mPas (a 150 RPM), e a farinha B apresentou viscosidade $576,00 \pm 5,00$ (a 50 RPM), $398,30 \pm 5,00$ (a 100 RPM) e $323,00 \pm 5,00$ (a 150 RPM). A maca que apresentou maior viscosidade (B), não pode ser utilizada para o preparo dos pães pois ao ser incorporada na massa, ela cria uma solução espessa e gelatinosa que prejudica a fermentação e o

319 crescimento do pão, tornando-o mais duro e menos aerado. Para a obtenção dos pães sem glúten
320 enriquecidos com maca peruana, utilizou-se a farinha A, que apresentou menor viscosidade, pois
321 ao ser incorporada à massa, proporcionou pães mais macios e aerados, com alvéolos bem
322 formados e miolos menos densos. A interferência na viscosidade da maca peruana na massa dos
323 pães pode ser dar devido a formação de gel espessante, o que torna a massa mais condensada
324 com formação de pães menores, mais endurecidos, gomosos e menos elásticos.

325

326 *3.2 Estrutura física dos pães*

327 Todas as formulações resultaram em pães com crostas douradas, brilhantes, homogêneas, com
328 pouca espessura (finas), consistentes e bem definidas. Os resultados demonstraram que a
329 interação entre os ingredientes foi positiva para a formação deste tipo de crosta. Todas as
330 formulações apresentaram a formação de miolos consistentes, homogêneos e sem buracos que
331 comprometessem a estrutura do pão conforme Figura 1 (Anexo 2).

332 A matriz de ensaios realizada no planejamento de misturas com os três pseudocomponentes,
333 sendo as farinhas de niger, alpiste e arroz, na avaliação dos parâmetros de qualidade: volume
334 específico, dureza, adesividade, elasticidade, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e
335 resiliência nos pães isentos de glúten conforme Tabela 1 (Anexo 1).

336 Os resíduos apresentaram distribuição aleatória, normalidade e homogeneidade na variância. Isso
337 foi verificado através do conjunto de dados obtidos nas respostas de adesividade, elasticidade,
338 volume específico, dureza, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência. Os efeitos
339 principais dos pseudocomponentes (x'_1 , x'_2 e x'_3) podem ser obtidos através da multiplicação por
340 dois dos respectivos coeficientes de regressão, sendo todos significativos como demonstrado na
341 Tabela 2 (Anexo 3).

342 Os parâmetros adesividade e elasticidade não apresentaram falta de ajuste, com $p= 0,3941$ e
343 $p=0,1345$, respectivamente. Ao avaliar o coeficiente de determinação (R^2), o qual é responsável

344 por demonstrar a quantidade de variabilidade nos dados, que pode ser explicada pelo modelo de
345 regressão ajustado. A adesividade obteve $R^2=0,5171$ e o parâmetro elasticidade $R^2=0,5193$. Estes
346 valores pressupõe uma baixa explicação dos fenômenos que podem ocorrer na região investigada,
347 ressalta-se que o modelo linear foi significativo nessas respostas. Na avaliação qualitativa de pães
348 sem glúten, esses critérios são importantes, mas não podem ser avaliados de forma isolada, por
349 não determinarem um ganho ou perda na qualidade na panificação (Szczesniak, 2002). Devido a
350 isso, a adesividade e elasticidade não foram considerados no processo de otimização do
351 experimento.

352 Neste planejamento de misturas verificou-se uma boa correlação dos valores previstos pelos
353 valores observados nos modelos significativos, que foram modelos quadráticos (coesividade e
354 resiliência), cúbicos (volume específico) e cúbico especial, nos parâmetros dureza, gomosidade
355 e mastigabilidade, assim como no planejamento com quatro pseudocomponentes, com a farinha
356 de maca peruana. Comprova-se pelo expressivo valor do $R^2_{\text{calculado}}$ e este permitiu explicar de
357 73% dos fenômenos ocorridos com relação à resiliência e até 99% para o volume específico,
358 dureza e gomosidade, na faixa de estudo analisada conforme Tabela 2 (Anexo 3).

359 O modelo cúbico especial pode ser exemplificado através da modelagem da Equação 6, no caso
360 da dureza (Equação 9), em que é suprimido o termo de interação $x'_1x'_2$. O mesmo ocorreu em
361 todas as respostas avaliadas conforme a Tabela 2 (Anexo 3). Essa interação binária diz respeito
362 às farinhas alimentares não convencionais niger e alpiste, que ao serem misturadas, isoladamente
363 não apresentam mudanças nas características dos pães, ou melhor, ambas apresentam efeitos
364 semelhantes sobre o produto. Ao verificar os efeitos principais desses pseudocomponentes é
365 possível observar que os valores são muito próximos, o que corrobora com a hipótese de terem
366 a mesma influência sobre as propriedades físicas dos pães.

367 Equação 10

368
$$y = 647,19x'_1 + 498,92x'_2 + 3932,49x'_3 - 4660,80x'_1x'_3 - 5880,05x'_2x'_3 + 11807,38x'_1x'_2x'_3$$

369

370 Nos modelos quadráticos, coesividade e resiliência, a interação x_1x_3 não foi significativa, mas
371 permaneceu no modelo quadrático da coesividade, por possuir uma contribuição sinérgica
372 significativa desses pseudocomponentes, que se retirada, há depreciação do coeficiente de
373 determinação, nesta resposta demonstrado na Tabela 2 (Anexo 3).

374 A função de desejabilidade demonstrados nas Figuras 2 e 3 (Anexos 5 e 7) teve como objetivo
375 demonstrar a melhor formulação através do máximo para o volume específico, a coesividade,
376 mastigabilidade e resiliência, tendo em vista uma menor dureza e gomosidade no produto.
377 Primeiramente foram avaliados para essa função conjuntamente as respostas, que melhor foram
378 ajustados através dos modelos cúbico e cúbico especial na Tabela 2 (Anexo 3), tendo como
379 melhor formulação a ausência de farinha de niger, 63% de alpiste e 37% de arroz. Ao serem
380 inseridos os parâmetros, cujos modelos foram quadráticos (coesividade e resiliência na Figura 3
381 – Anexo 6), houve uma tendência semelhante, com 0% de niger, 68% de alpiste e 32% de arroz.
382 Inicialmente os pães sem glúten contendo apenas a farinha de alpiste, sem as farinhas de niger e
383 arroz, assim como a proporção de 16% farinha de niger, 67% de farinha de alpiste e 16% de
384 farinha de arroz, apresentaram as melhores características físicas quando comparado com as
385 demais formulações. Esses resultados corroboram com a proporção de farinhas obtidas na função
386 de desejabilidade, o melhor produto, conforme a conveniência dos fatores investigados no
387 delineamento de misturas.

388

389 *3.3 Cor dos pães*

390 A cor dos pães variou conforme os parâmetros Luminosidade (L^* ; a^* ; b^*), Cromo (C^*) e
391 Tonalidade (H^* , H°), de acordo com a Tabela 4 (Anexo 6). Os pães que apresentaram menor
392 luminosidade ($L^* = 30,95 \pm 0,31$), tendendo a cor preta, foram os da formulação 1 que possuía
393 maior concentração de semente de niger (com proporção de 100% de niger, para 0% de alpiste e
394 arroz). As sementes de niger possuem coloração escura, quase preta e sua cor predomina a massa

395 dos pães. A tonalidade de todas as formulações avaliadas se aproximou do amarelo ($H^{\circ}= 86$ e
396 88), sendo o amarelo (dourado), a cor desejada pelo público na avaliação da cor de pães (CESAR,
397 et al; 2006). Os pães com maior contração de alpiste (100% alpiste e 0% de niger e arroz),
398 apresentaram coloração mais clara, tendendo a cor amarelada.

399

400 *3.4 Parâmetros nutricionais*

401 Os pães foram analisados conforme a composição de macronutrientes. Os dados em relação à
402 matéria seca estão demonstrados na Tabela 5 (Anexo 8). O aumento da concentração de niger
403 (Formulação 01) demonstrou um pão com menor quantidade de carboidrato, alto valor proteico
404 e lipídico, se comparado às outras formulações, o que demonstra ser um pão altamente nutritivo.
405 De acordo com Thatte e Lakshmi (2012), as sementes de niger podem possuir na sua composição
406 25,5% de proteína, 30% de lipídeos e 21,8% de fibras, o que corrobora com os resultados
407 encontrados. As proteínas possuem papel fundamental na reparação e constituição celular, auxilia
408 na reestruturação e fortalecimento muscular, além de ser um potencial antioxidante (Moure et al,
409 2006). É relatado que as sementes de niger desengorduradas podem oferecer uma fonte natural
410 de antioxidantes e que a ingestão de farinha de niger desengordurada durante as refeições, oferece
411 uma boa quantidade de aminoácidos e eficiência proteica, visto que as proteínas das sementes de
412 niger são de boa qualidade e podem ser utilizadas como suplemento alimentar (Thatte; Lakshmi;
413 2012; Bhagya; Sastry; 2003).

414 No que tange a composição de carboidratos, os pães com maior concentração de farinha de niger
415 (100%) consistiram em menores teores de carboidratos, o que faz deste alimento, uma opção
416 interessante para dietas de baixo índice glicêmico. O consumo excessivo de carboidratos está
417 associado ao acúmulo de gordura corporal, diabetes mellitus e doenças cardiovasculares
418 (Capriles, Guerra-Matias, Arêas; 2009). As demais formulações expressaram conteúdo de
419 carboidrato maior se comparado à formulação 1, porém ao compará-las à outros pães sem glúten

420 descritos na literatura, como pães de batata enriquecidos com farinha de chia (83 a 88% de
421 carboidrato) (PEREIRA et al; 2013), pães elaborados com farinha de arroz adicionados de
422 colágeno (87 a 89% de carboidratos) (GRAÇA et al, 2017), pães de tapioca (94%) e pães de arroz
423 (83%) (Horstmann et al, 2016), os adicionados de niger e alpiste podem ser uma opção mais
424 saudável para o consumo. O pão adicionado com maior concentração de farinha de alpiste
425 (100%) apresentou teor de cinzas aumentado, se comparado aos demais pães. Este fato corrobora
426 com as pesquisas que relatam alto teor de minerais nesta semente (Abdel-Aal et al; 2011;
427 Cogliatti; 2012).

428 Os ácidos graxos encontrados estão demonstrados na Tabela 6 (Anexo 9). Estudos realizados por
429 Ramadan (2011) e Geleta, Stymne, Bryngelsson (2011), também demonstram terem encontrado
430 os mesmos ácidos graxos nas sementes de niger e alpiste. O ácido linoleico (n-6) predominou a
431 porcentagem de ácidos graxos. Os óleos vegetais com elevados teores de ácido oleico (18:1n-9),
432 são cada vez mais utilizados para aplicações alimentares devido seu efeito hipocolesterolêmico
433 (Geleta, Stymne, Bryngelsson; 2011). No presente estudo, o pão enriquecido com maior
434 quantidade de niger apresentou doses satisfatórias de ácido oleico. A composição da semente de
435 alpiste e niger são similares no que tange os ácidos graxos presentes (maiores quantidades dos
436 ácidos oleico e linoleico) (Nilkirk et al; 2011; Baghya; Sastry; 2003). O ácido linoleico foi
437 identificado em maior valor se comparado aos outros ácidos graxos, sendo ele um ácido essencial
438 que deve ser obtido pela dieta, o que possibilita que o organismo sintetize os demais ácidos
439 graxos de suas famílias como o ácido araquidônico (20:4 n-6). Em combinação com o ácido
440 linolênico (n-3), o n-6 pode retardar o desenvolvimento de aterosclerose (Raposo; 2010).

441 Os lipídeos encontrados nas quatro formulações analisadas foram altos, destacando-se a
442 formulação 1. A semente de niger possui característica oleaginosa, que desempenha um papel
443 importante na nutrição humana. O teor de ácidos graxos em sementes de niger varia de 30 a 50%.
444 A semente de alpiste também contribui para o aumento do teor de lipídeos do pão, sua

445 composição varia de 8,5 a 9% de ácido graxo em 100 g de alpiste (Gonzales et al; 2014; Newkirk
446 et al; 2011).

447

448 *3.5 Análise sensorial*

449 O planejamento de misturas consistiu em 10 diferentes formulações, contudo na análise sensorial
450 foram selecionadas 4 formulações, sendo estas a formulação com 100% do pseudocomponente
451 farinha de alpiste, a segunda com 100% de farinha de niger, o ponto centroide e a última com
452 67% de alpiste, 16% de niger e 16% farinha de arroz.

453 As notas dos provadores variaram entre gostei ligeiramente a gostei moderadamente, nas
454 amostras de pães contendo 67% e 100% de farinha de alpiste, o que permite pressupor uma boa
455 aceitação em todos os atributos avaliados conforme Figura 4 (Anexo 10). Os
456 pseudocomponentes alpiste e niger apresentaram características semelhantes nos modelos
457 matemáticos demonstrados na Tabela 2 (Anexo 3), segundo os parâmetros de qualidade
458 investigados, mas não foi verificada essa similaridade na preferência dos potenciais consumidores
459 nestes produtos. No estudo prévio realizado com a maca peruana no pão sem glúten, que quanto
460 maior a quantidade desta farinha, maior aceitabilidade do público. Isso foi devido ao sabor
461 adocicado, que a maca peruana proporciona. Além disso, a proporção desta farinha, que foi igual
462 em todas as formulações, auxiliou nas médias encontradas no presente estudo. Ressalta-se que o
463 teste sensorial conduzido com provadores não celíacos, o que aumenta o grau de exigência
464 quando se trata de produtos de panificação, principalmente, no que se refere à textura.

465

466 *3.6 Análises microbiológicas*

467 A pesquisa de coliformes a 45 °C das amostras analisadas apresentaram valores inferiores a 9,00
468 NMP g⁻¹, no intervalo de confiança de 95% (limite inferior não aplicável e limite superior de
469 9,50 NMP g⁻¹). Isto comprova condições higiênico-sanitárias satisfatórias. Devido aos valores

470 encontram-se abaixo do máximo tolerado ($100,00 \text{ NMP g}^{-1}$), para coliformes termotolerantes. As
471 amostras apresentaram ausência de *Salmonella sp.* e de Estafilococos coagulase, ressalta-se que
472 o modo como os produtos foram processados no presente estudo, permitiu obter pães isentos de
473 glúten em conformidade com as boas práticas de fabricação.

474

475 **4. Conclusão**

476 Todos os parâmetros estudados para avaliar o pão sem glúten com farinha de duas plantas
477 alimentares não convencionais, niger e alpiste, através de um planejamento de misturas,
478 apresentaram modelos ajustados e significativos. Nos modelos pode-se observar à significativa
479 e semelhante contribuição das farinhas de niger e alpiste. A função desejabilidade foi realizada
480 duas vezes. Uma com as respostas que apresentaram modelos cúbico ou cúbico especial, por ter
481 maior relevância na restrição matemática nos planejamentos de misturas. A segunda foi realizada
482 com a adição dos modelos quadráticos de coesividade e resiliência. Em ambos os casos o ponto
483 ótimo, ou melhor, região ótima foi muito semelhante: uma formulação contendo 63-68% de
484 farinha de alpiste, farinha de arroz com variação de 37 a 32% e, sem a farinha de niger. Através
485 da análise sensorial é possível verificar a mesma tendência, com especial destaque, no pão que
486 contém 67% de farinha de alpiste. Além disso, essas formulações de pães isentos de glúten
487 possuem em sua composição maca peruana, que em estudo preliminar auxiliou na melhora
488 nutricional do produto. Os parâmetros higiênico-sanitários foram satisfatórios no processamento
489 de um produto panificado, com bom aporte nutricional.

490

491

492

493

494

495 **Referências Bibliográficas**

496

497 AACC. American Association of Cereal Chemists. (1995). *Approved Methods of American*
498 *Association of Cereal Chemists*. St. Paul: Approved Methods Committee.

499 allergy and non-celiac gluten sensitivity. *World Journal Gastroenterology*, 21, 23, 7110-7119.

500 AOAC. Association of Official Analytical Chemists. (1995). *Official Methods of Analysis of*
501 *AOAC international*. Washington: AOAC.

502 Bardella, M. T. (2015). Diagnosis of gluten related disorders: Celiac disease, wheat

503 Bardella, M. T., Elli, L., Velio, P., Fredella, C., Prampolini, L., Cesana, B. (2007). Silent celiac
504 disease is frequent in the siblings of newly diagnosed celiac patients. *Digestion:*

505 *International Journal of Gastroenterology*, 75, 4,182-187.

506 Bligh, E. G., Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification.

507 *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8), 911-917.

508 Brasil, *Ministério da Agricultura*. Instrução Normativa nº 62, de 29 de dezembro de 2011.

509 Brasil, *Ministério da Saúde*. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

510 Cesar, A., da S; Gomes, J. C., Staliano, C. D., Fanni, M. L., Borges, M. C. Elaboration of bread
511 without gluten. *Ceres*, 53, 150-155.

512 Derringer, G., Suich, R (1980). Simultaneous optimization of several response variables. *Journal*
513 *of Quality Technology*, 12, 214-219.

514 Dutcosky, S. (Ed). (2011). *Análise Sensorial de Alimentos*. Champagnat.

515 El-Dash, A. A., Camargo, C. R. O., & Diaz, N. (1982). *Fundamentos de Tecnologia de*
516 *Panificação*. Série Agro-Industrial, 6.

517 Elgeti D., Nordlohne, S.D., Föste, M., Besl , M., Linden, M.H., Heinz, V., Jekle, M (2014).

518 Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour. *Journal*
519 *of Cereal Science*, 59, 41-47.

- 520 Elli, L., Branchi, F., Tomba C., Villalta, D., Norsa, L., Ferretti, F., Roncoroni, L.,
521 Fasano, A., Araya, M., Bhatnagar, S., Cameron, D., Catassi, C., Dirks, M., Mearin, M. L.,
522 Ortigosa, L., Philips, A. (2008). Federation of international societies of pediatric
523 gastroenterology, hepatology, and nutrition consensus report on celiac disease. *Journal*
524 *of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 47, 2, 214-219.
- 525 Gohara, A. K., Souza, A. H. P., Rotta, E. M., Stroher, G. L., Gomes, S. T. M., Visentainer, J. V.,
526 Souza, N. E., Matsushita, M. (2015). Application of Multivariate Analysis to Assess the
527 Incorporation of Omega-3 Fatty Acid in Gluten-Free Cakes. *Journal of the Brazilian*
528 *Chemical Society*, 27, 62-69.
- 529 Gohara, A. K., Souza, A. H. P., Zanqui, A. B., Souza, N. E., Visentainer, J. V., Matsushita, M.
530 (2014). Chemometric tools applied to the development and proximal and sensory
531 characterization of chocolate cakes containing chia and azuki. *Acta Scientiarum.*
532 *Technology*, 36, 537-543.
- 533 Gonzales, G. F., Villaorduña, L., Gasco, M., Rubio, J., Gonzalez, C (2014). Maca (*Lepidium*
534 *meyenii*), una revisión sobre sus propiedades biológicas. *Revista Peruana de Medicina.*
535 *Experimental y. Salud Publica*, 31, 100-110.
- 536 Kinupp, Valdely. F., Lorenzi, Harri. (2014). Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC)
537 no Brasil – guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. Editora
538 Instituto Plantarum de Estudos da Flora; São Paulo.
- 539 Moraes, E., Cruz, A. G. Bolini, H. M. A. (2013). Gluten-free bread: multiple time–intensity
540 analysis, physical characterisation and acceptance test. *International Journal of Food*
541 *Science and Technology*, 48, 2176–2184.
- 542 Neto, B. B., Scarminio, I. S., Bruns, R. E. (2010). Como fazer experimentos: pesquisa e
543 desenvolvimento na ciência e na indústria. Campinas-SP, 4th ed Unicamp, 414p.

- 544 Osuna, M. B., Judis, M.A., Romero, A.M., Avallone, C.M., Bertola, C (2014). Improvement of
545 Fatty Acid Profile and Studio of Rheological and Technological Characteristics in
546 Breads Supplemented with Flaxseed, Soybean, and Wheat Bran Flours. *The Scientific*
547 *World Journal*, 1-10.
- 548 Pagamunici, L. M., Gohara, A. K., Souza, A. H. P., Bittencourt, P. R. S., Torquato, A. S.,
549 Batiston,W. P., Gomes, S. T. M., Souza, N. E., Visentainer, J. V., Matsushita, Makoto.
550 (2014b). Using chemometric techniques to characterize gluten-free cookies containing
551 the whole flour of a new quinoa cultivar. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 25,
552 2, 219-228.
- 553 Pagamunici, L. M., Souza, A. H. P., Gohara, A. K., Souza, N. E., Gomes, S. T. M., Matsushita,
554 M. (2014a). Development, characterization and chemometric analysis of a gluten-free
555 food bar containing whole flour from a new cultivar of amaranth. *Ciência e*
556 *agrotecnologia*, 38, 3, 270-277.
- 557 RDC n. 12, de 02 de Janeiro de 2001 (B). Regulamento técnico sobre padrões
558 microbiológicos para alimentos.
- 559 Sciarini, L., Ribota, P. D., Leo'n, A. E., Perez, G. T. (2010). Effect of hydrocolloids on gluten-
560 free batter properties and bread quality. *International Journal of Food Science and*
561 *Technology*, 45, 2306–2312.
- 562 Souza, A. H. P., Gohara, A. K., Rotta, E. M., Chaves, M. A., Silva, C. M., Dias, L. F., Gomes,
563 S. T. M., Souza, N. E., Matsushita, M. (2015). Effect of the addition of chia's by-product
564 on the composition of fatty acids in hamburgers through chemometric methods. *Journal*
565 *of the Science of Food and Agriculture*, 95, 928-935.
- 566 STATSOFT. (2007). Data Analysis Software System. Version 7, Cairo: Statsoft Inc.
- 567 Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13, 4,
568 215-225.

569 Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13, 215-
570 225.

571 Visentainer, J.V., Franco, M.R.B. (2006). *Ácidos graxos em óleos e gorduras: Identificação e*
572 *quantificação*. São Paulo. Barela, 11-17; 99-119.

573 Zanqui, A. B.; Bastiani, D.; Souza, A. H. P.; Marques, D. R.; Gohara, A. K; Matsushita, M.;
574 Monteiro, A. R. G. (2014). Developing of Mini Panettone Containing Omega-3 in Partial
575 Substitution of Wheat Flour for Golden Linseed Flour (*Linum Usitatissimum*, L.). *Revista*
576 *Virtual de Química*, 6, 4, 968-976.

577

578

579

580

581

582

583

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593

594

595

596

597

598 **Anexo 1**

599 **Tabela 1** Matriz de ensaios do planejamento de misturas dos pães acrescidos com as farinhas de niger e alpiste. Os
 600 valores reais de cada farinha estão demonstrados entre parênteses.

**Formulações.	x'_1 *	x'_2 *	x'_3 *
1	1,000 (75,40 g)	0,000 (0,00 g)	0,000 (0,00 g)
2	0,000 (0,00 g)	1,000 (75,40 g)	0,000 (0,00 g)
3	0,000 (0,00 g)	0,000 (0,00 g)	1,000 (75,40 g)
4	0,500 (37,70 g)	0,500 (37,70 g)	0,000 (0,00 g)
5	0,500 (37,70 g)	0,000 (0,00 g)	0,500 (37,70 g)
6	0,000 (0,00 g)	0,500 (37,70 g)	0,500 (37,70 g)
7	0,333 (25,13 g)	0,333 (25,13 g)	0,333 (25,13 g)
8	0,666 (50,27 g)	0,166 (12,57 g)	0,166 (12,57 g)
9	0,166 (12,57 g)	0,666 (50,27 g)	0,166 (12,57 g)
10	0,166 (12,57 g)	0,166 (12,57 g)	0,666 (50,27 g)

601 *Pseudocomponentes – x'_1 : Farinha de niger; x'_2 : Farinha de alpiste; x'_3 : Farinha de arroz

602 **Formulações.

603

604

605

606

607

608

609

610

611

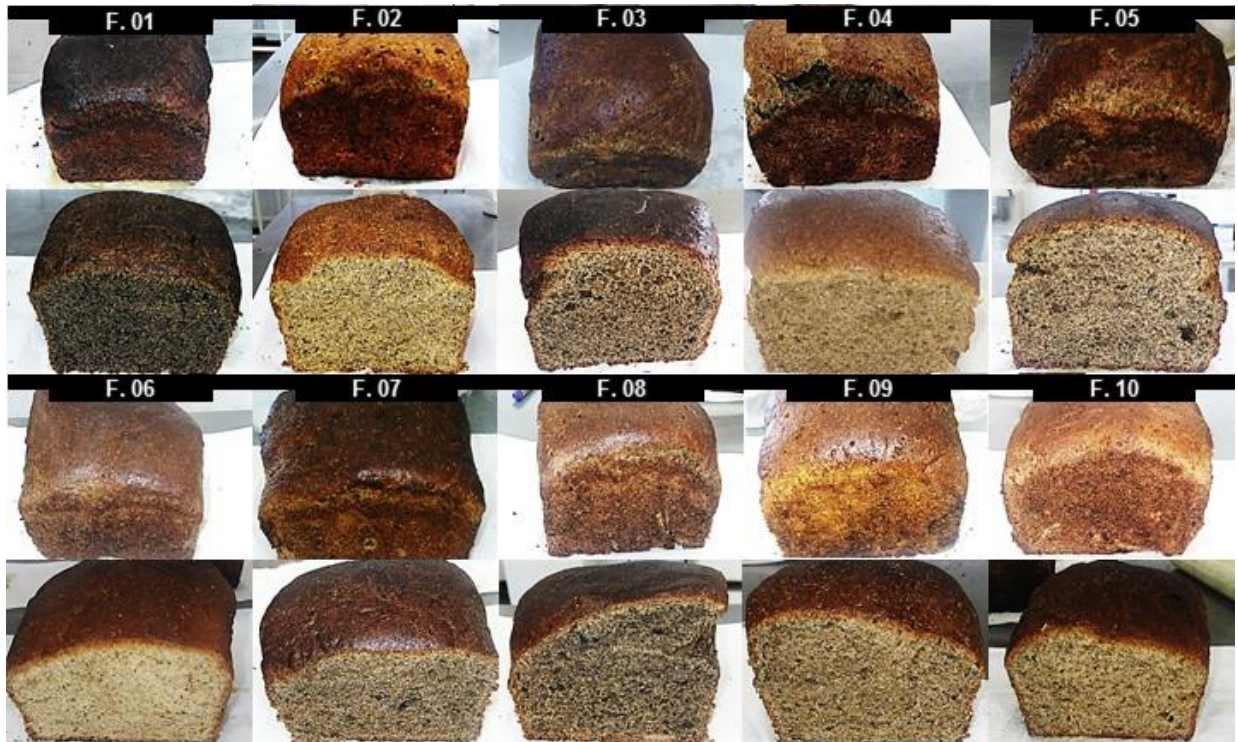
612

613

614

615

616 Anexo 2

617 **Figura 1.** Aparência e estrutura interna dos pães sem glúten adicionados com farinhas de alpiste e niger.618 **Fonte:** A autora.

619

620

621

622

623

624

625

626

627

628

629

630

631

632

633

634

635 Anexo 3

636 **Tabela 2.** Respostas dos parâmetros estudados no planejamento de misturas com três pseudocomponentes e o ponto centroide, aplicado no desenvolvimento de pão isento de glúten
637 contendo plantas alimentícias não convencionais.

x'_1	x'_2	x'_3	Volume específico	Dureza	Adesividade	Elasticidade	Coabilidade	Gomosidade	Mastigabilidade	Resiliência
1,0000	0,0000	0,0000	2,7440	689,7464	-7,1531	0,6366	0,6813	469,9056	299,1285	0,3163
0,0000	1,0000	0,0000	2,9420	427,8357	0,0000	0,7921	0,7964	340,7261	269,8801	0,4232
0,0000	0,0000	1,0000	1,9704	4129,8572	-1,8453	0,8973	0,5974	2467,0896	2213,8359	0,3213
0,5000	0,5000	0,0000	2,8890	521,8920	-1,5425	0,6742	0,7737	403,7920	272,2554	0,3878
0,5000	0,0000	0,5000	2,8190	953,8276	-2,2766	0,5667	0,7758	740,0225	419,3747	0,4202
0,0000	0,5000	0,5000	2,9599	843,3717	0,0000	0,7839	0,8092	682,4560	534,9926	0,4430
0,6667	0,1667	0,1667	2,7307	824,5605	-3,5278	0,6041	0,7479	616,6747	372,5292	0,3745
0,1667	0,6667	0,1667	2,9272	666,1117	0,0000	0,8416	0,7760	516,9261	435,0427	0,3987
0,1667	0,1667	0,6667	2,7387	2062,7276	-0,1611	0,8253	0,7453	1537,2751	1268,7784	0,4185
0,3333	0,3333	0,3333	2,9160	910,6582	-0,2817	0,8927	0,7681	699,4840	624,4252	0,4127
1,0000	0,0000	0,0000	2,7500	536,3622	-0,9685	0,4496	0,7413	397,6158	178,7783	0,3639
0,0000	1,0000	0,0000	2,9560	568,4379	-2,8371	0,8203	0,7529	427,9964	351,0946	0,3789
0,0000	0,0000	1,0000	2,0073	3734,0954	-3,0500	0,7326	0,6763	2525,4741	1850,1905	0,3856
0,5000	0,5000	0,0000	2,8510	622,7011	-0,0781	0,6736	0,7087	441,3298	297,2953	0,3445
0,5000	0,0000	0,5000	2,8210	1243,2317	-2,9490	0,8352	0,7379	917,3283	766,1776	0,3876
0,0000	0,5000	0,5000	2,9280	662,4942	0,0000	0,6823	0,8449	559,7224	381,8906	0,4848
0,6667	0,1667	0,1667	2,7948	780,6675	-3,3773	0,6219	0,7286	568,7978	353,7606	0,3573
0,1667	0,6667	0,1667	2,9642	387,5603	0,0000	0,6271	0,8193	317,5260	199,1111	0,4463
0,1667	0,1667	0,6667	2,7017	1697,3550	-3,5597	0,6738	0,7872	1336,1788	900,3171	0,4476
0,3333	0,3333	0,3333	2,8701	897,1527	0,0000	0,8646	0,7594	681,2744	589,0631	0,4071

638 Pseudocomponentes – x'_1 : niger; x'_2 : alpiste; x'_3 : farinha de arroz.

639

640 Anexo 4

641 **Tabela 3.** ANOVA, coeficientes de regressão, p-valor, intervalo de confiança, somatório quadrático e coeficiente de determinação das respostas volume específico, dureza,
 642 coesividade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência no planejamento de misturas com três pseudocomponentes, para o pão isento de glúten

Termos	x'_1	x'_2	x'_3	$x'_1x'_3$	$x'_2x'_3$	$x'_1x'_2x'_3$	$x'_1x'_3(x_1-x_3)$	Falta de ajuste	Erro puro	Total ajustado	Modelo
Volume específico - R ² 0,9938											
GL	1	1	1	1	1	1	1	3	10	19	6
Coefficientes	2,7530	2,9503	1,9885	1,7939	1,8761	-2,6060	-1,6502	-	-	-	Modelo cúbico
p-valor	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,3217	-	-	0,0000
-95%	2,7166	2,9152	1,9485	1,6002	1,6815	-3,7903	-2,2163	0,0026	0,0065	1,4739	1,4648
95%	2,7894	2,9853	2,0284	1,9875	2,0708	-1,4216	-1,0841	(SQ)	(SQ)	(SQ)	(SQ)
Dureza - R ² 0,9853											
GL	1	1	1	1	1	1	-	4	10	19	5
Coefficientes	647,1900	498,9200	3932,4900	-4660,8000	-5880,0500	11807,3800	-	-	-	-	Modelo especial cúbico
p-valor	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0016	-	0,8927	-	-	0,0000
-95%	455,1223	306,8575	3718,4037	-5722,9144	-6942,1606	5315,9539	-	0,8927	269877,0000	20367015,0000	20068331,0000
95%	839,2511	690,9863	4146,5853	-3598,6880	-4817,9343	18298,8124	-	(SQ)	(SQ)	(SQ)c	(SQ)
Coesividade - R ² 0,7694											
GL	1	1	1	1	1	1	-	4	10	19	5
Coefficientes	0,7077	0,7751	0,6408	0,3350	0,4972	-0,7917	-	-	-	-	Modelo quadrático
p-valor	0,0000	0,0000	0,0000	0,0047	0,0002	0,2154	-	0,9495	-	-	0,0469
-95%	0,6690	0,7364	0,5976	0,1209	0,2830	-2,1003	-	0,0008	0,0144	0,0590	0,0002
95%	0,7464	0,8138	0,6839	0,5491	0,7113	0,5169	-	(SQ)	(SQ)	(SQ)	(SQ)
Gomosidade - R ² 0,9850											
GL	1	1	1	1	1	1	-	4	10	19	5
Coefficientes	443,4679	369,5644	2527,6306	-2474,2267	-3254,7806	7444,6002	-	-	-	-	Modelo especial cúbico

p-valor	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0016	-	0,2568	-	-	0,0000
-95%	321,9504	248,0469	2392,1772	-3146,2163	-3926,7702	3337,5303	-	46071,0000	73492,0000	7985448,0000	7865885,0000
95%	564,9853	491,0818	2663,0840	-1802,2370	-2582,7909	11551,6701	-	(SQ)	(SQ)	(SQ)	(SQ)
Mastigabilidade - R ² 0,9560											
GL	1	1	1	1	1	1	-	4	10	19	5
Coefficientes	235,4515	300,1306	2045,6118	-2153,7609	-2847,8767	8008,6045	-	-	-	-	Modelo especial cúbico
p-valor	0,0126	0,0027	0,0000	0,0003	0,0000	0,0122	-	0,9882	-	-	0,0000
-95%	58,7802	123,4593	1848,6794	-3130,7505	-3824,8663	2037,4340	-	7383,0000	245344,0000	5739183,0000	5486456,0000
95%	412,1228	476,8019	2242,5442	-1176,7713	-1870,8871	13979,7750	-	(SQ)	(SQ)	(SQ)	(SQ)
Resiliência - R ² 0,7315											
GL	1	1	1	1	1	-	-	5	10	19	4
Coefficientes	0,3323	0,3977	0,3592	0,2057	0,3330	-	-	-	-	-	Modelo quadrático
p-valor	0,0000	0,0000	0,0000	0,0204	0,0008	-	-	0,8880	-	-	0,0261
-95%	0,2996	0,3650	0,3225	0,0365	0,1638	-	-	0,0013	0,0083	0,0356	0,0003
95%	0,3650	0,4304	0,3959	0,3749	0,5022	-	-	(SQ)	(SQ)	(SQ)	(SQ)

643 Pseudocomponentes – x'_1 : niger; x'_2 : alpiste; x'_3 : farinha de arroz. *Intervalo de confiança: -95% e +95%. GL: graus de liberdade. SQ: somatório quadrático. R²: coeficiente de
644 determinação

645

646

647

648

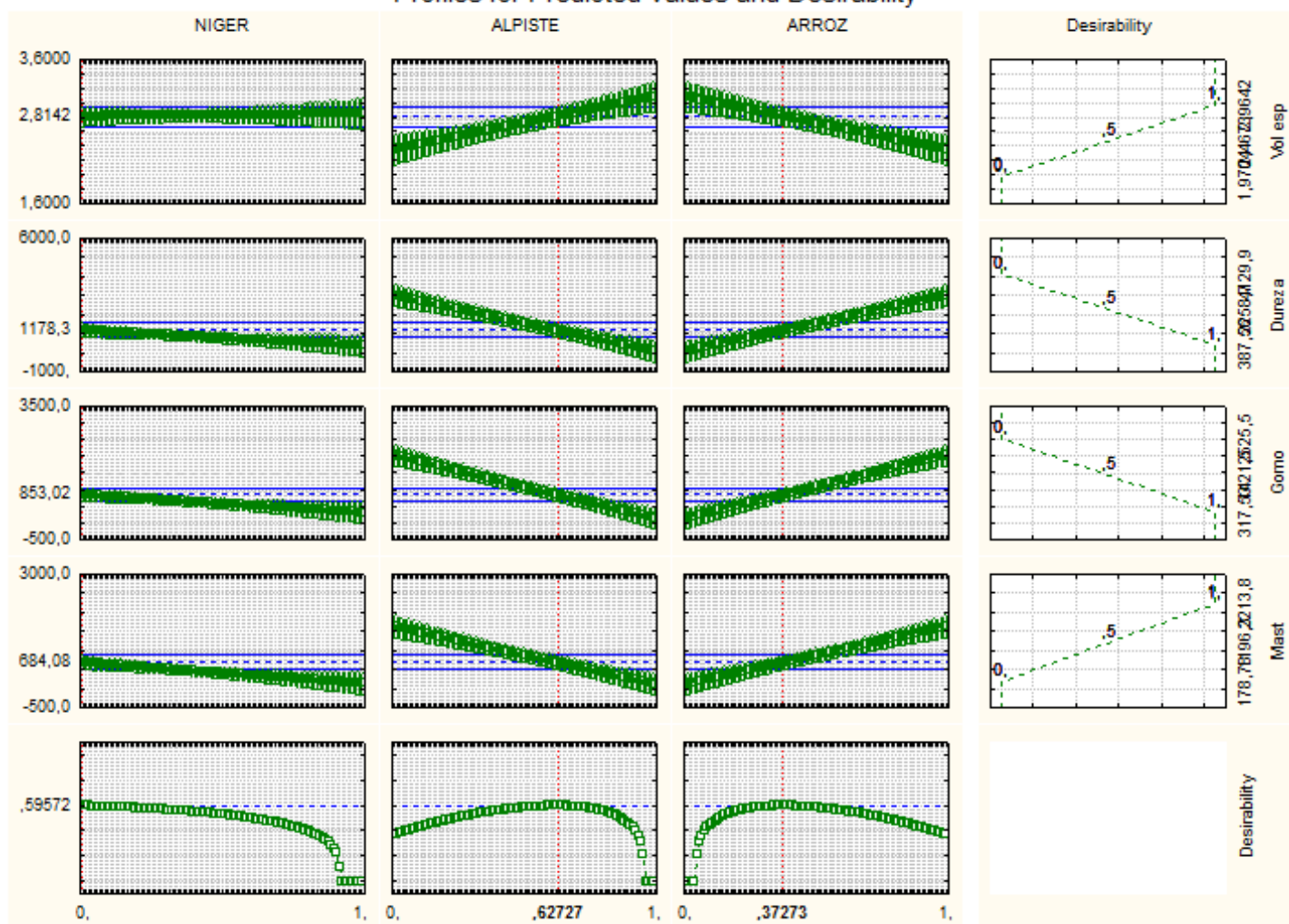
649

650

651

652 Anexo 5

Profiles for Predicted Values and Desirability

653 **Figura 2.** Gráfico desejabilidade com os componentes mastigabilidade, gomosidade dureza e volume específico.654 **Fonte:** A autora.

655

656

657

658

659

660

661

662

663

664

665

666 **Anexo 6**667 **Tabela 4** Coloração de pães sem glúten enriquecidos com maca peruana, alpiste e niger

Parâmetros	Formulação 01*	Formulação 02**	Formulação 07***	Formulação 09****
L*	30,92±0,31	41,92±2,54	34,06±0,90	41,01±0,59
a*	0,54±0,17	1,51±0,20	1,04±0,07	0,69±0,16
b*	18,29±5,21	22,68±0,82	17,42±0,18	20,73±1,05
H*	1,54±0,02	1,50±0,01	1,51±0,00	1,54±0,01
H°	88,00±1,10	86,18±0,63	86,58±0,20	88,11±0,35
C*	18,30±5,20	22,73±0,80	17,45±0,18	20,74±1,05

668 * Formulação 01 (proporção: 1,0: 0,0: 0,0: niger / alpiste / arroz);

669 ** Formulação 02 (proporção: 0,0: 1,0: 0,0: niger / alpiste / arroz);

670 *** Formulação 07 (proporção: 0,5: 0,5: 0,0: niger / alpiste / arroz);

671 ****Formulação 09 (proporção: 0,166: 0,666: 0,166: niger / alpiste / arroz).

672

673

674

675

676

677

678

679

680

681

682

683

684

685

686

687

688

689

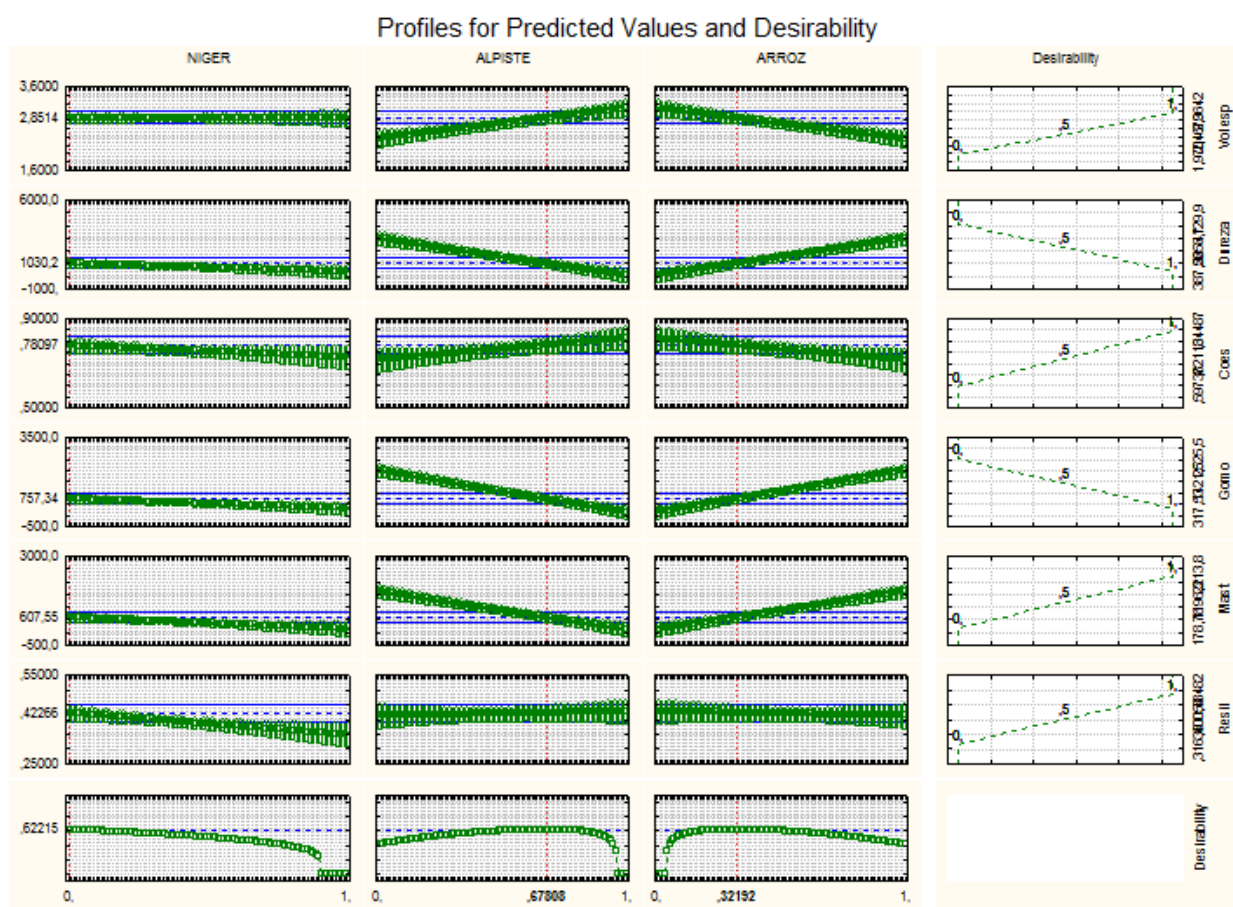
690

691

692

693 Anexo 7

694



695 **Figura 3.** Gráfico desejabilidade com os componentes resiliência, mastigabilidade, gomosidade, coesividade dureza
 696 e volume específico.

697 **Fonte:** A autora.

698

699

700

701

702

703

704

705

706

707

708

709

710 **Anexo 8**711 **Tabela 5** Composição centesimal das formulações dos pães.

Parâmetros (%)	Formulação 01*	Formulação 02**	Formulação 07***	Formulação 09****
Umidade	28,40±0,42	29,16±0,23	24,93±0,02	28,01±0,28
Cinzas	2,31±0,04	2,63±0,04	2,14±0,018	2,34±0,04
Carboidratos	15,38±0,65	33,30±0,45	35,19±3,87	39,57±4,43
Proteína	37,15±0,51	25,24±0,54	29,31±1,22	22,42±0,25
Lipídeos	16,61±0,24	9,67±0,37	8,48±0,51	7,66±2,32

712 * Formulação 01 (proporção: 1,0: 0,0: 0,0: niger / alpiste / arroz);

713 ** Formulação 02 (proporção: 0,0: 1,0: 0,0: niger / alpiste / arroz);

714 *** Formulação 07 (proporção: 0,5: 0,5: 0,0: niger / alpiste / arroz);

715 ****Formulação 09 (proporção: 0,166: 0,666: 0,166: niger / alpiste / arroz).

716

717

718

719

720

721

722

723

724

725

726

727

728

729

730

731

732

733

734

735

736

737

738 **Anexo 9**

739 **Tabela 6.** Composição de ácidos graxos encontrados majoritariamente em pães enriquecidos com farinha de niger
740 e alpiste em diferentes concentrações (g de ácido graxo em 100 g do produto).

Ácidos Graxos (g 100 g ⁻¹ de amostra)	Formulação 01*	Formulação 02**	Formulação 07***	Formulação 09****
14:0 (ácido mirístico)	0,025±1,668	0,015±1,054	0,044±1,897	0,008±2,003
16:0 (ácido palmítico)	2,890±1,824	1,900±2,087	1,800±1,361	0,700±2,854
16:1n-9 (ácido cis-7-hexadecanoico)	0,120±1,987	0,077±1,225	0,033±2,587	0,0270±1,144
18:0 (ácido esteárico)	1,600±2,156	0,600±0,248	1,100±1,418	0,600±1,857
18:1n-9 (ácido oleico)	7,800±1,971	3,900±1,833	6,600±1,235	3,700±0,995
18:2n-6 (ácido linoleico)	12,500±2,833	4,900±1,109	8,600±0,874	5,000±1,025
18:3n-3 (ácido alfa-linolênico)	0,120±1,488	0,140±1,354	0,031±1,998	0,027±1,598
20:0 (ácido araquídico)	0,110±1,002	0,054±1,921	0,040±2,541	0,0190±1,714
20:1n-9 (ácido cis-11-ecosanoico)	0,032±1,058	0,038±1,099	0,017±1,035	0,014±1,352
20:4n-6 (ácido araquidônico)	0,038±1,044	0,047±1,023	0,072±2,014	0,039±1,091
22:0 (ácido behênico)	0,130±1,058	0,035±1,755	0,072±2,111	0,039±1,098
24:0 (ácido tetracosanoico)	0,094±1,784	0,024±1,999	0,041±1,117	0,018±2,774

741 * Formulação 01 (proporção: 1,0: 0,0: 0,0: niger / alpiste / arroz);

742 ** Formulação 02 (proporção: 0,0: 1,0: 0,0: niger / alpiste / arroz);

743 *** Formulação 07 (proporção: 0,5: 0,5: 0,0: niger / alpiste / arroz);

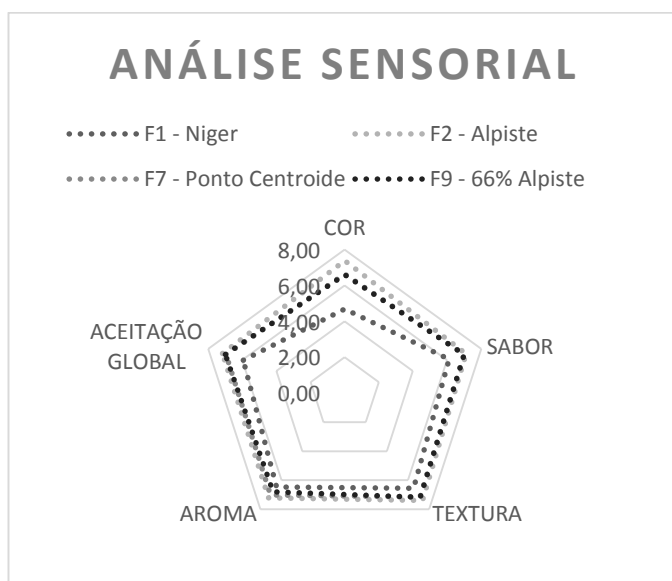
744 *** Formulação 09 (proporção: 0,166: 0,666: 0,166: niger / alpiste / arroz).

745

746

747

748 Anexo 10



749

750

Figura 4. Gráfico aranha que demonstra os resultados obtidos pela média do teste sensorial.

751

Fonte: A autora.

752

753

754

755

756

757

758

759

760

761

762

763

764

765

766

767

768

769

770

771