



UNIVERSIDADE ESTADUAL
JULIO DE MESQUITA FILHO

Ana Rita Melo Oliveira Nobre

**Utilização de farinha de quinoa no desenvolvimento de pães sem
glúten**

São José do Rio Preto
2015

Ana Rita Melo Oliveira Nobre

**Utilização de farinha de quinoa no desenvolvimento de pães sem
glúten**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Orientador: Prof^o. Dr^o. José Francisco
Lopes Filho

São José do Rio Preto
2015

Nobre, Ana Rita Melo Oliveira.

Utilização de farinha de quinoa no desenvolvimento de pães sem glúten / Ana Rita Melo Oliveira Nobre. -- São José do Rio Preto, 2015

82 f. : il., gráfs., tabs.

Orientador: José Francisco Lopes Filho

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Tecnologia de alimentos. 2. Farinha como alimento. 3. Quinoa. 4. Pão – Inovações tecnológicas. 5. Doença celíaca – Dieta. 6. Glúten.
I. Lopes Filho, José Francisco. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas.
III. Título.

CDU – 664.641

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do IBILCE
UNESP - Câmpus de São José do Rio Preto

Ana Rita Melo Oliveira Nobre

Utilização de farinha de quinoa no desenvolvimento de pães sem glúten

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. José Francisco Lopes Filho
UNESP – São José do Rio Preto
Orientador

Prof.ª Dr.ª Ana Carolina Conti e Silva
UNESP – São José do Rio Preto

Prof. Dr. João Tomaz da Silva Borges
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

São José do Rio Preto
31 de março de 2015

*A minha querida mãe,
com imensas saudades,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora por toda luz com que iluminam meu caminho a cada dia.

Ao meu orientador, Prof^o. Dr^o. José Francisco Lopes Filho, pela oportunidade e confiança.

A minha saudosa mãe, meu grande exemplo de vida, por todo amor e incentivo.

Ao meu pai Jair, meus irmãos Ana e Vinícius, minhas sobrinhas Maria e Valentina e ao meu querido marido Túlio, pelo amor, carinho e companheirismo.

As amigas Sabrina e Tatiane pelo apoio incondicional, generosidade e amizade na troca de experiências.

A Alana pelo apoio fundamental nas análises laboratoriais.

A Prof^a. Dr^a. Ana Carolina Conti e Silva pelo auxílio certo em momentos de tantas dúvidas.

A Luciane Passoni pelo apoio na correção e formatação de normas textuais.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A doença celíaca é caracterizada pela intolerância permanente ao glúten e seu único tratamento consiste na exclusão definitiva deste complexo protéico da dieta. Entretanto, a adesão a este tipo de alimentação causa grande impacto na vida dos celíacos, uma vez que a oferta de produtos isentos de glúten é restrita e sensorialmente limitada. A elaboração de produtos sem glúten, em especial pães, é um grande desafio tecnológico, dado o importante papel desta proteína na estrutura física dos produtos de panificação. A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) é um pseudocereal isento de glúten com destacado valor nutricional. Assim, o presente estudo objetivou desenvolver pães sem glúten com diferentes teores de farinha de quinoa, avaliar suas características físico-químicas e sensoriais e determinar as possibilidades de uso deste pseudocereal na elaboração de pães sem glúten. Os produtos foram formulados a partir de misturas de farinha de arroz, fécula de batata e farinha de quinoa, modeladas através de um delineamento centróide-simplex. Análises de volume, firmeza do miolo e coloração permitiram selecionar formulações com teores de quinoa de 17% e 33% que apresentaram características físicas adequadas. Tais formulações foram analisadas sensorialmente, assim como um pão sem glúten padrão (isento de pseudocereal) e um pão sem glúten comercial, a fim de comparar a aceitabilidade dos diferentes produtos. A incorporação de quinoa em teor de 33 % da mistura prejudicou o sabor e a aceitação global dos pães em relação à formulação padrão. Já os produtos contendo 17% de farinha de quinoa, 66% de fécula de batata e 17% de farinha de arroz se mostraram similares ao produto padrão e foram, de forma global, preferidos pelos provadores. A análise da composição centesimal desta formulação revelou incremento de 44% no teor de fibra alimentar total em comparação ao produto padrão. Um aumento significativo do teor de minerais também foi observado. Constatou-se, portanto, a viabilidade de utilização da quinoa para obtenção de produtos para celíacos com melhores propriedades nutricionais.

Palavras-chave: *Chenopodium quinoa* Willd. Pães sem glúten. Doença celíaca.

ABSTRACT

Celiac disease is characterized by permanent intolerance to gluten and its only definitive treatment is the exclusion of this protein complex of the diet. However, adherence to this type of diet has a great impact on celiac's lives, since the availability of gluten-free products is restricted and limited sensory. The formulation of gluten-free products, especially bread, is a technological challenge, due to the important role of this protein in the physical structure of the baked goods. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) is a pseudo-cereal with outstanding nutritional value. Thus, this study aimed to develop gluten-free breads with different levels of quinoa flour, to evaluate physical-chemical and sensory characteristics and to determine the possible uses of this pseudo-cereal in preparing gluten-free breads. The breads were formulated from mixtures of rice flour, potato starch and quinoa flour, modeled through a simplex-centroid design. Analysis of volume, crumb firmness and color were performed and allowed the selection of formulations with quinoa flour content between 17% and 33% that showed suitable physical characteristics. Sensory analyzes of these formulations, of the standard formulation of gluten-free bread made without the addition of pseudo-cereal and of a commercial gluten-free bread were conducted in order to compare the acceptability of these different products. The inclusion of 33% of quinoa in the mixture decreased bread's flavour and overall acceptability in comparison to the standard bread. The bread containing 17% of quinoa flour was similar to the standard product and it was preferred by tasters. Analysis of the chemical composition of this formulation has shown a 44% increase in total dietary fiber content compared to the conventional product. Significant increase in the mineral content was also observed. It can be seen, therefore, the viability of production of gluten-free breads with high nutritional value by using this pseudo-cereal.

Key-words: *Chenopodium quinoa* Willd. Gluten-free bread. Celiac disease.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Pão ciabatta e pão de forma: diferentes estruturas do miolo	20
Figura 2 - Gliadina e glutenina	21
Figura 3 - Desenvolvimento da rede de glúten: (A) estágio inicial, (B) ação mecânica e orientação dos fios, (C) interação bidimensional	22
Figura 4 - Plantação de quinoa	27
Figura 5 - Microfotografias de um grão de quinoa: (A) grão inteiro, (B) corte longitudinal	27
Figura 6 - Ficha de aceitabilidade de pães sem glúten	37
Figura 7 - Crosta dos pães sem glúten	41
Figura 8 – Miolo dos pães sem glúten	42
Figura 9 - Volume dos ensaios 3 (100% farinha de quinoa) e 2 (100% fécula de batata)	45
Gráfico 1 - Gráfico de contornos para o volume específico (g/cm^3) dos pães sem glúten	45
Gráfico 2 - Gráfico de contornos para a firmeza (N) dos pães sem glúten	48
Gráfico 3 - Gráfico de contornos para a luminosidade do miolo dos pães sem glúten	53
Gráfico 4 - Gráfico de contornos para o parâmetro b^* do miolo dos pães sem glúten	53
Gráfico 5 - Gráfico de contornos para o croma do miolo dos pães sem glúten	54
Gráfico 6 - Gráfico de contornos para o tom do miolo dos pães sem glúten	54
Gráfico 7 - Gráfico de contornos para a luminosidade da crosta dos pães sem glúten	55
Gráfico 8 - Gráfico de contornos para o parâmetro a^* da crosta dos pães sem glúten	55
Gráfico 9 – Distribuição de frequências de notas de 6 a 9 da aceitação sensorial	59
Gráfico 10 – Dendograma (A) e mapa de preferência interno (B) do atributo aparência	60
Gráfico 11 – Dendograma (A) e mapa de preferência interno (B) do atributo cor	60
Gráfico 12 – Dendograma (A) e mapa de preferência interno (B) do atributo aroma	61
Gráfico 13 – Dendograma (A) e mapa de preferência interno (B) do atributo textura	61
Gráfico 14 – Dendograma (A) e mapa de preferência interno (B) do atributo sabor	62
Gráfico 15 – Dendograma (A) e mapa de preferência interno (B) da aceitação global	62
Gráfico 16 – Intenção de compra de pães sem glúten	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição de aminoácidos essenciais da proteína de quinoa e comparativo com recomendações para adultos segundo DRIs 2005	29
Tabela 2 - Composição mineral de farinha de quinoa (mg/100g) e comparativo com recomendações para crianças de 1 a 3 anos, conforme DRIs 1997 e 2001.	30
Tabela 3 - Composição centesimal das farinhas e fécula utilizadas	32
Tabela 4 - Formulação dos pães sem glúten (base farinha/fécula)	33
Tabela 5 - Composição das misturas utilizadas na elaboração dos pães sem glúten	34
Tabela 6 - Peso de massas, pães e perda após forneamento	40
Tabela 7 - Propriedades físicas dos pães conforme níveis de farinha de arroz, fécula de batata e farinha de quinoa	43
Tabela 8 - Modelo linear ajustado ao volume específico dos pães sem glúten	44
Tabela 9 - Modelo linear ajustado à firmeza dos pães sem glúten	47
Tabela 10 - Coloração das farinhas e fécula utilizadas	49
Tabela 11 - Cor da crosta dos pães sem glúten	50
Tabela 12 - Cor do miolo dos pães sem glúten	51
Tabela 13 - Modelos quadráticos ajustados à coloração da crosta e miolo dos pães	52
Tabela 14 - Médias de aceitação por atributos de pão comercial, pão convencional, pão contendo 33 % de farinha de quinoa e pão contendo 17% de farinha de quinoa	57
Tabela 15 – Composição centesimal dos pães sem glúten convencional e contendo 17% de farinha de quinoa	64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3 REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1 Doença celíaca	15
3.2 Pães	18
3.2.1 Processo de fabricação	18
3.2.2 Características estruturais	19
3.2.3 O papel do glúten	20
3.2.4 Pães sem glúten	22
3.3 Quinoa	25
3.3.1 Distribuição e aspectos botânicos	26
3.3.2 Aspectos nutricionais e formas de consumo	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1 Materiais	32
4.2 Formulação e processamento de pães sem glúten	32
4.3 Propriedades físicas	35
4.4 Análise sensorial	36
4.5 Composição físico-química	37
4.6 Análise de dados	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1 Propriedades físicas	43
5.1.1 Volume específico	44
5.1.2 Firmeza	47
5.1.3 Coloração dos pães	48
5.2 Seleção de formulações	56
5.3 Análise sensorial	57
5.4 Composição físico-química	63

6. CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS	67
APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	82

1 INTRODUÇÃO

“*Que o teu alimento seja o teu remédio e que o teu remédio seja o teu alimento*”, já afirmava Hipócrates no século V a.C., demonstrando a importância da adequada alimentação tanto para a promoção de saúde quanto para o tratamento de doenças. Um padrão alimentar inadequado pode contribuir para o desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis, como câncer, *diabetes mellitus*, hipertensão arterial sistêmica e doenças cardiovasculares. Por outro lado, a alimentação saudável garante a integridade, o restabelecimento e o pleno funcionamento do organismo (FRANGELLA, TCHAKMAKIAN, PEREIRA, 2007).

A dietoterapia consiste no uso da dieta como recurso terapêutico e se destina a atender por meio da alimentação os indivíduos com problemas específicos de saúde. Por meio de dietas especiais, o paciente pode ter mais rapidamente restabelecida sua saúde, ou conforme o caso, ter seu estado nutricional melhorado ou preservado (VILLAR, 2007). Diversas são as enfermidades tratadas ou controladas através da modulação da dieta e acompanhamento nutricional rigoroso, tais como fenilcetonúria, intolerância hereditária à frutose, alergias alimentares, doença de Crohn, doença celíaca, entre outras (FRANGIPANI, OLIVEIRA, 2007; JACOB et al., 2007; REIS, PEDRUZZI, 2007).

O desenvolvimento de produtos especiais que atendam às necessidades dos portadores destas enfermidades é, portanto, um grande nicho de mercado para a indústria alimentícia. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Alimentos Dietéticos e para Fins Especiais (ABIAD), o crescimento deste mercado chega a taxas entre 10% e 11% ao ano, bem superiores às das indústrias de alimentos tradicionais, entre 3,5% e 4% ao ano.

Os alimentos para fins especiais são definidos como aqueles especialmente formulados ou processados, nos quais se introduzem modificações no conteúdo de nutrientes, adequados à utilização em dietas diferenciadas e ou opcionais, atendendo às necessidades de pessoas em condições metabólicas e fisiológicas específicas (BRASIL, 1998). Inseridos nesta categoria, estão os alimentos isentos de glúten, destinados aos celíacos, portadores de hipersensibilidade e alérgicos ao trigo.

É tecnologicamente difícil o desenvolvimento de produtos sem glúten, especialmente os pães, uma vez que este constituinte é responsável pelas propriedades estruturais das massas, tais como extensibilidade, elasticidade, viscosidade e capacidade de retenção de gás (MOORE et al., 2004). Além das limitações estruturais, pães sem glúten geralmente apresentam baixos valores nutricionais, uma vez que são comumente produzidos com farinhas

e amidos refinados (KUPPER, 2005). O incremento nutricional destes produtos pode ser obtido pela utilização de ingredientes com maior valor nutritivo agregado, como as farinhas dos pseudocereais trigo sarraceno, amaranto, quinoa (ALVAREZ-JUBETE et al., 2010).

A presença de aminoácidos essenciais, elevado teor de fibras e propriedades de solubilização, gelatinização e emulsificação, têm despertado o interesse pela utilização da quinoa como matéria-prima para a produção de diversos produtos sem glúten (STIKIC et al., 2012). Dentro deste contexto, o estudo de formulações com diferentes teores de quinoa bem como a análise da qualidade dos pães obtidos permite otimizar o desenvolvimento destes produtos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Investigar o potencial de utilização de farinha de quinoa na elaboração de pão isento de glúten.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar a qualidade física de pães isentos de glúten contendo farinha de arroz, fécula de batata e farinha de quinoa, considerando o volume, a textura e a coloração da crosta e do miolo.

Determinar a aceitação sensorial e a intenção de compra dos pães isentos de glúten com maiores teores de quinoa e características físicas adequadas, comparando-os ao pão padrão e a um pão comercial.

Determinar a composição físico-química do pão com quinoa mais bem aceito, identificando os teores de umidade, cinzas, proteínas, lipídeos, fibra alimentar e carboidratos disponíveis.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Doença celíaca

A doença celíaca (DC) é uma desordem autoimune sistêmica desencadeada pela ingestão de glúten por indivíduos geneticamente susceptíveis. O glúten é uma mistura complexa de proteínas de estocagem contida em vários cereais, como trigo, centeio, cevada e em seus derivados (CATASSI, FASANO, 2008).

Fatores ambientais, genéticos e imunológicos estão envolvidos na patogênese da doença celíaca, caracterizada principalmente por dano à mucosa intestinal, levando à má absorção e desnutrição. A forma clássica de apresentação da doença caracteriza-se por quadros de diarreia crônica, vômitos, distensão abdominal e déficit de crescimento, manifestando-se geralmente na infância. Há também casos em que não ocorrem sintomas digestivos, como nas formas atípica, latente e silenciosa que se apresentam mais tardiamente e são caracterizadas por manifestações isoladas como baixa estatura, anemia ferropriva, osteoporose e esterilidade (SDEPANIAN, MORAIS, FAGUNDES-NETO, 1999).

O procedimento padrão para o diagnóstico da doença celíaca envolve exame clínico, anamnese detalhada, realização de testes sorológicos que identificam anticorpos produzidos em resposta ao glúten, além de biopsia jejunal, que visa avaliar a aparência característica de enterócitos, vilosidades e criptas intestinais (MENDOZA, 2005).

Desde a década de 50 estudos epidemiológicos começaram a ser realizados na Europa, a fim de determinar a incidência da doença celíaca em países como Inglaterra e Escócia (DAVIDSON, FOUNTAIN, 1950). O diagnóstico naquela época, entretanto, era baseado somente nos casos de sintomatologia típica e por meio de testes pouco sensíveis e inespecíficos, gerando dados subestimados (CURETON, FASANO, 2009).

É amplamente conhecido o conceito “*iceberg celíaco*”, no qual, os casos simbolizados pela parte visível do iceberg abrangem aqueles evidenciados pela forma clássica, enquanto que aqueles de apresentação assintomática, maior proporção, correspondem à porção submersa (GREEN, 2005).

Recentemente, após o desenvolvimento de testes sorológicos, foi possível avaliar a prevalência da DC de forma mais eficaz e constatar que se trata de uma afecção mais comum do que previamente se supunha (CURETON, FASANO, 2009).

A doença celíaca afeta aproximadamente 1% da população ocidental (REWERS, 2005). Fasano et al. (2003), em estudo que buscou determinar a prevalência da DC em americanos obteve resultados de 1:133 casos na população geral e 1:56 casos em pacientes sintomáticos. No Brasil, estudos sorológicos realizados com doadores de sangue, evidenciaram número de casos 1:681 (GANDOLFI et al., 2000) e 1:214 (OLIVEIRA et al., 2007).

O tratamento da doença celíaca é basicamente dietético e consiste na exclusão de produtos que contenham glúten da dieta. Trigo, centeio, cevada e seus derivados são alimentos não permitidos. Estes cereais são comumente substituídos por arroz, batata, milho, soja e mandioca. Além destes, o uso de pseudocereais como amaranto, trigo sarraceno e quinoa tem se mostrado alternativa promissora pelos benefícios nutricionais. O consumo de aveia por celíacos ainda é controverso, dado o risco de contaminação a níveis inaceitáveis pelo contato com cereais ricos em glúten (KUPPER, 2005).

Por todo o mundo, há intenso debate sobre a definição do que se constitui um alimento isento de glúten devido às dificuldades encontradas na determinação de um nível máximo aceitável bem como seu método de detecção. O *Codex Alimentarius* estabelece que alimentos livres de glúten não devem apresentar teores de glúten superiores a 20 ppm (CODEX STANDARD FOR FOODS FOR SPECIAL DIETARY USE FOR PERSONS INTOLERANT TO GLUTEN – CODEX STAN 118 – 1979, revisto em 2008).

No Brasil, a Lei nº 10.674 (BRASIL, 2003), obriga as indústrias alimentícias a declararem em seus rótulos a presença ou ausência de glúten em seus produtos, através das inscrições “CONTÉM GLÚTEN” e “NÃO CONTÉM GLÚTEN”, conforme o caso. Tal medida é fundamental à orientação dos celíacos, uma vez que é comum a adição de trigo a produtos inicialmente isentos de glúten, como cafés instantâneos, sopas, achocolatados, alimentos infantis dentre outros, por suas propriedades sensoriais, de hidratação e estruturais (ARAÚJO et al., 2010).

O diagnóstico tardio da doença celíaca ou a não adesão à dieta isenta de glúten podem culminar em graves complicações, como déficit de crescimento, osteoporose, infertilidade e câncer. Entretanto, a exclusão do glúten da dieta requer conhecimento e autodeterminação uma vez que alimentos como pães e massas fazem parte da alimentação básica de várias populações. Além disso, a oferta de produtos adequados aos celíacos é restrita, sensorialmente limitada e de alto custo (ARAÚJO et al., 2010).

Uma pesquisa realizada em 2010, por Vera Paim e Cynthia Schuck, publicada na Revista "Vida sem glúten" sob o título "O custo da alimentação sem glúten no Brasil", revelou que os substitutos sem glúten de pães, massas, biscoitos e cereais matinais chegam a ser até 138% mais caros que os produtos convencionais.

Em estudo realizado por Lee e Newman (2003) com 253 celíacos, a maioria dos portadores desta enfermidade relatou sentir impacto negativo da adesão à dieta em sua qualidade de vida, pelas dificuldades encontradas no convívio familiar, na alimentação fora do lar e em viagens.

Sdepanian, Morais e Fagundes-Neto (2001), ao avaliarem o nível de obediência à dieta de pacientes cadastrados na Associação de Celíacos do Brasil (ACELBRA), obtiveram 69,4% de respostas positivas quanto a não ingestão de glúten. Puderam ainda constatar que o maior grau de informação sobre a doença relacionou-se positivamente à maior adesão à dieta sem glúten.

Elevado índice de obediência à dieta, 96%, foi descrito em estudo de Black e Orfila (2011). Tal valor foi sustentado por um questionário de frequência alimentar, no qual era assinalado o consumo ou a exclusão de diversos alimentos.

Segundo a ACELBRA (Associação dos Celíacos do Brasil), os pacientes transgridem a dieta por vários motivos, tais como a falta de orientação relativa à doença, descrença na quantidade de produtos proibidos, dificuldades financeiras, hábito alimentar e falta de habilidade culinária para o preparo de alimentos sem glúten.

Estudos apontam que parte dos pacientes celíacos apresenta deficiências nutricionais principalmente relacionadas ao consumo de fibras, minerais e vitaminas. A intensidade de tais deficiências pode relacionar-se a diferentes fatores: o tempo em que o portador possuiu a doença de forma ativa, porém, sub-diagnosticada, a extensão do dano à mucosa intestinal e o grau de desnutrição (SATURNI, FERRETTI, BACCHETTI, 2010).

As dificuldades encontradas na adesão a dieta sem glúten faz grande parte dos celíacos obterem maior aporte calórico pela ingestão de gorduras em detrimento ao consumo de carboidratos, intensificando seus problemas nutricionais (KUPPER, 2005).

Alimentos sem glúten são geralmente elaborados com amidos e farinhas refinados, além de apresentarem elevados teores de lipídeos, açúcares e sódio. O desenvolvimento de produtos sem glúten enriquecidos, bem como o uso de pseudocereais em substituição ao trigo tem sido alternativas para o incremento dos teores de proteínas, fibras, ferro e cálcio (LEE et al., 2009).

3.2 Pães

Pães são os produtos obtidos da farinha de trigo ou outras farinhas, adicionados de líquido, resultantes de processo de fermentação ou não e cocção, podendo conter outros ingredientes, desde que não descaracterizem o produto. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos (BRASIL, 2000).

Além das farinhas, fermento biológico, sal, açúcares, óleos, gorduras, emulsificantes e enzimas são comumente utilizados no fabrico de pães (ESTELLER, 2004).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Panificação e Confeitaria (ABIP), o consumo per capita de pães ao ano no Brasil equivale a aproximadamente 34 kg por habitante, conforme dados de pesquisa realizada em 2009.

3.2.1 Processo de fabricação

O preparo de pães é um processo dinâmico, no qual ocorrem contínuas modificações físico-químicas, microbiológicas e bioquímicas, provocadas por ações mecânica, térmica e pela atividade de microorganismos e enzimas (ROSELL, ROJAS, BENEDITO DE BARBER, 2001).

As principais etapas de processamento envolvem a mistura dos ingredientes, seguida de amassamento, fermentação e cocção (SLUIMER, 2005).

O amassamento ou batimento promove a incorporação de ar na mistura, a hidratação e a formação da rede de glúten. Importantes características de qualidade dos pães são determinadas neste estágio, uma vez que a eficiência do amassamento influencia diretamente a viscoelasticidade das massas (CANELLA-RAWLS, 2003).

A fermentação é a etapa onde os microorganismos do fermento consomem os açúcares livres provenientes do amido, produzindo etanol e dióxido de carbono, que será retido pela rede de glúten, ocasionando o aumento do volume da massa (CANELLA-RAWLS, 2003).

Durante o forneamento, ocorre a gelatinização do amido e a coagulação das proteínas, fixando a estrutura do miolo (HELER, 2009).

3.2.2 Características estruturais

Pães de diferentes tipos e formas foram desenvolvidos ao longo da história da panificação, frutos das complexas interações entre materiais e processos. Desta forma, as características estruturais dos pães variam consideravelmente de tipo para tipo (CAUVAIN, 2004).

Volume

O volume dos pães é influenciado por diversos fatores como a viscosidade das massas, a relação amilose/amilopectina, a presença de componentes de superfície e a ocorrência de agregados protéicos (SCHOBER, 2009). É um importante parâmetro de qualidade de pães. Mostra claramente a razão entre o teor de sólidos e a fração de ar existente na massa assada. Elevados valores de volume específico indicam pães leves, com adequada expansão, enquanto que baixos valores relacionam-se a pouca qualidade e sabor desagradável (ESTELLER, 2007).

Textura

O pão é o resultado do forneamento de uma massa viscoelástica, constituída basicamente por farinha, água, fermento e sal. Estruturalmente, esta massa é um sistema composto por polímeros hidratados (amido e glúten) que formam uma fase contínua e uma fase dispersa, constituída de CO_2 . É clássica a comparação desta estrutura a uma esponja (VACLAVICK, CHRISTIAN, 2008).

É possível diferenciar a estrutura dos pães em uma zona externa – a crosta ou casca, e uma zona interna – o miolo (CAUVAIN, 2004).

A textura dos produtos de panificação é determinada pela capacidade de retenção de CO_2 na massa, pela densidade das bolhas de CO_2 e pela distribuição dessas bolhas na estrutura (alvéolos) (VACLAVICK, CHRISTIAN, 2008).

A estrutura celular aerada do miolo, conforme o tipo de pão, pode ser uniforme e constituída de pequenos alvéolos ou disforme, com grande alvéolos distribuídos de forma aleatória (CAUVAIN, 2004). A Figura 1 mostra diferentes estruturas alveolares encontradas de acordo com o tipo de pão. A forma desta microestrutura é um importante atributo de pães, pois afeta tanto as propriedades físicas quanto as sensoriais dos produtos (ESTELLER, 2007).

Figura 1 - Pão ciabatta e pão de forma: diferentes estruturas do miolo



Fontes: www.dishmaps.com/ciabatta/7800 e en.wikipedia.org/wiki/Toaster.

Outro fator de grande influência na textura de pães é a umidade. O teor de umidade é também característico de cada tipo de pão, podendo variar entre 25% em pães com casca mais crocante (francês, italiano, baguette, ciabatta) ou massas sovadas (pão sovado e bisnaguinha) e 35% em pães com bastante miolo (forma, hamburger ou hot dog) (ESTELLER, LANNES, 2005).

A perda de umidade do miolo bem como o processo de retrogradação do amido ocasionam a perda de maciez dos pães. Tais alterações, aliadas a deterioração microbiológica, oxidativa e sensorial, tornam o produto inaceitável aos consumidores e determinam sua vida de prateleira (CAUVAIN, 2004).

Cor

Ao longo da história, por muitos anos a cor dos pães se relacionou com a posição social ocupada pelas pessoas que o consumiam. Em decorrência dos elevados custos relativos ao refino do trigo, pães brancos eram somente consumidos pelos indivíduos mais abastados. Atualmente, porém, observa-se crescente valorização dos produtos mais escuros, associados aos seus valores nutricionais mais elevados (ESTELLER, 2007).

A cor extremamente escura da crosta pode relacionar-se a temperatura do forno muito alta ou cocção excessiva. Ao contrário, cores muito claras revelam massas muito fermentadas, forno frio ou tempo de forneamento insuficiente (ESTELER, LIMA, LANNES, 2006).

3.2.3 O papel do glúten

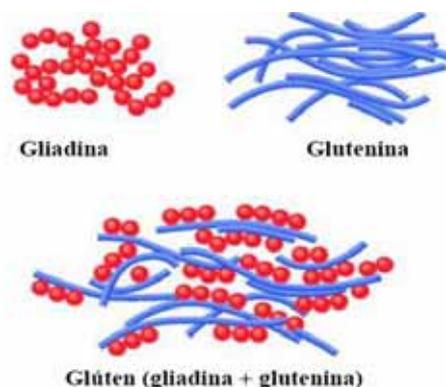
O glúten é o componente fundamental para a qualidade e estrutura dos produtos de panificação (ARENDR, RENZETTI, DAL BELLO, 2009).

A farinha de trigo contém adequadas quantidades e proporções das proteínas que formam o glúten, sendo, portanto, a matéria prima mais efetiva na produção de pães (HELLER, 2009).

As frações protéicas que constituem o glúten, gliadina e glutenina, ligam-se entre si e a outros componentes por meio de ligações químicas. Quando presentes em outros cereais, tais como cevada e centeio, encontram-se em menores quantidades e são chamadas respectivamente hordeína e secalina (ARAÚJO et al., 2010).

As gliadinas apresentam estrutura de cadeia simples, massa molecular entre 30.000 e 70.000 e contribuem para a viscosidade das massas enquanto que as gluteninas são formadas por agregados de proteínas com alta massa molecular, variando de 100.000 a vários milhões, e conferem elasticidade às massas (SLUIMER, 2005). Na massa de pão, após a mistura e completa hidratação, gliadinas e gluteninas se interagem, formando uma rede protéica coesa, elástica e viscosa (ARENDDT, RENZETTI, DAL BELLO, 2009). A Figura 2 mostra a representação esquemática destes componentes.

Figura 2 – Gliadina e glutenina

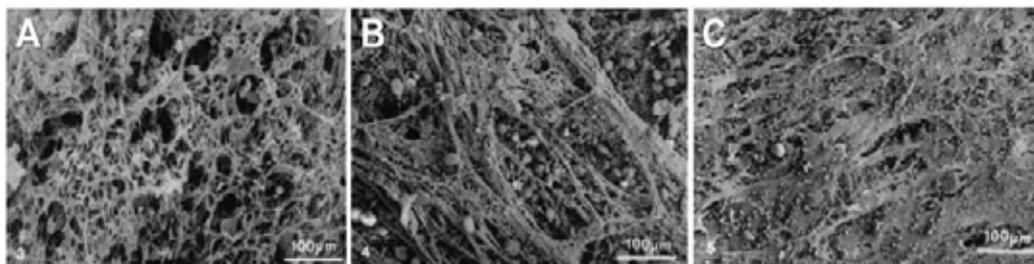


Fonte: www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Gliadina&lang=2

A formação da rede de glúten ocorre em diferentes estágios: inicialmente as moléculas de proteína são hidratadas e suas fibrilas se aderem umas às outras, formando uma rede desorganizada de fios espessos (Figura 3 A). A ação mecânica gerada no batimento da massa torna os fios mais finos e os orienta na direção em que foram submetidos à força, permitindo a interação entre eles (Figura 3 B). Finalmente, no pico da consistência da massa, as fibrilas de proteína têm seu diâmetro reduzido e interagem mais bidimensionalmente do que em um único eixo (Figura 3 C). Neste estágio, a massa apresenta a capacidade de se estender com um

filme contínuo (STAUFFER, 2007). O complexo glúten formado confere às massas importantes propriedades reológicas. (ARENDRT, RENZETTI, DAL BELLO, 2009).

Figura 3 – Desenvolvimento da rede de glúten: (A) estágio inicial, (B) ação mecânica e orientação dos fios, (C) interação bidimensional



Fonte: STAUFFER, 2007, p. 327.

3.2.4 Pães sem glúten

Nos últimos anos, o mercado de produtos sem glúten apresentou acelerado crescimento. Nos Estados Unidos, a venda no varejo de alimentos e bebidas sem glúten chegou à cerca de US\$ 2,6 bilhões em 2010, com uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 30% (período 2006-2010). Estima-se que este crescimento se manterá ao longo dos próximos anos, chegando a US\$ 6 bilhões em 2015 (“Gluten-Free Foods and Beverages in the U.S”, Packaged Facts 3rd edition, Market Research.com, 2011).

Esta crescente demanda por produtos isentos de glúten é justificada pelo progresso no diagnóstico da doença celíaca e demais morbidades associadas ao glúten. Além disso, vários indivíduos sem condições clínicas específicas têm também aderido à dieta sem glúten, em busca de saúde, benefícios estéticos e mudanças dos hábitos alimentares (PAIM, SCHUCK, 2010).

Alimentos sem glúten estão disponíveis em lojas de produtos naturais, grandes redes de supermercados e pela Internet. Biscoitos, massas, pães e bolos podem ser encontrados prontos, congelados ou em misturas para o preparo doméstico (LEE et al., 2007).

Apesar dos recentes avanços e do intenso crescimento deste mercado, produtos sem glúten são considerados pouco atrativos, apresentando baixa qualidade e características sensoriais desagradáveis (ARENDRT et al., 2002).

O glúten provê viscoelasticidade às massas, boa capacidade de retenção de gás e adequada textura (ARENDRT et al., 2008). Sua ausência em pães gera massas mais líquidas, de difícil manipulação, pouco elásticas, não coesas e semelhantes a massas de bolo. Após o

forneamento, o volume dos produtos obtidos é inadequado e a textura esfarelenta (HOUBEN, HOCHSTOTTER, BECKER, 2012).

A vida de prateleira de pães sem glúten é menor em comparação aos pães tradicionais com trigo. A retrogradação do amido e o ressecamento do miolo são facilitados pela ausência da estrutura elástica formada pelas proteínas desnaturadas do glúten (GALLAGHER et al., 2003).

A produção deste tipo de pão, portanto, envolve a busca de ingredientes alternativos que garantam melhores resultados e simulem as propriedades do glúten, auxiliem na formação de uma estrutura básica, uma rede capaz de reter gás e água, permitir a expansão e o aumento do volume (ARENDDT et al., 2008).

Farinhas de arroz, milho, soja, fécula de batata, polvilho, entre outras são amplamente utilizadas em substituição à farinha de trigo, de formas isoladas ou combinadas entre si (ARENDDT, RENZETTI, DAL BELLO, 2009).

O uso de ingredientes e coadjuvantes de tecnologia como hidrocolóides, enzimas, amidos, proteínas lácteas, de soja e ovos, tem sido importante recurso no desenvolvimento de pães sem glúten com melhores características (ARENDDT et al., 2008).

O amido é o principal componente das farinhas em geral e apresenta propriedades únicas que contribuem para a aparência, textura e aceitação de produtos de panificação. É constituído essencialmente por dois tipos de polímeros de glicose, a amilose e a amilopectina. A amilose é uma molécula essencialmente linear, enquanto que a amilopectina é uma molécula altamente ramificada. Amilose e amilopectina ligam-se umas às outras por meio de pontes de hidrogênio e encontram-se sobre a forma de grânulos. Por sua estrutura organizada, os grânulos de amido possuem limitada capacidade de absorção de líquidos. Porém, seu aquecimento em presença de água provoca quebra das pontes de hidrogênio, tornando mais fracas as ligações entre os polímeros de glicose. Assim, os grânulos começam a se hidratar e inchar. A elevação da temperatura provoca ruptura dos grânulos, em um processo conhecido como gelatinização do amido. Em panificação, a estrutura em rede formada pelo amido gelatinizado desempenha papel fundamental na formação do miolo (SLUIMER, 2005).

Os hidrocolóides, polissacarídeos ou proteínas de origem natural ou sintética, são adicionados a pães sem glúten a fim de espessar a massa e aumentar sua elasticidade. Contribuem nomeadamente para o aumento de volume, pela maior retenção de CO₂. Por sua capacidade hidrofílica, melhoram a retenção de umidade e retardam o processo de retrogradação do amido, evitando o endurecimento precoce do miolo. São exemplos de

hidrocolóides as gomas guar e xantana, HPMC (hidroxipropilmetilcelulose), CMC (carboximetilcelulose) e alginatos (PHILLIPS, WILLIAM, 2000).

Sciarini et al. (2010) observaram resultados positivos em estudo que objetivou analisar o efeito da adição de diferentes hidrocolóides (carragena, alginato, goma xantana, carboximetilcelulose e gelatina) nas propriedades da massa e qualidade de pães sem glúten. Constataram espessamento da massa em todos os tratamentos quando comparados ao pão padrão (sem hidrocolóides), além de significativo aumento do volume específico, em especial pela adição de goma xantana. Os pães elaborados com este hidrocolóide, bem como aqueles adicionados de carboximetilcelulose apresentaram diminuição da firmeza do miolo e da taxa de endurecimento.

Em estudo de Botelho (2012), a adição de gomas guar e xantana a pães sem glúten culminou em melhoria da textura, pela distribuição uniforme de alvéolos e estrutura interna mais homogênea.

Em pães sem glúten, as proteínas lácteas demonstram ação positiva por seus benefícios nutricionais e funcionais (HOUBEN, HOCHSTOTTER, BECKER, 2012). Em estudo realizado por Gallagher et al. (2003), a adição de proteínas lácteas melhorou a aparência, o volume e as propriedades sensoriais de pães sem glúten. Moore et al. (2004) constataram que pães sem glúten adicionados de ingredientes lácteos apresentaram melhor qualidade em comparação a pães não adicionados. Porém, a tentativa de substituição do glúten pelo uso de proteínas lácteas não é ideal para grande parte dos celíacos, uma vez que a intolerância à lactose é condição freqüente entre estes indivíduos (MURRAY, 1999).

Ovos são adicionados a produtos alimentícios não só por seu valor nutricional, mas também para incremento da cor, sabor e capacidade de emulsificação (MINE, 2002). Em pães isentos de glúten, as proteínas do ovo formam soluções viscosas, estruturas de proteínas contínuas semelhantes ao glúten (MOORE et al., 2004).

Enzimas têm sido amplamente utilizadas na elaboração de produtos de panificação com o propósito de melhora na estrutura e maleabilidade das massas, incremento da vida de prateleira e características de frescor. Sua utilização em pães sem glúten não foi profundamente explorada devido ao fato de os preparados de enzimas comercialmente disponíveis, apresentarem em sua grande maioria, farinha ou amido de trigo na composição. Porém, em alguns estudos, o uso de enzimas em pães sem glúten mostrou-se benéfico (ROSELL, 2009). Em pães a base de farinha de arroz a adição de transglutaminase gerou aumento de volume e maciez (GUJRAL, ROSELL, 2004). Em estudo realizado por Gujral et

al. (2003), o uso de ciclodextrina glicosiltransferase em pães sem glúten ocasionou menor retrogradação da amilopectina, demonstrando significativo efeito anti endurecimento e anti esfarelamento.

O uso de amidos, enzimas, hidrocolóides e proteínas, mesmo que de forma isolada, garante benefícios à qualidade de massas e pães. Porém, pesquisas apontam que somente o estudo da combinação e interação entre estes aditivos funcionais e os ingredientes básicos poderá garantir melhores características e palatabilidade aos pães sem glúten (HOUBEN, HOCHSTOTTER, BECKER, 2012).

Como abordado anteriormente, outro importante aspecto a ser melhorado em pães sem glúten refere-se aos seus baixos valores nutricionais. O uso de pseudocereais, matérias-primas de elevado valor nutritivo, tem se mostrado alternativa promissora no desenvolvimento de produtos mais saudáveis e com características físicas adequadas (ALVAREZ-JUBETE, ARENDT, GALLAGHER, 2010).

Wronkowska, Haros e Soral-Smietana (2013) observaram efeitos positivos no volume e textura de pães sem glúten pela incorporação de trigo sarraceno. Verificaram neste trabalho retardamento do envelhecimento e melhor estrutura do miolo em comparação a formulação padrão, constatando a possibilidade de substituição de até 40% do amido de milho da formulação inicial pela farinha deste pseudocereal.

Benefícios estruturais advindos da utilização de pseudocereais no preparo de pães sem glúten foram observados por Alvarez-Jubete et al. (2010), em estudo que objetivou analisar as propriedades de panificação de farinhas de quinoa, trigo sarraceno e amaranto. Os pães formulados apresentaram maior volume específico, além de miolo mais macio.

3.3 Quinoa

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) é uma planta nativa da região andina, originária das áreas em redor do Lago Titicaca no Peru e na Bolívia, cultivada por milhares de anos e considerada alimento básico para as populações locais. De grande importância alimentar, econômica e religiosa, era conhecida como “Grão Mãe dos Incas” (KOZIOL, 1992).

Com a colonização espanhola, o cultivo de quinoa foi desencorajado sendo substituído por culturas de trigo e centeio. O intenso declínio e quase desaparecimento do cultivo em países como Colômbia, Bolívia, Chile, Equador e Argentina, tornou a quinoa, por muitos

anos, alimento consumido basicamente por populações rurais, estigmatizada como alimento de pobres (KOZIOL, 1992).

Recentemente, entretanto, foi redescoberta e aclamada por seus benefícios nutricionais. O ano de 2013 foi eleito o ano da quinoa pela FAO (Food and Agriculture Organization), por seu papel potencial na erradicação da fome, desnutrição e miséria. Versátil e de fácil adaptação a rígidas condições ambientais, tem despertado o interesse de diversas economias mundiais (STIKIC et al., 2012).

3.3.1 Distribuição e aspectos botânicos

A quinoa é endêmica em todos os países da região andina, que vão desde a Colômbia ao norte da Argentina e sul do Chile. As áreas cultivadas e a produção total têm crescido acentuadamente nos últimos anos, sendo o Peru e a Bolívia seus maiores produtores mundiais (VILCHE, GELY, SANTALLA, 2003).

A adaptação desta granífera tem sido testada em diferentes partes do mundo, como Estados Unidos, Europa e Canadá, uma vez que se trata de uma cultura não exigente em relação ao clima e solo, crescendo em seu habitat natural sob baixos índices pluviométricos, atmosfera rarefeita, sol forte e temperaturas subcongelantes (LORENZ, COULTER, JOHNSON, 1995). No Brasil, a cultivar BRS Piabiru foi adaptada com sucesso ao solo e clima do cerrado por pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), com excelentes rendimentos médios de grãos por hectare plantado (SPEHAR, SANTOS, 2002).

Pertencente à família *Chenopodiaceae*, gênero *Chenopodium*, a quinoa é uma planta herbácea anual que apresenta características peculiares em sua morfologia e coloração conforme a zona em que foi cultivada. De acordo com o genótipo e as condições ambientais e do solo, pode crescer de 1 a 3 metros de altura. Suas sementes germinam rapidamente e as raízes podem apresentar profundidade de até 30 cm. A inflorescência é uma panícula, de 15 a 70 cm de comprimento. Possui flores hermafroditas e unissexuais femininas (VALENCIA-CHAMORRO, 2003). A Figura 4 mostra um exemplo de planta da quinoa.

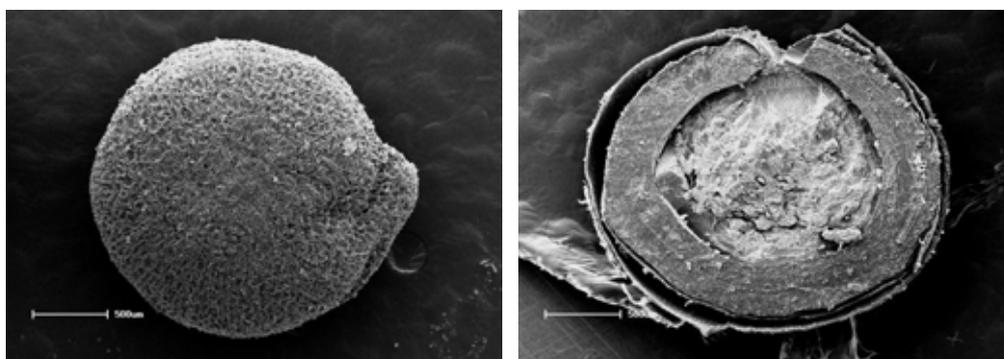
Figura 4 – Plantação de quinoa



Fonte: www.revistavivelatinoamerica.com/2014/09/15/la-importancia-alimentaria-de-la-quinoa/

O grão tem forma cilíndrica, achatada e tamanho variando entre 2 e 2,5 mm de diâmetro e 1,2 a 1,6 mm de largura, sendo constituído basicamente por pericarpo, episperma, perisperma e embrião (SPEHAR, SANTOS, 2002). O perisperma é a principal estrutura de armazenamento de amido, enquanto que lipídeos e proteínas estão presentes principalmente no endosperma e embrião (PREGO, MALDONADO, OTEGUI, 1998). A Figura 5 apresenta o grão de quinoa em seus principais componentes.

Figura 5 - Microfotografias de um grão de quinoa: (A) Grão inteiro, (B) Corte longitudinal.



Fonte: RAMOS, 2014, p. 58.

A quinoa é referida como pseudocereal, uma vez que não é membro da família *Gramineae*, porém produz sementes que podem ser moídas em farinha, além de possuir composição orgânica próxima a dos cereais (SPEHAR, SANTOS, 2002).

3.3.2 Aspectos nutricionais e formas de consumo

A quinoa é um dos grãos mais nutritivos existentes na natureza, com notável teor de proteínas e excelente perfil de aminoácidos essenciais. É rica em ácidos graxos benéficos à saúde, elevado teor de vitaminas e minerais e não contém glúten (BORGES et al., 2010).

Borges et al. (2003), ao caracterizarem quimicamente farinha de quinoa integral observaram 17,37% de proteínas, 3,96% de extrato etéreo, 2,39% de cinzas, 4,47% de fibra bruta e 71,8% de carboidratos. Elevados valores nutricionais foram também encontrados por Ogungbenle (2003), que obteve teores de 13,5% de proteínas, 6,3% de lipídeos, 9,5% de fibra bruta, 1,2% de cinzas totais. Lopes et al. (2009) determinaram a composição centesimal de farinha de quinoa e obtiveram valores médios de fibra bruta de 3,72%, proteínas de 11,52%, lipídeos de 5,12% e cinzas 3,49%, superiores aos presentes em cereais de amplo consumo como arroz, trigo e milho.

A presença de importantes aminoácidos essenciais é também destacada, com altas concentrações de lisina, leucina e treonina (JACOBSEN, SKADHAUGE, JACOBSEN, 1997; ASCHERI, NASCIMENTO, SPEHAR, 2002; COMAI et al., 2007), conforme demonstrado na Tabela 1. Os aminoácidos essenciais são adquiridos exclusivamente pela alimentação, uma vez que não são sintetizados em quantidades suficientes pelo organismo. Os elevados teores de lisina fortalecem a importância nutricional da quinoa, uma vez que este aminoácido é limitado em grande parte dos cereais, realizando por sua vez importantes funções no organismo como crescimento e desenvolvimento ósseo, regeneração de tecidos, produção de anticorpos, hormônios e enzimas (VILCHE, GELY, SANTALLA, 2003).

Em vista das recomendações de ingestão de aminoácidos emitidas pelo Institute of Medicine (Food and Nutrition Board – Dietary References Intakes), o consumo de quinoa, por seu balanceado perfil de aminoácidos, contribui para que sejam alcançados os níveis de ingestão indicados, contribuindo para uma alimentação saudável (BORGES et al., 2003).

Tabela 1 - Composição de aminoácidos essenciais da proteína de quinoa e comparativo com recomendações para adultos segundo DRIs 2005.

Aminoácidos essenciais	mg aminoácido/g proteína	
	Farinha de quinoa ¹	Recomendações nutricionais ²
Histidina	36	17
Isoleucina	42	23
Leucina	69,30	52
Lisina	44,50	47
Metionina + Cisteína	25,70	23
Fenilalanina + Tirosina	71,90	41
Treonina	43	24
Triptofano	n.d*	6
Valina	46,20	29

¹ BORGES et al. (2003); ² Food and Nutrition Board, Dietary References Intakes, Washington D.C. (2005);

* n.d: Não determinado

A quinoa apresenta elevados índices de ácidos graxos essenciais, linolênico e linoléico, além de altas concentrações de antioxidantes como α -tocoferol e γ -tocoferol (KOZIOL, 1990; RUALES, NAIR, 1992).

A composição em minerais é também superior a presente na maioria dos cereais comumente consumidos (trigo, arroz, milho, aveia), destacando-se cálcio, fósforo, potássio, magnésio, zinco (OGUNGBENLE, 2003; LOPES et al., 2009; STIKIC et al., 2012). O magnésio aumenta a produção de anticorpos, é indispensável para a saúde do sistema nervoso e para o metabolismo energético. O potássio é responsável pela transmissão nervosa, contração muscular e equilíbrio de fluídos no organismo, sendo sua carência geradora de fraqueza muscular e fadiga. O fósforo é necessário para o fortalecimento da membrana celular, dos ossos e dentes, enquanto que o zinco retarda o envelhecimento, fortalece o sistema imunológico e combate os radicais livres (GALANTE, NOGUEIRA, MARI, 2007). A Tabela 2 apresenta os principais microelementos presentes na farinha de quinoa.

Tabela 2 - Composição mineral de farinha de quinoa (mg/100g) e comparativo com recomendações para crianças de 1 a 3 anos, conforme DRIs 1997 e 2001.

Mineral	Farinha de quinoa¹	Recomendações nutricionais
Cálcio (mg)	86	500 ²
Magnésio (mg)	232	80 ²
Ferro (mg)	2,6	7 ³
Fósforo (mg)	22	460 ²
Zinco (mg)	3,8	3 ³
Cobre (mcg)	7,5	340 ³

¹OGUNGBENLE (2003); ²Food and Nutrition Board, Dietary References Intakes, Washigton D.C, (1997);

³Food and Nutrition Board, Dietary References Intakes, Washigton D.C (2001).

Amplas variedades de quinoa possuem saponinas, glicosídeos de gosto amargo que devem ser removidos antes do consumo. A remoção destes fatores antinutricionais pode ser feita por método úmido através da lavagem em água fria ou por sistema seco, onde os grãos são tostados e esfregados, removendo-se as camadas exteriores (RISI, GALVEY, 1984). As saponinas obtidas como subprodutos do processamento da quinoa podem ser empregadas nas indústrias farmacêuticas e de cosméticos (TAPIA et al., 1979). As chamadas variedades “doces” de quinoa apresentam teores de saponinas entre 0,2 e 0,4 g kg⁻¹, enquanto que as variedades “amargas” de 4,7 a 11,3 g kg⁻¹ (MASTEBROEK et al., 2000). Pesquisas objetivam principalmente o desenvolvimento de variedades que contenham alto rendimento de grãos, elevados valores nutricionais e baixos teores de saponinas (RISI, GALVEY, 1984).

Comercialmente disponível em grãos, flocos ou farinhas, a quinoa é matéria-prima que pode ser transformada ou adicionada a diferentes preparações, visando, sobretudo, a melhoria da qualidade nutricional. Pode ser consumida cozida em substituição ao arroz. Na forma de farinha, combina-se com cereais na elaboração de produtos de panificação (LORENZ, COULTER, JOHNSON, 1995) e massas (CAPERUTO, AMAYA-FARFAN, CAMARGO, 2001). Extrusada dá origem a produtos alimentícios tipo snack (DOGAN, KARWE, 2003).

Preparações para celíacos, como bolos e biscoito, desenvolvidas com grãos, flocos e farinha de quinoa, foram testadas e analisadas sensorialmente em estudo realizado por Castro et al. (2007), obtendo-se índices de aceitabilidade superiores a 70%. Caperuto, Amaya-Farfán e Camargo (2001) observaram elevado potencial de mercado para massa tipo macarrão à base de milho e quinoa que apresentou boa aceitação sensorial e positiva intenção de compra. O uso da quinoa em pães sem glúten gerou bons resultados de aceitação em estudo realizado por Alvarez-Jubete et al. (2010).

Assim, considerando a elevada prevalência de celíacos e a necessidade de aprimoramento das tecnologias destinadas ao desenvolvimento de produtos sem glúten, é de grande importância a realização de novos estudos que abordem o uso deste pseudocereal em panificação.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Farinha de quinoa real orgânica (Vitalin[®]), farinha de arroz (Casarão[®]), fécula de batata (Aminna[®]), leite em pó integral (La Sereníssima[®]), sal refinado (Cisne[®]), goma xantana (Alimentare[®]), carboximetilcelulose (Mago[®]), açúcar refinado (União[®]), óleo de soja (Liza[®]), fermento biológico seco (Fermix Dona Benta[®]), mistura para o preparo de pão (Beladri[®]) e ovos foram adquiridos em mercado local.

A composição centesimal das farinhas e fécula utilizadas pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição centesimal das farinhas e fécula utilizadas

	Farinha de arroz* (Casarão)	Fécula de Batata* (Aminna)	Farinha de quinoa* (Vitalin)
Valor calórico (Kcal)	340	340	382
Carboidratos (g)	78	85	70
Proteínas (g)	7	0	12
Gorduras totais (g)	0	0	6
Gorduras saturadas (g)	0	0	0,8
Gorduras trans (g)	0	0	0
Fibra alimentar (g)	1,8	0	6

*por 100g de produto, conforme rotulagem.

4.2 Formulação e processamento dos pães sem glúten

A fim de garantir melhores características estruturais, pães sem glúten são geralmente produzidos a partir de misturas de farinhas, féculas ou amidos. A farinha de arroz é muito utilizada no preparo destes produtos, pois, além de ser hipoalergênica, apresenta boa digestibilidade e sabor suave (DEMIRKESEN et al., 2010). O uso de fécula de batata é vantajoso por sua capacidade espessante em decorrência da baixa temperatura de pasta e baixa tendência à retrogradação (SINGH; SINGH, 2001).

Uma formulação padrão de pão sem glúten contendo iguais proporções de farinha de arroz e fécula de batata foi desenvolvida após testes preliminares e baseada em receitas disponibilizadas no site da Associação de Celíacos do Brasil (ACELBRA), bem como em

formulações de artigos científicos (CAPRILES, 2009; ALVAREZ-JUBETE et al., 2010; SCHAMNE, DUTCOSKY, DEMIATE, 2010; NADAL, 2013; WRONKOWSKA, HAROS E SORAL-SMIETANA, 2013). A Tabela 4 apresenta a formulação desenvolvida.

Tabela 4 – Formulação dos pães sem glúten (base farinha/fécula)

Ingredientes	%
Farinha de arroz	50
Fécula de batata	50
Leite em pó integral	16,7
Sal	2,0
Goma xantana	0,8
Carboximetilcelulose	0,8
Açúcar	6,7
Óleo de soja	6,7
Fermento biológico seco	1,7
Ovos	20
Água	83

Considerando ser a formulação padrão dos pães sem glúten uma combinação de duas matérias-primas básicas, a inclusão de quinoa, objetivo principal deste trabalho, foi feita a partir de uma modelagem de misturas. Desta forma, foi utilizado o planejamento experimental centróide-simplex para misturas ternárias, a fim de avaliar os efeitos individuais de cada componente, bem como de suas interações nas propriedades físicas dos pães elaborados. O experimento foi constituído de 12 ensaios, sendo as variáveis independentes (fatores) as proporções dos três principais ingredientes (farinha de arroz, fécula de batata e farinha de quinoa) e as variáveis dependentes (respostas) os parâmetros físicos estudados (volume, volume específico, firmeza e coloração).

A Tabela 5 apresenta a composição das misturas utilizadas na elaboração dos pães, obtidas a partir da inserção dos dados no software Statistica 7.0 (Statsoft Inc., Tulsa, USA). Os tratamentos 8 e 9 são repetições do ponto central. O maior nível utilizado de cada componente da mistura (proporção 100%) representa 42% da massa. Os demais ingredientes foram mantidos em iguais proporções para todos os tratamentos.

Tabela 5 – Composição das misturas utilizadas na elaboração dos pães sem glúten

Tratamento	Proporção de cada componente na mistura			Quantidade de cada componente na formulação (g/100g de massa)		
	Farinha de arroz	Fécula de batata	Farinha de quinoa	Farinha de arroz	Fécula de batata	Farinha de quinoa
1	1,00	0,00	0,00	42,0	0,0	0,0
2	0,00	1,00	0,00	0,0	42,0	0,0
3	0,00	0,00	1,00	0,0	0,0	42,0
4	0,50	0,50	0,00	21,0	21,0	0,0
5	0,50	0,00	0,50	21,0	0,0	21,0
6	0,00	0,50	0,50	0,0	21,0	21,0
7	0,33	0,33	0,33	14,0	14,0	14,0
8	0,33	0,33	0,33	14,0	14,0	14,0
9	0,33	0,33	0,33	14,0	14,0	14,0
10	0,66	0,17	0,17	28,0	7,0	7,0
11	0,17	0,66	0,17	7,0	28,0	7,0
12	0,17	0,17	0,66	7,0	7,0	28,0

Primeiramente, o fermento foi preparado pelo método indireto com açúcar e parte da água a 38° C e fermentado por 15 minutos em temperatura ambiente (26° C), conforme Nadal (2013). O volume restante de água foi misturado ao óleo e ovos. Paralelamente juntaram-se os itens secos. Todos os ingredientes foram então misturados em batedeira planetária Gastromaq BP05 em velocidade média por 5 minutos. Aproximadamente 260 g de massa foram colocadas em assadeiras previamente untadas (dimensões de 8 cm x 15 cm na base e altura de 4 cm), fermentadas em incubadora tipo BOD Cienlab a 39 °C e 80 % de umidade relativa por 60 minutos e assadas em forno industrial Pasiani (modelo Turbo 240 Classic) a 110 °C por 30 minutos. Os pães foram retirados das formas e resfriados a temperatura ambiente (26° C) por 2 horas.

Foram produzidos 6 pães de cada tratamento em uma única batelada, sendo utilizadas 3 unidades aleatórias para análises de textura e 3 unidades para análises de volume e cor. As análises de textura foram realizadas imediatamente após o resfriamento dos mesmos. Os pães foram acondicionados em sacos de polipropileno e armazenados a temperatura ambiente até o momento das demais análises (volume e cor), que foram realizadas no dia seguinte ao preparo dos produtos.

4.3 Propriedades físicas

Após o resfriamento, os pães foram pesados em balança semi-analítica (Shimadzu UX4200H), sendo calculada a perda de peso durante o forneamento pela comparação entre as massas antes e após esta etapa de cocção.

O volume dos pães foi determinado pela técnica de deslocamento de sementes de painço. Uma caixa de madeira de dimensões conhecidas foi completamente preenchida por sementes de painço, sendo em seguida esvaziada. Após a pesagem em balança semi-analítica, os pães foram colocados dentro da caixa, que foi completada até a borda com as sementes de painço e nivelada com o auxílio de uma régua. Assim, o volume de sementes deslocado para fora da caixa foi medido em uma proveta, determinando-se o volume aparente dos pães. O volume específico foi calculado por meio da relação entre o volume aparente e a massa dos pães após o forneamento (g), segundo o método 72-10 da AACCC (2000). As análises foram realizadas em triplicata.

A firmeza do miolo foi analisada em texturômetro TA.XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, UK), conforme o método 74-09 (AACCC, 2000), sendo avaliadas duas fatias centrais de 25 mm de espessura de três pães de cada tratamento. Os resultados são, portanto, a média de seis repetições. Os dados foram coletados pelo software Texture Expert. Os parâmetros utilizados foram: velocidade de 1,7 mm/s, compressão de 40 % da altura original da amostra, probe cilíndrico de 36 mm de diâmetro (P36). A firmeza corresponde à força necessária para comprimir a amostra em 25 % (6,25 mm) da altura original.

A coloração das farinhas e fécula utilizadas, bem como dos pães desenvolvidos foi aferida em colorímetro Color Quest (Hunter Lab, USA) seguindo o sistema CIELAB*, com ângulo de observação de 10° e iluminante padrão D65. Foram medidos os valores de L* (luminosidade), a* (verde - /vermelho +), b* (amarelo - /azul +), C* (relação entre os valores de a* e b*, onde se obtém a cor real do objeto analisado) e h (ângulo formado entre a* e b*, indicativo da saturação da cor do objeto). A cor da crosta foi avaliada em dois pontos no topo de cada pão e a cor do miolo foi medida nos dois lados de duas fatias centrais de 25 mm de espessura, sendo também realizadas em três pães de cada tratamento.

4.4 Análise sensorial

Foram selecionadas para a avaliação sensorial as formulações com maiores teores de quinoa que apresentaram propriedades físicas adequadas. A formulação padrão constituída somente por farinha de arroz e fécula de batata em iguais proporções também teve sua aceitação avaliada, assim como um pão sem glúten comercial.

O pão sem glúten comercial foi produzido a partir de uma mistura pronta para o preparo (Beladri[®]), elaborada conforme as instruções do fabricante.

A aceitação dos produtos foi avaliada por 63 provadores, recrutados entre alunos e servidores do IBILCE/UNESP. Foi utilizada escala hedônica estruturada de nove pontos variando entre 1 – desgostei extremamente, 5 – não gostei/nem desgostei e 9 - gostei extremamente, sendo os atributos avaliados aparência, cor, aroma, textura, sabor e aceitação global (FARIA, YOTSUYANAGI, 2008). Foi realizado teste de intenção de compra dos produtos a fim de complementar os resultados obtidos no teste de aceitação, sendo solicitado aos provadores que assinalassem o grau de certeza com que comprariam ou não comprariam as amostras, variando entre 1 – certamente não compraria e 5 – certamente compraria.

Seis pães de cada tratamento foram produzidos em bateladas únicas, fatiados uniformemente, sendo as fatias centrais utilizadas como amostras na avaliação. As amostras foram servidas sobre guardanapos de papel codificados e entregues aos provadores juntamente com a ficha de avaliação e um copo com água. Cada provador avaliou todos os produtos selecionados, que foram apresentados de forma monádica, utilizando-se blocos completos balanceados.

Os testes sensoriais foram realizados em cabines individuais, sob luz branca e temperatura ambiente de 26° C.

Os pães avaliados foram produzidos no dia de realização dos testes sensoriais. A ficha de avaliação é visualizada na Figura 6.

Figura 6 – Ficha de aceitabilidade de pães sem glúten.

Teste de Aceitação

Nome _____ Idade: _____ data: ___/___/___

Você está recebendo uma amostra de pão sem glúten. Por favor, prove-a e avalie cada item segundo a escala abaixo:

Item	Amostra n°
Aparência	
Cor	
Aroma	
Textura	
Sabor	
Aceitação Global	

9 – gostei extremamente
8 – gostei muitíssimo
7 – gostei moderadamente
6 – gostei levemente
5 – nem gostei/nem desgostei
4 – desgostei levemente
3 – desgostei moderadamente
2 – desgostei muitíssimo
1 – desgostei extremamente

Assinale abaixo o grau de certeza com que você compraria ou não compraria este pão sem glúten:

certamente compraria
 provavelmente compraria
 tenho dúvidas se compraria
 provavelmente não compraria
 certamente não compraria

Comentários:

FONTE: elaborado pelo próprio autor.

O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do IBILCE/Unesp. Todos os participantes da análise sensorial foram esclarecidos sobre os objetivos da pesquisa e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice A).

4.5 Composição físico-química

Foi realizada análise da composição centesimal do pão com maior teor possível de farinha de quinoa que apresentou adequada aceitabilidade por parte dos provadores. O pão sem glúten padrão foi também avaliado, objetivando-se verificar a existência de diferença nutricional entre ambos.

A umidade foi determinada em estufa com circulação de ar a 105° C até peso constante (AOAC, 2000). A análise de cinzas foi realizada por meio da calcinação da matéria orgânica em mufla a 550° C (AOAC, 2000). Os lipídeos foram determinados pelo método de Bligh Dyer. O teor protéico foi determinado pelo nitrogênio total, através do método de Micro-

Kjeldahl, onde a amostra foi submetida à digestão ácida, destilada e titulada para determinação da proteína bruta, sendo adotado o fator de conversão de 6,25 (AOAC, 2000). A análise de fibra alimentar foi realizada pelo laboratório de análises LABM, de Belo Horizonte, Minas Gerais, conforme o método enzimático gravimétrico. O teor de carboidratos disponíveis foi calculado por diferença (adotando-se carboidratos = 100 – percentis de proteínas, lipídeos, cinzas, fibras alimentares e umidade).

O valor energético total foi calculado pela multiplicação dos teores de carboidratos e proteínas por 4 kcal e de gorduras por 9 kcal, somando-se em seguida tais resultados (BRASIL, 2003).

4.6 Análise de dados

Os resultados foram expressos como média e desvio padrão e submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey. As médias obtidas para os parâmetros físico-químicos foram avaliadas através do teste T de Student.

Os planejamentos experimentais para modelagem de misturas têm como principal finalidade verificar como as respostas ou propriedades de interesse são afetadas pela variação das proporções dos componentes da mistura. Nestes experimentos se supõe que um número q (x_i) de ingredientes que compõem a mistura sejam as variáveis independentes, de tal modo que sua soma ($\sum x_i$) seja sempre igual a 1 (BARROS NETO, SCARMINIO, BRUNS, 2007). Assim, consideram-se as proporções entre as variáveis e não a quantidade de cada uma delas (CORNELL, 1990).

O estudo dos resultados obtidos no delineamento de misturas é realizado pela utilização de polinômios simplificados que definem uma superfície de resposta (BARROS-NETO, SCARMINIO, BRUNS, 1995). Desta forma, no presente trabalho foram aplicados modelos de regressão lineares e quadráticos, representados respectivamente pelas equações:

$$Y = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \quad (1)$$

$$Y = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 \quad (2)$$

nas quais Y é a resposta estudada, b são os coeficientes da regressão e x_1 , x_2 e x_3 são respectivamente os níveis de farinha de arroz, fécula de batata e farinha de quinoa. No modelo linear, os termos da equação demonstram os efeitos individuais de cada ingrediente. No

modelo quadrático, além dos efeitos individuais, é possível observar as interações entre os ingredientes dois a dois (BARROS NETO, SCARMINIO, BRUNS, 2007). Foram obtidos os coeficientes para os modelos e seus respectivos erros padrão e níveis de significância. Foram gerados os diagramas triangulares com as curvas de contorno para os modelos ajustados às propriedades dos pães sem glúten.

No estudo dos modelos foram observados os valores de p , que indicam a significância do modelo ajustado, sendo adotados valores inferiores a 0,05. A falta de ajuste indica se o modelo escolhido é adequado ou não para as respostas obtidas, sendo considerados os valores superiores a 0,05 (demonstrando 95% de confiança). O coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) indica a porcentagem da variação do resultado explicada pelo modelo, sendo que quanto mais próximo estiver este valor de 1 (100%), melhor será o ajuste às respostas observadas (CORNELL, 1990).

Os dados provenientes dos testes sensoriais foram analisados na forma de mapas de preferência interno, nos quais são levadas em consideração as preferências individuais dos consumidores e não apenas a média de aceitação do grupo (DUTCOSKY, 2011). Esta técnica utiliza análise estatística multivariada para obter, num espaço multidimensional, uma representação gráfica das diferenças de aceitação entre produtos, identificando o indivíduo e suas preferências. Permite, ainda, identificar as amostras mais aceitas pela maioria da população do estudo e, ao considerar a individualidade de cada provador, caracterizar grupos com diferentes preferências e padrões de consumo (MACFIE & THOMSON, 1998).

Os mapas de preferência interno são obtidos através da análise de escalonamento multidimensional. Preliminarmente a esta análise, é realizada a análise de agrupamento (“cluster analysis”) que, conforme o caso apresenta as amostras avaliadas em grupos, ou seja, agrupadas em função da preferência dos provadores, gerando os dendogramas.

A aplicação da análise de escalonamento multidimensional pode ser avaliada pelo “stress value”, valor este que, quando inferior a 0,01, indica que o modelo obtido está bem ajustado aos dados (JOHNSON & WICHERN, 1992; KRUSKAL & WISH, 1978).

O software Statistica 7.0 (Statsoft Inc., Tulsa, USA) foi utilizado para as análises, adotando-se nível de significância de 0,05.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pães foram produzidos em ordem aleatória e de forma padronizada, indicando que as diferenças existentes entre as propriedades devem-se a composição das formulações.

A Tabela 6 apresenta as gramaturas de massas e pães e a perda de peso após o forneamento.

Tabela 6 - Peso de massas, pães e perda após forneamento

Ensaio	Proporção de cada componente na mistura					
	Farinha de arroz	Fécula de batata	Farinha de quinoa	Massa (g)	Pão (g)	Perda (%)
1	1,00	0,00	0,00	260,71 ^a ±0,20	234,69 ^{cd} ±1,02	9,98 ^{cde} ±0,00
2	0,00	1,00	0,00	260,76 ^a ±0,61	236,81 ^{abc} ±1,08	9,19 ^{ef} ±0,00
3	0,00	0,00	1,00	260,49 ^a ±0,43	235,31 ^{bcd} ±1,47	9,67 ^{de} ±0,00
4	0,50	0,50	0,00	260,39 ^a ±0,70	231,40 ^{ef} ±1,62	11,13 ^{ab} ±0,00
5	0,50	0,00	0,50	260,09 ^a ±0,30	233,22 ^{def} ±0,30	10,34 ^{bcd} ±0,00
6	0,00	0,50	0,50	260,57 ^a ±0,49	232,77 ^{def} ±1,43	10,67 ^{abc} ±0,00
7	0,33	0,33	0,33	260,75 ^a ±0,55	234,18 ^{cde} ±1,21	10,19 ^{bcd} ±0,00
8	0,33	0,33	0,33	260,85 ^a ±1,43	233,31 ^{def} ±1,41	10,56 ^{abcd} ±0,01
9	0,33	0,33	0,33	260,50 ^a ±0,40	230,66 ^{ef} ±1,47	11,46 ^a ±0,01
10	0,66	0,17	0,17	260,07 ^a ±0,43	234,41 ^{cd} ±1,81	9,87 ^{cde} ±0,01
11	0,17	0,66	0,17	260,58 ^a ±0,65	238,47 ^a ±2,18	8,49 ^f ±0,01
12	0,17	0,17	0,66	260,59 ^a ±0,92	238,00 ^{ab} ±1,11	8,67 ^f ±0,01

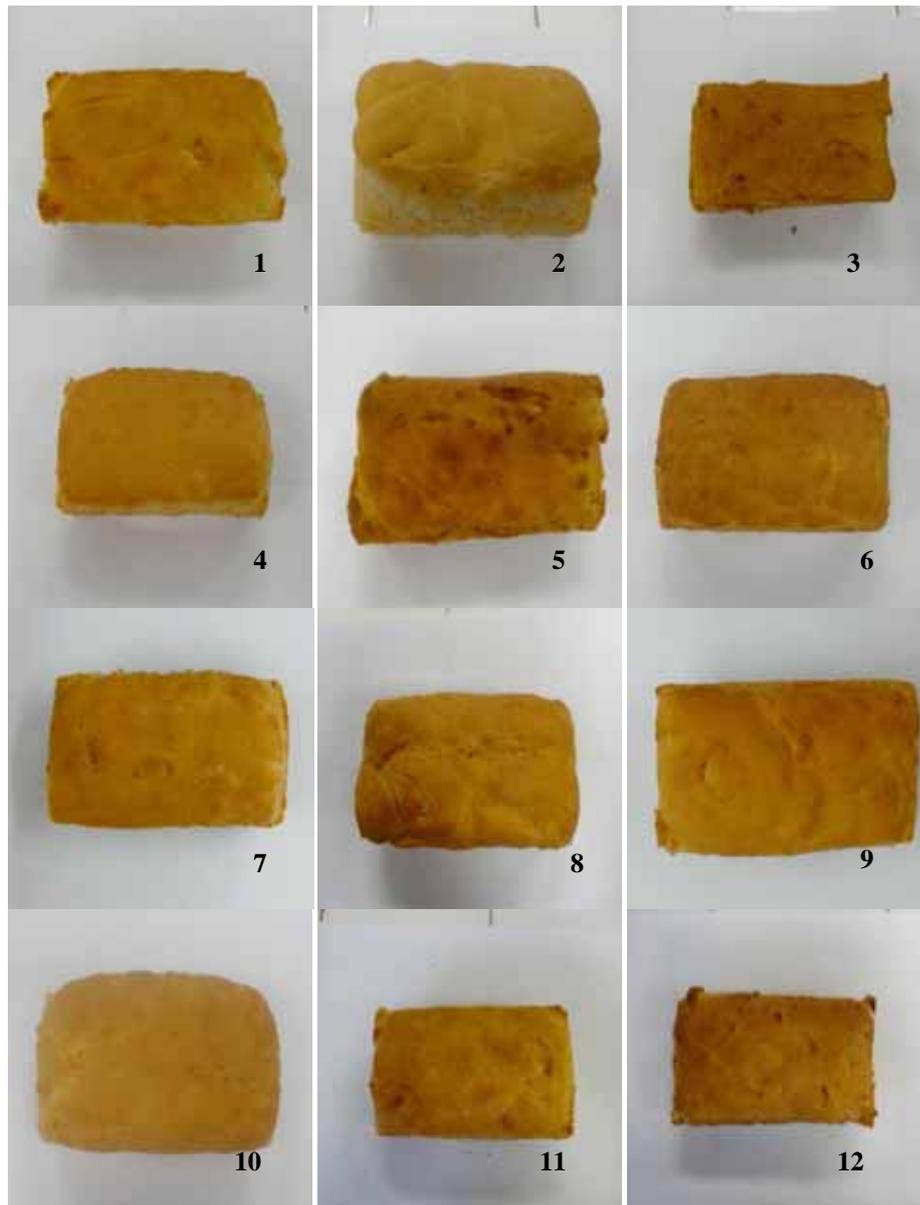
As médias seguidas por letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si ($p \leq 0,05$).

A perda de peso dos pães em função do forneamento variou entre 8,49 e 11,46%, valores semelhantes aos encontrados nos trabalhos de Capriles (2009) e Alvarez-Jubete et al.

(2010). A perda de peso ao assar é uma medida que demonstra a capacidade da massa em reter água, sendo acentuada em pães sem glúten devido à ausência da rede protéica (EVANGELHO et al., 2012).

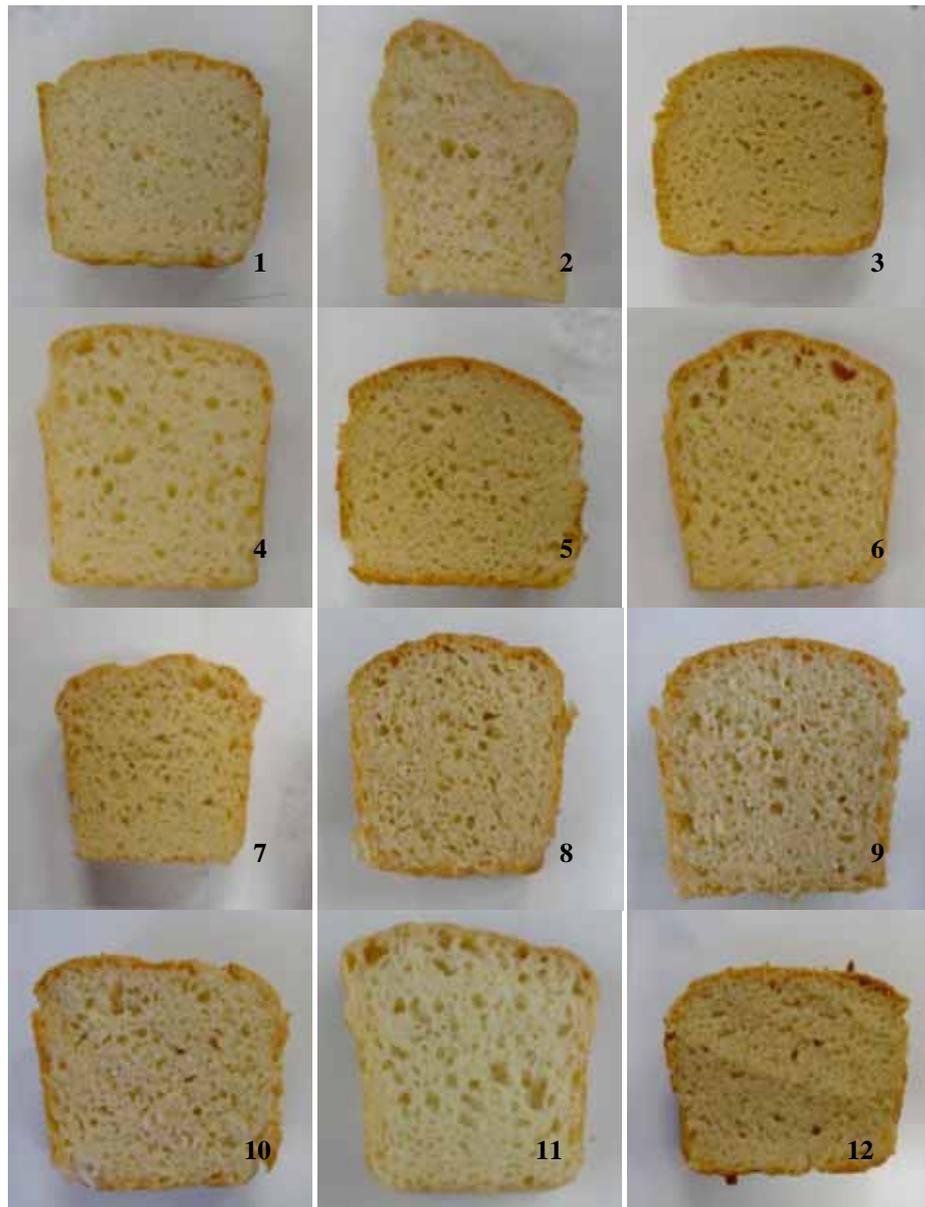
As Figuras 7 e 8 apresentam os aspectos externos e internos dos pães elaborados.

Figura 7 - Crosta dos pães sem glúten.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 8 - Miolo dos pães sem glúten.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

5.1 Propriedades físicas

As propriedades físicas volume, volume específico e firmeza podem ser visualizadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Propriedades físicas dos pães conforme níveis de farinha de arroz, fécula de batata e farinha de quinoa.

Ensaio	Proporção de cada componente na mistura			Parâmetros físicos		
	Farinha de arroz	Fécula de batata	Farinha de quinoa	Volume (cm ³)	Vol. específico (g/cm ³)	Firmeza (N)
1	1,00	0,00	0,00	479,0 ^e ±8,54	2,05 ^{def} ±0,04	14,72 ^{bc} ±1,46
2	0,00	1,00	0,00	626,7 ^a ± 11,93	2,66 ^a ±0,04	5,22 ^g ±0,88
3	0,00	0,00	1,00	356,7 ^h ± 3,51	1,54 ^h ±0,03	24,59 ^a ±1,26
4	0,50	0,50	0,00	505,7 ^{cd} ± 5,13	2,19 ^{bc} ±0,02	7,65 ^{fg} ±0,73
5	0,50	0,00	0,50	482,3 ^{de} ± 6,81	2,07 ^{de} ±0,02	16,90 ^{bc} ±1,55
6	0,00	0,50	0,50	452,3 ^{fg} ± 12,86	1,96 ^{fg} ±0,05	14,82 ^{bc} ±1,86
7	0,33	0,33	0,33	495,7 ^{cde} ± 10,26	2,12 ^{cd} ±0,03	11,30 ^{de} ±0,63
8	0,33	0,33	0,33	491,0 ^{cde} ± 7,21	2,12 ^{cd} ±0,03	10,03 ^{ef} ±0,67
9	0,33	0,33	0,33	535,7 ^b ± 12,06	2,27 ^b ±0,05	9,71 ^{ef} ±0,62
10	0,66	0,17	0,17	443,3 ^g ± 6,51	1,89 ^g ±0,03	14,14 ^{cd} ±0,33
11	0,17	0,66	0,17	511,0 ^{bc} ± 8,54	2,15 ^{cd} ±0,04	10,37 ^{ef} ± 0,89
12	0,17	0,17	0,66	475,7 ^{ef} ± 2,31	2,00 ^{ef} ±0,01	17,46 ^b ± 0,46

As médias seguidas por letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si ($p \leq 0,05$).

5.1.1 Volume específico

O volume específico, importante atributo de qualidade de pães, apresentou valores entre 1,54 e 2,66 g/cm³ nas formulações desenvolvidas (conforme Tabela 7), resultados comparáveis a de outras formulações de pães sem glúten, cujos valores variaram entre 1,29 e 2,7 g/cm³ (LÓPEZ, PEREIRA, JUNQUEIRA, 2004; CAPRILES, 2009; ALVAREZ-JUBETE et al., 2010; MILDE, RAMALLO, PUPPO, 2012; ELGETI et al., 2014).

Visando a obtenção de pão sem glúten com melhores características físicas pela modelagem das farinhas e fécula utilizadas, aplicou-se o modelo linear, cuja equação é demonstrada na Tabela 8.

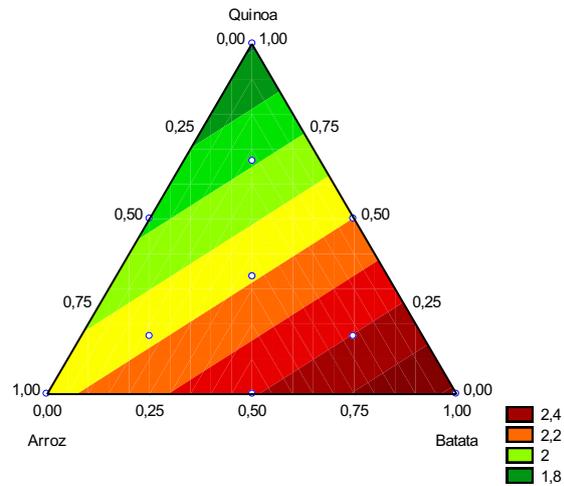
Tabela 8 – Modelo linear ajustado ao volume específico dos pães sem glúten

Parâmetro	Equação	R ² _(aj) %	p	Falta de ajuste (p)
Volume específico	$Y = 2,06x_1 + 2,51x_2 + 1,68x_3$ (±0,11) (±0,11) (±0,11)	64,50	0,00	0,24

x_1 = farinha de arroz, x_2 = fécula de batata, x_3 = farinha de quinoa

O modelo apresentou coeficiente de determinação ajustado (R²_{aj}) de 64,5%. Apesar deste coeficiente não apresentar um valor elevado, o modelo não apresentou falta de ajuste (p = 0,24) e permite observar a tendência de comportamento dos pães feitos com as matérias-primas. O diagrama triangular é apresentado no Gráfico 1. Suas curvas de contorno ligam pontos de resposta de igual valor; seus vértices exibem as respostas dos componentes puros; os pontos sobre os lados do triângulo as misturas binárias e a região interna ao triângulo as respostas das misturas de três componentes (BARROS NETO, SCARMINIO, BRUNS, 2007).

Gráfico 1 - Gráfico de contornos para o volume específico (g/cm^3) dos pães sem glúten.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A fécula de batata contribuiu para a maior expansão dos pães, enquanto que a farinha de quinoa ocasionou a menor expansão (Tabela 8 e Gráfico 1). Os maiores teores de fibras presentes na farinha de quinoa certamente explicam, ao menos em parte, tais valores, dado a influência negativa das fibras na estrutura das massas. Do ponto de vista tecnológico, as fibras afetam a formação do gel entre amido e hidrocolóides pela competição por água, além de diminuir a capacidade de retenção de gás (KATINA et al., 2006; SCHOBBER et al., 2009). A Figura 9 compara visualmente os volumes obtidos para os ensaios 3 e 2, maiores proporções de farinha de quinoa e fécula de batata, respectivamente.

Figura 9 - Volume dos pães dos ensaios 3 (100% farinha de quinoa) e 2 (100% fécula de batata).



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Borges et al. (2013), ao caracterizarem fisicamente pães produzidos a partir de farinhas mistas de trigo e quinoa, observaram redução do volume específico dos produtos conforme o aumento dos níveis de farinha de quinoa utilizados na formulação. Os autores atribuíram os resultados obtidos à diluição do glúten na massa e enfraquecimento de sua estrutura.

Hager et al (2012) realizaram estudo que objetivou investigar a qualidade e estrutura de pães produzidos a partir de diferentes farinhas comerciais isentas de glúten em comparação a pães de trigo. Os pesquisadores relataram que a utilização de trigo sarraceno, arroz, milho, quinoa, sorgo e teff resultaram em pães com qualidade inferior, que apresentaram valores de volume específico entre 1,33 e 1,85 ml/g. Tais valores foram explicados pela ausência de uma matriz protéica coesa, elasticidade e extensibilidade nas massas geradas por tais ingredientes. No trabalho citado, o pão elaborado com farinha de quinoa apresentou volume específico de 1,51 ml/g.

Diferentes resultados em relação ao comportamento da farinha de quinoa foram relatados por Elgeti et al. (2014). Tais autores observaram incremento de 33% nos valores de volume específico de pães sem glúten pela substituição total das farinhas de arroz e milho por farinha de quinoa. Afirmaram acreditar que a farinha deste pseudocereal possui maior capacidade de estabilizar a estrutura esponjosa pela presença de peptídeos e lipídeos que auxiliam na retenção das bolhas de gás. Da mesma forma, Alvarez-Jubete et al. (2010) observaram através de micrografia de varredura a laser (CLSM – Confocal Laser Scanning Micrographs) que os lipídeos presentes na quinoa funcionam como agentes ativos de superfície que contribuem para a estabilização das bolhas de gás antes da gelatinização do amido.

No presente trabalho, apesar de a quinoa ter contribuído negativamente para a expansão dos pães sem glúten, é possível observar na Tabela 7 que os tratamentos constituídos por 33% desta farinha (tratamentos 7, 8 e 9), bem como o tratamento 11, de formulação 66% fécula de batata, 17% farinha de arroz e 17% farinha de quinoa apresentaram valores de volume específico equivalentes ao da formulação padrão de pão sem glúten (tratamento 4), isenta deste nutritivo pseudocereal.

5.1.2 Firmeza

Segundo Esteller, Amaral e Lannes (2004), a textura pode ser definida como todos os atributos mecânicos, geométricos e de superfície de um produto que sejam perceptíveis por meios instrumentais e sensoriais. A firmeza relaciona-se a força aplicada para ocasionar uma deformação ou rompimento da amostra e correlaciona-se à mordida humana durante a ingestão de alimentos.

A firmeza dos pães sem glúten analisados apresentou valores entre 5,22 e 24,59 N. Resultados similares, entre 4,93 e 19,24 N, foram observados por Botelho (2012) ao estudar o efeito das gomas guar e/ou xantana em pães formulados com farinha de arroz e milho. Matos e Rosell (2012), ao analisarem diferentes pães sem glúten comerciais, elaborados a base de amido de milho, fécula de batata ou farinha de arroz, encontraram para a grande maioria das amostras valores de firmeza entre 10,33 e 14,60 N.

No estudo de Hager et al. (2012), o pão produzido com farinha de quinoa apresentou firmeza de 32 N, sendo extremamente mais firme que o pão tradicional a base de trigo, cuja firmeza foi de 8,5 N. Conforme os autores, este aspecto necessita ser melhorado em pães sem glúten, pois produtos mais macios são preferidos pelos consumidores que geralmente relacionam miolos firmes a produtos sem frescor.

O modelo linear aplicado à firmeza dos pães foi significativo ($p < 0,05$), não apresentou falta de ajuste ($p = 0,11$) e explica 82,6% dos pontos experimentais ($R^2_{aj} = 82,6\%$), conforme demonstrado na Tabela 9.

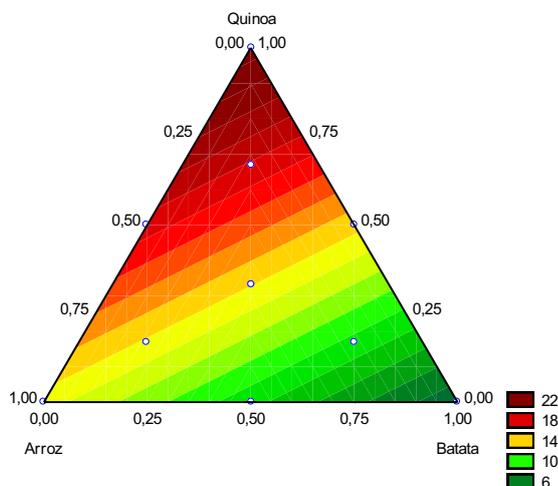
Tabela 9 – Modelo linear ajustado à firmeza dos pães sem glúten

Parâmetro	Equação	$R^2_{(aj)}$ %	p	Falta de ajuste (p)
Firmeza	$Y = 12,48x_1 + 4,20x_2 + 22,55x_3$ (±1,57) (±1,57) (±1,57)	82,60	0,00	0,11

x_1 = farinha de arroz, x_2 = fécula de batata, x_3 = farinha de quinoa

A equação apresentada foi utilizada para gerar o diagrama triangular visualizado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Gráfico de contornos para a firmeza (N) dos pães sem glúten.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Maiores níveis de fécula de batata na mistura relacionam-se à menor firmeza do miolo dos pães. Já a farinha de quinoa acarreta na obtenção de pães com miolo extremamente firme (Tabela 9 e Gráfico 2). Assim, a incorporação de quinoa à formulação não favoreceu a textura dos produtos. Este resultado diverge do obtido por Alvarez-Jubete et al. (2010), que observaram textura significativamente mais macia em pães formulados com pseudocereais (amaranto, quinoa e trigo sarraceno) em substituição à fécula de batata, atribuindo esta maior maciez a presença de emulsificantes naturais nestes ingredientes.

A partir dos dados visualizados na Tabela 7, observa-se que os tratamentos contendo 33% de farinha de quinoa apresentaram valor médio de firmeza de 10,34 N, próximo àquele obtido no tratamento 11, que contém apenas 17% deste componente. Dentre os pães analisados contendo quinoa na formulação, os tratamentos citados (7,8,9 e 11) foram os que apresentaram valores de firmeza mais próximos ao obtido no tratamento padrão (ensaio 4).

5.1.3 Coloração dos pães

No sistema CIELAB*, os valores de L* (luminosidade) indicam a reflectância da luz, sendo que quanto maiores seus valores, mais clara a coloração dos pães analisados. Valores positivos altos para b* traduzem amostras com forte coloração amarela ou dourada. Maiores valores positivos de a* (desvio para o vermelho) indicam coloração mais escura, como no

caso das crostas dos pães que contém grande quantidade de açúcares em suas formulações (ESTELLER, LANNES, 2005).

Na Tabela 10 são apresentadas as características de coloração das matérias-primas utilizadas.

Tabela 10 – Coloração das farinhas e fécula utilizadas

	L*	a*	b*	C*	h
Farinha de arroz	92,10 ± 0,03	-0,09 ± 0,01	7,01 ± 0,03	7,01 ± 0,03	90,73 ± 0,12
Fécula de batata	94,53 ± 0,07	-0,17 ± 0,00	1,10 ± 0,03	1,12 ± 0,03	99,03 ± 0,32
Farinha de quinoa	87,77 ± 0,05	0,61 ± 0,01	14,04 ± 0,06	14,06 ± 0,07	87,52 ± 0,05

Observa-se que a farinha de quinoa é a matéria-prima mais escura, enquanto que fécula de batata e farinha de arroz são mais claras e assemelham-se quanto à luminosidade.

Os valores obtidos para coloração da crosta e do miolo dos diferentes ensaios estão descritos nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11 – Cor da crosta dos pães sem glúten

Ensaio	Proporção de cada componente na mistura			Cor da crosta				
	Farinha de arroz	Fécula de batata	Farinha de quinoa	L*	a*	b*	C*	h
1	1,00	0,00	0,00	50,07 ^{bc} ±6,08	17,57 ^{ab} ±1,60	37,91 ^a ±2,97	41,86 ^a ±2,00	65,02 ^{abc} ±3,78
2	0,00	1,00	0,00	60,29 ^a ±1,52	12,93 ^c ±0,78	31,95 ^{bcde} ±0,94	34,47 ^{bc} ±1,16	67,98 ^a ±0,64
3	0,00	0,00	1,00	36,54 ^f ±4,03	17,00 ^{ab} ±0,68	26,62 ^c ±3,31	31,62 ^c ±3,14	57,24 ^e ±2,43
4	0,50	0,50	0,00	48,71 ^{bcd} ±1,46	17,13 ^{ab} ±0,93	35,22 ^{abc} ±0,23	39,17 ^{ab} ±0,44	64,05 ^{abcd} ±1,22
5	0,50	0,00	0,50	45,67 ^{bcde} ±2,41	17,45 ^{ab} ±0,84	35,05 ^{abcd} ±1,21	39,18 ^{ab} ±1,14	63,51 ^{abcd} ±1,35
6	0,00	0,50	0,50	43,98 ^{cdef} ±1,98	17,95 ^{ab} ±0,18	33,01 ^{abcd} ±1,56	37,59 ^{ab} ±1,28	61,38 ^{bcde} ±1,41
7	0,33	0,33	0,33	43,22 ^{cdef} ±3,40	17,91 ^{ab} ±1,24	32,40 ^{abcd} ±2,64	37,07 ^{ab} ±1,89	60,97 ^{bcde} ±3,43
8	0,33	0,33	0,33	39,19 ^{ef} ±3,16	18,69 ^a ±1,03	29,31 ^{dc} ±3,18	34,77 ^{bc} ±3,23	57,37 ^e ±1,43
9	0,33	0,33	0,33	40,48 ^{def} ±1,72	17,44 ^{ab} ±0,46	29,73 ^{cde} ±1,35	34,49 ^{bc} ±1,06	59,56 ^{cde} ±1,59
10	0,66	0,17	0,17	48,91 ^{bcd} ±2,13	18,11 ^{ab} ±0,80	36,95 ^{ab} ±1,20	41,18 ^a ±0,72	63,85 ^{abcd} ±1,75
11	0,17	0,66	0,17	53,38 ^{ab} ±2,33	15,94 ^b ±0,81	35,96 ^{ab} ±0,86	39,36 ^{ab} ±0,49	66,07 ^{ab} ±1,56
12	0,17	0,17	0,66	40,68 ^{def} ±0,87	17,68 ^{ab} ±0,13	29,52 ^{cde} ±0,61	34,42 ^{bc} ±0,57	59,00 ^{dc} ±0,37

As médias seguidas por letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si ($p \leq 0,05$).

Tabela 12 – Cor do miolo dos pães sem glúten

Ensaio	Proporção de cada componente na mistura			Cor do miolo				
	Farinha de arroz	Fécula de batata	Farinha de quinoa	L*	a*	b*	C*	h
1	1,00	0,00	0,00	75,45 ^b ±0,26	0,55 ^c ±0,13	22,17 ^g ±0,42	22,18 ^g ±0,42	88,60 ^{ab} ±0,31
2	0,00	1,00	0,00	78,17 ^a ±0,81	0,24 ^c ±0,04	19,46 ^h ±0,26	19,46 ^h ±0,26	89,32 ^a ±0,11
3	0,00	0,00	1,00	62,06 ^h ±0,99	4,41 ^a ±0,33	30,19 ^a ±0,38	30,51 ^a ±0,42	81,72 ^g ±0,50
4	0,50	0,50	0,00	74,17 ^{bc} ±0,47	0,64 ^c ±0,17	19,96 ^h ±0,23	19,97 ^h ±0,23	88,17 ^b ±0,46
5	0,50	0,00	0,50	66,62 ^{efg} ±0,77	3,18 ^b ±0,39	30,12 ^{ab} ±1,16	30,29 ^{ab} ±1,20	84,01 ^e ±0,51
6	0,00	0,50	0,50	65,09 ^g ±0,48	2,96 ^b ±0,15	26,27 ^{dc} ±0,58	26,44 ^{dc} ±0,59	83,57 ^{ef} ±0,19
7	0,33	0,33	0,33	68,34 ^e ±0,61	2,10 ^c ±0,10	26,47 ^{dc} ±0,41	26,55 ^{dc} ±0,42	85,47 ^d ±0,13
8	0,33	0,33	0,33	67,77 ^{ef} ±0,32	2,23 ^c ±0,10	27,33 ^{cd} ±0,31	27,42 ^{cd} ±0,32	85,36 ^d ±0,15
9	0,33	0,33	0,33	65,74 ^{fg} ±0,50	3,25 ^b ±0,03	29,79 ^{ab} ±0,49	29,97 ^{ab} ±0,49	83,80 ^{ef} ±0,03
10	0,66	0,17	0,17	71,64 ^d ±0,54	1,82 ^{cd} ±0,04	25,69 ^{ef} ±0,14	25,76 ^{ef} ±0,14	85,96 ^d ±0,08
11	0,17	0,66	0,17	72,34 ^{cd} ±1,43	1,34 ^d ±0,10	24,25 ^f ±0,53	24,29 ^f ±0,54	86,84 ^c ±0,17
12	0,17	0,17	0,66	64,74 ^g ±0,47	3,48 ^b ±0,17	28,72 ^{bc} ±0,26	28,90 ^{bc} ±0,28	83,11 ^f ±0,28

As médias seguidas por letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si ($p \leq 0,05$).

Apesar dos diferentes teores de quinoa, pequena variação do escurecimento da crosta (parâmetro a*) foi observada entre os tratamentos, conforme demonstrado na Tabela 11.

Já em relação ao miolo dos pães, observa-se na Tabela 12 que a incorporação de farinha de quinoa em teores superiores a 17% diminuiu acentuadamente a luminosidade, bem como acarretou em intensa elevação dos valores de a*, indicando o escurecimento dos produtos.

A Tabela 13 apresenta os modelos ajustados às propriedades físicas de cor dos pães sem glúten.

Tabela 13 – Modelos quadráticos ajustados à coloração da crosta e miolo dos pães isentos de glúten a base de farinha de arroz, fécula de batata e farinha de quinoa.

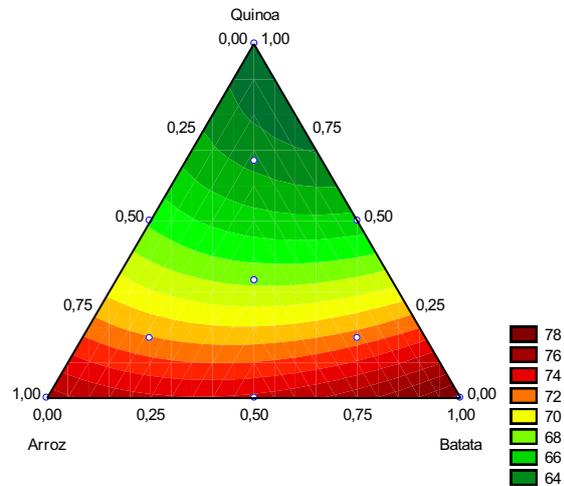
Parâmetro	Equação	R ² _(aj) %	p	Falta de ajuste (p)
L* miolo	$Y = 75,52x_1 + 78,32x_2 + 62,29x_3 - 10,60x_1x_2 - 19,82x_2x_3$ (±0,99) (±0,99) (±0,99) (±4,43) (±4,43)	94,79	0,00	0,73
b* miolo	$Y = 2,02x_1 + 19,52x_2 + 29,57x_3 + 19,53x_1x_3$ (±1,38) (±1,38) (±1,38) (±6,19)	85,27	0,00	0,73
C* miolo	$Y = 22,03x_1 + 19,52x_2 + 29,89x_3 + 19,54x_1x_3$ (±1,40) (±1,40) (±1,40) (±6,27)	85,55	0,00	0,74
h*miolo	$Y = 88,44x_1 + 89,37x_2 + 81,82x_3 - 7,34x_2x_3$ (±0,58) (±0,58) (±0,58) (±2,59)	93,57	0,00	0,96
L* crosta	$Y = 50,99x_1 + 61,65x_2 + 36,87x_3 - 32,20x_1x_2$ (±3,01) (±3,01) (±3,01) (±13,45)	78,29	0,01	0,27
a* crosta	$Y = 17,67x_1 + 12,81x_2 + 16,96x_3 + 7,28x_1x_2 + 11,42x_2x_3$ (±0,43) (±0,43) (±0,43) (±1,93) (±1,93)	90,96	0,00	0,89

x₁ = farinha de arroz, x₂ = fécula de batata, x₃ = farinha de quinoa

Os modelos foram significativos ($p \leq 0,05$) e não apresentaram falta de ajuste. Os coeficientes de determinação ajustados (R²_{aj}) explicam mais de 78% da variação observada.

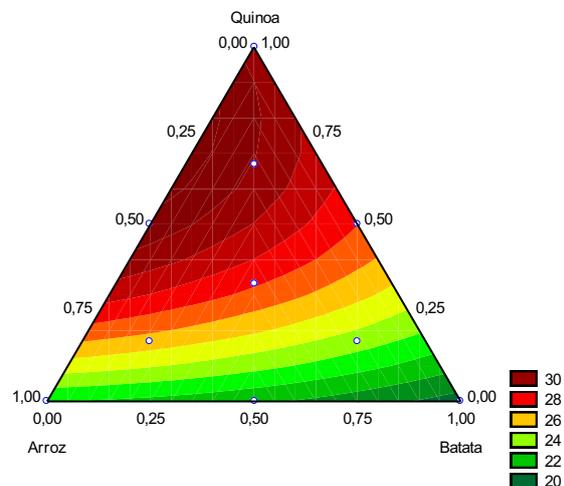
O modelo de regressão quadrático ajustado aos valores de luminosidade do miolo indicou a existência de interações entre farinha de arroz e fécula de batata e entre fécula de batata e farinha de quinoa. Desta forma, os valores encontrados para tal parâmetro não são gerados somente pelos efeitos individuais dos componentes da mistura, mas também pelos efeitos de tais interações. Os sinais negativos anteriores aos coeficientes da equação revelam que se tratam de interações antagônicas, ou seja, que diminuem a intensidade da luminosidade do miolo dos pães produzidos. O gráfico de contornos para este parâmetro pode ser visualizado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Gráfico de contornos para a luminosidade do miolo dos pães sem glúten.



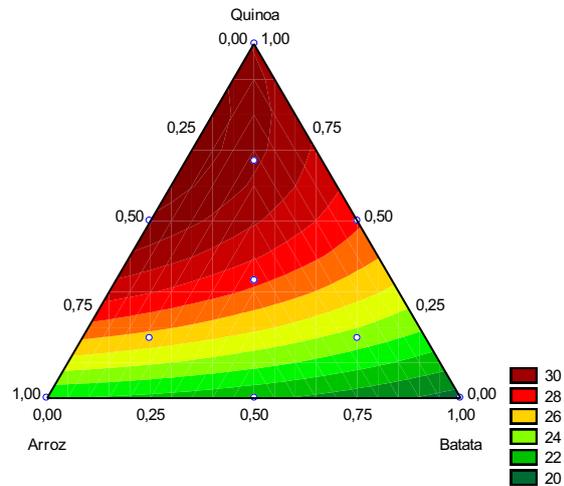
Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Nem o modelo quadrático, nem o linear foram significativos para o parâmetro a^* do miolo dos pães. Os modelos quadráticos ajustados ao parâmetro b^* (Tabela 13 e Gráfico 4) e ao croma (Tabela 13 e Gráfico 5) revelaram a existência de interação sinérgica entre farinha de arroz e farinha de quinoa, ocasionando intensificação da cor amarela do miolo e da saturação da cor do miolo pela combinação destes dois componentes. O tom (Tabela 13 e Gráfico 6) se ajustou a um modelo quadrático que revelou diminuição de seu valor pela interação entre fécula de batata e farinha de quinoa.

Gráfico 4 - Gráfico de contornos para o parâmetro b^* do miolo dos pães sem glúten.

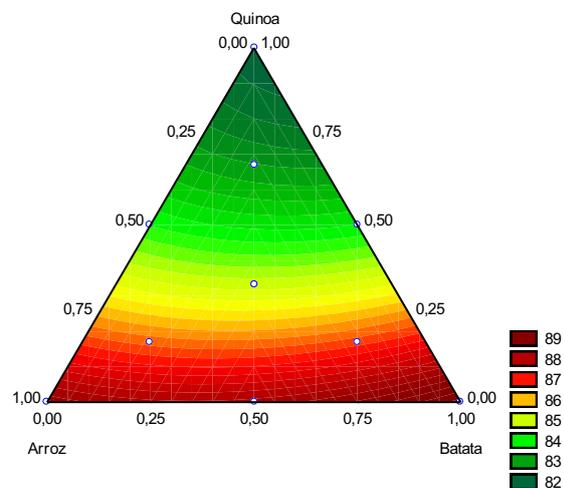
Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Gráfico 5 - Gráfico de contornos para o croma do miolo dos pães sem glúten.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

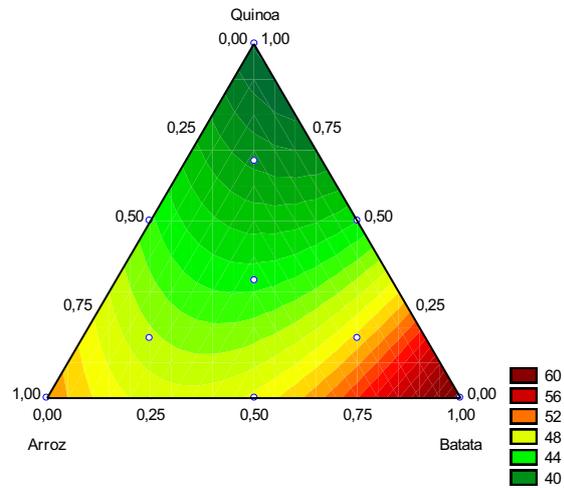
Gráfico 6 - Gráfico de contornos para o tom do miolo dos pães sem glúten.



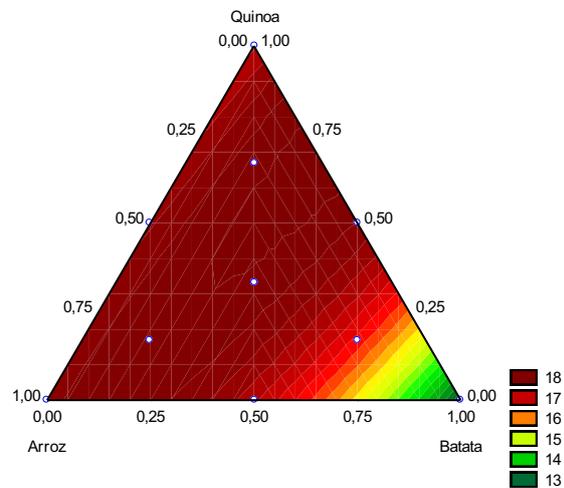
Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Em relação à coloração da crosta observa-se interação antagonica entre farinha de arroz e fécula de batata, ocasionando diminuição da luminosidade dos produtos (Gráfico 7). O escurecimento da crosta dos pães é também reforçado pela interação sinérgica entre estes mesmos componentes, demonstrada no modelo quadrático ajustado ao parâmetro a^* (Gráfico 8). Este modelo também aponta a existência de interação entre fécula de batata e farinha de quinoa.

Gráfico 7 - Gráfico de contornos para a luminosidade da crosta dos pães sem glúten.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Gráfico 8 - Gráfico de contornos para o parâmetro a^* da crosta dos pães sem glúten.

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Os modelos de regressão linear ajustados aos valores de b^* , C^* e h da crosta dos pães foram significativos e não apresentaram falta de ajuste, no entanto, explicam aproximadamente 50% da variação observada. Desta forma, optou-se por não apresentar os gráficos de contorno para estes parâmetros.

De forma geral, observa-se tendência ao escurecimento dos produtos pela incorporação de farinha de quinoa, não somente por ser esta uma matéria-prima de coloração

mais acentuada, mas também pela maior probabilidade de ocorrência de reações de Maillard, dado ao maior teor protéico deste ingrediente. Tais resultados estão em concordância com os obtidos por Gewerh (2010) e Bueno (2012), ao analisarem pães de forma adicionados de diferentes concentrações de quinoa, que verificaram maior escurecimento da crosta dos produtos conforme maior nível deste componente na massa.

5.2 Seleção de formulações

O ajuste dos modelos e o estudo dos gráficos de contornos demonstraram que a farinha de quinoa aumenta a firmeza do miolo dos pães, escurece-os e afeta sua expansão, confirmando que não é possível obter um pão elaborado somente com esta matéria-prima que apresente características estruturais desejáveis.

A análise estatística da modelagem de misturas identificou a inexistência de interações sinérgicas ou antagônicas entre as farinhas componentes para os parâmetros volume específico e firmeza, uma vez que modelos quadráticos não foram significativos. Contudo, permitiu verificar como cada matéria-prima utilizada na mistura contribuiu para a caracterização dos produtos.

Algumas pesquisas apontam a preferência por pães com coloração mais clara, entretanto, grande variedade de tipos com coloração mais escura tem sido amplamente encontrada no mercado, principalmente na forma de produtos integrais que são muito consumidos por indivíduos em busca de uma alimentação saudável (CÉSAR et al., 2006; ÁVILA, 2012). Desta forma, acredita-se que a cor dos produtos contendo quinoa não seja fator de rejeição por grande parte da população.

A observação das curvas de contorno (Gráficos 1 a 8), bem como das Tabelas 7, 11 e 12 indica ser viável a incorporação de quinoa aos pães em níveis de 17% a 33% da mistura, uma vez que, dentre as formulações estudadas, os ensaios contendo a mistura ternária dos componentes em iguais proporções e a combinação de 66% de fécula de batata, 17% de farinha de arroz e 17% de farinha de quinoa apresentaram características físicas equivalentes às do pão sem glúten padrão.

Os pães com teores de quinoa de 17% e 33%, além de apresentarem melhores características físicas, são financeiramente mais acessíveis, uma vez que a incorporação de quinoa, apesar de agregar nutrientes aos produtos, aumenta acentuadamente seus custos.

Assim, decidiu-se por analisar sensorialmente tais formulações, a fim de comparar suas aceitabilidades à do pão sem glúten padrão e à de um pão sem glúten comercialmente disponível.

5.3 Análise sensorial

Participaram da análise sensorial dos produtos 63 provadores com idade entre 16 e 57 anos, sendo 22 do sexo masculino e 41 do sexo feminino. Na Tabela 14 são apresentadas as médias de aceitação por atributos sensoriais.

Tabela 14 – Médias de aceitação por atributos de pão comercial, pão padrão, pão contendo 33 % de farinha de quinoa e pão contendo 17% de farinha de quinoa

Ensaio	Proporção de cada componente na mistura			Atributos sensoriais					
	F.A	F.B	F.Q	Aparência	Cor	Aroma	Textura	Sabor	Aceitação global
Pão comercial				7,2 ^a ±1,51	7,2 ^b ±1,53	6,7 ^a ±1,82	6,9 ^a ±1,75	6,6 ^{ab} ±1,96	6,7 ^{ab} ±1,81
Pão padrão	0,00	0,50	0,50	7,7 ^a ±0,99	7,6 ^{ab} ±1,15	7,0 ^a ±1,34	7,0 ^a ±1,38	7,1 ^a ±1,33	7,1 ^a ±1,39
Pão 33% Quinoa	0,33	0,33	0,33	7,5 ^a ±1,38	7,4 ^{ab} ±1,37	6,4 ^a ±1,78	6,7 ^a ±1,47	6,0 ^b ±1,97	6,3 ^b ±1,94
Pão 17% Quinoa	0,17	0,66	0,17	7,7 ^a ±1,08	7,9 ^a ±1,03	6,9 ^a ±1,71	7,0 ^a ±1,61	6,8 ^a ±1,74	6,9 ^{ab} ±1,66

As médias seguidas por letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si ($p \leq 0,05$).

F.A = farinha de arroz; F.B = fécula de batata; F.Q = farinha de quinoa

Os produtos avaliados foram igualmente aceitos em relação à aparência, aroma e textura.

Em relação à cor, a amostra contendo 17% de farinha de quinoa apresentou maior aceitabilidade entre os provadores em relação ao pão sem glúten comercial, porém aceitabilidade equivalente aos demais produtos formulados - pão padrão e pão contendo 33% de farinha de quinoa.

Quanto ao sabor, a amostra contendo 33% de farinha de quinoa obteve menor média dentre os pães avaliados, tendo apresentado leve residual amargo, conforme comentários descritos por provadores nas fichas de avaliação. O pão sem glúten comercial, o pão padrão e o pão contendo 17% de farinha de quinoa foram igualmente aceitos em relação ao sabor.

Borges et al. (2013) observaram boa aceitação entre os provadores de pães contendo 10 e 15% de farinha de quinoa em substituição a farinha de trigo. Os produtos avaliados neste estudo apresentaram escores localizados entre os termos “gostei moderadamente” e “gostei muito”, além de terem apresentado atitude positiva quanto à intenção de compra. De maneira similar, Gewehr (2010) obteve índices de aceitabilidade superiores a 70% ao analisar pães de forma adicionados de quinoa, não tendo encontrado diferença estatística significativa entre os produtos em relação aos parâmetros sensoriais analisados, mesmo considerando teores crescentes de quinoa.

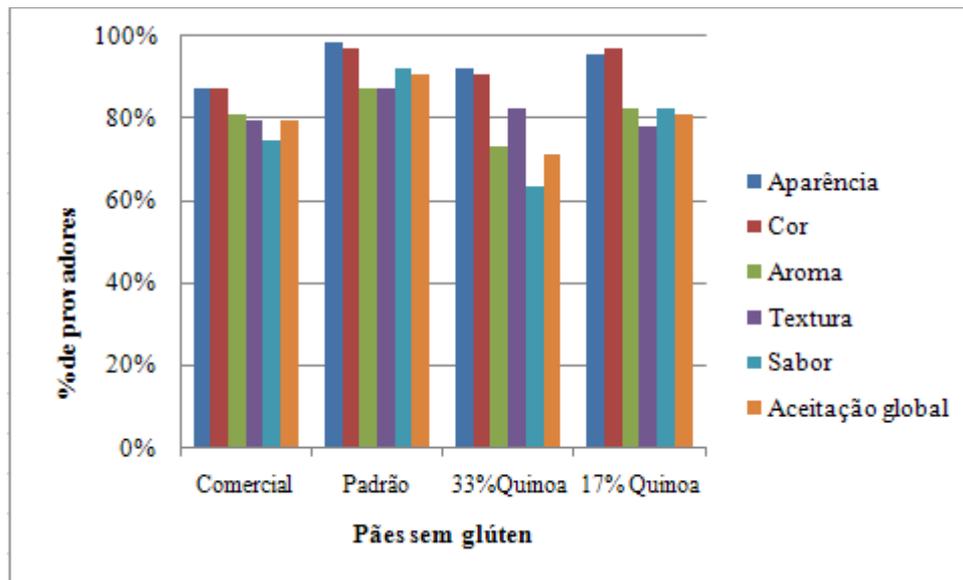
Ao contrário, Lopes et al. (2009) observaram índice de aceitabilidade inversamente proporcional à quantidade de farinha de quinoa adicionada a formulação de bolinhos fritos, que apresentaram, conforme comentários dos julgadores deste estudo, sabor típico e desagradável. Lorenz e Coulter (1991) observaram que a substituição de trigo por quinoa em nível de 30% gerou pães com sabor residual repugnante. Mastebroek et al. (2000) correlacionaram sabor residual amargo à presença de saponinas.

Em relação a produtos sem glúten, Alvarez-Jubete et al. (2010) não observaram diferença significativa na aceitabilidade de pães feitos com amaranto, quinoa ou trigo sarraceno em comparação a um pão controle, a base de farinha de arroz e fécula de batata. Neste estudo, os pães contendo quinoa apresentaram médias superiores aos produzidos com os outros pseudocereais testados. Capriles (2009) obteve médias de valores hedônicos entre 6 – “gostei ligeiramente” e 7 – “gostei muito” para pães produzidos com farinha de amaranto.

Os resultados obtidos no presente estudo mostraram que a aceitação global do pão contendo 33% de farinha de quinoa foi inferior à do pão padrão. Já o pão contendo esta farinha em proporção de 17% da mistura apresentou aceitação global equivalente ao do pão desenvolvido sem este pseudocereal. Ainda em relação a este atributo, observa-se que os produtos formulados neste trabalho foram igualmente aceitos em relação ao produto comercialmente disponível.

O Gráfico 9 apresenta a soma das frequências de notas de 6 a 9 para os produtos avaliados.

Gráfico 9 – Distribuição de freqüências de notas de 6 a 9 da aceitação sensorial.



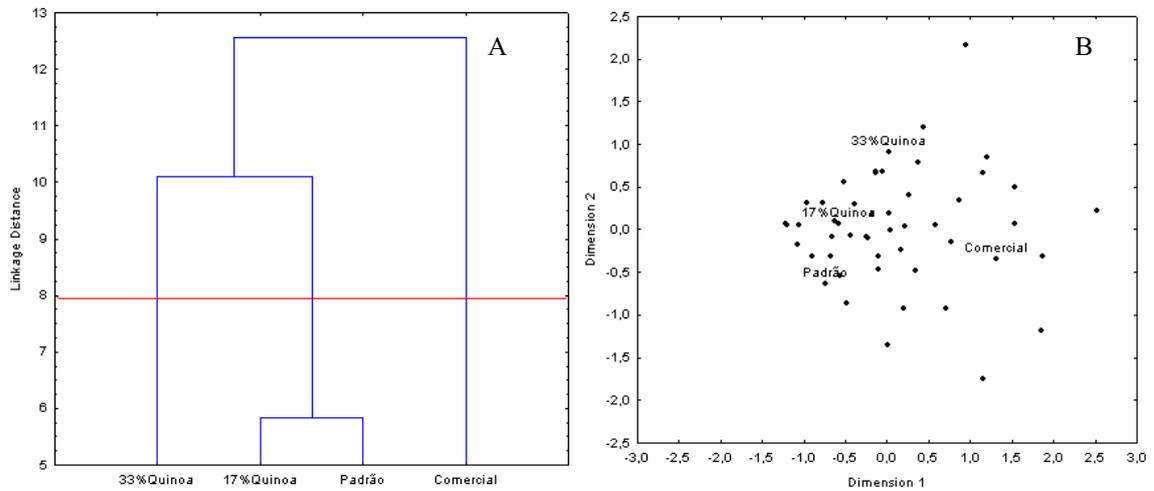
Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Conforme Conti-Silva, Silva, Arêas (2011), produtos podem ser considerados aceitos quando 50% dos provadores atribuíram pelo menos, nota 6 (“gostei levemente”) para as amostras, sendo este, portanto, o ponto de corte mínimo de aceitabilidade. Desta forma, observa-se que todos os produtos avaliados foram bem aceitos em relação a todos os atributos.

Aroma, sabor e aceitação global dos pães sem glúten contendo 33% de quinoa foram os atributos com menores somas de freqüência de notas de 6 a 9. Para os demais produtos avaliados, observa-se que pelo menos 75% dos provadores atribuíram notas iguais ou superiores a 6 para todos os atributos.

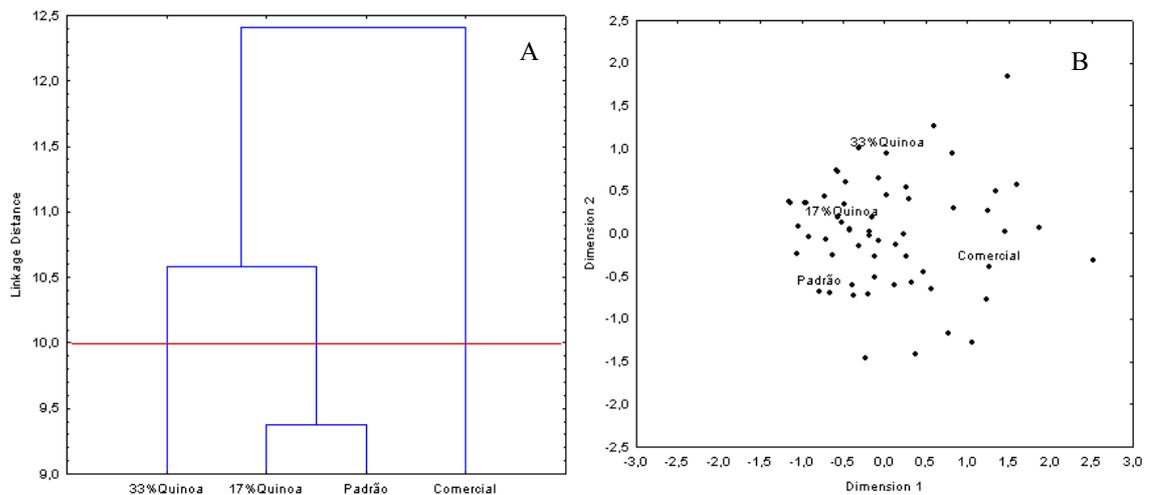
Os Gráficos 10 a 15 apresentam os dendogramas e os mapas de preferência interno para aparência, cor, aroma, textura, sabor e aceitação global dos pães avaliados. Nos dendogramas, observa-se o agrupamento das amostras em função da preferência dos provadores. Nos mapas observa-se a dispersão espacial dos provadores. Cada provador é simbolizado por um ponto. A quantidade de provadores ao redor da amostra indica o quanto esta é preferida em relação às demais.

Gráfico 10 – Dendograma (A) e mapa de preferência interno (B) do atributo aparência.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Gráfico 11 – Dendograma (A) e mapa de preferência interno (B) do atributo cor.



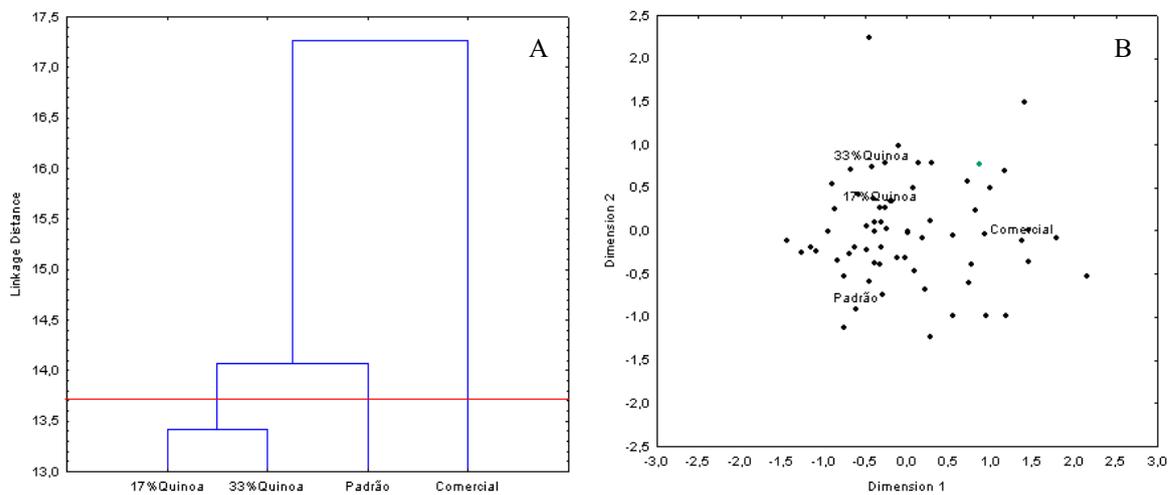
Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Nota-se em relação aos atributos aparência e cor, a presença de três grupos de amostras: pão comercial, pães 17% quinoa e padrão, pão 33% quinoa. É possível observar nos mapas destes dois atributos que apesar da dispersão dos pontos, há uma maior quantidade de provadores ao redor das amostras padrão e 17% quinoa, indicando a preferência pela aparência e cor das amostras deste grupo. Poucos provadores são visualizados próximos a amostra comercial, confirmando menor aceitação desta amostra em relação a estes atributos.

Conforme observações apontadas nas fichas de avaliação, a mesma apresentou casca com aparência extremamente ressecada.

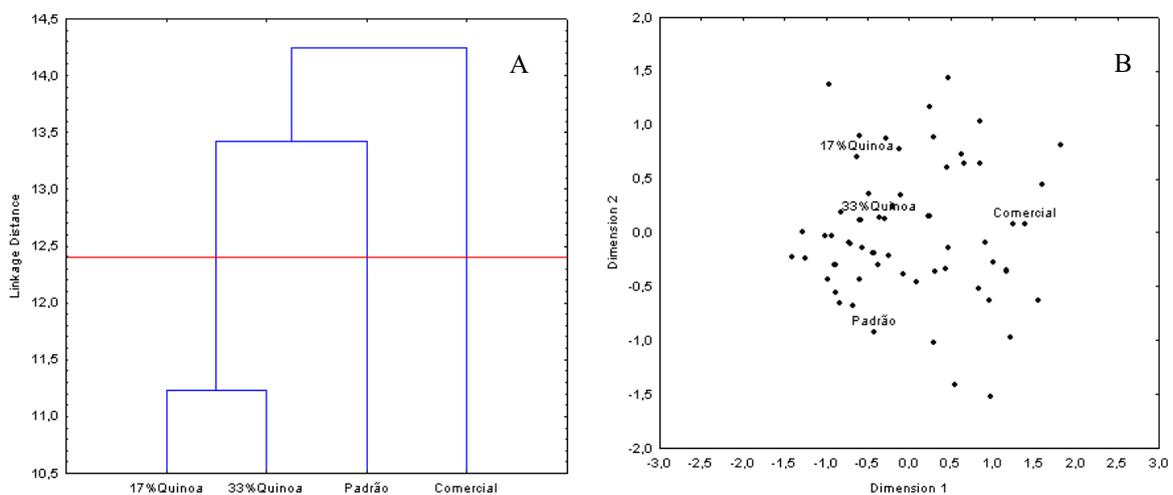
Quanto aos atributos aroma e textura, observa-se que os produtos contendo quinoa formam um único grupo em função da preferência dos provadores. Dois outros grupos, pão comercial e pão padrão, podem ainda ser visualizados nos dendogramas. Verifica-se nos mapas que os pães contendo quinoa foram preferidos em relação aos demais produtos nos quesitos aroma e textura (Gráficos 12 e 13).

Gráfico 12 – Dendograma (A) e mapa de preferência interno (B) do atributo aroma.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

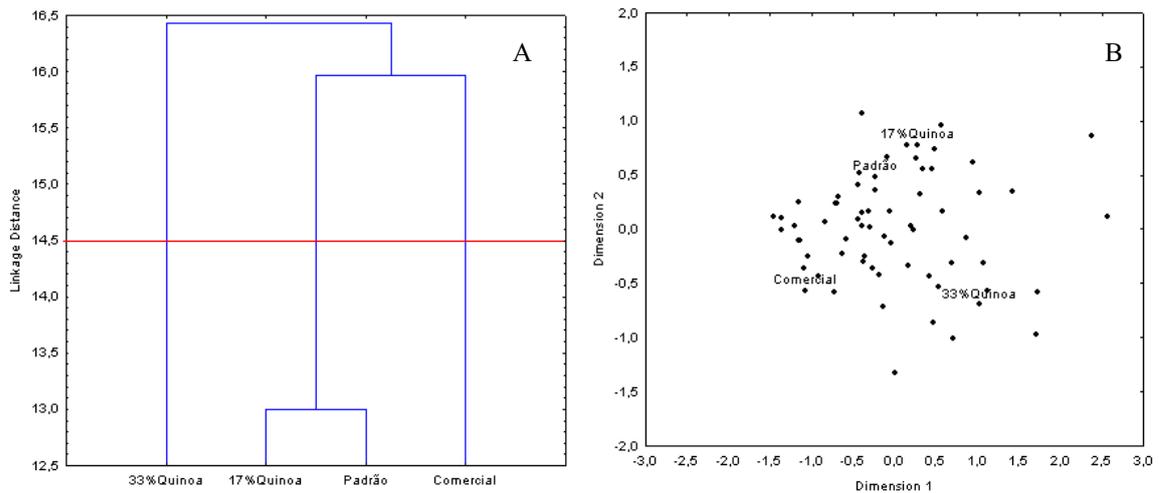
Gráfico 13 – Dendograma (A) e mapa de preferência interno (B) do atributo textura.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

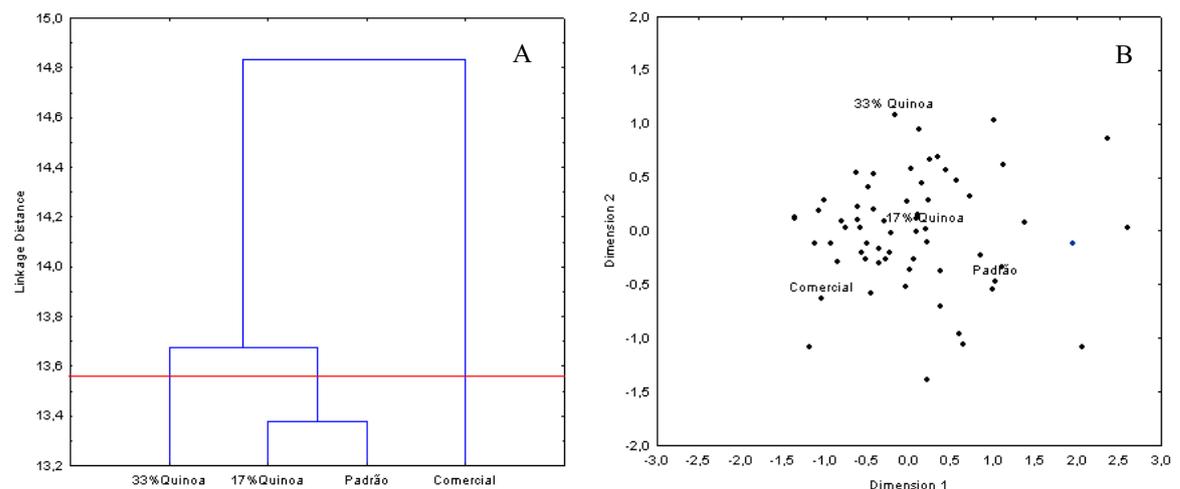
Para os atributos sabor e aceitação global (Gráficos 14 e 15), nota-se mais uma vez a formação de três grupos de amostras. De maneira similar aos atributos aparência e cor, observam-se novamente as amostras 17% quinoa e padrão unidas em um único grupo. A maior concentração de provadores ao redor destas amostras indica que são preferidas em relação aos demais produtos analisados (pão comercial e 33% quinoa).

Gráfico 14 – Dendograma (A) e mapa de preferência interno (B) do atributo sabor.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

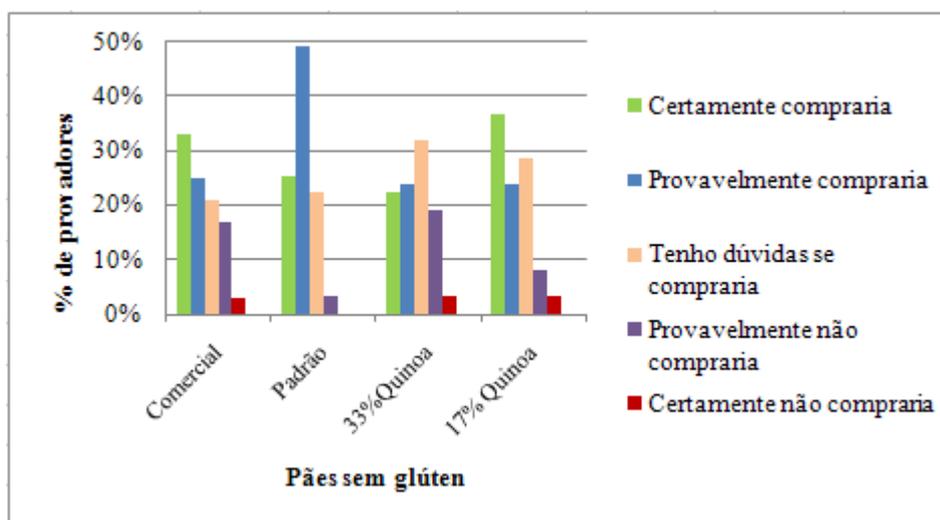
Gráfico 15 – Dendograma (A) e mapa de preferência interno (B) da aceitação global.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A intenção de compra dos produtos é demonstrada no Gráfico 16. Verifica-se que 61% dos provadores possuem atitude positiva de compra para o pão contendo 17% de quinoa, uma vez que provavelmente comprariam ou certamente comprariam o produto. O pão contendo 33% de quinoa apresentou atitude positiva de compra para 45% dos provadores. Para o produto padrão, 74% dos provadores demonstraram atitude positiva de compra, enquanto que para o produto comercial, 58% dos provadores.

Gráfico 16 – Intenção de compra de pães sem glúten.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Em resumo, os produtos formulados com quinoa apresentaram adequada aceitabilidade. Destaca-se a formulação contendo 17% deste pseudocereal como aquela com maior viabilidade de produção pela preferência por parte dos provadores em vários atributos sensoriais, bem como pela grande similaridade com a formulação padrão.

5.4 Composição físico-química

Considerando a aceitabilidade da formulação contendo 17% de quinoa, foi realizada análise de sua composição centesimal a fim de quantificar o incremento nutricional obtido em relação ao pão sem glúten padrão. Os dados podem ser visualizados na Tabela 15.

Tabela 15 – Composição centesimal (g/100g) e valor calórico (kcal) dos pães sem glúten padrão e contendo 17% de farinha de quinoa

	Pão padrão (50% F.A, 50% F.B)	Pão 17% quinoa (66% F.B, 17% F.A, 17% F.Q)
Umidade	41,2 ^a ± 0,14	40,7 ^b ± 0,03
Cinzas	1,7 ^b ± 0,03	1,9 ^a ± 0,04
Lipídeos	5,7 ^a ± 0,08	5,7 ^a ± 0,09
Proteínas	4,8 ^a ± 0,11	4,8 ^a ± 0,12
Fibra alimentar total	2,5	3,6
Fibra Insolúvel	1,5 ^b ± 0,05	2,3 ^a ± 0,04
Fibra Solúvel	1,0 ^b ± 0,01	1,3 ^a ± 0,04
Carboidratos disponíveis	44,1	43,3
Valor calórico	247	244

F.A = farinha de arroz; F.B = fécula de batata; F.Q = farinha de quinoa

As médias seguidas por letras diferentes, na mesma linha, diferem entre si ($p \leq 0,05$).

É possível observar que os pães analisados apresentam mesmos teores de lipídeos e proteínas, porém, diferentes teores de umidade, cinzas e fibra alimentar.

Os teores de umidade dos produtos desenvolvidos se mostraram superiores ao indicado para pães de forma, 38 %, conforme legislação brasileira (BRASIL, 2000). Tais valores certamente foram influenciados pela adição de goma xantana e carboximetilcelulose às formulações, uma vez que os hidrocolóides apresentam elevada capacidade higroscópica. Alvarez-Jubete et al. (2010) observaram teor de umidade 47,5% para pão sem glúten à base de farinhas de arroz e quinoa. Mesmo teor foi observado por McCarthy et al. (2005) em uma formulação otimizada de pão sem glúten à base de farinha de arroz e fécula de batata. Em trabalho de Wronkowska, Haros e Soral-Smietana (2013), os produtos desenvolvidos apresentaram teor de umidade 52%. A umidade excessiva implica em maior suscetibilidade a proliferação de bolores e leveduras, prejudicando a conservação dos produtos (ESTELLER, LANNES, 2005). Em relação a pães sem glúten, entretanto, este problema é minimizado pela comercialização na forma congelada.

O maior conteúdo de cinzas está relacionado com o maior teor de minerais presentes na farinha de quinoa. Os valores observados no presente estudo foram próximos aos encontrados por Borges et al. (2013), que visualizaram 1,8% de cinzas em pães contendo 15% de farinha de quinoa.

Os teores de proteínas e lipídeos encontrados foram similares aos de pães sem glúten desenvolvidos por Schamne (2007) e pães sem glúten tipo francês desenvolvidos por Nadal

(2013). Laureati, Giussani e Pagliarini (2012) apresentaram em seu estudo a informação nutricional de cinco marcas italianas de pão sem glúten, onde o teor de proteínas situava-se entre 2,4 e 4,5 g/100g e o teor de lipídeos entre 5 e 6,7 g/100g, também próximos aos obtidos no presente trabalho.

Para pães a base de farinha de trigo, a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (NEPA-UNICAMP, 2011) apresenta teores de proteína de 12%. Não obstante o uso de quinoa, a formulação desenvolvida no presente estudo apresentou nível protéico inferior. A elevada proporção de fécula de batata utilizada certamente relaciona-se ao menor teor de proteína obtido, visto que esta é uma matéria-prima constituída basicamente por carboidratos. Em relação ao pão sem glúten comercial Beladri[®], o produto desenvolvido neste estudo mostrou-se similar em termos protéicos, uma vez que, conforme rotulagem, o produto comercial apresenta 4,6 g de proteínas/ 100g de produto.

O pão contendo 17% de farinha de quinoa apresentou 3,6 g de fibra alimentar total por 100 g de produto, enquanto que o pão convencional apresentou para a mesma quantidade de produto, 2,5 g. Ou seja, para este componente houve um incremento nutricional de 44% em função da incorporação de quinoa à formulação. As fibras insolúveis, fundamentais à saúde intestinal, estão presentes em teor 53% superior no pão contendo quinoa quando comparado ao pão convencional. Já em relação às fibras solúveis, que reduzem a absorção de glicose e gorduras, auxiliando no controle do diabetes e hipercolesterolemias, o incremento obtido foi de 30 %. De maneira similar, em estudo de Borges et al. (2013), a incorporação de 15 % de farinha de quinoa à formulação de pães de forma culminou em um aumento de 36 % no teor de fibra alimentar total.

A informação nutricional complementar facilita o entendimento do consumidor sobre as propriedades nutricionais do alimento e contribui para a seleção adequada dos mesmos. De acordo com ANVISA (2012), para se declarar que um alimento é fonte de fibras alimentares, o mesmo deve conter no mínimo 3g de fibras por 100g de alimento. Baseando-se neste valor, pode-se dizer que o pão sem glúten contendo 17% de farinha de quinoa é um alimento fonte de fibras.

6 CONCLUSÃO

A farinha de quinoa diminui a expansão, aumenta a firmeza do miolo e escurece os pães sem glúten. O maior teor de fibras desta matéria-prima certamente afeta a formação do gel entre amido e hidrocolóides, gerando menor retenção de gases na massa. A maior quantidade de proteínas da quinoa facilita a ocorrência de reações de Maillard, acentuando o escurecimento dos produtos.

Não obstante tais impactos negativos, quando incorporada à formulação em níveis de 17 e 33 % da mistura, a quinoa pode gerar produtos com características físicas adequadas. No presente estudo, os pães contendo farinha de arroz, fécula de batata e farinha de quinoa em iguais proporções apresentaram volume específico médio de $2,2 \text{ g/cm}^3$ e firmeza de 10,34 N. Já o pão contendo 66% de farinha de arroz, 17% de fécula de batata e 17% de farinha de quinoa apresentou volume específico de $2,15 \text{ g/cm}^3$ e firmeza de 10,37 N. Dentre todas as formulações contendo quinoa, estes tratamentos foram os que apresentaram características físicas mais próximas às obtidas no pão padrão, isento de pseudocereal.

Em termos sensoriais, a incorporação de quinoa em teor de 33 % da mistura prejudicou o sabor e a aceitação global dos pães em relação à formulação padrão. Conforme comentários descritos pelos provadores nas fichas de avaliação, gosto residual amargo foi percebido nos pães contendo tal proporção de quinoa. Já os produtos contendo 17% de farinha de quinoa, 66% de fécula de batata e 17% de farinha de arroz se mostraram similares ao produto padrão e foram, de forma global, preferidos pelos provadores conforme visualizado nos mapas de preferência interno. Os pães contendo 17% de farinha de quinoa apresentaram ainda positiva intenção de compra por mais de 60% dos julgadores.

Maiores teores de fibras e minerais foram observados nos produtos contendo 17% de quinoa em comparação ao produto padrão. Considerando os teores apresentados, tal pão sem glúten pode ser considerado alimento fonte de fibra alimentar, conforme a legislação brasileira. O importante incremento nutricional obtido mesmo frente a uma pequena proporção de farinha de quinoa reforça o potencial de uso deste pseudocereal como ingrediente para produtos sem glúten.

Os pães formulados neste estudo apresentaram características sensoriais equivalentes ou superiores às do pão comercial, indicando que possuem, portanto, bom potencial de mercado.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ-JUBETE, L.; ARENDT, E. K.; GALLAGHER, E. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science and Technology*, Cambridge, v. 21, p. 106-113, 2010.

ALVAREZ-JUBETE, L. et al. Baking properties and microstructure of pseudocereals flours in gluten-free bread formulations. *European Food Research Technology*, Germany, v. 230, n. 3, p. 437-445, 2010.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 10th ed. St. Paul, 2000.

ARAÚJO, H. M. C. et al. Doença celíaca, hábitos e práticas alimentares e qualidade de vida. *Revista de Nutrição*, Campinas, v. 23, n. 3, p. 467-474, 2010.

ARENDT, E. K. et al. Gluten-free breads. In: ARENDT, E. K.; DAL BELLO, F. *Gluten-free Cereal Products and Beverages*. London: Academic Press, 2008. p. 289-319.

_____. Development of gluten-free cereal products. *Farm Food*, London, v. 12, p. 21-27, 2002.

ARENDT, E.K.; RENZETTI, S.; DAL BELLO, F. Dough microstructure and textural aspects of gluten-free yeast bread and biscuits. In: GALLAGHER, E. *Gluten-Free Food Science and Technology*, United Kingdom: Wiley-Blackwell, 2009, p. 107-129.

ASCHERI, J.; NASCIMENTO, R.; SPEHAR, C. Composição química comparativa de farinha instantânea de quinoa, arroz e milho. *Comunicado Técnico*. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, n. 52, p. 1-4, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS DIETÉTICOS E PARA FINS ESPECIAIS (ABIAD). [Home page.]. Disponível em: <<http://www.abiad.org.br>>. Acesso em: 27 jun. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE PANIFICAÇÃO E CONFEITARIA (ABIP). [Home page.]. *Análise do mercado de pães*. Disponível em: <<http://www.abip.org.br>>. Acesso em: 27 jun. 2014.

ASSOCIAÇÃO DOS CELÍACOS DO BRASIL (ACELBRA). [Home page.]. Disponível em: <<http://www.acebra.org.br>>. Acesso em: 07 mar. 2013.

ÁVILA, E. R. L. G. *Utilização de amêndoas de frutos do cerrado na produção de pães sem glúten*. 2012. 86 f. Dissertação (Mestrado em saúde e desenvolvimento na região centro-oeste). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2012.

BARROS NETO, B. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. *Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria*. Campinas: Editora da Unicamp, 2007.

_____. *Planejamento e otimização de experimentos*. Campinas: Editora da Unicamp, 1995.

BLACK, J. L.; ORFILA, C. Impact of coeliac disease on dietary habits and quality of life. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*. United Kingdom, v. 24, p. 582-587, 2011.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, Ottawa, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BORGES, J.T. et al. Caracterização físico-química e sensorial de pão de forma contendo farinha mista de trigo e quinoa. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 305-319, 2013.

_____. Características físico-químicas, nutricionais e formas de consumo da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Temas Agrários*, Monteria, vol. 15, n. 1, p. 9-23, 2010.

BORGES, J.T. et. al. Propriedades de cozimento e caracterização físico-química de macarrão pré-cozido a base de farinha integral de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) e de farinha de arroz (*Oryza sativa*, L) polido por extrusão termoplástica. *Boletim CEPPA* 21, Curitiba, v. 21, n. 2, p. 303-322, 2003.

BOTELHO, F. S. *Efeito das gomas xantana e/ou guar na textura de pães isentos de glúten elaborados com farinhas de arroz e de milho*. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Gastronômicas), Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

BRASIL. *Lei 10.674, de 16 de maio de 2003*. Obriga a que os produtos alimentícios comercializados informem sobre a presença de glúten, como medida preventiva e de controle da doença celíaca. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/10.674.htm>. Acesso em: 05 mai.2013.

_____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003*. Aprova regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. Disponível em: <http://www.portal.anvisa.gov.br/resolucaordcn360_de_23_de_dezembro_de_2003.pdf/>. Acesso em 10 out. 2013.

_____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Portaria RDC nº 90, de 18 de outubro de 2000*. Aprova regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade do pão. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/alimentos/legis/especifica/regutec.htm>>. Acesso em: 10 out. 2013.

_____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Portaria nº29, de 13 de janeiro de 1998*. Aprova o regulamento técnico referente a alimentos para fins especiais. *Diário Oficial da União*; Poder Executivo, Brasília, DF, 30 mar. 1998.

_____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Portaria RDC nº 54, de 12 de novembro de 2012*. Dispõe sobre o regulamento técnico sobre informação nutricional complementar. Disponível em: <http://www.portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/630a98804d7065b981f1e1c116238c3b/Rsolucao+RDC+n.+54_2012.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em: 27 nov. 2013.

BUENO, M. M. *Desenvolvimento e aceitabilidade de pão de forma enriquecido com polidextrose e flocos de quinoa*. 2012. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Alimentos). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves, 2012.

CANELLA-RAWLS, S. *Pão: arte e ciência*. São Paulo: Senac, 2003.

CAPERUTO, L., AMAYA-FARFAN, J., CAMARGO, C. Performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) flour in the manufacture of gluten-free spaghetti. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, United Kingdom, v. 81, n. 1, p. 95-101, 2001.

CAPRILES, V. D. *Otimização de propriedades nutricionais e sensoriais de produtos a base de amaranto enriquecidos com frutanos, para intervenção em celíacos*. 2009. 199 f. Tese (Doutorado em Ciências). Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CASTRO, L. I. A. et al. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): digestibilidade em vitro, desenvolvimento e análise sensorial de preparações destinadas a pacientes celíacos. *Alimentos e Nutrição*, Araraquara, v. 18, n. 4, p. 413-419, 2007.

CATASSI, C.; FASANO, A. Celiac disease. In: ARENDT, E. K.; DAL BELLO, F. *Gluten-free Cereal Products and Beverages*. London: Academic Press, 2008, p. 1-27.

CAUVAIN, S.P. Improving the texture of bread. In: MCKENNA, B.M. *Texture in food*. Cambridge: Woodhead, 2004, v. 2, p. 432-450.

CÉSAR, A. S. et al. Elaboração de pão sem glúten. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 53, n. 306, p. 150-155, 2006.

CLYDESDALE, F.M. Color measurement. In: GRUENWEDEL, D.W.; WHITAKER, J.R.(Ed.) *Food analysis: principles and techniques*. New York: Marcel Dekker, v. 1, p. 95-150, 1984.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. *Codex Stan 118 – 1979*: codex standard for foods for special dietary use for persons intolerant to gluten. Ed rev. Geneva, 2008.

COMAI, S. et al. The content of proteic and nonproteic (free and protein-bound) tryptophan in quinoa and cereal flours. *Food Chemistry*, London, v. 100, n. 4, p. 1350-1355, 2007.

CONTI-SILVA, A. C.; SILVA, M. E. M. P.; ARÊAS, J. A. G. Sensory acceptability of raw and extruded bovine rumen protein in processed meat products. *Meat Science*, Barking, v. 88, p. 652-656, 2011.

COOK H.B. et al. Adult coeliac disease: prevalence and clinical significance. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, Australia, v. 15, p. 1032–1036, 2000.

CORNELL, J. A. *Experiments with mixtures: designs, models and the analysis of mixtures data*. New York: Wiley, 1990.

CURETON, P., FASANO, A. The Increasing Incidence of Celiac Disease and the Range of Gluten-Free Products in the Marketplace. In: GALLAGHER, E. *Gluten-Free Food Science and Technology*, United Kingdom: Wiley-Blackwell, 2009, p. 1-15.

DAVIDSON, L. S. P.; FOUNTAIN, J. R. Incidence of sprue syndrome with some observation on the natural history. *British Medical Journal*, London, v. 1, p. 1157-1161, 1950.

DEMIRKESEN, I. et al. Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 96, n. 2, p. 295-303, 2010.

DOGAN, H., KARWE, M. Physicochemical properties of quinoa extrudates. *Food Science and Technology International*, London, v. 9, n. 2, p. 101-114, 2003.

DUTCOSKY, S.D. *Análise sensorial de alimentos*. 3ª ed. Curitiba: Champagnat, 2011.

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

ESTELLER, M. S. *Modificações estruturais de produtos panificados por processos de tratamento térmico e bioquímico*. 2007. 154 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica). Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

_____; LIMA, A. C. O.; LANNES, S. C. S. Color measurements in hamburger buns with fat and sugar replacers. *Lebensmittel-Untersuch Technology*, Germany, v. 39, n. 1, 2006.

_____; LANNES, S. C. S. Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 25, n. 4, p. 802-806, 2005.

ESTELLER, M.S. *Fabricação de pães com reduzido teor calórico e modificações reológicas ocorridas durante o armazenamento*. 2004. 248 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica). Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

_____.; AMARAL, R. L.; LANNES, S. C. S. Effect of sugar and fat replacers on the texture of baked goods. *Journal of Texture Studies*, Westport, v. 35, n. 4, p. 383-393, 2004.

EVANGELHO, J. M. et al. Propriedades tecnológicas e nutricionais de pães preparados com diferentes proporções de farinha de arroz e farinha de arroz extrusada. *Revista Brasileira Agrociência*, Pelotas, v. 18, n. 4, p. 264-282, 2012.

FASANO, A. et al. Prevalence of celiac disease in at-risk and not-at-risk groups in the United States. *Archives of Internal Medicine*, United States, v. 163, p. 286-292, 2003.

FASANO, A.; CATASSI, C. Current approaches to diagnosis and treatment of celiac disease: an evolving spectrum. *Gastroenterology*, Philadelphia, v. 120, p. 636-651, 2001.

FARIA, E. V.; YOTSUYANAGI, K. *Técnicas de Análise Sensorial*. Campinas: ITAL, 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *The international year of quinoa*. Disponível em: <<http://www.fao.org/quinoa-2013/en/>>. Acesso em: 07 fev.2014.

FOOD AND NUTRITION BOARD. Institute of Medicine. *Dietary References Intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids (Macronutrients)*. Washington DC: The National Academies Press, 2005. Disponível em: <<http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309085373>>. Acesso em 07 fev. 2014.

_____. Institute of Medicine. *Dietary References Intakes for calcium, phosphorus, magnesium, vitamin D and fluoride*. Washington DC: The National Academies Press, 1997. Disponível em: <<http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309085373>>. Acesso em 07 fev. 2014.

_____. Institute of Medicine. *Dietary References Intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium e zinc*. Washington DC: The National Academies Press, 2001. Disponível em: <<http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309085373>>. Acesso em 07 fev. 2014.

FRANGELLA, V. S.; TCHAKMAKIAN, L. A.; PEREIRA, M. A. G. Aspectos Nutricionais e Técnicos na Área Clínica. In: SILVA, S. M. C. S.; MURA, J. D. P. *Tratado de alimentação, nutrição e dietoterapia*. São Paulo: Roca, 2007, p.437-444.

FRANGIPANI, B. J.; OLIVEIRA, R. B. Terapia Nutricional em Erros Inatos do Metabolismo. In: SILVA, S. M. C. S.; MURA, J. D. P. *Tratado de alimentação, nutrição e dietoterapia*. São Paulo: Roca, 2007, p.799-810.

GALANTE, A. P.; NOGUEIRA, C. S.; MARI, E. T. L. Biodisponibilidade de minerais. In: SILVA, S. M. C. S.; MURA, J. D. P. *Tratado de alimentação, nutrição e dietoterapia*. São Paulo: Roca, 2007, p. 105-112.

GALLAGHER, E. et al. The effect of dairy and rice powder addition on loaf and crumb characteristics and on shelf life (intermediate and long term) of gluten-free breads stored in a modified atmosphere. *European Food Research Technology*, Berlin, v. 218, n. 1, p. 44-48, 2003.

GANDOLFI, L. et al. Prevalence of celiac disease among blood donors in Brazil. *American Journal of Gastroenterology*, United States, v. 95, n. 1, p. 689-692, 2000.

GEWERH, M. F. *Desenvolvimento de pão de forma com adição de quinoa*. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

GOMEZ, J.C. et al. Prevalence of celiac disease in Argentina: screening of an adult population in the La Plata area. *American Journal of Gastroenterology*, United States, v. 96, n. 1, p. 2700-2704, 2001.

GREEN, P. The many faces of celiac disease: clinical presentation of celiac disease in the adult population. *Gastroenterology*, Philadelphia, v.128, n. 4, p. 74-78, 2005.

GUJRAL, H. S. et al. Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, California, v. 51, n. 13, p. 3814-3818, 2003.

GUJRAL, H.S.; ROSELL, C. M. Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science*, London, v. 39, n. 1, p. 225-230, 2004.

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

HELLER, L. Commercial aspects of gluten-free products. In: GALLAGHER, E. *Gluten-free foods science and technology*. United Kingdom: Wiley-Blackwell, 2009, p. 99-106.

HOUBEN, A.; HOCHSTOTTER, A.; BECKER, T. Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. *European Food Research and Technology*, Berlin, v. 235, n. 2, p. 195-208, 2012.

HOVELL, C.J. et al. High prevalence of coeliac disease in a population-based study from Western Australia: a case for screening? *Medical Journal of Australia*, Sidney, v. 175, n. 5, p. 247-250, 2001.

JACOB, C. M. A. et al. Alergia Alimentar. In: SILVA, S. M. C. S.; MURA, J. D. P. *Tratado de alimentação, nutrição e dietoterapia*, São Paulo: Roca, 2007, p. 849-861.

JACOBSEN, E.; SKADHAUGE, B.; JACOBSEN, S. Effect of dietary inclusion of quinoa on broiler growth performance. *Animal Feed Science and Technology*, Amsterdam, v. 65, n. 1/4, p. 5-14, 1997.

JAMES, L.E.A. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional and functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research*, Lincoln, v. 58, p. 1- 31, 2009.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. *Applied multivariate statistical analysis*. 3rd ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992.

KATINA, K. et al. Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. *LWT Food Science and Technology*, London, v. 39, n. 5, p. 479-491, 2006.

KOZIOL, M. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of Food Composition and Analysis*, San Diego, v. 5, n. 1, p. 35-68, 1992.

_____. Composición química. In: WAHLI, C. *Quinua: hacia su cultivo comercial*. Quito: Latinreco, 1990, p. 137-159.

KRUSKAL, J. B.; WISH, M. *Multidimensional scaling*. Newbury Park: Sage, 1978.

KUPPER, C. Dietary guidelines and implementation for celiac disease. *Gastroenterology*, Philadelphia, v. 128, supl. 1, p. S121-S127, 2005.

LAUREATI, M.; GIUSSANI, B.; PAGLIARINI, E. Sensory and hedonic perception of gluten-free bread: comparison between celiac and non-celiac subjects. *Food Research International*, Ottawa, v. 46, n. 1, p. 326-333, 2012.

LEE, A. R. et al. The effect of substituting alternative grains in the diet on the nutritional profile of the gluten-free diet. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*. Oxford, v. 22, p. 359-363, 2009.

_____. Economic burden of a gluten free diet. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, Oxford, England, v. 20, n. 5, p. 423-430, 2007.

LEE, A.; NEWMAN, J.M. Celiac diet: its impact on quality of life. *Journal of the American Dietetic Association*, Chicago, v. 103, n. 11, p. 1533-1535, 2003.

LOPES, C. O. et al. Aproveitamento, composição nutricional e antinutricional da farinha de quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Alimentos e Nutrição*, Araraquara, v. 20, n. 4, p. 669-675, 2009.

LÓPEZ, A. C. B.; PEREIRA, A. J. G.; JUNQUEIRA, R. G. Flour mixture of rice flour, corn and cassava starch in the production of gluten-free white bread. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v. 47, n. 1, p. 63-70, 2004.

LORENZ, K.; COULTER, L.; JOHNSON, D. Functional and sensory characteristics of quinoa in foods. *Developments in Food Science*, Cos, v. 37, n. 1, p. 1031-1041, 1995.

LORENZ, K.; COULTER, L. Quinoa flour in baked products. *Plant Foods for Human Nutrition*, Fort Collins, v. 41, p. 213-223, 1991.

MACFIE, H. J. H.; THOMSON, D. M. H. Preference mapping and multidimensional scaling. In: PIGGOTT, J. R. *Sensory Analysis of Food*. 2nd ed. New York: Elsevier, 1988, p. 389.

MARKET RESEARCH.COM. *Gluten-free foods and beverages in the U.S.* 3rd ed. Rockville: Packaged Facts, 2011. Disponível em:
<<http://www.marketresearch.com/packagedfactsv768/glutenfreefoodsbeveragesedition2710664>>. Acesso em: 03 mar 2014.

MASTREBOEK, H. et al. Occurance of sapogenis in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, London, v. 80, n. 1, p. 152-156, 2000.

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

McCARTHY, D.F. et al. Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. *Cereal Chemistry*, Saint Paul, v. 82, n. 5, p. 609-615, 2005.

MENDOZA, N. Coeliac disease: an overview of diagnosis, treatment and management. *Nutrition Bulletin*, Londres, v.30, n. 3, p. 231-236, 2005.

MILDE, L. B.; RAMALLO, L. A.; PUPPO, M. C. Gluten-free bread based on Tapioca Starch: Texture and Sensory Studies. *Food and Bioprocess Technology*, New York, v. 5, n. 3, p. 888-896, 2012.

MINE, Y. Recent advances in egg protein functionality in the food system. *World's Poultry Science Journal*, Cambridge, v. 58, n. 1, p. 31-39, 2002.

MOORE, M. M. et al. Textural comparison of gluten-free and wheat based doughs, batters and breads. *Cereal Chemistry*, Saint Paul, v. 81, n. 5, p. 567-575, 2004.

MURRAY, J. A. The widening spectrum of celiac disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, Nova York, v. 69, p. 354-363, 1999.

NADAL, J. *Desenvolvimento e caracterização de pão sem glúten tipo francês*. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado em Segurança Alimentar e Nutricional). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISA EM ALIMENTOS (NEPA). *Tabela brasileira de composição de alimentos*, 4ª ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011, p. 161.

Disponível em:

<http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf?arquivo=taco_4_versao_ampliada_e_revisada.pdf>. Acesso em: 10 jan 2014.

OGUNGBENLE, H. Nutritional evaluation and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, Abingdon, v. 54, n. 2, p. 153-158, 2003.

OLIVEIRA, R. P. et al. High prevalence of celiac disease in brazilian blood donor volunteers based on screening by IgA antitissue transglutaminase antibody. *European Journal of Gastroenterology and Hepatology*, London, v. 19, p. 43-49, 2007.

PAIM, V.; SCHUCK, C. O custo da alimentação sem glúten no Brasil. *Revista Vida sem Glúten e Alergias*, [s.l.], n. 7, 2010. Disponível em:
<http://www.vidasemglutenealergias.com.br/ocustodaalimentacaosemglutennobrasil/609/>. Acesso em: 07 mai.2014.

PHILLIPS, G. O., WILLIAMS, P. A. *Handbook of Hydrocolloids*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2000.

PRATESI, R.; GANDOLFI, L. Doença celíaca: a afecção com múltiplas faces. *Jornal de Pediatria*. Rio de Janeiro, v. 81, n. 5. p. 357-358, 2005.

PREGO, I.; MALDONADO, S.; OTEGUI, M. Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany*, London, v. 82, n. 4, p. 481-488, 1998.

RAMOS, A.P. *Extração e caracterização de amido de quinoa, cañihua e mirabilis jalapa*. 2014. 128 f. Tese (Doutorado). Programa de pós-graduação em engenharia e ciência de alimentos, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho, São José do Rio Preto, 2014.

REIS, N. T.; PEDRUZZI, M. B. Terapia Nutricional nas Afecções do Trato Digestório. In: SILVA, S. M. C. S.; MURA, J. D. P. *Tratado de alimentação, nutrição e dietoterapia*, São Paulo: Roca, 2007, p. 515-532.

REWERS, M. Epidemiology of celiac disease: what are the prevalence, incidence, and progression of celiac disease? *Gastroenterology*, Philadelphia, v. 128, n. 4, p. S47-S51, 2005.

RISI, J., GALWEY, N.W. The *Chenopodium* grains of the andes: inca crops for modern agriculture. *Advances in Applied Biology*, London, v. 10, p. 145-216, 1984.

ROSELL, C. M. Enzymatic Manipulation of Gluten-Free Breads. In: GALLAGHER, E. *Gluten-Free Food Science and Technology*. United Kingdom: Wiley-Blackwell, 2009, p.83-98.

_____; ROJAS, J. A.; BENEDITO DE BARBER, C. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, Oxford, v. 15, n. 1, p. 75-81, 2001.

RUALES, J., NAIR, B. Nutritional quality of the protein in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, Unidad Irapuato, v. 42, n. 1, p. 1-11, 1992.

SATURNI, L.; FERRETTI, G.; BACHETTI, T. The gluten- free diet: safety and nutritional quality. *Nutrients*, Basel, v. 2, p. 16-34, 2010.

SCHAMNE, C.; DUTCOSKY, S. D.; DEMIATE, I. M. Obtention and characterization of gluten-free baked products. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 30, n. 3, p. 741-750, 2010.

SCHAMNE, C. *Obtenção e caracterização de produtos panificáveis livres de glúten*. 2007. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2007.

SCHOBER, T. J. Manufacture of gluten-free specialty breads and confectionary products. In: GALLAGHER, E. *Gluten-free food science and technology*. United Kingdom: Wiley-Blackwell, 2009, p.130.

_____, et al. Gluten-free bread from sorghum: Quality differences among hybrids. *Cereal Chemistry*, Saint Paul, v. 82, n. 4, p. 394-404, 2005.

SCIARINI, L. S. et al. Effect of hydrocolloides on gluten-free batter properties and bread quality. *Food and Bioprocess Technology*, New York, v. 3, p. 577-585, 2010.

SDEPANIAN, V. L.; MORAIS, M. B.; FAGUNDES-NETO, U. Doença celíaca: avaliação da obediência a dieta isenta de glúten e do conhecimento da doença pelos pacientes cadastrados na Associação dos Celíacos do Brasil (ACELBRA). *Arquivos de Gastroenterologia*, São Paulo, v. 38, n. 4, p. 232-239, 2001.

- _____. Doença celíaca: a evolução dos conhecimentos desde sua centenária descrição original até os dias atuais. *Arquivos de Gastroenterologia*, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 244-257, 1999.
- SINGH, J.; SINGH, N. Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indian potato cultivars. *Food Chemistry*, London, v. 75, p. 67-77, 2001.
- SLUIMER, P. *Principles of breadmaking: functionality of raw materials and process steps*. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 2005.
- SPEHAR, C.; SANTOS, R. Quinoa BRS Piabiru: alternativa para diversificar o sistema de produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 6, p. 889-893, 2002.
- STAUFFER, C.E. Principles of dough formation. In: CAUVAIN, S.P; YOUNG, L.S. *Technology of breadmaking*. United States: Springer, 2007, p. 299-332.
- STIKIC, R. et al. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd) as an ingredient in bread formulations. *Journal of Cereal Science*. London, v. 55, n. 2, p. 132-138, 2012.
- TAPIA, M. et al. Quinoa y kañiwa: cultivos andinos. Bogotá: Centro Internacional de Investigacion para el Desarrollo (CIID). Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA), 1979.
- VACLAVIK, V. A.; CHRISTIAN, E. W. *Essentials of food science*. New York: Springer, 2008.
- VALENCIA-CHAMORRO, S.A. Quinoa. In: CABALERO, B. *Encyclopedia of Food Science and Nutrition*. Amsterdam: Academic Press, 2003.
- VILCHE C.; GELY M.; SANTALLA, E. Physical properties of quinoa seeds. *Biosystems Engineering*, London, v. 86, n. 1, p. 59-65, 2003.
- VILLAR, M. H. Dietética e Gastronomia. In: SILVA, S.M.C.S.; MURA, J.D.P. *Tratado de alimentação, nutrição e dietoterapia*. São Paulo: Roca, 2007, p. 461-484.

WRONKOWSKA, M., HAROS, M., SORAL-SMIETANA, M. Effect of Starch Substitution by Buckwheat Flour on Gluten-Free Bread Quality. *Food and Bioprocess Technology*, New York, v. 6, n. 7, p. 1820-1827, 2013.

APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José do Rio Preto

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE (Conselho Nacional de Saúde, Resolução 466/2012)

Você está sendo convidado a participar como voluntário do projeto de pesquisa "Pães sem glúten: efeito da incorporação de farinha de quinoa nas características físicas, nutricionais e sensoriais" sob responsabilidade da pesquisadora Ana Rita Melo Oliveira Nobre. O estudo será realizado através de análises sensoriais de pães sem glúten para avaliação da aceitabilidade. Os riscos físicos à sua saúde são mínimos, uma vez que os produtos são de consumo comum, além de serem manipulados utilizando-se as Boas Práticas de Manipulação/Fabricação. Você poderá consultar a pesquisadora responsável em qualquer época, pessoalmente ou pelo telefone da Instituição, para esclarecimento de qualquer dúvida. Você está livre para, a qualquer momento, deixar de participar da pesquisa. Todas as informações por você fornecidas e os resultados obtidos serão mantidos em sigilo, e estes últimos apenas serão utilizados para divulgação em reuniões e revistas científicas. Você será informado de todos os resultados obtidos, independentemente do fato destes poderem mudar seu consentimento em participar da pesquisa. Você não terá quaisquer benefícios ou direitos financeiros sobre os eventuais resultados decorrentes da pesquisa. No caso de eventual problema de saúde (efeito adverso) decorrente de sua participação nos testes sensoriais, você será encaminhado à Seção Técnica de Saúde (UNAMOS), situado à Rua Cristóvão Colombo, 2265 – Jardim Nazareth – São José do Rio Preto/SP – Telefones (17) 3221.2415 – 3221.2416.

Diante das explicações, se você concorda em participar deste projeto, por favor, informe seus dados abaixo e assine este Termo.

Nome: _____ R.G. _____

Endereço: _____ Fone: _____

e-mail: _____

São José do Rio Preto, _____ de _____ de 2014

Usuário ou responsável legal

Pesquisador responsável

OBS.: Termo apresentado em duas vias, uma destinada ao usuário e a outra ao pesquisador.

Nome: Ana Rita Melo Oliveira Nobre	Cargo/Função: aluna pós-graduação (mestrado)
Instituição: Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos/Ibilce/Unesp	
Endereço: Rua Cristóvão Colombo, 2265 – Jd. Nazareth – São José do Rio Preto/SP – Telefone: (17) 3221 2254	
Projeto submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa do IBILCE/UNESP São José do Rio Preto – Fone (17) 3221-2254/2563 e 3221-2482	