

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

ALINE MATTOS FONTANA

**PROPOSTA DE MISTURA DE INGREDIENTES SEM GLÚTEN PARA
A SUBSTITUIÇÃO DA FARINHA DE TRIGO EM BOLO DE
CHOCOLATE: AVALIAÇÃO DE ASPECTOS FÍSICOS E SENSORIAIS**

PORTO ALEGRE

2023

ALINE MATTOS FONTANA

**PROPOSTA DE MISTURA DE INGREDIENTES SEM GLÚTEN PARA A
SUBSTITUIÇÃO DA FARINHA DE TRIGO EM BOLO DE CHOCOLATE:
AVALIAÇÃO DE ASPECTOS FÍSICOS E SENSORIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro de
Alimentos do Instituto de Ciência e
Tecnologia de Alimentos da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul

Orientadora 1: Roberta Cruz Silveira Thys
Orientadora 2: Simone Hickmann Flôres

PORTO ALEGRE

2023

ALINE MATTOS FONTANA

PROPOSTA DE MISTURA DE INGREDIENTES SEM GLÚTEN PARA A
SUBSTITUIÇÃO DA FARINHA DE TRIGO EM BOLO DE CHOCOLATE:
AVALIAÇÃO DE ASPECTOS FÍSICOS E SENSORIAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal do Rio Grande
do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Alimentos

Aprovado em: Porto Alegre, 4 de abril de 2023.

Prof^a. Dr^a. Roberta Cruz Silveira Thys – UFRGS
Orientadora

Prof^a. Dr^a. Simone Hickmann Flôres – UFRGS
Orientadora

Prof^a. Dr^a Roberta Mariot – UFRGS
Examinadora

Gabriel Siqueira Galvão Novo - UFRGS
Examinador

AGRADECIMENTOS

Todos esses anos de graduação foram de intensa aprendizagem, dedicação e de muitos desafios. Sem o apoio e o suporte de diversas pessoas não seria possível chegar até aqui.

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha família por todo amor e apoio dados durante todo esse período. Aos meus pais, Marilde Beatriz Mattos Fontana e Jacir Fontana, que me encorajaram em todos os momentos de dificuldade e que me deram o suporte necessário para que eu pudesse me dedicar aos estudos. À minha irmã, Caroline Mattos Fontana, que sempre me ajudou e motivou a continuar em frente e à minha avó, Ana Mattos, por tantos auxílios e confiança.

Agradeço à minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Roberta Cruz Silveira Thys, pela paciência, apoio, incentivo e por todo o conhecimento transmitido durante a orientação deste trabalho e também no período da bolsa de iniciação científica. Foram momentos de muito aprendizado e conquistas. Muito obrigada por tudo!

Agradeço também à minha coorientadora, Prof^a. Dr^a. Simone Hickmann Flôres, por ter aceitado participar da elaboração deste trabalho e por todo o apoio, paciência, sugestões e conhecimento compartilhado comigo. Muito obrigada!

A todos que me ajudaram a realizar as análises executadas neste trabalho: Ana, Bárbara, Márcia, Michele e Tainan, muito obrigada pela disponibilidade. Também agradeço ao mestrando Gabriel pela disposição em me ajudar durante o período da bolsa de iniciação científica.

Gostaria também de expressar minha gratidão à Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, pelo elevado padrão de qualidade de ensino proporcionado e pela infraestrutura fornecida. Sou muito grata por ter tido a oportunidade de aprender com professores tão qualificados e essenciais em meu processo de formação profissional.

Aos meus colegas, com quem convivi durante esses anos, agradeço pelo companheirismo, amizade e alegrias. Também agradeço às minhas amigas, pela compreensão e motivação em tantos momentos.

Por fim, gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho. Sem o apoio de vocês, esta conquista não seria possível. Muito obrigada!

RESUMO

O aumento da demanda por produtos isentos de glúten tem impulsionado o desenvolvimento desses produtos. Farinhas sem glúten, amidos/féculas, hidrocoloides, fibras e proteínas são os principais ingredientes substitutos ao glúten utilizados com o intuito de desenvolver produtos com características tecnológicas e sensoriais agradáveis. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo elaborar um bolo de chocolate sem glúten através da substituição da farinha de trigo por uma mistura composta por farinha de arroz, amido de milho, fécula de mandioca, fécula de batata, goma xantana e fibra psyllium. Foram desenvolvidas nove formulações através do planejamento de misturas. Para avaliar a qualidade dos produtos obtidos foram realizadas as análises de volume, textura, cor e estrutura interna de miolo, assim como a análise de custo das formulações. Os resultados das análises físicas foram avaliados utilizando a metodologia de superfície de resposta e a Análise de Componentes Principais. Devido à proximidade dos resultados com a amostra controle (elaborada com farinha de trigo) e do custo da formulação, a formulação F2 (36% amido de milho) foi selecionada para a realização da análise sensorial, onde a amostra foi avaliada através do teste de aceitação de atributos utilizando escala hedônica verbal de 9 pontos para as características aparência, cor, sabor, textura, sabor residual e aceitação global. Também foi questionado a intenção de compra do produto. Todos os atributos atingiram o nível mínimo de 70% de aceitação, com destaque para o sabor, a textura e a aceitação que obtiveram mais de 90% de aprovação dos provadores sendo que 95% deles tinham interesse em adquirir o bolo. Portanto, a mistura de ingredientes proposta como substituto à farinha de trigo na elaboração de bolo de chocolate sem glúten proporcionou o desenvolvimento de um produto com atributos sensoriais agradáveis e de qualidade tecnológica semelhante ao bolo com glúten.

Palavras-chave: Bolo de chocolate sem glúten; Planejamento de misturas; Farinha de arroz; Amido de milho; Goma xantana; Fibra Psyllium.

ABSTRACT

The increased demand for gluten-free products has driven the development of these products. Gluten-free flours, starches, hydrocolloids, fibers and proteins are the main substitute ingredients for gluten used in order to develop products with pleasant technological and sensory characteristics. In this context, this study aims to prepare a gluten-free chocolate cake by replacing wheat flour with a mixture composed of rice flour, maize starch, cassava starch, potato starch, xanthan gum and psyllium fiber. Nine formulations were developed through mixture planning. To evaluate the quality of the obtained products, analyzes of volume, texture, color and internal structure of the crumb were carried out, as well as the cost analysis of the formulations. The results of the physical analyzes were evaluated using response surface methodology and Principal Component Analysis. Due to the proximity of the results with the control sample (made with wheat flour) and the cost of the formulation, the F2 formulation (36% maize starch) was selected for the sensory analysis, where the sample was evaluated through the test of acceptance of attributes using a 9-point verbal hedonic scale for the characteristics appearance, color, flavor, texture, aftertaste and overall acceptance. The purchase intention of the product was also questioned. All attributes reached the minimum level of 70% acceptance, with emphasis on the taste, texture and acceptance that obtained more than 90% approval from the tasters, with 95% of them being interested in purchasing the cake. Therefore, the mixture of ingredients proposed as a substitute for wheat flour in the preparation of a gluten-free chocolate cake provided the development of a product with pleasant sensory attributes and technological quality similar to the cake with gluten.

Keywords: Gluten-free chocolate cake; Mix planning; Rice flour; Maize starch; Xanthan gum; Psyllium fiber.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Doenças relacionadas ao consumo de glúten.....	15
Figura 2 – Inflamação nas vilosidades em decorrência da DC	16
Figura 3 – Aumento da dieta sem glúten entre os americanos (em porcentagem), 2009 – 2014	19
Figura 4 – Mercado de alimentos preparados sem glúten - Tamanho do mercado, por Região, Global, 2019.....	20
Figura 5 – Algumas considerações específicas no desenvolvimento de produtos sem glúten	21
Figura 6 – Valor da Produção de arroz no Brasil (Mil Reais)	24
Figura 7– Estrutura do grão de arroz em corte longitudinal	24
Figura 8 – Estruturas da amilose e amilopectina.....	26
Figura 9 – Processo de elaboração do bolo.....	32
Figura 10 – Estrutura da massa final do bolo preparado pelo método creme	33
Figura 11 – Diagramas triangulares relativos às análises de estrutura interna de miolo	48
Figura 12 – Diagramas triangulares relativos às análises de volume específico e dureza	49
Figura 13 – Diagramas triangulares relativos às análises de textura	51
Figura 14 – Diagramas triangulares relativos às análises de cor	52
Figura 15 – Resultados das análises físicas: poros $>5\text{mm}^2$, porosidade, densidade de células, dureza, coesividade, elasticidade, mastigabilidade, L^* , a^* , b^* e ΔE^*	53
Figura 16 – Resultado da análise física: volume específico.....	54
Figura 17 – Intenção de compra do produto	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Maiores produtores mundiais de arroz	23
Tabela 2 – Composição centesimal da farinha de arroz em base úmida	25
Tabela 3 – Matéria-prima X Conversão de amido	26
Tabela 4 – Principais hidrocoloides: fonte e funcionalidade	28
Tabela 5 – Formulações do layer cake desenvolvidas por Dhen <i>et al.</i> (2016)	35
Tabela 6 – Formulações do bolo esponja desenvolvidas por Dhen <i>et al.</i> (2016)	35
Tabela 7 – Formulação original de bolo de chocolate sem glúten desenvolvida pelo grupo de pesquisa em Tecnologia de Cereais do ICTA/UFRGS.....	40
Tabela 8 – Planejamento de misturas realizado.....	41
Tabela 9 – Formulações do bolo de chocolate sem glúten	42
Tabela 10 – Formulações que atendem os parâmetros desejados relativos ao controle	56
Tabela 11 – Custo das formulações.....	57
Tabela 12 – Médias e IA obtidos para cada atributo avaliado	58

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Poros > 5 mm ² (%)	44
Equação 2 – Porosidade (%).....	44
Equação 3 – Densidade das células (células/cm ²).....	44
Equação 4 – Fórmula do ΔE^*	45
Equação 5 – Coesividade	45
Equação 6 – Elasticidade	45
Equação 7 – Mastigabilidade (g)	45
Equação 8 – Índice de aceitabilidade.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACC	Association of Cereal Chemists
ACP	Análise de Componentes Principais
ANOVA	Análise de Variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AT	Alergia ao trigo
CMC	Carboximetilcelulose
DC	Doença celíaca
HLA	Human Leukocyte Antigen
IA	Índice de Aceitabilidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICTA	Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos
SGNC	Sensibilidade ao glúten não celíaca
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Glúten e seu papel em produtos panificados	14
2.2 Doenças relacionadas ao consumo de glúten	15
2.2.1 Doença celíaca	15
2.2.2 Alergia ao trigo	17
2.2.3 Sensibilidade ao glúten não celíaca	18
2.3 Mercado de produtos sem glúten	18
2.4 Desenvolvimento de produtos sem glúten	20
2.4.1 Principais ingredientes utilizados	22
2.4.1.1 Farinhas sem glúten	22
2.4.1.2 Amidos e Féculas	25
2.4.1.3 Hidrocoloides	27
2.4.1.4 Fibras	29
2.4.1.5 Ingredientes proteicos	30
2.4.2 Bolo sem glúten	30
2.4.2.1 Processo de Elaboração	31
2.4.2.2 Análises de qualidade em bolos	34
2.4.2.3 Formulações de bolo sem glúten	34
3 OBJETIVOS	38
3.1 Objetivo geral	38
3.2 Objetivos específicos	38
4 MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1 Matérias-primas	39
4.2 Planejamento de misturas	39
4.3 Preparo dos bolos	43
4.4 Análises físicas	43
4.4.1 Volume específico	43
4.4.2 Estrutura interna do miolo	43
4.4.3 Cor	44
4.4.4 Perfil de textura	45
4.5 Análise de custo da formulação	46

4.6 Análise sensorial	46
4.7 Análise estatística	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1 Análises físicas	47
5.1.1 Superfície de respostas geradas através do Planejamento de Misturas	47
5.1.1.1 Estrutura interna do miolo (estrutura de alvéolos).....	47
5.1.1.2 Volume específico e parâmetros de textura	49
5.1.1.3 Cor.....	51
5.1.2 Análise de componentes principais	52
5.2 Análise de custo da formulação	57
5.3 Análise Sensorial	58
6 CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS	61
APÊNDICE A – FICHA DE AVALIAÇÃO UTILIZADA NA ANÁLISE SENSORIAL	66
APÊNDICE B – TABELAS DOS COEFICIENTES E ANOVA DE CADA PARÂMETRO AVALIADO PELA ACP	67

1 INTRODUÇÃO

O glúten é constituído pelas proteínas gliadina e glutenina, que são encontradas em certos cereais como o trigo, a cevada e o centeio (DE LA HERA *et al.*, 2013). Para algumas pessoas a sua ingestão pode desencadear uma resposta imunológica, resultando em algumas patologias, tais como a doença celíaca, a alergia ao trigo e a sensibilidade não celíaca ao glúten (CRUCINSKY; DAMIÃO; DE CASTRO, 2021). O único tratamento eficaz para essas doenças é uma dieta isenta de glúten (DE LA HERA *et al.*, 2013).

O aumento das doenças relacionadas ao consumo de glúten, devido às mudanças nos hábitos alimentares e técnicas de diagnóstico melhores (DE LA HERA *et al.*, 2013), juntamente com a difusão da ideia de que produtos sem glúten são mais saudáveis e que podem promover benefícios à saúde de pessoas que não possuem alguma patologia relacionada ao glúten, movimentam o mercado de produtos isentos de glúten (OLIVEIRA; SILVA; SILVA, 2022).

A substituição total da farinha de trigo representa uma grande dificuldade na elaboração de produtos panificados (VIEIRA *et al.*, 2015), visto que o glúten é responsável pelas propriedades de extensibilidade, elasticidade, viscosidade e retenção de gás da massa, contribuindo com a aparência e estrutura do miolo desses produtos (CAPRILES; ARÊAS, 2011). Devido a isso, a maioria dos alimentos apresentam sabor e textura diferentes da versão com glúten, além de baixo perfil nutricional e custo elevado (OLIVEIRA; SILVA; SILVA, 2022). Dessa forma, a introdução e combinação de diversos ingredientes, como farinhas sem glúten, amidos/féculas, hidrocoloides, fibras, proteínas, assim como, mudanças nas técnicas tradicionais de preparo são realizadas para a elaboração de produtos sensorial e tecnologicamente aceitáveis (VIEIRA *et al.*, 2015).

Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo propor uma mistura de ingredientes que seja capaz de substituir a farinha de trigo em um bolo de chocolate sem glúten. Foram elaborados bolos de chocolate com diferentes ingredientes, em diferentes concentrações, através de um planejamento de misturas. Os bolos foram avaliados com relação às suas características físicas de volume específico, textura, cor e estrutura interna do miolo, além das análises de custo das formulações e sensorial.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Glúten e seu papel em produtos panificados

O glúten é formado por dois grupos de proteínas: gliadina e glutenina, que quando hidratadas e submetidas à trabalho mecânico, formam uma rede. Essas proteínas são encontradas em vários grãos de cereais, incluindo trigo, centeio e cevada (GALLAGHER, 2009).

As proteínas formadoras do glúten são contribuintes importantes às propriedades reológicas da massa, mas as suas funções são divergentes. As gliadinas são solúveis em álcool, quando hidratadas têm pouca elasticidade e são menos coesivas que as gluteninas; elas contribuem principalmente para a viscosidade e extensibilidade da massa. Em contraste, as gluteninas são insolúveis em água e álcool, quando hidratadas são coesas e elásticas e são responsáveis pela resistência da massa e elasticidade. Uma mistura adequada de ambas as frações é essencial para conferir o efeito viscoelástico na massa e a qualidade do produto final (WIESER, 2007).

O glúten é a principal proteína formadora de estrutura na farinha. É responsável por importantes propriedades das massas de trigo como extensibilidade, elasticidade, resistência ao estiramento e capacidade de retenção de gás, o que contribui para a aparência e estrutura do miolo dos produtos de panificação (GALLAGHER, 2009). Portanto, sua remoção, resulta em grandes problemas na estrutura desses produtos, sendo um grande desafio para a indústria de alimentos.

Muitos produtos sem glúten disponíveis no mercado apresentam baixa qualidade, curto prazo de validade e sabor e aroma desagradáveis (GALLAGHER, 2009). Essa situação tem levado à busca por ingredientes alternativos ao glúten para a elaboração dos produtos de panificação. No entanto, a obtenção de uma combinação de ingredientes sem glúten, em quantidades ideais, de forma a substituir a farinha de trigo, em peso, ainda é um desafio.

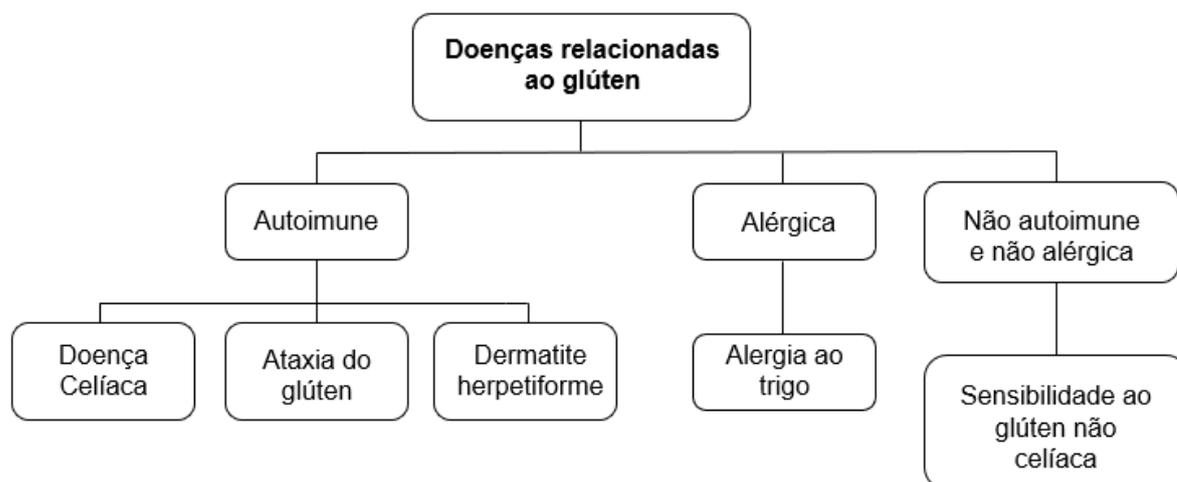
Biscoitos, *cookies*, bolos, *muffins* e *crackers* sem glúten são, em sua maioria, preparados com farinhas sem glúten, como arroz, milho, sorgo, trigo sarraceno, quinoa, tremoço, grão de bico. Outros ingredientes funcionais como proteínas, fibras, hidrocoloides e emulsificantes também são usados para melhorar a qualidade dos produtos (XU *et al.*, 2020).

2.2 Doenças relacionadas ao consumo de glúten

O glúten pode ser consumido normalmente pela maioria das pessoas, porém, de acordo com Singh *et al.* (2018) cerca de 1,4% da população global é diagnosticada com a doença celíaca, na qual o glúten é prejudicial.

Além da doença celíaca, conforme a Figura 1, existem outras patologias relacionadas ao glúten como a alergia ao trigo e sensibilidade ao glúten não celíaca, que serão abordadas a seguir.

Figura 1 – Doenças relacionadas ao consumo de glúten



Fonte: Adaptado de BIESIEKIERSKI (2017).

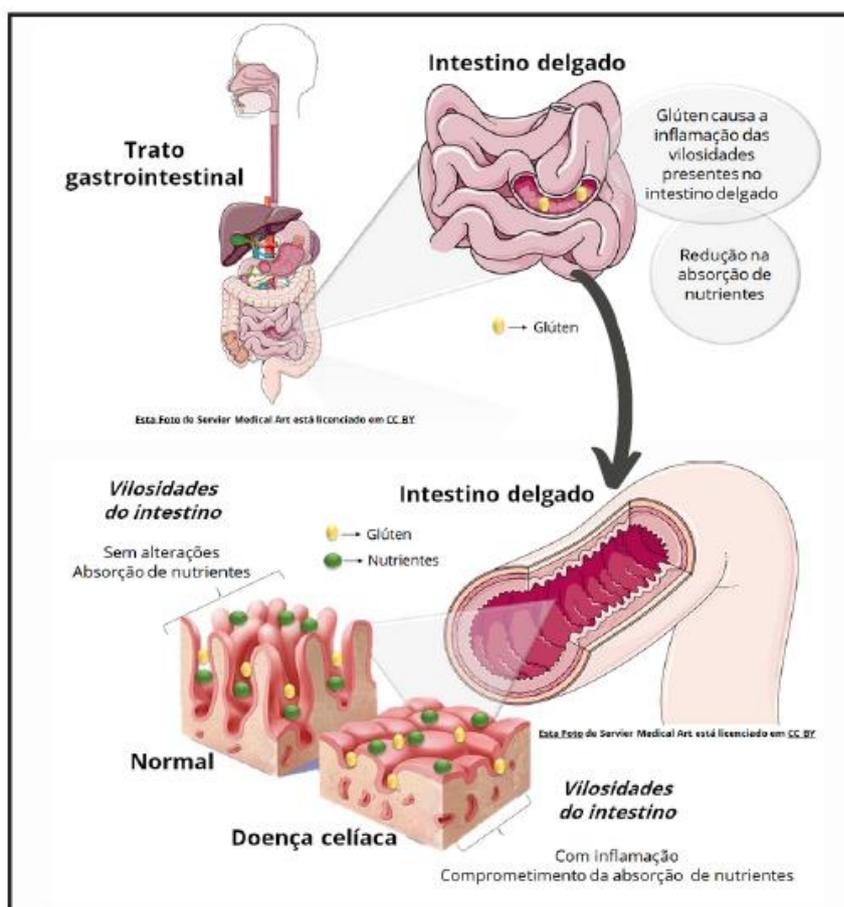
2.2.1 Doença celíaca

A doença celíaca (DC) é sistêmica, imunomediada, desencadeada pelo glúten e suas prolaminas, em indivíduos geneticamente predispostos. Sua suscetibilidade está ligada à expressão dos haplótipos DQ2 e DQ8 do complexo de histocompatibilidade principal, presentes na superfície de células apresentadoras de antígenos leucocitários humanos (HLA - *Human Leukocyte Antigen*) (NEJAD *et al.*, 2012).

O glúten ingerido por indivíduos geneticamente predispostos determina uma resposta inflamatória na mucosa do intestino. A transglutaminase tecidual, presente nessa mucosa, retira radicais aminas das moléculas de glutamina, presentes no glúten, transformando-os em ácido glutâmico. Este último possui afinidade pelos haplótipos DQ2 e DQ8. A formação desse complexo induz a ativação de linfócitos T

citotóxicos na lâmina própria intestinal, assim como de linfócitos B, que estimulam a produção de citocinas e autoanticorpos, provocando lesões em diversos tecidos (NEJAD *et al.*, 2012) resultando em uma absorção reduzida de nutrientes como ferro, cálcio, vitaminas A, D, E, K e folato (JNAWALI; KUMAR; TANWAR, 2016). A Figura 2 demonstra as vilosidades do intestino delgado sem alterações e com inflamações em decorrência da DC.

Figura 2 – Inflamação nas vilosidades em decorrência da DC



Fonte: CARDOSO *et al.* (2021).

A DC é identificada com mais frequência em mulheres e pode ocorrer em qualquer período, desde a primeira infância até a terceira idade. O diagnóstico pode ser desafiador uma vez que os sintomas podem variar significativamente de paciente para paciente (CAIO *et al.*, 2019).

Segundo Caio *et al.* (2019) os sintomas da DC podem ser por manifestações do tipo extraintestinal e intestinal. A forma intestinal é comumente detectada em crianças menores de 3 anos, sendo caracterizada por diarreia, perda de apetite,

distensão abdominal e atraso no crescimento. Em adultos e crianças maiores de 3 anos, observa-se constipação intestinal, náusea, vômitos e sintomas extraintestinais.

Os sintomas extraintestinais compreendem uma proporção substancial das manifestações clínicas da doença celíaca. Dermatite herpetiforme, presente em até 10% dos adultos com DC, é a manifestação extraintestinal mais bem caracterizada e é definida por bolhas com coceira, principalmente nos cotovelos, joelhos, nádegas e couro cabeludo. Outras manifestações extraintestinais, como artrite, sintomas neurológicos e anemia, são também frequentes (LINDFORS *et al.*, 2019).

O único tratamento disponível até o momento para DC é a dieta isenta de glúten. Essa exclusão deverá ser permanente e definitiva. Na maioria dos pacientes, a isenção do glúten é suficiente para a melhora dos sintomas e das deficiências nutricionais e pela prevenção das complicações da doença. A dieta deverá ser iniciada apenas após a realização da biópsia e definição do diagnóstico (NEJAD *et al.*, 2012).

2.2.2 Alergia ao trigo

A alergia ao trigo (AT) é uma reação de hipersensibilidade à proteína do trigo - reação às gliadinas, particularmente a ω 5-gliadina (principal alérgeno dependente do trigo). O mecanismo pode ser IgE mediado ou não IgE mediado ou a combinação de ambos. É uma alergia alimentar em que o indivíduo pode ser sensibilizado pela exposição através da pele ou vias aéreas (NEJAD *et al.*, 2012).

Os sintomas geralmente se desenvolvem dentro de minutos a horas após a ingestão e incluem coceira, inchaço, erupção cutânea, anafilaxia com risco de vida, rinite e asma do padeiro, dermatite atópica, urticária. Estima-se que 0,4% da população mundial seja alérgica ao trigo, sendo que a maioria dos casos são crianças, porém a maior parte supera sua alergia ao trigo com a idade (BIESIEKIERSKI, 2017).

As manifestações gastrintestinais de AT podem ser semelhantes aos da DC e incluem dor e distensão abdominal, diarreia, náusea, vômito e constipação, mas não causam lesões gastrintestinais permanentes. As manifestações extraintestinais incluem fadiga, perda de peso, artralgia e cefaleia (NEJAD *et al.*, 2012).

O tratamento da AT é a exclusão apenas do trigo tornando a dieta menos restritiva. Diferentemente da DC, essa restrição pode não ser definitiva, já que o desenvolvimento de tolerância pode ocorrer (NEJAD *et al.*, 2012).

2.2.3 Sensibilidade ao glúten não celíaca

A sensibilidade ao glúten não celíaca (SGNC) é caracterizada pela combinação de sintomas intestinais ou extraintestinais que ocorrem tipicamente após a ingestão do glúten cujo diagnóstico de DC e AT foi excluído (NEJAD *et al.*, 2012). Entretanto, diferente da DC, a SGNC demonstra não desencadear processo imunológico crônico e alterações nas vilosidades intestinais (TYE-DIN; GALIPEAU; AGARDH, 2018).

Na SGNC, as manifestações são variadas, podendo ser gastrintestinais ou extraintestinais. Podem acometer diferentes sistemas e a gravidade é variável. Os sintomas geralmente ocorrem após algumas horas ou dias depois da ingestão de glúten, melhorando ou desaparecendo dentro de horas ou dias após a retirada do glúten, com reincidência após sua reintrodução. Em crianças com SGNC os sintomas mais comuns são os gastrintestinais, como dor abdominal, diarreia crônica e mudança do padrão evacuatório (NEJAD *et al.*, 2012).

O tratamento da SGNC é a dieta de isenção do glúten. Porém, ainda não é bem definida a rigidez dessa restrição alimentar. Também não é claro qual o tempo em que a dieta precisa ser implementada e como monitorar a resposta ao tratamento. A experiência clínica sugere que os pacientes variam entre aqueles que precisam aderir a uma dieta rigorosa aos que podem tolerar a contaminação cruzada sem consequências clínicas. Ainda há dúvidas se essa doença é uma condição permanente (como a DC) ou temporária (como a AT). Além disso, não há evidências de que a exclusão de centeio ou cevada é necessária na SGNC (NEJAD *et al.*, 2012).

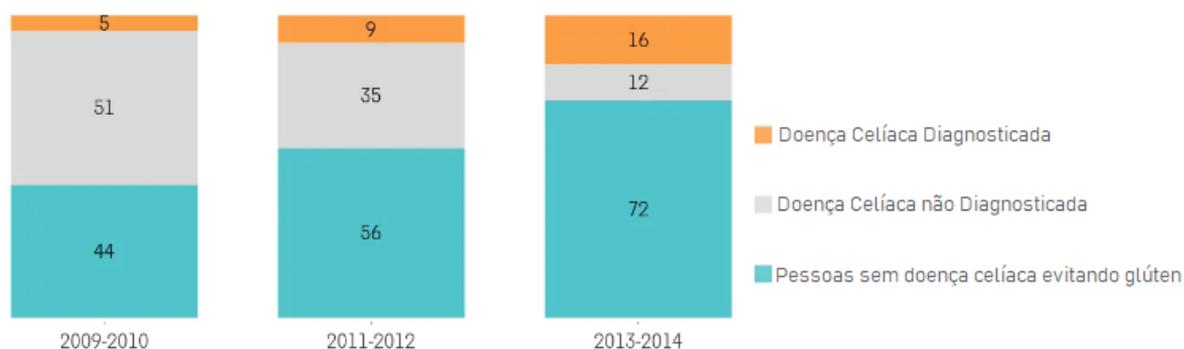
2.3 Mercado de produtos sem glúten

O mercado de produtos sem glúten é movido pelas pessoas que possuem alguma doença relacionada ao consumo de glúten como a doença celíaca, a alergia ao trigo e a sensibilidade ao glúten não celíaca, pois, como visto anteriormente, o tratamento para essas enfermidades é uma dieta isenta de glúten.

Porém, indivíduos que não são diagnosticados com alguma dessas patologias também consomem este tipo de produto porque acreditam que uma dieta sem glúten é muito equilibrada e saudável, especialmente se forem consumidos cereais integrais sem glúten, enquanto outros acham útil para o controle de peso devido à sua natureza restritiva (ROSTAMI *et al.*, 2017).

A dieta sem glúten ganhou considerável popularidade na população em geral (GAESSER; ANGADI, 2012). De acordo com a pesquisa realizada pela Mordor Intelligence (2022), entre os anos de 2009 a 2014, o mercado de produtos alimentícios sem glúten apresentou uma tendência crescente nos Estados Unidos, sendo que a maioria dos americanos que praticavam a dieta isenta de glúten não possuíam a doença celíaca (Figura 3).

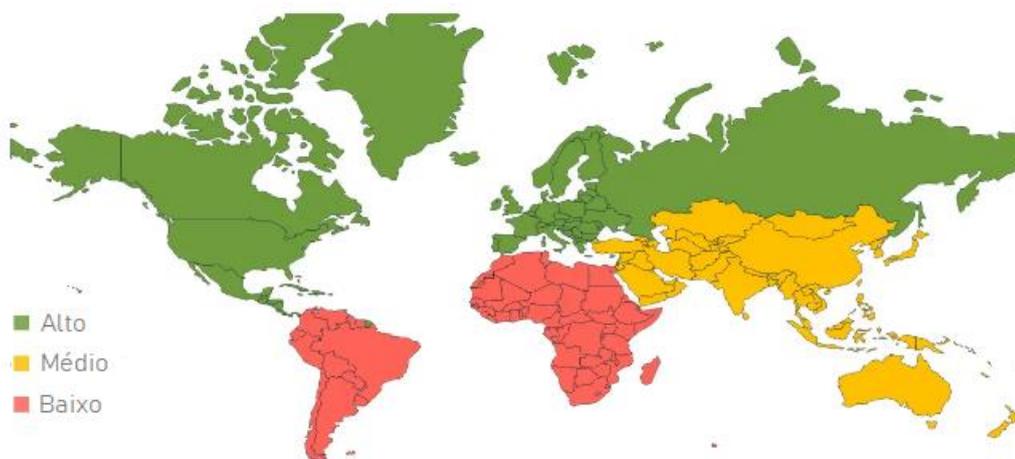
Figura 3 – Aumento da dieta sem glúten entre os americanos (em porcentagem), 2009 – 2014



Fonte: Adaptado de MORDOR INTELLIGENCE (2022).

Atualmente, conforme a pesquisa “Mercado de alimentos preparados sem glúten - crescimento, tendências, impacto do covid-19 e previsões” realizada pela Mordor Intelligence (2022), durante o período de previsão 2020 a 2025, o mercado global de alimentos preparados sem glúten é projetado para registrar uma taxa de crescimento anual de 5,8%, onde a América do Norte detém a maior participação, impulsionado principalmente pelos Estados Unidos (Figura 4). Já a região que está crescendo com a maior taxa anual é a Ásia-Pacífico.

Figura 4 – Mercado de alimentos preparados sem glúten - Tamanho do mercado, por Região, Global, 2019



Fonte: Adaptado de MORDOR INTELLIGENCE (2022).

Em relação ao mercado brasileiro de alimentos e bebidas sem glúten, de acordo com a pesquisa “Mercado de alimentos e bebidas sem glúten no Brasil - crescimento, tendências, impacto do covid-19 e previsões (2022 - 2027)” produzida pela Mordor Intelligence (2022), a taxa de crescimento anual durante o período de previsão (2022 a 2027) é de 10,7%, assim o país é o maior e mais rápido neste setor na América do Sul.

O mercado de produtos sem glúten é impulsionado principalmente pela crescente conscientização sobre a doença celíaca e a adoção de estilos de vida dietéticos especiais. No entanto, o custo relativamente alto desses produtos, que está dificultando o crescimento do mercado, é devido aos custos de produção adicionais do fabricante, juntamente com a necessidade de ingredientes especiais, como goma xantana, goma guar, chicória, inulina e outros, ou, uma etapa extra de preparação, necessária para produzir um produto equivalente (MORDOR INTELLIGENCE, 2022).

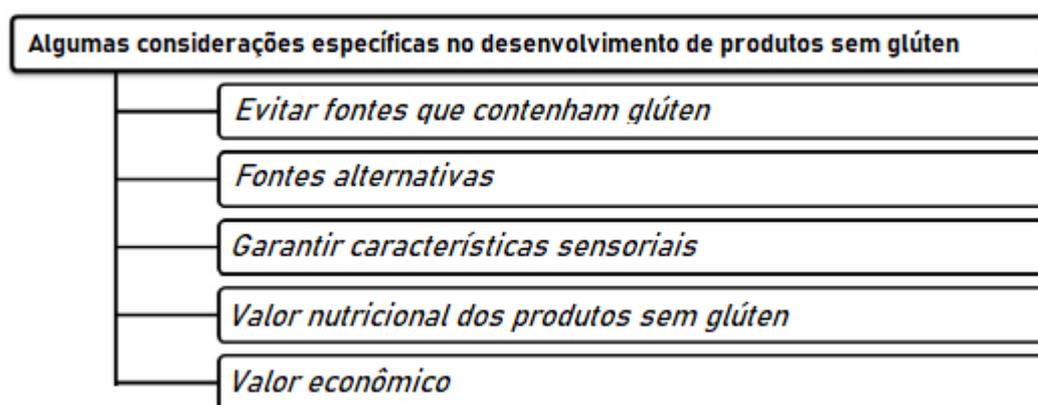
2.4 Desenvolvimento de produtos sem glúten

O desenvolvimento de produtos sem glúten é um grande desafio para a indústria, pois ele desempenha um papel fundamental nas características de qualidade do cozimento, sendo responsável pela capacidade de absorção de água, coesividade, viscosidade e elasticidade da massa. Portanto, sua remoção resulta em grandes problemas em termos de qualidade, segurança do produto, aceitabilidade e acessibilidade (JNAWALI; KUMAR; TANWAR, 2016).

De acordo com o Codex Alimentarius (2008), os alimentos sem glúten podem ter um ou mais ingredientes que não contenham trigo, centeio, cevada, aveia ou suas variações, ou um ou mais ingredientes de trigo, centeio, cevada, aveia ou suas variedades, que foram especialmente processados para remover o glúten, sendo que em ambos os casos o teor de glúten não deve exceder 20 ppm.

Jnawali, Kumar e Tanwar (2016) apresentam algumas considerações para desenvolver produtos sem glúten (Figura 5).

Figura 5 – Algumas considerações específicas no desenvolvimento de produtos sem glúten



Fonte: Adaptado de JNAWALI; KUMAR; TANWAR (2016).

A primeira consideração na preparação de produtos sem glúten inclui a exclusão de qualquer alimento ou ingrediente alimentar que contenha glúten. Assim, fontes alternativas, como outros cereais (arroz, milho, sorgo), pseudocereais (amaranto, quinoa), leguminosas (lentilha, grão de bico), nozes (amêndoas, avelãs, nozes, castanhas, castanhas de caju), sementes (chia, linhaça, abóbora) e tubérculos (tapioca, batata, taro) podem ser usadas para o desenvolvimento dos produtos (JNAWALI; KUMAR; TANWAR, 2016).

Garantir a qualidade sensorial é um dos principais desafios durante o desenvolvimento de produtos sem glúten devido as características elásticas da massa na qual o glúten é responsável e que contribui para a aparência desejada e estrutura do miolo de muitos produtos. Assim, para assegurar que o produto tenha textura e cor desejadas, bem como sabor agradável, vários estudos foram realizados utilizando componentes alternativos ao glúten, como amido, proteínas vegetais e animais, hidrocoloides, tais como gomas, pectinas, hidroximetilcelulose (JNAWALI; KUMAR; TANWAR, 2016).

Estudos têm mostrado que os pacientes que seguem uma dieta rigorosa sem glúten muitas vezes sofrem de várias deficiências nutricionais, tais como proteínas, fibras, minerais e vitaminas. Os autores atribuíram essas ocorrências devido aos hábitos alimentares e aos produtos alimentícios (JNAWALI; KUMAR; TANWAR, 2016), pois suas composições nutricionais podem conter altos níveis de lipídios, açúcares e sal (ROSTAMI *et al.*, 2017). Por isso, um grande número de farinhas e amidos, bem como outros ingredientes (enzimas, proteínas, hidrocoloides) estão sendo utilizados para melhorar a composição nutricional desses alimentos (JNAWALI; KUMAR; TANWAR, 2016).

Trabalhos e pesquisas de mercado têm mostrado que a adesão à uma dieta isenta de glúten acrescenta um ônus econômico vitalício aos pacientes, especialmente porque os produtos sem glúten disponíveis no mercado têm preços muito mais elevados em comparação com os produtos com glúten, bem como a disponibilidade limitada. Assim, o custo de qualquer produto alimentício sem glúten em desenvolvimento deve ser considerado (JNAWALI; KUMAR; TANWAR, 2016).

2.4.1 Principais ingredientes utilizados

A eliminação do glúten leva a uma massa líquida, resultando em um produto com textura quebradiça e cor indesejada (RAI; KAUR; CHOPRA, 2018). Dessa forma, sua deficiência é combatida através da modificação e/ou incorporação de ingredientes adicionais (NAQASH *et al.*, 2017).

Nos estudos que têm sido realizados para melhorar as propriedades físicas dos alimentos sem glúten, as abordagens propostas incluem a utilização de diferentes ingredientes naturais, como farinhas sem glúten, amidos, ingredientes proteicos, hidrocoloides e fibras. Geralmente, suas combinações e a otimização do processo de panificação resolvem os problemas tecnológicos, resultando em produtos que atendem as expectativas do consumidor em relação à textura e aparência (RAI; KAUR; CHOPRA, 2018).

2.4.1.1 Farinhas sem glúten

Existem muitas farinhas alternativas com atributos especiais para substituir ou minimizar o uso de trigo na panificação (RAI; KAUR; CHOPRA, 2018), como cereais

sem glúten, pseudocereais, leguminosas e hortaliças (CARDOSO *et al.*, 2021). No presente trabalho é utilizada a farinha de arroz.

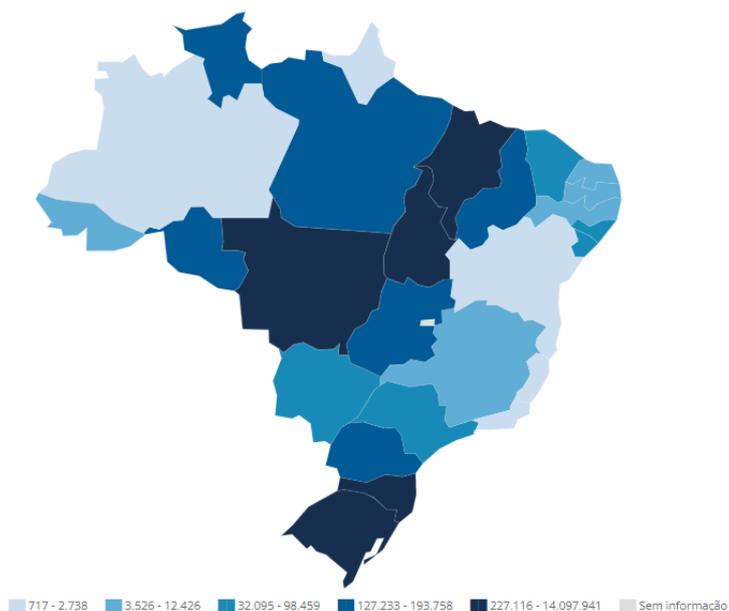
O arroz (*Oriza Sativa*) é um alimento básico amplamente consumido, fornecendo energia e nutrientes para mais da metade da população mundial (PANG *et al.*, 2018). Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) (2022), a produção mundial de arroz foi de 502,968 milhões de toneladas no ano de 2022/23, sendo que o maior produtor é a China, seguido da Índia. Já o Brasil é o décimo maior produtor mundial (Tabela 1) e segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2021) o Rio Grande do Sul é o estado que mais produz, seguido de Santa Catarina, Mato Grosso, Tocantins e Maranhão, conforme a Figura 6.

Tabela 1 – Maiores produtores mundiais de arroz

Classificação	País	Porcentagem da Produção Mundial (%)	Produção (milhões de toneladas)
1	China	29	145,946
2	Índia	25	125,000
3	Bangladesh	7	36,650
4	Indonésia	7	34,600
5	Vietnã	5	27,225
6	Tailândia	4	20,100
7	Burma	2	12,500
8	Filipinas	2	12,411
9	Japão	1	7,450
10	Brasil	1	7,235

Fonte: Adaptado de USDA (2022).

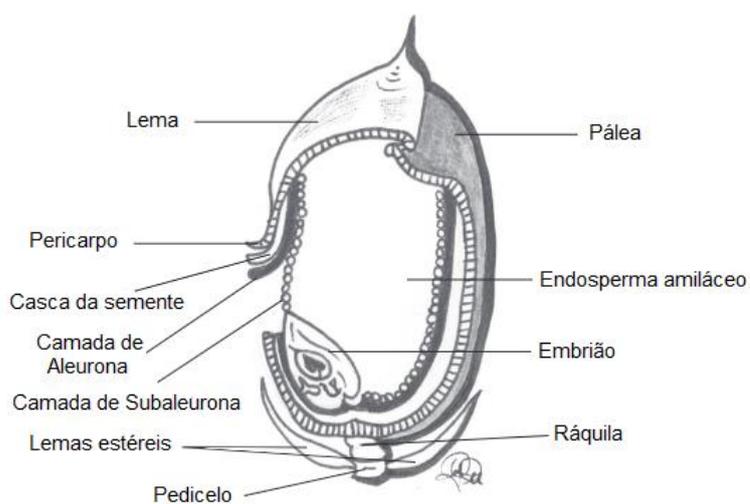
Figura 6 – Valor da Produção de arroz no Brasil (Mil Reais)



Fonte: IBGE (2021).

As principais partes do grão de arroz são a casca (20%), o pericarpo (2%), o tégmen (casca da semente), a camada de aleurona (5%), o endosperma (89-94%) e o embrião (2-3%) (ARENDR; ZANNINI, 2013) (Figura 7).

Figura 7– Estrutura do grão de arroz em corte longitudinal



Fonte: Adaptado de ARENDR; ZANNINI (2013).

A farinha de arroz pode ser obtida de grãos inteiros, porém geralmente é produzida a partir dos grãos quebrados durante o processo de moagem, haja vista que seu o custo é menor que o dos grãos inteiros moídos. Existem três tipos de

moagem para obter a farinha de arroz: úmida, semisseca e seca, sendo a última, usada para a panificação, cujos grãos quebrados são moídos diretamente em tamanhos diferentes (ARENDDT; BELLO, 2008).

A farinha de arroz é hipoalergênica, não contém glúten e possui altos níveis de carboidratos facilmente digeríveis (RAI; KAUR; CHOPRA, 2018). Além disso, pode-se observar uma alta quantidade de zinco e vitamina C (Tabela 2), quando comparada com a farinha de trigo (0,8mg/100g e traço/100g) (NEPA, 2011). Sendo assim, cada vez mais utilizada na panificação como substituto do trigo para a produção de produtos sem glúten devido a seu sabor suave, cor branca, digestibilidade e propriedades hipoalergênicas (ARENDDT; BELLO, 2008).

Tabela 2 – Composição centesimal da farinha de arroz em base úmida

Componente	Quantidade
Carboidratos totais (g)	85,5
Proteínas (g)	1,3
Lipídeos (g)	0,3
Fibra alimentar (g)	0,6
Cinzas (g)	0,2
Zinco (mg)	8,5
Vitamina C (mg)	173,6
Umidade (g)	12,7
Energia (kcal)	363

Fonte: NEPA (2011).

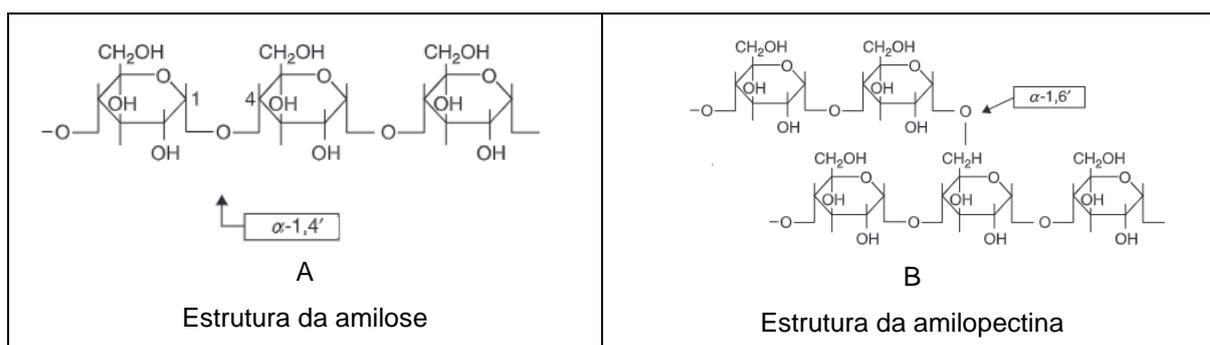
2.4.1.2 Amidos e Féculas

O amido está presente na maioria das plantas verdes e em praticamente todos os tipos de tecidos: folhas, frutos, grãos de pólen, raízes, brotos e caules. Serve à planta como alimento, proporcionando-lhe energia em épocas de dormência e germinação, tendo papel semelhante no ser humano, nos animais e, até mesmo, em outros organismos e formas de vida (BEMILLER; WHISTLER, 2009).

Estruturalmente, o amido é um homopolissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina. A amilose (Figura 8-A) é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α (1 \rightarrow 4), originando uma cadeia linear. Já a

amilopectina (Figura 8-B) é formada por unidades de glicose unidas em α (1 \rightarrow 4) e α (1 \rightarrow 6), formando uma estrutura ramificada (ELIASSON, 2004). A proporção dos dois tipos depende da planta de onde veio o amido; tipicamente o amido é 20-30% de amilose e 70-80% de amilopectina (EDWARDS, 2007).

Figura 8 – Estruturas da amilose e amilopectina



Fonte: Adaptado de CAUVAIN (2012).

Segundo a RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), o amido e a fécula são produtos amiláceos extraídos de vegetais, porém o primeiro é extraído de partes aéreas comestíveis e o segundo das partes subterrâneas comestíveis como tubérculos, raízes e rizomas.

As fontes mais comuns de amido alimentício são o milho, a batata, o trigo, a mandioca, o arroz, o sorgo e a cevada (BEMILLER; WHISTLER, 2009), cujas taxas de conversão são apresentadas na Tabela 3, destacando-se o arroz e o milho.

Tabela 3 – Matéria-prima X Conversão de amido

Matéria-prima	% Conversão de amido
Milho	60%
Trigo	52%
Batata	20%
Mandioca	22%
Arroz	70%
Cevada	50%
Sorgo	52%

Fonte: Adaptado de FOOD INGREDIENTS BRASIL (2015).

O amido é utilizado em uma grande variedade de alimentos, tais como bebidas, carnes, produtos de panificação, desempenhando diferentes finalidades como espessantes, gelificantes, estabilizantes, substitutos de gordura em alimentos *light*, sendo que a sua seleção depende das propriedades desejadas nos alimentos, bem como o processamento (BEMILLER; WHISTLER, 2009).

Em produtos de panificação sem glúten o amido é usado como gelificante, espessante, aderente, retentor de umidade, estabilizante, formador de filme e agente de textura melhorando as características de cozimento, tais como o volume específico, cor, estrutura e textura (RAI; KAUR; CHOPRA, 2018).

No presente trabalho são utilizados o amido de milho e as féculas de mandioca e de batata. O amido de milho é obtido através da moagem úmida dos grãos de milho, cuja finalidade é o aumento de eficiência na separação das partes que compõe o grão: gérmen, endosperma e pericarpo, sendo que o amido é extraído a partir do endosperma (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2015). As féculas de mandioca e de batata são produzidas através da trituração do tubérculo, seguida da centrifugação da massa obtida através da mistura com água, decantação, na qual ocorre a separação das fases (fécula e água) e secagem da fécula (EMBRAPA, 2014).

2.4.1.3 Hidrocoloides

Os hidrocoloides são substâncias que formam um gel com água. Biopolímeros, polissacarídeos, proteínas e gomas são alguns exemplos. São derivados de diferentes fontes naturais como plantas, animais, algas marinhas ou ainda de origem microbiana. Podem ser classificados em três categorias: agentes gelificantes, espessantes e emulsificantes, baseado em sua funcionalidade nos alimentos. A Tabela 4 apresenta os principais hidrocoloides, sua fonte e classificação (GALLAGHER, 2009).

Tabela 4 – Principais hidrocoloides: fonte e funcionalidade

Fonte	Hidrocoloide	Funcionalidade
Planta	Pectina	Gelificação, espessamento
	β - glucano	Gelificação
	Goma Arábica	Espessamento
	Goma Guar	Espessamento
	Goma de alfarroba	Espessamento
	Arabinosilano	Gelificação
Algas marinhas	Ágar	Gelificação
	Alginato	Gelificação, espessamento
	Carragena	Gelificação
Animal	Proteínas do leite	Gelificação, emulsificação
	Proteínas do ovo	Gelificação, emulsificação
Microbiana	Gelatina	Gelificação, emulsificação
	Goma Xantana	Espessamento

Fonte: Adaptado de GALLAGHER (2009).

Os hidrocoloides são utilizados em uma ampla variedade de alimentos com o objetivo de conferir textura, aparência, além de promover estabilidade. Em produtos de panificação sem glúten são adicionados como gelificantes, espessantes, emulsificantes e estabilizadores melhorando a viscosidade da massa e a retenção de gás (GALLAGHER, 2009).

Segundo Gallagher (2009) é importante entender as interações entre os hidrocoloides e os outros componentes do alimento, como amidos e proteínas, para garantir que os mesmos tenham sinergia, impactando de forma positiva na reologia, nas propriedades de textura, aceitabilidade e estabilidade do produto.

Neste trabalho é utilizado a goma Xantana. Essa goma é um polissacarídeo produzido pela fermentação aeróbica microbiana da bactéria *Xanthomonas campestris*. Se dissolve em água fria e funciona normalmente como espessante, mas também se combina sinergicamente com outros hidrocoloides como a goma de alfarroba (EDWARDS, 2007) e a carboximetilcelulose (CMC) (NAQASH *et al.*, 2017).

2.4.1.4 Fibras

Segundo o Codex Alimentarius (2009) as fibras alimentares consistem em polímeros de carboidratos, com dez ou mais unidades monoméricas, que não são hidrolisadas pelas enzimas endógenas no intestino delgado de humanos e pertencem às seguintes categorias:

- Polímeros de carboidratos comestíveis que ocorrem naturalmente nos alimentos consumidos;
- Polímeros de carboidratos, obtidos de matérias-primas alimentares por processos físicos, enzimáticos ou meios químicos e que demonstraram ter um efeito fisiológico benéfico à saúde, conforme demonstrado por evidências científicas geralmente aceitas por autoridades competentes;
- Polímeros de carboidratos sintéticos que demonstraram ter um efeito fisiológico benéfico à saúde, conforme demonstrado por evidências científicas geralmente aceitas por autoridades competentes.

As fibras também podem ser classificadas em solúveis (pectinas, gomas, mucilagens), nas quais são formadoras de gel, viscosas e mais fermentecíveis, e insolúveis (celulose, lignina e hemicelulose) sendo não viscosas e menos fermentecíveis (DELCOUR; POUTANEN, 2013).

O consumo regular de fibras é muito importante na dieta humana, pois está associado à prevenção de muitas doenças crônicas como cardiovasculares, constipação e certos tipos de câncer. A fração insolúvel de fibras tem sido relacionada com a regulação intestinal, enquanto as fibras solúveis estão associadas à diminuição dos níveis de colesterol e da absorção de glicose intestinal (BEN JEDDOU *et al.*, 2017).

Numerosas fibras foram isoladas e caracterizadas de fontes completamente diferentes e incorporadas em distintos produtos alimentícios como lácteos, carnes, peixes, sendo que os produtos de panificação são os preferidos para o enriquecimento. Isso se deve aos atributos tecnológicos das fibras como capacidade de retenção de água, gelificação, construção de estrutura, resultando na modificação de textura e melhoria das características sensoriais (ROSELL; SANTOS; COLLAR, 2009).

A fibra utilizada neste trabalho, Psyllium, é encontrada na casca das sementes da planta *Plantago ovata*, sendo o seu uso associado ao incremento nutricional e

melhoria de características organolépticas de produtos alimentícios. Por ter alta capacidade de absorção de água, é muito utilizada como substituto do glúten em produtos de panificação (BELORIO; GÓMEZ, 2021).

2.4.1.5 Ingredientes proteicos

A adição de proteínas melhora a estrutura, a textura, as características sensoriais de qualidade e o valor nutricional dos produtos sem glúten. Para enriquecer as formulações são utilizados cereais, pseudocereais, farinhas de leguminosas, proteínas isoladas e concentradas (NAQASH *et al.*, 2017), ovos (MATOS; SANZ; ROSELL, 2014) e leite (GALLAGHER, 2009).

Estudos já foram realizados sobre a adição de diferentes proteínas em produtos de panificação sem glúten. Ziobro *et al.* (2013) observaram o efeito da incorporação de albumina, colágeno, proteína de ervilha, tremoço e soja na elaboração de pães. Houve um aumento no volume específico e diminuição da dureza e da mastigabilidade dos pães, assim como a redução do envelhecimento dos mesmos. Shevkani *et al.* (2015) utilizaram proteína de feijão-frade isolada em muffins de arroz sem glúten, promovendo um aumento na firmeza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade dos produtos. Bedendo *et al.* (2019) desenvolveram bolo sem glúten com concentrado proteico de soro de leite promovendo aumento no teor de proteínas, na dureza e na mastigabilidade, e obtendo uma boa aceitação sensorial.

No presente trabalho é utilizado o ovo em pó. O ovo tem várias funções: proporciona sabor e cor, contribui para a formação estrutural da massa, incorpora ar quando batido, providencia líquido, gordura e proteína e emulsifica gordura e ingredientes líquidos (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2017), devido à presença da lecitina na gema (SENAR, 2016).

2.4.2 Bolo sem glúten

Os bolos são os produtos de panificação mais populares consumidos quase por todos os níveis da sociedade. Isso se deve principalmente à sua natureza pronta para consumo, ter disponibilidade em diferentes variedades e possuir custo acessível (BEN JEDDOU *et al.*, 2017).

De acordo com a pesquisa realizada pela Mordor Intelligence (2022) durante o período de 2023 a 2028, o mercado global de bolos deverá crescer a uma taxa anual

de 3,5%. Esse setor é competitivo e ainda está crescendo. Isso se deve aos diferentes formatos, sabores e tamanhos que os bolos podem ter, sendo que o desenvolvimento de novos produtos orgânicos e sem glúten são as apostas dos fabricantes para aumentar suas participações na área e ganhar força no mercado global.

Segundo Ronda *et al.* (2011) o bolo pode ser considerado uma emulsão complexa de óleo em água com uma fase aquosa contínua contendo ingredientes secos dissolvidos ou em suspensão. Pode ser classificado em várias categorias baseado na sua composição e/ou no método de produção (XU *et al.*, 2020).

Com base na formulação, os bolos podem ser de alta proporção (*high ratio*), em que a quantidade de açúcar é igual ou maior do que a quantidade de farinha, ou de baixa proporção (*low ratio*) quando a quantidade de açúcar é menor do que a quantidade de farinha. Também existem os bolos denominados de “*pound cakes*”, que são ricos em gordura, e “*foam cakes*” que são feitos sem gordura (WILDERJANS *et al.*, 2013).

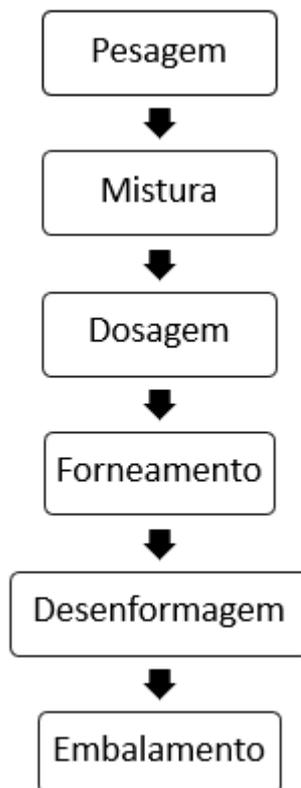
Os principais ingredientes para a elaboração do bolo são a farinha, o açúcar, o ovo, a gordura ou o óleo, a água ou o leite e o fermento químico. A produção consiste em misturar esses ingredientes, que formam uma massa líquida, e realizar o forneamento (WILDERJANS *et al.*, 2013). Durante a mistura ocorre a incorporação de células de ar no sistema, que depende da velocidade e do projeto do batedor, da viscosidade e da tensão superficial da massa, dando origem a espuma. Já no cozimento, a emulsão aerada é convertida em um semissólido poroso principalmente devido à gelatinização do amido e à coagulação de proteínas, sendo que a eficiência da retenção de ar na massa é conhecida por ser inversamente proporcional ao tamanho das bolhas e à sua viscosidade (RONDA *et al.*, 2011).

Em relação aos bolos sem glúten, os tipos e a composição da farinha sem glúten, a adição de ingredientes funcionais (gomas, proteínas, emulsificantes), as técnicas e os parâmetros de processamento são os fatores que influenciam a qualidade das propriedades sensoriais desses produtos (XU *et al.*, 2020).

2.4.2.1 Processo de Elaboração

O processo de elaboração do bolo é realizado através da pesagem dos ingredientes, seguido das etapas de mistura, dosagem, forneamento, desenformagem e embalamento, conforme a Figura 9.

Figura 9 – Processo de elaboração do bolo



Fonte: Autora (2023).

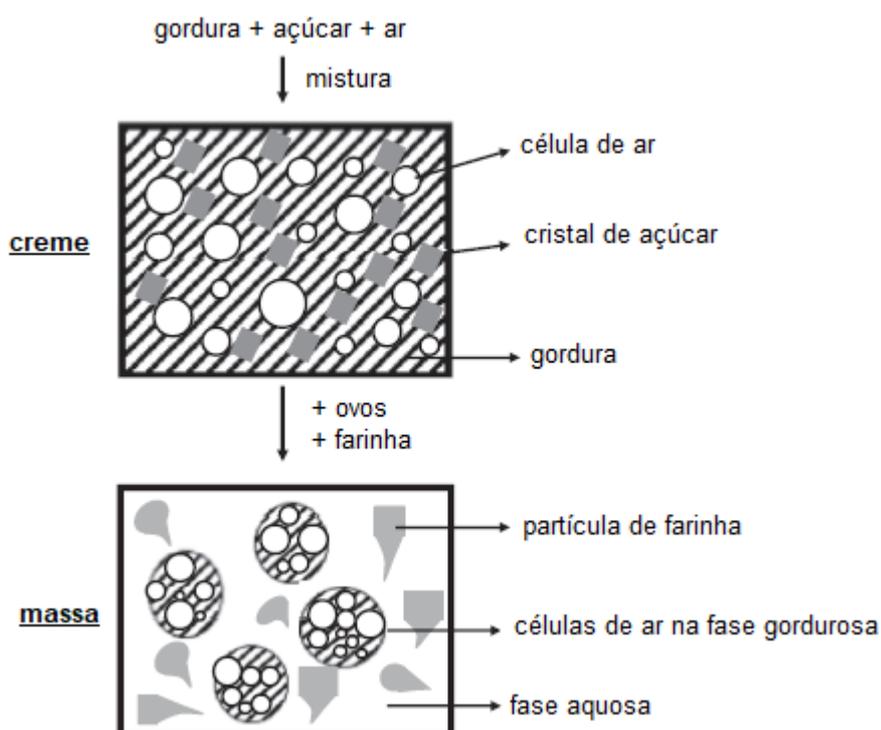
A etapa de mistura tem como objetivos combinar todos os ingredientes em uma massa lisa e uniforme formando uma emulsão estável e incorporar um grande número de células de ar na massa, o que é importante para a textura do bolo (WILDERJANS *et al.*, 2013).

Segundo Wilderjans *et al.* (2013) os métodos de mistura que podem ser realizados para a elaboração do bolo são: mistura de estágio único e de múltiplos estágios, como os métodos creme e esponja.

A mistura em uma única etapa consiste em adicionar todos os ingredientes de uma só vez e misturá-los. O ar é incorporado na solução aquosa, sendo que suas bolhas são estabilizadas pelas proteínas dos ovos adsorvidas. Durante este tipo de combinação, a gordura fica dispersa como uma emulsão fina estabilizada com proteína. À medida que o processo prossegue, os cristais de gordura entram em contato com as células de ar, adsorvem a sua superfície e, dessa forma, impedem o contato e, assim, coalescem as células de ar (WILDERJANS *et al.*, 2013).

No método creme, a gordura e o açúcar são os primeiros ingredientes a serem misturados, depois são adicionados os ovos e, no final, a farinha, desse modo, a massa final do bolo tem uma estrutura multifásica com células de ar imóveis aprisionadas na fase gordurosa e o restante dos ingredientes dissolvidos ou dispersos na fase aquosa (Figura 10) (WILDERJANS *et al.*, 2013).

Figura 10 – Estrutura da massa final do bolo preparado pelo método creme



Fonte: Adaptado de WILDERJANS *et al.*, (2013).

O método esponja consiste em duas etapas básicas. Primeiro, ovo e açúcar são batidos formando uma espuma espessa e, em seguida, a farinha peneirada é acrescentada à mistura (WILDERJANS *et al.*, 2013).

Durante o forneamento ocorrem mudanças físicas e químicas no bolo. Na fase inicial de cozimento acontece o derretimento da gordura e as células de ar ficam presentes na fase aquosa. Ao longo da cocção, a viscosidade da massa diminui e, como resultado, as bolhas de ar se movem e são perdidas da massa em uma taxa crescente. Isso se deve tanto ao derretimento da gordura quanto à relação inversa entre viscosidade e temperatura. No decorrer do cozimento, as bolhas de ar se expandem devido à liberação de dióxido de carbono do agente de fermentação e a massa cresce. Simultaneamente ocorre a gelatinização do amido e a desnaturação

das proteínas aumentando a viscosidade da massa gerando uma aparência sólida (WILDERJANS *et al.*, 2013).

2.4.2.2 Análises de qualidade em bolos

Os bolos possuem características tecnológicas específicas, como leveza, fácil mastigação, textura porosa, sabor agradável e boa aceitação pelos consumidores. Como característica indispensável para atestar sua qualidade, o bolo deve apresentar alguns atributos sensoriais: textura ideal; superfície uniforme, sem deformidades que possam afetar sua aparência; homogeneidade do miolo; volume adequado e sabor agradável (MELO *et al.*, 2017).

Dessa forma, a qualidade do bolo pode ser avaliada por meio de análise física (peso, simetria, volume, altura do bolo, crosta e cor do miolo, estrutura e textura do miolo) e análise sensorial (XU *et al.*, 2020).

No presente trabalho as análises físicas realizadas foram volume específico, estrutura interna e cor do miolo, perfil de textura, além da análise sensorial.

2.4.2.3 Formulações de bolo sem glúten

Preichardt *et al.* (2011) elaboraram bolo sem glúten contendo 11% de farinha de arroz, 11% de farinha de milho, 31% de açúcar refinado, 18% de leite pasteurizado, 5% de óleo de soja, 2% de fermento em pó e 22% de ovo, sendo que esses percentuais são sobre o total da formulação. A goma xantana foi adicionada à 0,2%, 0,3% e 0,4% como um ingrediente adicional, sem a redução dos outros ingredientes. Dois bolos de controle foram usados: um sem goma xantana e outro com farinha de trigo em vez de farinha de arroz, sem goma xantana. Os autores puderam observar que a adição da goma xantana melhorou a qualidade dos bolos sem glúten. Houve um aumento no volume específico, tornando-os mais macios e retardando o seu envelhecimento. As concentrações de 0,3% e 0,4% de goma xantana produziram bolos com características sensoriais desejáveis com alta aceitação dos consumidores. Os bolos pareciam fisicamente, quimicamente e sensorialmente ao bolo controle feito apenas com farinha de trigo e satisfizeram todos os requisitos, de um produto de panificação, para pacientes celíacos.

Dhen *et al.* (2016) estudaram a adição da farinha de soja, com diferentes granulometrias, para substituir o amido de milho da formulação de dois tipos de bolos

sem glúten: em camadas (*layer cake*) e esponja. As formulações desenvolvidas substituindo 15% e 30% de amido de milho pela farinha de soja na elaboração do bolo em camadas encontram-se na Tabela 5, já para o desenvolvimento do bolo esponja, as formulações são apresentadas na Tabela 6. Os pesquisadores observaram que para o bolo em camadas a adição da farinha de soja não afetou o volume específico, mas reduziu a dureza do mesmo. Já para o bolo esponja, houve uma redução no volume específico.

Tabela 5 – Formulações do *layer cake* desenvolvidas por Dhen *et al.* (2016)

Layer cake				
	15%		30%	
Ingrediente	Percentual sobre o total	Percentual sobre o mix de farinha	Percentual sobre o total	Percentual sobre o mix de farinha
Amido de milho	25%	85%	21%	70%
Farinha de soja	4%	15%	9%	30%
Açúcar	27%	90%	27%	90%
Leite	18%	60%	18%	60%
Ovo líquido	15%	50%	15%	50%
Óleo de girassol	10%	33%	10%	33%
Fermento	1%	3%	1%	3%

Fonte: Adaptado de DHEN *et al.* (2016).

Tabela 6 – Formulações do bolo esponja desenvolvidas por Dhen *et al.* (2016)

Bolo esponja				
	15%		30%	
Ingrediente	Percentual sobre o total	Percentual sobre o mix de farinha	Percentual sobre o total	Percentual sobre o mix de farinha
Amido de milho	23%	85%	19%	70%
Farinha de soja	4%	15%	8%	30%
Açúcar	26%	98%	26%	98%
Leite em pó	3%	10%	3%	10%
Ovo líquido	37%	140%	37%	140%
Emulsificante	2%	6%	2%	6%
Água	6%	22%	6%	22%

Fonte: Adaptado de DHEN *et al.* (2016).

Gularte *et al.* (2012) observaram o efeito da adição de fibras solúveis (inulina e goma guar) e insolúveis (fibra de aveia) em bolo sem glúten, isoladas ou combinadas. A composição do bolo controle consistiu em 100% de farinha de arroz, 75% de leite, 62,5% de ovos, 37,5% de óleo de girassol, 112,5% de açúcar e 3,75% de fermento em pó, calculados como percentuais sobre o total de farinha. Em relação à formulação total, os percentuais foram: 25,6% de farinha de arroz, 19,2% de leite, 16% de ovos, 9,6% de óleo de girassol, 28,8% de açúcar e 1% de fermento. Para enriquecer os bolos, foi substituído 20% da farinha de arroz por fibra de aveia e inulina isoladas, bem como por duas combinações: goma guar (5%) e fibra de aveia (15%), inulina (5%) e fibra de aveia (15%). Os demais ingredientes permaneceram inalterados nas formulações. Os autores concluíram que a incorporação das fibras aumentou a viscosidade da massa dos bolos (com exceção da inulina) e a dureza do miolo, sendo que o menor efeito foi observado com a adição da fibra de aveia, isoladamente ou combinada com inulina. Os bolos sem glúten enriquecidos com a fibra de aveia resultaram um melhor volume específico.

Sahagún *et al.* (2018) examinaram o efeito de quatro proteínas (ervilha, arroz, clara de ovo e soro de leite) sobre as características do bolo de camada sem glúten. O bolo controle foi elaborado com 350 g de farinha de arroz, 315 g de açúcar, 210 g de leite, 175 g de ovo pasteurizado líquido, 105 g de óleo de girassol e 10,5 g de fermento em pó, sendo que os percentuais sobre a farinha de arroz foram: 100% de farinha de arroz, 90% de açúcar, 60% de leite, 50% de ovos, 30% de óleo de girassol e 3% de fermento. Nas formulações enriquecidas com proteína, a farinha de arroz foi substituída por 15, 30 e 45% de cada proteína. Os autores observaram que a incorporação das proteínas da clara de ovo e do soro de leite aumentaram a dureza, a coesão, e a elasticidade dos bolos, enquanto que as proteínas da ervilha e do arroz diminuíram a dureza e a coesão. A adição das proteínas reduziu a leveza dos bolos que obtiveram menor aceitabilidade em relação ao bolo controle.

Vallejos, Crizel e Mellado (2015) avaliaram a influência da adição de metilcelulose e goma xantana nas características tecnológicas de bolos sem glúten elaborados com farinha de arroz. Os bolos foram elaborados com 100% de farinha de arroz, 32% de margarina, 62% de açúcar cristal, 62% de leite, 40% de ovo, 3,7% de fermento e 1 % de sal (percentuais sobre o teor de farinha de arroz). A adição dos hidrocoloides foi de 0,12% a 0,68% de goma xantana e 0,6% a 3,4% de metilcelulose. As autoras observaram que a adição dos hidrocoloides não resultou nenhum efeito

significativo no volume específico dos bolos. Porém, o menor valor da dureza do miolo dos bolos foi obtido quando as concentrações de 0,4% de goma xantana e 2% de metilcelulose foram adicionadas. Foi concluído, através dos resultados obtidos nas análises físicas realizadas, que a incorporação de goma xantana e metilcelulose possibilitou o desenvolvimento de um bolo sem glúten com um miolo mais macio e que apresenta qualidade tecnológica e atributos semelhantes aos de um bolo de farinha de trigo.

De forma geral, os trabalhos relacionados à elaboração de bolos sem glúten estudam a adição de ingredientes como hidrocoloides, fibras solúveis ou proteínas utilizando apenas a farinha de arroz como ingrediente majoritário, sendo que os percentuais mais indicados de uso destes ingredientes já são amplamente divulgados por vários estudos.

No entanto, não foram encontrados estudos que avaliem a combinação de amidos e/ou féculas com a farinha de arroz nas características físicas dos produtos, em comparação ao produto padrão, elaborado com farinha de trigo. Essa avaliação é de grande valia, pois permite chegar em uma combinação ideal de ingredientes principais para que o produto se equipare em resultados físicos e sensoriais, ao produto elaborado com farinha de trigo.

Assim sendo, o presente trabalho se propõe a avaliar, através de um planejamento de misturas, os percentuais ideais de farinha de arroz, fécula de mandioca, fécula de batata e amido de milho aliado à percentuais fixos de um hidrocoloide e de uma fibra, para a obtenção de um bolo de chocolate sem glúten.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo elaborar um bolo de chocolate sem glúten através da substituição da farinha de trigo por uma mistura composta por farinha de arroz, amido de milho, fécula de mandioca, fécula de batata, goma xantana e fibra psyllium.

3.2 Objetivos específicos

- Escolher uma formulação de bolo de chocolate com farinha de trigo para obtenção da amostra controle;
- Determinar, através da literatura da área e de resultados internos do grupo de pesquisa, os percentuais fixos de goma xantana e fibra psyllium no mix sem glúten;
- Determinar, através da literatura da área e de resultados internos do grupo de pesquisa, os teores de farinha de arroz, amido de milho, fécula de batata e fécula de mandioca que serão testados através do planejamento de misturas;
- Elaborar o planejamento de misturas a ser testado;
- Realizar os ensaios previstos no planejamento de misturas e avaliar os produtos obtidos frente às análises de volume, textura, cor e estrutura interna de miolo;
- Realizar a análise de custo das formulações testadas;
- Escolher, dentre as amostras avaliadas, as que irão ser analisadas frente aos testes sensoriais devido à proximidade de resultados com a amostra controle, elaboradas com farinha de trigo, assim como, do custo da formulação;
- Avaliar as amostras selecionadas frente à análise sensorial.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Matérias-primas

Para a elaboração dos bolos de chocolate sem glúten e do bolo controle foram utilizados os seguintes ingredientes: farinha de trigo (Panfácil, RS) farinha de arroz (Fazenda, SC), fécula de batata (Foco Alternativo, RS) amido de milho (Amafil, PR), fécula de mandioca (Pinduca, PR), goma xantana (Foco Alternativo, RS), fibra psyllium (Banca 12, RS), açúcar (União, SP), ovo em pó (Naturivos, RS), achocolatado em pó (Nestlé, SP), fermento químico (Royal, PR), água, óleo de canola (Salada, SC), vinagre de maçã (Rosani, RS) e sal (Diana, PR). As formas foram untadas utilizando o spray aerossol desmoldante (Unta Forma, BR). Todos esses insumos foram fornecidos pelo Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos (ICTA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

4.2 Planejamento de misturas

Em produtos de panificação, os teores dos ingredientes utilizados são expressos sobre o percentual de farinha de trigo (g/100 g de farinha de trigo). No caso de panificação sem glúten, ocorre da mesma forma, sendo que a quantidade dos ingredientes da formulação é expressa sobre o percentual da mistura (mix) de ingredientes substituintes da farinha de trigo, que, no caso desse trabalho, é composta por farinha de arroz, amido de milho, fécula de batata, fécula de mandioca, goma xantana e fibra psyllium.

O planejamento de misturas realizado foi baseado em uma formulação testada anteriormente pelo grupo de pesquisa em Tecnologia de Cereais do Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos (ICTA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (Tabela 7). Nesta, o mix de farinhas substitutas à farinha de trigo é composto por farinha de arroz (62,5%), fécula de batata (36,4%), goma xantana (0,9%) e fibra psyllium (0,2%).

Tabela 7 – Formulação original de bolo de chocolate sem glúten desenvolvida pelo grupo de pesquisa em Tecnologia de Cereais do ICTA/UFRGS

Ingrediente	Percentual (%)
Farinha de arroz	62,5
Fécula de batata	36,4
Goma xantana	0,9
Psyllium	0,2
Total Mix Farinhas	100
Achocolatado em pó	40
Óleo de Canola	112,5
Ovo em pó	125
Açúcar	125
Água	75
Fermento químico	9,4
Vinagre de maçã	6,25
Sal	0,3

Fonte: Autora (2023).

Pelo fato da fécula de batata ser, dentre os amidos e féculas disponíveis, o de maior custo, o objetivo do planejamento de misturas realizado foi verificar a qualidade do bolo de chocolate, em comparação com um bolo elaborado com farinha de trigo, caso o amido de milho e fécula de mandioca fossem utilizados, sozinhos ou em combinação, em substituição total ou parcial à fécula de batata. A Tabela 8 apresenta os experimentos com a inclusão do amido de milho e da fécula de mandioca na formulação do bolo de chocolate, assim como o percentual desses ingredientes em relação ao mix de farinhas substitutas à farinha de trigo.

Na formulação dos experimentos expostos na Tabela 8, os teores dos demais ingredientes que compõe o mix de farinhas substituto à farinha de trigo (farinha de arroz, goma xantana e fibra psyllium) permaneceram constantes, de forma a avaliar apenas o efeito da mistura do amido de milho e féculas na qualidade do bolo. A farinha de arroz foi propositalmente escolhida como o ingrediente em maior quantidade do mix de farinhas (62,5 %) pois é o insumo de menor custo. O mix de ingredientes substitutos à farinha de trigo (100%) foi então composto pela mistura de amido e féculas (36,4%), por 0,2% de goma xantana e 0,9% de fibra psyllium, o que pode ser

visualizado na Tabela 9, que traz as formulações desenvolvidas, com os percentuais de todos os insumos sobre o teor dos ingredientes do mix de farinhas substitutas da farinha de trigo, assim como a quantidade, em gramas ou ml, de cada ingrediente.

Tabela 8 – Planejamento de misturas realizado

Experimento	Variação do percentual de amidos de milho e féculas no planejamento de misturas			Percentual de amido de milho e féculas sobre o teor de mix de farinhas substitutas à farinha de trigo		
	Fécula de batata	Amido de milho	Fécula de mandioca	Fécula de batata	Amido de milho	Fécula de mandioca
1	100%	0%	0%	36,4%	0%	0%
2	0%	100%	0%	0%	36,4%	0%
3	0%	0%	100%	0%	0%	36,4%
4	50%	50%	0%	18,2%	18,2%	0%
5	50%	0%	50%	18,2%	0%	18,2%
6	0%	50%	50%	0%	18,2%	18,2%
7	33,3%	33,3%	33,3%	12,1%	12,1%	12,1%
8	33,3%	33,3%	33,3%	12,1%	12,1%	12,1%
9	33,3%	33,3%	33,3%	12,1%	12,1%	12,1%

Fonte: Autora (2023).

Os teores de achocolatado em pó, óleo de canola, ovo em pó, açúcar, água, fermento químico, vinagre de maçã e sal não foram alterados entre as formulações testadas. Para fins de comparação, foi elaborado um bolo controle (C) utilizando farinha de trigo (100%) e os demais insumos mencionados anteriormente, nas mesmas proporções das formulações teste.

Tabela 9 – Formulações do bolo de chocolate sem glúten

Ingredientes	C (100% FT)		F1 (36% FB)		F2 (36% AM)		F3 (36% FM)		F4 (18% FB/ 18% AM)		F5 (18% FB/ 18% FM)		F6 (18% AM/ 18% FM)		F7 (12% FB/ 12% AM/ 12% FM)		F8 (12% FB/ 12% AM/ 12% FM)		F9 (12% FB/ 12% AM/ 12% FM)	
	%	g ou ml	%	g ou ml	%	g ou ml	%	g ou ml	%	g ou ml	%	g ou ml	%	g ou ml						
Farinha de trigo	100	160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Farinha de arroz	-	-	62,5	100	62,5	100	62,5	100	62,5	100	62,5	100	62,5	100	62,5	100	62,5	100	62,5	100
Fécula de batata	-	-	36,4	58,24	-	-	-	-	18,2	29,12	18,2	29,12	-	-	12,10	19,36	12,1	19,36	12,1	19,36
Amido de milho	-	-	-	-	36,4	58,24	-	-	18,2	29,12	-	-	18,2	29,12	12,10	19,36	12,1	19,36	12,1	19,36
Fécula de mandioca	-	-	-	-	-	-	36,4	58,24	-	-	18,2	29,12	18,2	29,12	12,10	19,36	12,1	19,36	12,1	19,36
Goma xantana	-	-	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3
Psyllium	-	-	0,9	1,4	0,9	1,4	0,9	1,4	0,9	1,4	0,9	1,4	0,9	1,4	0,9	1,4	0,9	1,4	0,9	1,4
Achocolatado em pó	40	64	40	64	40	64	40	64	40	64	40	64	40	64	40	64	40	64	40	64
Óleo de Canola	112,5	180	112,5	180	112,5	180	112,5	180	112,5	180	112,5	180	112,5	180	112,5	180	112,5	180	112,5	180
Ovo em pó	125	50	125	50	125	50	125	50	125	50	125	50	125	50	125	50	125	50	125	50
Açúcar	125	200	125	200	125	200	125	200	125	200	125	200	125	200	125	200	125	200	125	200
Água	75	270	75	270	75	270	75	270	75	270	75	270	75	270	75	270	75	270	75	270
Fermento químico	9,4	15	9,4	15	9,4	15	9,4	15	9,4	15	9,4	15	9,4	15	9,4	15	9,4	15	9,4	15
Vinagre de maçã	6,25	10	6,25	10	6,25	10	6,25	10	6,25	10	6,25	10	6,25	10	6,25	10	6,25	10	6,25	10
Sal	0,3	0,48	0,3	0,48	0,3	0,48	0,3	0,48	0,3	0,48	0,3	0,48	0,3	0,48	0,3	0,48	0,3	0,48	0,3	0,48

Legenda: FT-Farinha de trigo; FA-Farinha de arroz; FB-Fécula de batata; AM- Amido de milho; FM- Fécula de mandioca.

Fonte: Autora (2023).

4.3 Preparo dos bolos

Os bolos foram preparados de acordo com o método creme (WILDERJANS *et al.*, 2013). As etapas de preparo foram: pesagem dos ingredientes, mistura (método creme), em que foram adicionados o açúcar, os ovos em pó hidratados, o vinagre de maçã e o óleo de canola sendo homogeneizados por 3 minutos com o auxílio da batedeira planetária (Venâncio, Venâncio Aires) sob velocidade média, após foi acrescentado o achocolatado em pó, as farinhas sem glúten, os amidos/féculas, a goma xantana, a fibra psyllium e o sal os quais foram misturados com velocidade baixa. A seguir, foi adicionada vagarosamente a água quente (100°C) e depois o fermento químico. Após a mistura, ocorreu a dosagem da massa nas formas já untadas (aproximadamente 141 g) e os bolos foram assados em forno estático (Nardelli, Rio do Oeste) à 180°C por 45 minutos. Depois de 20 minutos, os bolos foram desenformados e resfriados por 1 hora, à temperatura ambiente. As análises físicas foram realizadas em triplicata.

O processo de preparo dos bolos ocorreu na Planta de Processamento de Cereais do ICTA/UFRGS, onde foram elaborados o bolo controle e as nove formulações sem glúten ambos em triplicata.

4.4 Análises físicas

Para avaliar a qualidade dos bolos foram realizadas as análises físicas de volume específico, estrutura interna e cor do miolo, e análise de textura que serão abordadas a seguir.

4.4.1 Volume específico

O volume específico dos bolos foi calculado pela divisão do volume, obtido através do método de deslocamento de painço (*Panicum miliaceum* L.), pelo peso do bolo, obtendo um resultado em cm³/g, segundo o método nº 72-10 da *Association of Cereal Chemists* (AACC) (2000). A análise foi realizada em triplicata.

4.4.2 Estrutura interna do miolo

A estrutura interna do miolo dos bolos foi avaliada com o auxílio do software de processamento e análise de imagens digitais *ImageJ*. Primeiramente as amostras

foram cortadas em fatias e fotografadas. Após foi realizado o tratamento das imagens dos bolos (escala de cinza, ajuste da escala, definição do tamanho da imagem), seguido da análise de partículas (poros presentes na imagem).

Com a análise das imagens, foi possível obter o número de poros maiores que 5 mm² (%) (Equação 1), a porosidade (%) (Equação 2) e a densidade das células (células/cm²) (Equação 3) segundo a metodologia descrita por Rosales-Juárez *et al.* (2008); Gonzales-Barrón e Butler (2006) com modificações.

Equação 1 – Poros > 5 mm² (%)

$$Poros > 5 \text{ mm}^2 (\%) = \frac{n_{>5 \text{ mm}^2}}{\text{Contagem total de poros}}$$

Fonte: Adaptado de ROSALES-JUÁREZ *et al.* (2008), GONZALES-BARRÓN; BUTLER (2006).

Equação 2 – Porosidade (%)

$$Porosidade (\%) = \frac{\text{Área total poros}}{\text{Área total}}$$

Fonte: Adaptado de ROSALES-JUÁREZ *et al.* (2008), GONZALES-BARRÓN; BUTLER (2006).

Equação 3 – Densidade das células (células/cm²)

$$Densidade \text{ celular } \left(\frac{\text{células}}{\text{cm}^2} \right) = \frac{\text{Contagem total de poros}}{\text{Área total}}$$

Fonte: Adaptado de ROSALES-JUÁREZ *et al.* (2008), GONZALES-BARRÓN; BUTLER (2006).

4.4.3 Cor

A cor do miolo dos bolos foi obtida utilizando o colorímetro Konica Minolta modelo CR-400 onde a medição ocorreu no ponto central das fatias dos bolos. A análise seguiu o sistema de espaço de cores L* a* b*, no qual o eixo vertical “L” indica luminosidade, sendo que o 0 corresponde ao preto e o 100 ao branco, o eixo “a” aponta do vermelho ao verde e o eixo “b” caracteriza do amarelo ao azul. Com esses valores foi determinada a diferença de cor entre as amostras e o padrão (ΔE^*) conforme a Equação 4 (MINOLTA, 2007).

Equação 4 – Fórmula do ΔE^*

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_c^*)^2 + (a^* - a_c^*)^2 + (b^* - b_c^*)^2}$$

Fonte: Adaptado de MINOLTA (2007).

4.4.4 Perfil de textura

A textura do miolo dos bolos foi determinada com o analisador de textura TA.XT.Plus (Stable Micro Systems) utilizando o método padrão (74-09) da *Association of Cereal Chemists* (AACC). O teste realizado foi de compressão dupla utilizando um probe cilíndrico de 36 mm de diâmetro a uma velocidade de 2 mm/s. Com isso, foi possível estabelecer a dureza (g) por meio do pico da curva força versus tempo. Também se calculou a coesividade, a elasticidade e a mastigabilidade (g), a partir dos dados obtidos na análise, conforme as Equações 5, 6 e 7, respectivamente. Para a realização do teste foram utilizadas duas fatias de cada bolo.

Equação 5 – Coesividade

$$\text{Coesividade} = \frac{\text{área 2}}{\text{área 1}}$$

Fonte: Adaptado de BOURNE (2002).

Equação 6 – Elasticidade

$$\text{Elasticidade} = \frac{\text{distância 2}}{\text{distância 1}}$$

Fonte: Adaptado de BOURNE (2002).

Equação 7 – Mastigabilidade (g)

$$\text{Mastigabilidade} = \text{dureza} \times \text{coesividade} \times \text{elasticidade}$$

Fonte: Adaptado de BOURNE (2002).

4.5 Análise de custo da formulação

A análise do custo das formulações foi realizada por meio da pesquisa dos preços dos amidos/féculas em um site de fornecedor de alimentos (Nova Safra Food Service), já que esses insumos desempenham um papel distintivo nas formulações, sendo de grande importância para a escolha das amostras que seriam avaliadas na análise sensorial.

4.6 Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada no Laboratório de Análise Sensorial do Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos (ICTA), com a amostra selecionada após a avaliação dos resultados do planejamento de misturas realizado e da avaliação do custo das formulações. Participaram 60 provadores, sendo 33 mulheres e 27 homens, de idade entre 19 e 62 anos, não treinados e não celíacos. Foi realizado o teste de aceitação de atributos utilizando escala hedônica verbal de 9 pontos variando de 1 (desgostei muitíssimo) a 9 (gostei muitíssimo) para as características aparência, cor, sabor, textura, sabor residual e aceitação global. Também foi questionado a intenção de compra do produto. Os bolos foram servidos em pratos brancos, em temperatura ambiente, acompanhados de um copo de água, um lápis e a ficha de avaliação (Apêndice A). As médias das notas de cada atributo foram obtidas a partir dos dados coletados e, em seguida, o índice de aceitabilidade (IA) foi calculado através da expressão apresentada na Equação 8, onde A representa a nota média obtida e B é a nota máxima da escala utilizada. Para que o produto seja considerado aceito pelos provadores, ele deve atingir uma porcentagem igual ou superior a 70% (TEIXEIRA; MENERT; BARBERTA, 1987).

Equação 8 – Índice de aceitabilidade

$$IA(\%) = A \times 100/B$$

Fonte: Adaptado de TEIXEIRA; MENERT; BARBERTA (1987).

4.7 Análise estatística

Os resultados das análises físicas foram avaliados utilizando a metodologia de superfície de resposta e Análise de Componentes Principais (ACP) utilizando o programa Statistica 13.0 (Stastsoft, USA).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises físicas

5.1.1 Superfície de respostas geradas através do Planejamento de Misturas

O planejamento de misturas é bastante empregado em otimizações nas quais é fixa a relação entre as variáveis. Um exemplo típico é a otimização da formulação de produtos de panificação. Nesse tipo de planejamento, os níveis das variáveis não podem ser alterados de forma independente e sempre é mantida uma relação entre as mesmas.

Através do experimento com misturas se obtém, com tempo e custos mínimos, as informações que se desejam sobre o efeito das proporções de cada componente presente na mistura e sobre as características do produto final resultante dessa mistura.

Nesse trabalho estudou-se o efeito da substituição da farinha de trigo por uma mistura farinha de arroz, amido de milho, fécula de batata, fécula de mandioca, goma xantana e fibra psyllium, através do planejamento de mistura. Os resultados dessa análise estão apresentados a seguir.

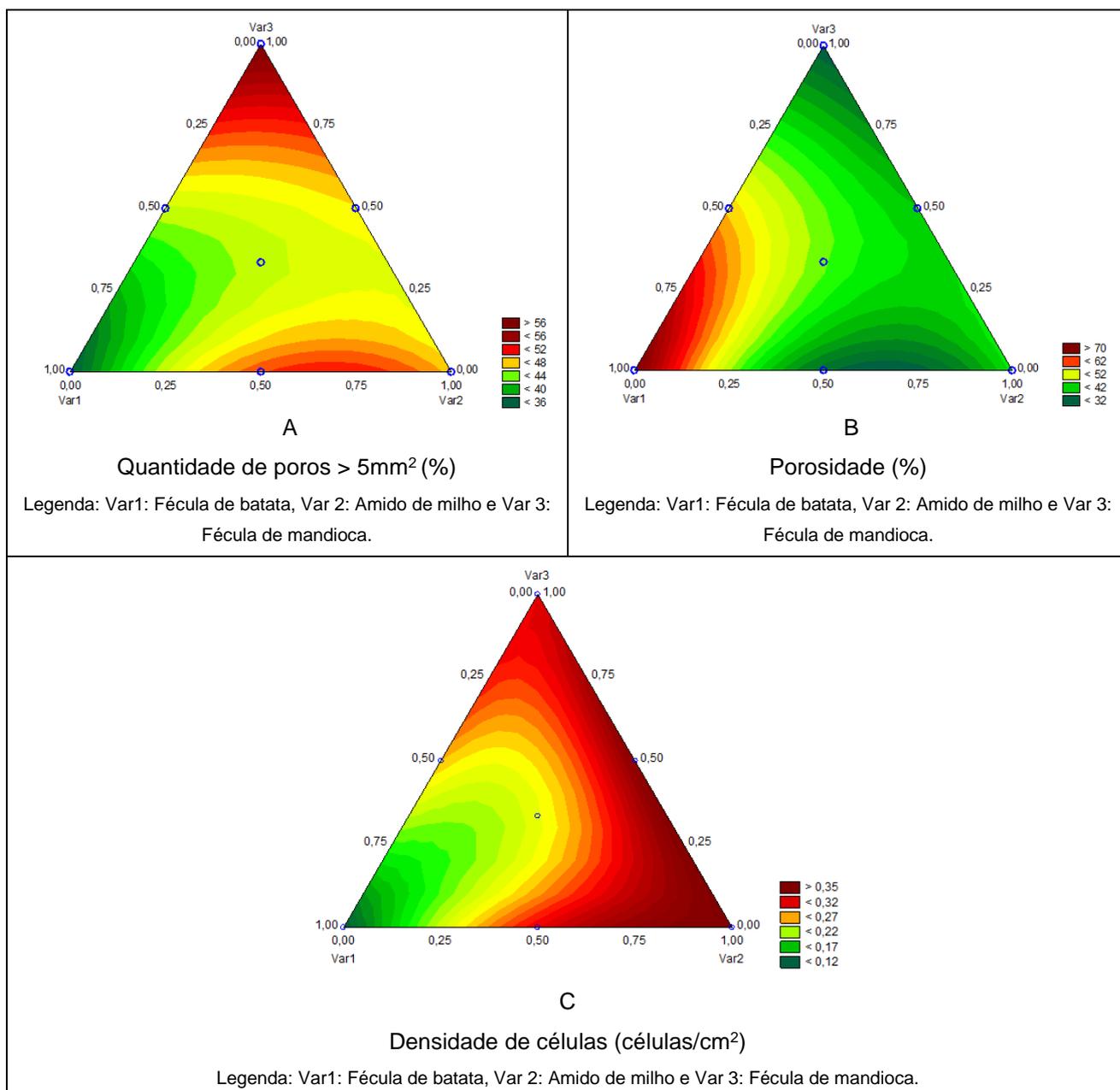
5.1.1.1 Estrutura interna do miolo (estrutura de alvéolos)

A estrutura alveolar dos bolos está relacionada com a presença de bolhas de ar na massa. Em geral, quanto mais ar é incorporado, maiores e mais leves serão as bolhas de ar e mais alveolada será a estrutura do bolo gerando produtos macios. A quantidade e o tamanho dos poros estão diretamente relacionados com a formulação e os processos utilizados e de forma geral, bolos de maior qualidade são aqueles que apresentam maior porosidade e menor teor de poros maiores (ESTELLER *et al.*, 2006).

A maior presença de poros com tamanho superior a 5 mm², em porcentagem, foi observada para amostras com a adição da fécula de batata, em concentrações variando de 50 a 80%, e em formulações contendo apenas o amido de milho, em concentrações maiores que 75%, conforme mostra a Figura 11-A. A porosidade (%) obteve valores expressivos, ou seja, maiores resultados, com menores quantidades de fécula de batata e a partir de 70% de fécula de mandioca, sendo que a presença do amido de milho resultou em valores menores (Figura 11-B). Já em relação à

densidade de células (células/cm²) foi observada uma grande região com altos valores: concentrações maiores que 50% de fécula de batata, até aproximadamente 25% de fécula de mandioca e todas as concentrações de amido de milho (Figura 11-C).

Figura 11 – Diagramas triangulares relativos às análises de estrutura interna de miolo



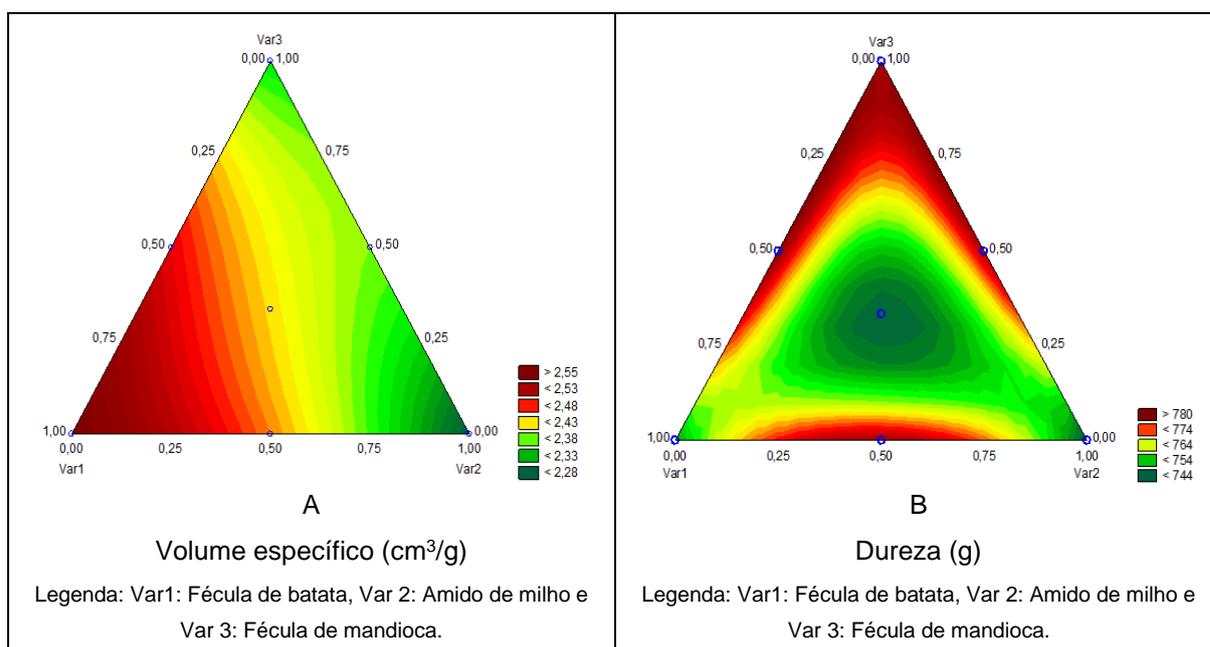
Fonte: Autora (2023).

5.1.1.2 Volume específico e parâmetros de textura

O volume específico (Figura 12-A) mostra a relação entre o teor de sólidos e a fração de ar existente na massa. Massas com volume específico baixo apresentam aspecto desagradável ao consumidor, associadas com alto teor de umidade, falhas no batimento e cocção, pouca aeração, difícil mastigação, sabor impróprio e baixa conservação (ESTELLER; LANNES, 2005). Com relação ao volume específico pode-se afirmar que a adição do amido de milho resultou em menores valores, já as formulações que continham até 50% de fécula de batata e a partir de 50% de fécula de mandioca demonstraram maiores valores.

A dureza (Figura 12-B) está relacionada com a maciez do produto, característica muito importante na qualidade dos bolos, sendo desejáveis baixos valores. A dureza obteve o menor valor no ponto central, ou seja, concentrações de 33% de cada um dos amidos/féculas.

Figura 12 – Diagramas triangulares relativos às análises de volume específico e dureza



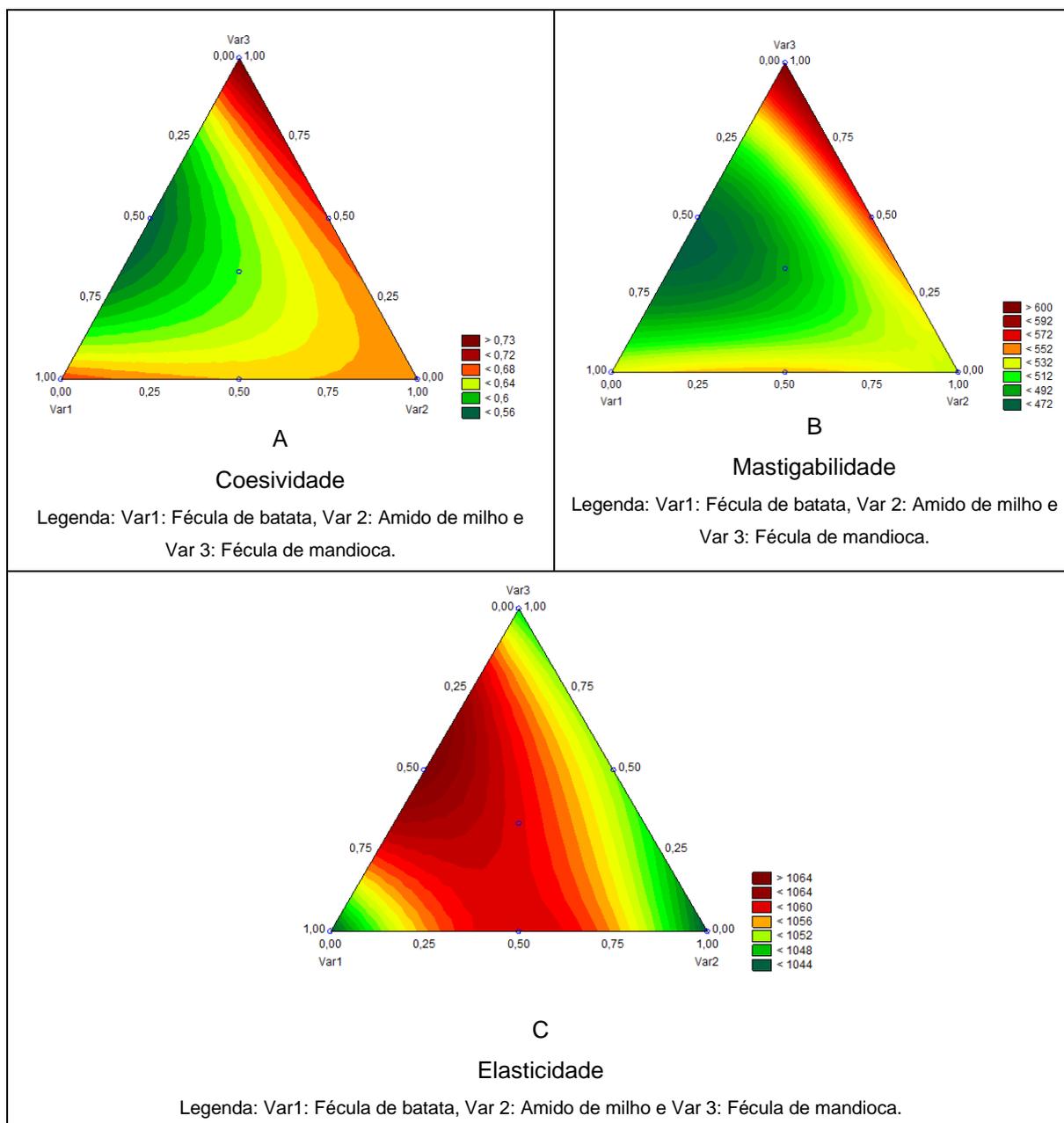
Fonte: Autora (2023).

A coesividade (Figura 13-A) se refere à capacidade dos ingredientes de se unirem e manterem sua forma após a cocção. A menor coesividade indica menor força necessária para esticar um alimento até que este seja rompido (SZCZESNIAK, 2002), podendo ser considerado esfarelado. A coesividade da amostra está relacionada à capacidade da mesma em não se desintegrar. É um aspecto muito importante em produtos de panificação industrializados, que tendem a ter maior vida útil. Particularmente em produtos sem glúten, a coesividade é um problema, visto que o glúten tem essa função (GALLAGHER, 2009). Foi observado que a adição de amido de milho, em concentrações maiores que 70%, resultou nos maiores valores, já as féculas obtiveram os menores resultados.

A mastigabilidade (Figura 13-B) está associada à dureza, coesividade e elasticidade. A presença das féculas demonstrou menores valores, o que é desejável, já o amido de milho, em concentrações maiores que 50%, ocasionou os maiores resultados.

A elasticidade (Figura 13-C) é o resultado da capacidade do bolo voltar à sua forma original quando é pressionado. Essa característica é esperada, especialmente em produtos sem glúten, pois aponta que o produto é macio e não quebradiço. Em relação à elasticidade, pode-se observar que a adição das féculas de batata e de mandioca foi positiva, enquanto que o amido de milho não contribuiu nesse parâmetro de forma individual, somente em conjunto com as féculas.

Figura 13 – Diagramas triangulares relativos às análises de textura



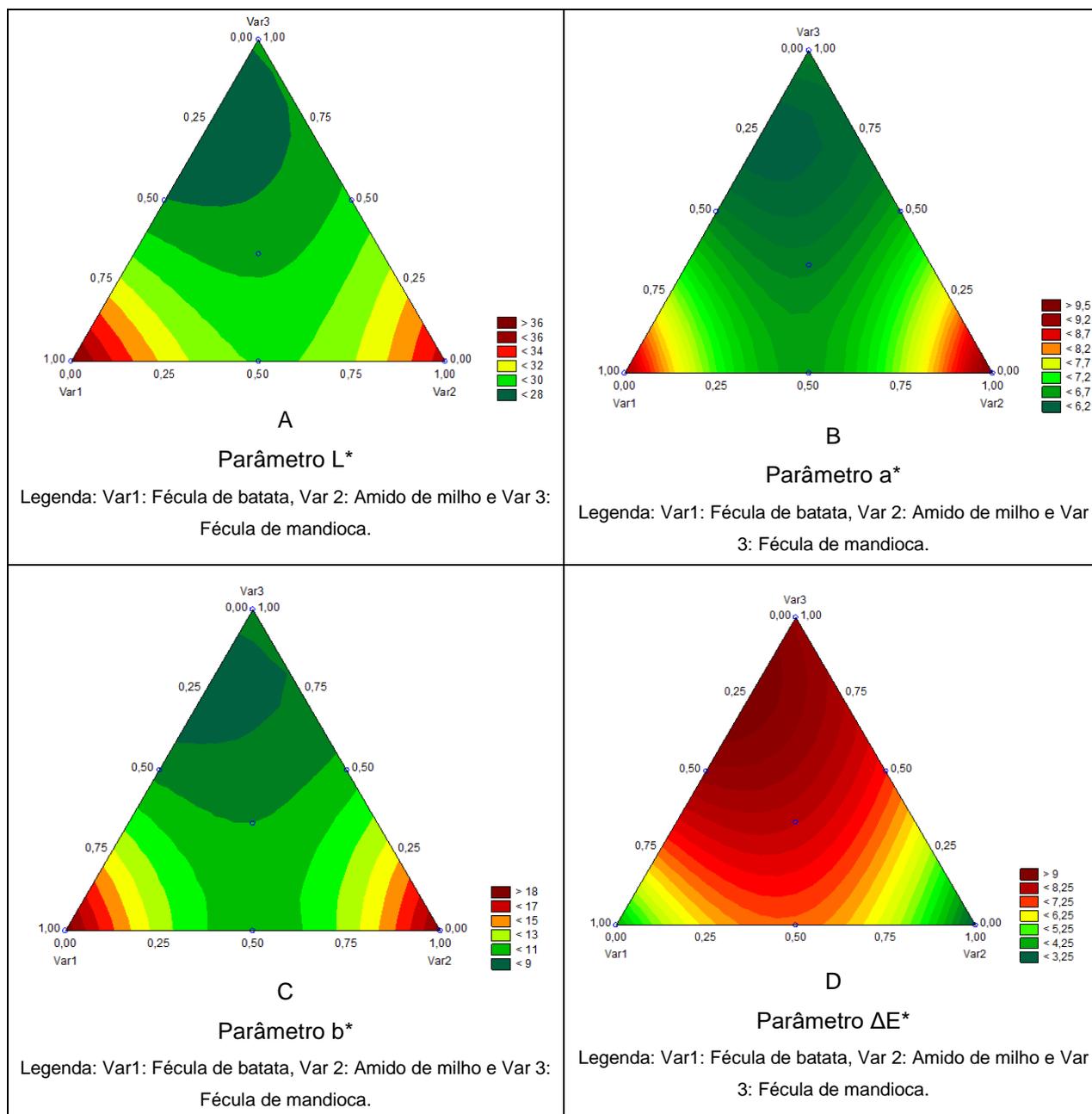
Fonte: Autora (2023).

5.1.1.3 Cor

Em relação à cor dos bolos (Figura 14), a adição das féculas de batata e de mandioca resultaram em maiores valores de L^* , indicando bolos mais claros, de a^* , apontando para a cor vermelha e de b^* caracterizando para o amarelo. Quando comparados com o padrão (ΔE^*), os bolos preparados com somente fécula de batata ou fécula de mandioca apresentaram valores menores de ΔE^* , indicando uma cor mais próxima ao bolo controle. No entanto, a combinação dessas féculas com o amido

de milho resultou em valores maiores, indicando uma maior diferença em relação ao padrão.

Figura 14 – Diagramas triangulares relativos às análises de cor



Fonte: Autora (2023).

5.1.2 Análise de componentes principais

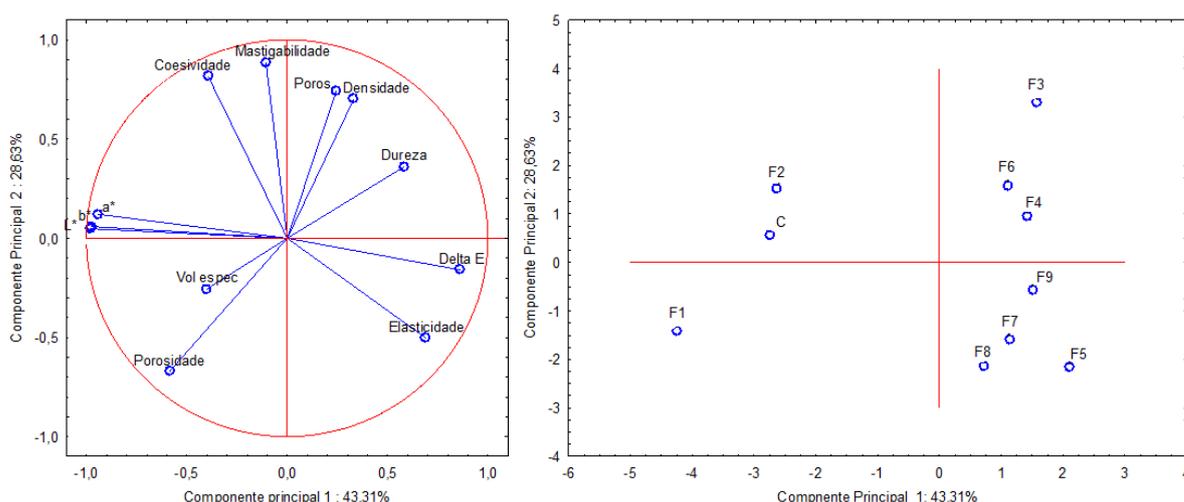
A análise de componentes principais é uma técnica da estatística multivariada que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais. Os componentes principais apresentam propriedades importantes: cada componente

principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados. A análise de componentes principais é associada à ideia de redução de massa de dados, com menor perda possível da informação. Procura-se redistribuir a variação observada nos eixos originais de forma a se obter um conjunto de eixos ortogonais não correlacionados (VARELLA, 2008).

Os dados do planejamento de mistura foram analisados pela metodologia de ACP e os resultados estão representados pelas Figuras 15, para as respostas poros maiores que 5 mm², porosidade, densidade de células, dureza, coesividade, elasticidade, mastigabilidade, L*, a*, b* e ΔE^* , e Figura 16 para a resposta volume específico.

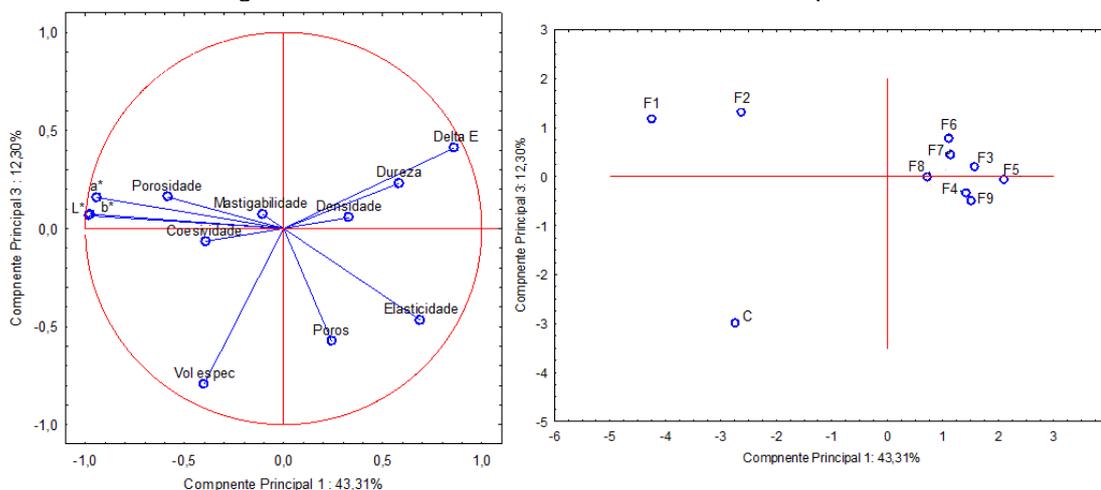
Os resultados de todas as análises físicas foram representados pelos componentes principais 1, 2 e 3 que totalizam 84,2% da variação explicada pelo modelo (Apêndice B). As Figuras 15 e 16, permitem a comparação das formulações em relação aos parâmetros analisados e identifica quais delas apresentaram maior proximidade com o controle.

Figura 15 – Resultados das análises físicas: poros > 5mm², porosidade, densidade de células, dureza, coesividade, elasticidade, mastigabilidade, L*, a*, b* e ΔE^*



Fonte: Autora (2023).

Figura 16 – Resultado da análise física: volume específico



Fonte: Autora (2023).

Em relação à coesividade, mastigabilidade e cor (L^* , a^* , b^*) a formulação F2 (36% amido de milho) obteve os maiores resultados, já as formulações F1 (36% fécula de batata), F5 (18% fécula de batata e 18% fécula de mandioca), F7, F8 e F9 (12% fécula de batata, 12% fécula de mandioca e 12% amido de milho) apresentaram os menores valores.

As formulações F3 (36% fécula de mandioca), F4 (18% fécula de batata e 18% amido de milho) e F6 (18% amido de milho e 18% fécula de mandioca) apontaram os maiores resultados nos parâmetros densidade de células ($\text{células}/\text{cm}^2$), dureza e poros maiores que 5mm^2 , diferentemente dos experimentos F1 (36% fécula de batata), F5 (18% fécula de batata e 18% fécula de mandioca), F7, F8 e F9 (12% fécula de batata, 12% fécula de mandioca e 12% amido de milho) que obtiveram os menores valores.

A respeito da porosidade o bolo preparado com a formulação F1 (36% fécula de batata) obteve os maiores valores. Já as formulações F2 (36% amido de milho), F3 (36% fécula de mandioca), F4 (18% fécula de batata e 18% amido de milho) e F6 (18% amido de milho e 18% fécula de mandioca) apontaram os menores resultados.

Em relação ao volume específico, a amostra controle obteve o maior resultado, já as formulações F1 (36% fécula de batata), F2 (36% amido de milho), F3 (36% fécula de mandioca), F6 (18% amido de milho e 18% fécula de mandioca) e F7 (12% fécula de batata, 12% fécula de mandioca e 12% amido de milho) apresentaram os menores valores.

Os bolos que apresentam maiores valores de elasticidade e ΔE^* foram desenvolvidos com as formulações F5 (18% fécula de batata e 18% fécula de mandioca), F7, F8 e F9 (12% fécula de batata, 12% fécula de mandioca e 12% amido de milho), em contrapartida dos experimentos F2 (36% amido de milho), F3 (36% fécula de mandioca), F4 (18% fécula de batata e 18% amido de milho) e F6 (18% amido de milho e 18% fécula de mandioca).

Comparando as formulações com o bolo controle, foi observado que a formulação F2 (36% amido de milho) obteve valores iguais ao controle em relação à coesividade, mastigabilidade e cor (L^* , a^* , b^*). Já as formulações F1 (36% fécula de batata), F5 (18% fécula de batata e 18% fécula de mandioca), F7, F8 e F9 (12% fécula de batata, 12% fécula de mandioca e 12% amido de milho) obtiveram resultados muito diferentes do controle nos parâmetros porosidade, volume específico, elasticidade e ΔE^* . As formulações F3 (36% fécula de mandioca), F4 (18% fécula de batata e 18% amido de milho) e F6 (18% amido de milho e 18% fécula de mandioca) apresentaram valores médios em relação ao controle nos quesitos dureza, poros maiores que 5 mm^2 e densidade de células (células/cm²).

Para escolher a formulação que seria avaliada na análise sensorial, os principais parâmetros observados foram o volume específico, a coesividade, a mastigabilidade, a dureza, a porosidade, a elasticidade e o ΔE^* . Na Tabela 10 são apresentados os valores desejados, relativos ao controle, para cada um desses atributos, assim como as formulações que satisfazem os resultados esperados.

Tabela 10 – Formulações que atendem os parâmetros desejados relativos ao controle

Parâmetros desejados relativos ao controle	Formulações								
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Volume específico (amostra \leq controle)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Coesividade (amostra \geq controle)		x	x	x		x			
Mastigabilidade (amostra \leq controle)	x	x			x		x	x	x
Dureza (amostra \leq controle)	x	x			x		x	x	x
Porosidade (amostra \geq controle)	x	x			x		x	x	x
Elasticidade (amostra \geq controle)	x	x			x		x	x	x
ΔE^* ($\Delta E^* < 5$)		x	x	x		x			

Legenda: F1 – 36% fécula de batata; F2 – 36% de amido de milho; F3 – 36% fécula de mandioca; F4 – 18% fécula de batata/18% amido de milho; F5 – 18% fécula de batata/18% fécula de mandioca; F6 – 18% amido de milho/18% fécula de mandioca; F7, F8, F9 – 12% fécula de batata/12% amido de milho/12% fécula de mandioca.

Fonte: Autora (2023).

Portanto, como observado na Tabela 10, a formulação que apresentou resultados mais parecidos com o controle foi a F2 (36% amido de milho).

5.2 Análise de custo da formulação

O custo das formulações, somente considerando os ingredientes utilizados, encontra-se na Tabela 11.

Tabela 11 – Custo das formulações

Formulações	Custo
C	R\$ 11,80
F1	R\$ 13,49
F2	R\$ 12,05
F3	R\$ 12,11
F4	R\$ 12,77
F5	R\$ 12,80
F6	R\$ 12,08
F7	R\$ 12,55
F8	R\$ 12,55
F9	R\$ 12,55

Legenda: C – controle (100% farinha de trigo); F1 – 36% fécula de batata; F2 – 36% de amido de milho; F3 – 36% fécula de mandioca; F4 – 18% fécula de batata/18% amido de milho; F5 – 18% fécula de batata/18% fécula de mandioca; F6 – 18% amido de milho/18% fécula de mandioca; F7, F8, F9 – 12% fécula de batata/12% amido de milho/12% fécula de mandioca.

Fonte: Autora (2023).

Os preços do quilo dos amidos/féculas encontrados foram de R\$ 32 para a fécula de batata, R\$ 8,29 para a fécula de mandioca e R\$ 7,35 para o amido de milho. Assim, foi observado uma diferença no custo das formulações que continham a fécula de batata, devido ao seu alto valor quando comparado aos outros amidos/féculas, sendo o amido de milho o mais barato. Esses resultados auxiliaram na escolha da amostra para a realização da análise sensorial. Dessa forma, os bolos que continham a fécula de batata foram excluídos da seleção, somente se sua adição apresentasse significativos resultados nos parâmetros analisados - o que não ocorreu - seria justificado a sua inclusão.

Em relação ao custo do bolo controle e das formulações sem glúten, foi observado um aumento no valor, principalmente nas formulações que continham a fécula de batata, sendo que a formulação F2 (36% amido de milho) apresentou o menor custo de todas as formulações sem glúten e o valor mais próximo do controle.

Com a avaliação dos resultados de qualidade e de custo, a formulação F2 (36% amido de milho) foi escolhida para a análise sensorial, assim, foi possível obter a melhor formulação com o menor custo.

5.3 Análise Sensorial

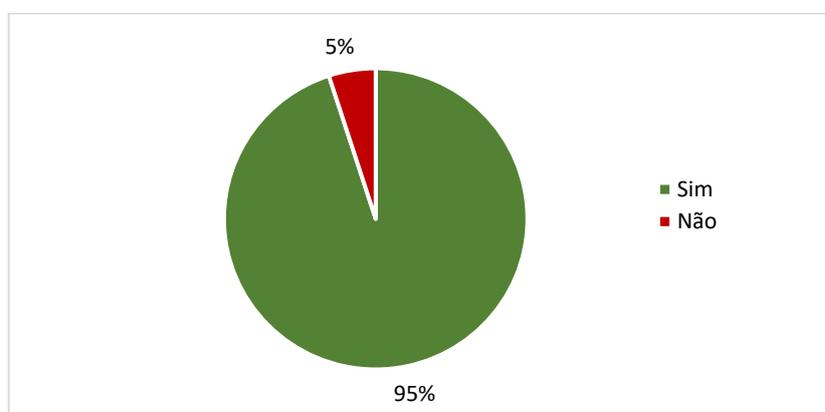
As notas médias obtidas para cada atributo, assim como o IA são apresentadas na Tabela 12. Todos os atributos atingiram o nível mínimo de 70% de aceitação, ou seja, obtiveram notas maiores que 6,3 em uma escala de 9 pontos. É importante destacar que o sabor, a textura e a aceitação global foram as características mais bem avaliadas pelos provadores, obtendo mais de 90% de aprovação. Em relação a intenção de compra do produto, 95% dos participantes responderam que adquiririam o bolo (Figura 17). Dessa forma, o produto foi aceito pelos provadores.

Tabela 12 – Médias e IA obtidos para cada atributo avaliado

Atributo	Média	IA (%)
Aparência	7,57	84
Cor	7,73	86
Sabor	8,28	92
Textura	8,25	92
Sabor Residual	8,00	89
Aceitação Global	8,17	91

Fonte: Autora (2023).

Figura 17 – Intenção de compra do produto



Fonte: Autora (2023).

Os resultados obtidos foram muito satisfatórios, visto que alguns estudos, que realizaram a análise sensorial dos bolos sem glúten desenvolvidos, obtiveram escores menores quando comparados com o produto contendo glúten. Por exemplo, Dhen *et al.* (2016) observaram um leve declínio na pontuação em quase todos os parâmetros, principalmente no sabor, ao avaliar bolos de soja. De maneira similar, Preichardt *et al.* (2011) obtiveram notas médias de 7,7 e 7,1 no teste de aceitação de atributos com escala hedônica de 9 pontos para os bolos produzidos com duas formulações contendo diferentes quantidades de goma xantana.

Os comentários feitos pelos provadores também reforçam os resultados alcançados: “semelhante aos bolos com glúten”, “maravilhoso, consistência aprovada!”, “ficou tão bom quanto o bolo com glúten”, “muito gostoso, saboroso, maravilhoso”, “maravilhoso o sabor, parabéns!”.

6 CONCLUSÃO

Foi possível substituir totalmente a fécula de batata pelo amido de milho na mistura de farinhas sem glúten e obter um produto com menor custo e melhores propriedades.

Através do planejamento de misturas pode-se elaborar 9 diferentes formulações nas quais foram avaliadas em relação a vários parâmetros físicos de qualidade.

Por meio da metodologia de superfície de resposta e da ACP foi viável avaliar as características físicas dos bolos desenvolvidos e encontrar a formulação que mais se assemelhou ao bolo com glúten.

Os grandes índices de aprovação e de intenção de compra dos provadores que realizaram a análise sensorial da amostra escolhida, indica que a pré-mistura selecionada é uma ótima opção para a substituição da farinha de trigo. Mais estudos devem ser realizados para determinar se a pré-mistura selecionada também pode ser utilizada de forma satisfatória em outros produtos, em substituição da farinha de trigo.

REFERÊNCIAS

- AACC – **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**, 9ª edição, v. I e v. II, St Paul, MN, USA: The Association, 1995.
- ARENDT, Elke; BELLO, Fabio D. **Gluten-Free Cereal Products and Beverages**. Amsterdam: Academic Press, v. 1st ed, 2008.
- ARENDT, E.; ZANNINI, E. **Cereal Grains for the Food and Beverage Industries**. Oxford: Woodhead Publishing, 2013.
- BEDENDO, Anandra *et al.* Substituição de leite em pó por concentrado proteico de soro de leite (WPC - Whey Protein Concentrate) na elaboração de bolo sem glúten. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 7, p. 8062–8073, 2019.
- BELORIO, Mayara; GÓMEZ, Manuel. **Psyllium: a useful functional ingredient in food systems**. Taylor and Francis Ltd., 2021.
- BEMILLER, James; WHISTLER, Roy. **Starch: Chemistry and Technology**, 2009.
- BEN JEDDOU, Khawla *et al.* Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein. **Food Chemistry**, v. 217, p. 668–677, 2017.
- BIESIEKIERSKI, Jessica R. **What is gluten?**. Blackwell Publishing, 2017.
- BOURNE, M. C. **Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement**. Academic Press, v. 2 st ed, 2002.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. **Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005**. Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Brasília, DF, 2005.
- CAIO, Giacomo *et al.* **Celiac disease: A comprehensive current review**. BioMed Central Ltd., 2019.
- CAPRILES, Vanessa Dias; ARÊAS, José Alfredo Gomes. **Avanços na produção de pães sem glúten: aspectos tecnológicos e nutricionais**, B.CEPPA, Curitiba, v. 29, n. 1, p. 129-136, 2011.
- CARDOSO, Louise Thomé *et al.* **Doença celíaca e a utilização de novos alimentos sem glúten**, 2021.
- CAUVAIN, S. P. **Breadmaking: Improving Quality**. Philadelphia, Pa: Woodhead Publishing, v. 2nd ed, 2012.
- CODEX Alimentarius. Alinorm 09/32/26. **Report of the 32nd Session of the Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Alimentarius Commission**, Rome, Italy, 29 June–4 July 2009.

CODEX Alimentarius. **Standard for foods for special dietary use for persons intolerant to gluten**, 2008.

CRUCINSKY, Juliana; DAMIÃO, Jorginete De Jesus; DE CASTRO, Inês Rugani Ribeiro. **Weaknesses in healthcare for persons with gluten-related disorders**. Fundação Oswaldo Cruz, 2021.

DE LA HERA, Esther *et al.* Influence of Flour Particle Size on Quality of Gluten-Free Rice Cakes. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 9, p. 2280–2288, 2013.

DELCOUR, Jan A.; POUTANEN, Kaisa. **Fibre-Rich and Wholegrain Foods: Improving Quality**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2013.

DHEN, Nahla *et al.* Particle size distribution of soy flour affecting the quality of enriched gluten-free cakes. **LWT**, v. 66, p. 179–185, 2016.

EDWARDS, W. P. **The Science of Bakery Products**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2007.

ELIASSON, A.C. **Starch in food – Structure, function and applications**. New York: Boca Raton, CRC, 605p, 2004.

ELKE ARENDT; FABIO DAL BELLO. **Gluten-Free Cereal Products and Beverages**. Amsterdam: Academic Press, v. 1st ed, 2008.

EMBRAPA. **Processamento de farinha e fécula de mandioca**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 79 p., 2014.

ESTELLER, Mauricio Sergio *et al.* Bolo de “chocolate” produzido com pó de cupuaçu e kefir. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, 2006.

ESTELLER, M.S; LANNES, S.C.S. Parâmetros Complementares para Fixação de Identidade e Qualidade de Produtos Panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n. 25, v. 4, p. 802-806, 2005.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. **Amidos**. 2015.

GAESSER, Glenn A.; ANGADI, Siddhartha S. Gluten-free diet: Imprudent dietary advice for the general population?. **Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics**, v. 112, n. 9, p. 1330–1333, 2012.

GALLAGHER, Eimear. **Gluten-Free Food Science and Technology**. Blackwell Publishing Ltd, v.1 st ed, 2009.

GONZALES-BARRÓN, U.; BUTLER, F. A comparison of seven thresholding techniques with the k-means clustering algorithm for measurement of bread-crumbs by digital image analysis. **J. Food. Eng.**, v. 74, n. 2, p. 268-278, 2006.

GULARTE, Márcia Arocha *et al.* Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. **LWT**, v. 48, n. 2, p. 209–214, 2012.

IBGE. **Produção de arroz.** 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/arroz/br>. Acesso em: 24 jan. 2023.

JNAWALI, Prakriti; KUMAR, Vikas; TANWAR, Beenu. **Celiac disease: Overview and considerations for development of gluten-free foods.** Elsevier B.V., 2016.

LINDFORS, Katri *et al.* **Coeliac disease.** Nature Publishing Group, 2019.

MATOS, María E.; SANZ, Teresa; ROSELL, Cristina M. Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice based gluten free muffins. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 150–158, 2014.

MELO, Cláudia M. T. *et al.* Análises físico-químicas de bolo de laranja comparadas ao do rótulo do produto. Boletim técnico. **Instituto federal de educação, ciência e tecnologia**, ano 3, n.1, p.06-09, 2017.

MINOLTA. **Precise color communication: color control from perception to instrumentation.** Minolta Co Ltd, Osaka, Japão, 2007.

MORDOR INTELLIGENCE. **Mercado de alimentos preparados sem glúten - crescimento, tendências, impacto do covid-19 e previsões (2023-2028)**, 2022. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/global-gluten-free-prepared-foods-market-industry>. Acesso em: 30 dez. 2022.

MORDOR INTELLIGENCE. **Mercado de bolos - crescimento, tendências e previsões (2023 - 2028)**, 2022. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/cakes-market>. Acesso em: 8 fev. 2023.

NAQASH, Farah *et al.* **Gluten-free baking: Combating the challenges - A review.** Elsevier Ltd, 2017.

NEJAD, Mohammad Rostami *et al.* Gluten related disorders. **Gastroenterology and Hepatology from Bed to Bench**, 2012.

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

NETO, Benício de Barros; SCARMINO, Ieda Spacino; BRUNS, Roy Edwars. **Como Fazer experimentos.** Editora Unicamp, 2003.

NOVA Safra Food Service. **Amidos/féculas.** 2023. Disponível em: <https://www.novasafra.com.br/searchresults?Ntt=amidos%20e%20f%C3%A9culas&Rdm=58&searchType=simple&type=search&showOutOfStock=false>. Acesso em: 14 mar. 2023.

OLIVEIRA, Dafne Cristine Lima de; SILVA, Vânia Maria Barboza da; SILVA, Luísa Margareth Carneiro da. Desafios da adesão à dieta sem glúten. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e34411226008, 2022.

PANG, Yuehan *et al.* Bound phenolic compounds and antioxidant properties of whole grain and bran of white, red and black rice. **Food Chemistry**, v. 240, p. 212–221, 2018.

PREICHARDT, Leidi D. *et al.* The role of xanthan gum in the quality of gluten free cakes: Improved bakery products for coeliac patients. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 12, p. 2591–2597, 2011.

RAI, Sweta; KAUR, Amarjeet; CHOPRA, C. S. **Gluten-Free Products for Celiac Susceptible People**. Frontiers Media S.A., 2018.

RONDA, Felicidad *et al.* Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. **Journal of Food Engineering**, v. 102, n. 3, p. 272–277, 2011.

ROSALES-JUÁREZ, M. *et al.* Changes on dough rheological characteristics and bread quality as a result of the addition of germinated and non-germinated soybean flour. **Food Biop. Technol.**, v. 1, n. 2, p. 2008.

ROSELL, C. M.; SANTOS, E.; COLLAR, C. **Physicochemical properties of commercial fibres from 2 different sources: a comparative approach**, 2009.

ROSTAMI, Kamran *et al.* **Gluten-free diet indications, safety, quality, labels, and challenges**. MDPI AG, 2017.

SAHAGÚN, Marta *et al.* Influence of protein source on the characteristics of gluten-free layer cakes. **LWT**, v. 94, p. 50–56, 2018.

SENAR. **Agroindústria: Panificação Caseira**. Brasília, 1 ed., 2016.

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

SINGH, Prashant *et al.* Global Prevalence of Celiac Disease: Systematic Review and Meta-analysis. **Clinical Gastroenterology and Hepatology**, v. 16, n. 6, p. 823–836.e2, 2018.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, Barking, v. 13, n. 4, p. 215–225, 2002.

TEIXEIRA, E.; MENERT, E. M.; BARBERTA, P. A. **Análise sensorial de alimentos**. Florianópolis: UFSC, 180 p., 1987.

TYE-DIN, Jason A.; GALIPEAU, Heather J.; AGARDH, Daniel. Celiac disease: A review of current concepts in pathogenesis, prevention, and novel therapies. **Frontiers in Pediatrics**, v. 6, 2018.

USDA. **Rice Explorer**. 2022. Disponível em: https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=0422110&sel_year=2022&rankby=Production. Acesso em: 24 jan. 2023.

VALLEJOS, V.B.V.; CRIZEL, T.M.; MELLADO, M.L.M.S. Desenvolvimento de bolos sem glúten com adição de goma xantana e metilcelulose. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 36, n. 3, p. 1317-1328, 2015.

VARELLA, Carlos Alberto Alves. **Análise Multivariada Aplicada as Ciências Agrárias: Análise de Componentes Principais**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em agronomia – CPGA-CS. Seropédica, Rio de Janeiro, 2008.

VIEIRA, Tamires Dos Santos *et al.* Efeito da substituição da farinha de trigo no desenvolvimento de biscoitos sem glúten. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 285–292, 2015.

XU, Jingwen *et al.* **Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review**. Elsevier Ltd, 2020.

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

WILDERJANS, Edith *et al.* Ingredient functionality in batter type cake making. **Trends in Food Science and Technol**, 2013.

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

APÊNDICE A – FICHA DE AVALIAÇÃO UTILIZADA NA ANÁLISE SENSORIAL

Nome: _____

Data: __/__/__

Idade: _____

Você está recebendo uma amostra de bolo de chocolate sem glúten. Avalie as características de aparência, cor, sabor, textura, sabor residual e aceitação global da amostra seguindo a escala abaixo.

- 1- Desgostei muitíssimo
- 2- Desgostei muito
- 3- Desgostei moderadamente
- 4- Desgostei levemente
- 5- Nem gostei/ nem desgostei
- 6- Gostei levemente
- 7- Gostei moderadamente
- 8- Gostei muito
- 9- Gostei muitíssimo

Anote o resultado para cada característica na tabela abaixo:

Aparência	
Cor	
Sabor	
Textura	
Sabor residual	
Aceitação global	

Você compraria este bolo? Sim () Não ()

Comentários: _____

APÊNDICE B – TABELAS DOS COEFICIENTES E ANOVA DE CADA PARÂMETRO AVALIADO PELA ACP

- Poros > 5mm² (%)

Coeffs (recoded comps); Var.:Poros; R-sqr=,9317; Adj:7267 3 Factor mixture design; Mixture total=1, 9 Runs DV: Poros; MS Residual=9,735033						
Factor	Coeff.	Std.Err.	t (2)	p	-95% Cnf.Limt	+95% Cnf.Limt
(A) Var 1	35,7100	3,12010	11,44514	0,007548	22,285	49,1347
(B) Var 2	47,5300	3,12010	15,23348	0,004282	34,105	60,9547
(C) Var 3	57,5500	3,12010	18,44491	0,002926	44,125	70,9747
AB	33,0000	15,28531	2,15894	0,163492	-32,767	98,7674
AC	-7,2800	15,28531	-0,47627	0,680837	-73,047	58,4874
BC	-22,6400	15,28531	-1,48116	0,276737	-88,407	43,1274
ABC	-75,8400	82,66797	-0,91740	0,455777	-431,532	279,8516

Source	Overall Fit of Model; Var.: Poros 3 Factor mixture design; Mixture total=1, 9 Run				
	SS	df	MS	F	p
Model	265,5425	6	44,25709	4,546167	0,191258
Total Error	19,4701	2	9,73503		
Lack of Fit	0,0000	0	0,00000		
Pure Error	19,4701	2	9,73503		
Total Adjusted	285,0126	8	35,62657		

- Porosidade (%)

Coeffs (recoded comps); Var.:Porosidade; R-sqr=,812; Adj:2479 3 Factor mixture design; Mixture total=1, 9 Runs DV: Porosidade; MS Residual=179,1904						
Factor	Coeff.	Std.Err.	t(2)	p	-95,% Cnf.Limt	+95% Cnf.Limt
(A) Var 1	77,400	13,3862	5,78207	0,028633	19,80	134,996
(B) Var 2	42,710	13,3862	3,19060	0,085782	-14,89	100,306
(C) Var 3	30,070	13,3862	2,24634	0,153742	-27,53	87,666
AB	-109,220	65,5787	-1,66548	0,237735	-391,38	172,943
AC	6,500	65,5787	0,09912	0,930085	-275,66	288,663
BC	14,840	65,5787	0,22629	0,841997	-267,32	297,003
AB C	168,510	354,6712	0,47512	0,681534	-1357,52	1694,537

Source	Overall Fit of Model; Var.: Porosidade 3 Factor mixture design; Mixture total=1, 9 Runs				
	SS	df	MS	F	p
Model	1547,617	6	257,9362	1,439453	0,464668
Total Error	358,381	2	179,1904		
Lack of Fit	0,000	0	0,0000		
Pure Error	358,381	2	179,1904		
Total Adjusted	1905,998	8	238,2498		

- Densidade de células (células/cm²)

Factor	Coeffs (recoded comps); Var.:Densidade; R-sqr=.94; Adj:7599 3 Factor mixture design; Mixture total=1,, 9 Runs DV: Densidade; MS Residual=.0017333					
	Coeff.	Std.Err.	t(2)	p	-95% Cnf.Limt	+95% Cnf.Limt
(A) Var 1	0,11000	0,041633	2,64211	0,118353	-0,06913	0,289134
(B) Var 2	0,38000	0,041633	9,12730	0,011792	0,20087	0,559134
(C) Var 3	0,31000	0,041633	7,44596	0,017563	0,13087	0,489134
AB	0,26000	0,203961	1,27475	0,330466	-0,61757	1,137572
AC	0,20000	0,203961	0,98058	0,430197	-0,67757	1,077572
BC	0,10000	0,203961	0,49029	0,672439	-0,77757	0,977572
AB C	-2,49000	1,103087	-2,25730	0,152576	-7,23620	2,256198

Source	Overall Fit of Model; Var.: Densidade 3 Factor mixture design; Mixture total=1,9 Runs				
	SS	df	MS	F	p
Model	0,054289	6	0,009048	5,220085	0,169477
Total Error	0,003467	2	0,001733		
Lack of Fit	0,000000	0	0,000000		
Pure Error	0,003467	2	0,001733		
Total Adjusted	0,057756	8	0,007219		

- Volume específico (cm³/g)

Coeffs (recoded comps); Var.:Vol. espec; R-sqr=,8849; Adj: 3 Factor mixture design; Mixture total=1, 9 Runs DV: Vol. espec; MS Residual=,0037333						
Factor	Coeff.	Std.Err.	t(2)	p	-95% Cnf.Limt	+95% Cnf.Limt
(A) Var 1	2,570000	0,061101	42,06150	0,000565	2,30710	2,832896
(B) Var 2	2,270000	0,061101	37,15160	0,000724	2,00710	2,532896
(C) Var 3	2,350000	0,061101	38,46090	0,000675	2,08710	2,612896
AB	0,120000	0,299333	0,40089	0,727273	-1,16792	1,407924
AC	0,120000	0,299333	0,40089	0,727273	-1,16792	1,407924
BC	0,280000	0,299333	0,93541	0,448323	-1,00792	1,567924
ABC	-0,750000	1,618889	-0,46328	0,688689	-7,71552	6,215515

Source	Overall Fit of Model; Var.: Vol. espec 3 Factor mixture design; Mixture total=1, 9 Runs				
	SS	df	MS	F	p
Model	0,057422	6	0,009570	2,563492	0,307007
Total Error	0,007467	2	0,003733		
Lack of Fit	0,000000	0	0,000000		
Pure Error	0,007467	2	0,003733		
Total Adjusted	0,064889	8	0,008111		

- Dureza (g)

Coeffs (recoded comps); Var.:Dureza; R-sqr=,9557; Adj: 3 Factor mixture design; Mixture total=1, 9 Runs DV: Dureza; MS Residual=74,83						
Factor	Coeff.	Std.Err.	t(2)	p	-95% Cnf.Limt	+95% Cnf.Limt
(A) Var 1	750,20	8,6504	86,72398	0,000133	712,98	787,420
(B) Var 2	743,30	8,6504	85,92633	0,000135	706,08	780,520
(C) Var 3	782,80	8,6504	90,49257	0,000122	745,58	820,020
AB	143,40	42,3783	3,38381	0,077339	-38,94	325,739
AC	75,20	42,3783	1,77449	0,217976	-107,14	257,539
BC	73,40	42,3783	1,73202	0,225409	-108,94	255,739
ABC	-1272,00	229,1957	-5,54984	0,030967	-2258,15	-285,851

Source	Overall Fit of Model; Var.: Dureza 3 Factor mixture design; Mixture total=1, 9 Runs				
	SS	df	MS	F	p
Model	3226,409	6	537,7348	7,186086	0,127181
Total Error	149,660	2	74,8300		
Lack of Fit	0,000	0	0,0000		
Pure Error	149,660	2	74,8300		
Total Adjusted	3376,069	8	422,0086		

- Coesividade

Factor	Coeffs (recoded comps); Var.: Coesividade; R-sqr=,9907; Adj: 3 Factor mixture design; Mixture total=1, 9 Runs DV: Coesividade; MS Residual=,0001					
	Coeff.	Std.Err.	t(2)	p	-95% Cnf.Limt	+95% Cnf.Limt
(A) Var 1	0,680000	0,010000	68,0000	0,000216	0,636973	0,723027
(B) Var 2	0,670000	0,010000	67,0000	0,000223	0,626973	0,713027
(C) Var 3	0,740000	0,010000	74,0000	0,000183	0,696973	0,783027
AB	-0,060000	0,048990	-1,2247	0,345346	-0,270786	0,150786
AC	-0,600000	0,048990	-12,2474	0,006601	-0,810786	-0,389214
BC	-0,100000	0,048990	-2,0412	0,178005	-0,310786	0,110786
ABC	0,210000	0,264953	0,7926	0,511099	-0,930000	1,350000

Source	Overall Fit of Model; Var.: Coesividade 3 Factor mixture design; Mixture total=1,,9 Runs				
	SS	df	MS	F	p
Model	0,021200	6	0,003533	35,33333	0,027776
Total Error	0,000200	2	0,000100		
Lack of Fit	0,000000	0	0,000000		
Pure Error	0,000200	2	0,000100		
Total Adjusted	0,021400	8	0,002675		

- Elasticidade

Coeffs (recoded comps); Var.:Elasticidade; R-sqr=.9949; Adj:9795 3 Factor mixture design; Mixture total=1,9 Runs DV: Elasticidade; MS Residual=1,333333						
Factor	Coeff.	Std.Err.	t(2)	p	-95% Cnf.Limt	+95% Cnf.Limt
(A) Var 1	1043,000	1,15470	903,2645	0,000001	1038,032	1047,968
(B) Var 2	1043,000	1,15470	903,2645	0,000001	1038,032	1047,968
(C) Var 3	1049,000	1,15470	908,4606	0,000001	1044,032	1053,968
AB	68,000	5,65685	12,0208	0,006849	43,661	92,339
AC	76,000	5,65685	13,4350	0,005495	51,661	100,339
BC	20,000	5,65685	3,5355	0,071523	-4,339	44,339
AB C	-105,000	30,59412	-3,4320	0,075419	-236,636	26,636

Source	Overall Fit of Model; Var.: Elasticidade 3 Factor mixture design; Mixture total=1, 9 Runs				
	SS	df	MS	F	p
Model	517,3333	6	86,22222	64,66667	0,015306
Total Error	2,6667	2	1,33333		
Lack of Fit	0,0000	0	0,00000		
Pure Error	2,6667	2	1,33333		
Total Adjusted	520,0000	8	65,00000		

- Mastigabilidade (g)

Coeffs (recoded comps); Var.:Mastigabilidade; R-sqr=.9955; Adj:982 3 Factor mixture design; Mixture total=1,9 Runs DV: Mastigabilidade; MS Residual=33,12333						
Factor	Coeff.	Std.Err.	t(2)	p	-95% Cnf.Limt	+95% Cnf.Limt
(A) Var 1	533,800	5,7553	92,7495	0,000116	509,04	558,563
(B) Var 2	523,400	5,7553	90,9425	0,000121	498,64	548,163
(C) Var 3	604,800	5,7553	105,0860	0,000091	580,04	629,563
AB	63,600	28,1950	2,2557	0,152744	-57,71	184,913
AC	-389,600	28,1950	-13,8180	0,005197	-510,91	-268,287
BC	-14,800	28,1950	-0,5249	0,652026	-136,11	106,513
AB C	-717,300	152,4880	-4,7040	0,042343	-1373,40	-61,197

Source	Overall Fit of Model; Var.: Mastigabilidade 3 Factor mixture design; Mixture total=1,9 Runs				
	SS	df	MS	F	p
Model	14633,60	6	2438,933	73,63186	0,013459
Total Error	66,25	2	33,123		
Lack of Fit	0,00	0	0,000		
Pure Error	66,25	2	33,123		
Total Adjusted	14699,84	8	1837,480		

- L*

Factor	Coeffs (recoded comps); Var.L*; R-sqr=,9939; Adj:9755 3 Factor mixture design; Mixture total=1, 9 Runs DV: L*; MS Residual=,2309333					
	Coeff.	Std.Err.	t(2)	p	-95% Cnf.Limt	+95% Cnf.Limt
(A) Var 1	36,4000	0,48056	75,74572	0,000174	34,3323	38,4677
(B) Var 2	34,6900	0,48056	72,18733	0,000192	32,6223	36,7577
(C) Var 3	28,2100	0,48056	58,70293	0,000290	26,1423	30,2777
AB	-22,5000	2,35423	-9,55726	0,010771	-32,6294	-12,3706
AC	-17,0600	2,35423	-7,24653	0,018516	-27,1894	-6,9306
BC	-8,7200	2,35423	-3,70397	0,065779	-18,8494	1,4094
ABC	25,9500	12,73245	2,03810	0,178416	-28,8333	80,7333

Source	Overall Fit of Model; Var.: L* 3 Factor mixture design; Mixture total=1, 9 Runs				
	SS	df	MS	F	p
Model	74,87442	6	12,47907	54,03754	0,018280
Total Error	0,46187	2	0,23093		
Lack of Fit	0,00000	0	0,00000		
Pure Error	0,46187	2	0,23093		
Total Adjusted	75,33629	8	9,41704		

- a*

Factor	Coeffs (recoded comps); Var.:a*; R-sqr=,9974; Adj:9896 3 Factor mixture design; Mixture total=1,, 9 Runs DV: a*; MS Residual=,0156333					
	Coeff.	Std.Err.	t(2)	p	-95% Cnf.Limt	+95% Cnf.Limt
(A) Var 1	9,0700	0,125033	72,5407	0,000190	8,5320	9,60797
(B) Var 2	9,5100	0,125033	76,0597	0,000173	8,9720	10,04797
(C) Var 3	6,4800	0,125033	51,8262	0,000372	5,9420	7,01797
AB	-10,5200	0,612536	-17,1745	0,003373	-13,1555	-7,88447
AC	-5,3000	0,612536	-8,6526	0,013095	-7,9355	-2,66447
BC	-5,1800	0,612536	-8,4566	0,013696	-7,8155	-2,54447
ABC	12,0600	3,312793	3,6404	0,067865	-2,1938	26,31380

Source	Overall Fit of Model; Var.: a* 3 Factor mixture design; Mixture total=1, 9 Runs				
	SS	df	MS	F	p
Model	12,03762	6	2,006270	128,3329	0,007752
Total Error	0,03127	2	0,015633		
Lack of Fit	0,00000	0	0,000000		
Pure Error	0,03127	2	0,015633		
Total Adjusted	12,06889	8	1,508611		

- b*

Factor	Coeffs (recoded comps); Var.b*; R-sqr=.9999; Adj: 3 Factor mixture design; Mixture total=1, 9 Runs DV: b*; MS Residual=.0031					
	Coeff.	Std.Err.	t(2)	p	-95% Cnf.Limt	+95% Cnf.Limt
(A) Var 1	18,7100	0,055678	336,042	0,000009	18,4704	18,9496
(B) Var 2	18,3700	0,055678	329,935	0,000009	18,1304	18,6096
(C) Var 3	9,5100	0,055678	170,805	0,000034	9,2704	9,7496
AB	-32,3600	0,272764	-118,638	0,000071	-33,5336	-31,1864
AC	-17,8000	0,272764	-65,258	0,000235	-18,9736	-16,6264
BC	-14,1600	0,272764	-51,913	0,000371	-15,3336	-12,9864
ABC	44,1900	1,475195	29,955	0,001113	37,8427	50,5373

Source	Overall Fit of Model; Var.: b* 3 Factor mixture design; Mixture total=1, 9 Runs				
	SS	df	MS	F	p
Model	113,9220	6	18,98700	6124,839	0,000163
Total Error	0,0062	2	0,00310		
Lack of Fit	0,0000	0	0,00000		
Pure Error	0,0062	2	0,00310		
Total Adjusted	113,9282	8	14,24103		

- ΔE^*

Coeffs (recoded comps); Var.:Delta E; R-sqr=,993; Adj:9721 3 Factor mixture design; Mixture total=1, 9 Runs DV: Delta E; MS Residual=,1124333						
Factor	Coeff.	Std.Err.	t(2)	p	-95% Cnf.Limt	+95% Cnf.Limt
(A) Var 1	4,15000	0,335311	12,37658	0,006465	2,7073	5,59273
(B) Var 2	3,11000	0,335311	9,27498	0,011426	1,6673	4,55273
(C) Var 3	8,66000	0,335311	25,82679	0,001496	7,2173	10,10273
AB	13,08000	1,642681	7,96259	0,015409	6,0121	20,14788
AC	9,02000	1,642681	5,49102	0,031602	1,9521	16,08788
BC	5,62000	1,642681	3,42124	0,075843	-1,4479	12,68788
ABC	-9,72000	8,884154	-1,09408	0,388104	-47,9454	28,50543

Source	Overall Fit of Model; Var.: Delta E 3 Factor mixture design; Mixture total=1,9 Runs				
	SS	df	MS	F	p
Model	32,01953	6	5,336589	47,46447	0,020776
Total Error	0,22487	2	0,112433		
Lack of Fit	0,00000	0	0,000000		
Pure Error	0,22487	2	0,112433		
Total Adjusted	32,24440	8	4,030550		