

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**  
**DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO ALIMENTAR E NUTRIÇÃO**

**TESE DE MESTRADO**

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE MASSA TIPO MACARRÃO À BASE  
DE MILHO E QUINOA PARA CELÍACOS**

**Luciana Chagas Caperuto**  
**Eng<sup>a</sup> de Alimentos**

**Prof. Dr. Jaime Amaya Farfán**  
**Orientador**

**Campinas -SP**  
**1999**

**PARECER**

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Luciana Chagas Caperuto aprovada pela Comissão Julgadora em 19 de agosto de 1999.

Campinas, 19 de agosto de 1999

  
Prof. Dr. Jaime Amaya Farfán  
Presidente da Banca

N.º CHAMADA:	
V.	
T.	50/38754
P.	229199
	D <input checked="" type="checkbox"/>
	RB 11,00
	25109199
N.º CPU	

CM-00134342-2

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

C171d

Caperuto, Luciana Chagas  
Desenvolvimento e avaliação de massa tipo macarrão à  
base de milho e quinoa para celíacos / Luciana Chagas  
Caperuto. – Campinas, SP: [s.n.], 1999.

Orientador: Jaime Amaya-Farfán  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

I. Autismo. 2. Dieta sem-glúten. I. Amaya-Farfán, Jaime.  
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Engenharia de Alimentos. III. Título.

**Luciana Chagas Caperuto**  
**Eng<sup>a</sup> de Alimentos**

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE MASSA TIPO MACARRÃO  
PARA CELÍACOS**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual  
de Campinas, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de  
Mestre em Ciência da Nutrição

**Prof. Dr. Jaime Amaya Farfán**  
**Orientador**

**Campinas -SP**  
**1999**



**BANCA EXAMINADORA**



---

**Prof. Dr. Jaime Amaya Farfán**  
Universidade Estadual de Campinas  
Orientador



---

**Prof. Dr. César Francisco Ciacco**  
Universidade Estadual de Campinas  
membro



---

**Prof. Dra. Maria Aparecida A. P. da Silva**  
Universidade Estadual de Campinas  
membro

---

**Prof. Dr. Yoon Kil Chang**  
Universidade Estadual de Campinas  
membro

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Jaime Amaya Farfán, pela orientação, crédito e apoio constante.

Agradeço à Profa. Dra. Celina R. O. Camargo, pela orientação, presença constante e decisiva no decorrer de todo o projeto.

Aos membros da banca examinadora, pela colaboração na correção e pelas importantes sugestões.

Ao CNPq pela bolsa concedida e à FAPESP pelos projetos de infra-estrutura.

À Takeda Chem. Industries e à Mitsui do Brasil pelo fornecimento de Curdlana, à R-Biopharm GmbH pelo kit ELISA doado, a Fecularia Baptistella pela doação do fubá e a Ito Brasil pela doação da albumina de ovo.

À Nilda, pela amizade e total apoio na parte estatística.

Ao amigo Valdeci, pelo companheirismo, dedicação e empenho na realização deste trabalho.

À todos os amigos, colegas e funcionários do Depan e do Laboratório de Cereais (DTA), em especial à Carla, D. Iná. Soeli, Chico, Kelly, Carol, Creuza, Marli, Cláudia e Edilson, pelo apoio e paciência.

Às amigas de coração Suzana Oliveira, Beatriz, Derlange, Florencia, Erika, Renata, Vera, Lucia, Pricila, Sílvia, Juliani, Suzana Freitas, Adriana Q., pelo apoio nos momentos difíceis, amizade e carinho.

À todos, que direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho

Dedico este trabalho a meus pais, Hélio e Célia,  
pelo maravilhoso exemplo de vida,  
a meus irmãos Maurílio e Érico,  
pela paciência e ao meu Gui,  
especialmente, pelo companheirismo  
e amor

## SUMÁRIO

Lista de Abreviaturas	
Resumo Geral.....	1
General Abstract.....	3
Introdução Geral.....	5
<b>Artigo I</b>	
<b>Potencial da Quinoa como Farináceo Alternativo em Produtos para Celíacos.....</b>	<b>7</b>
Resumo.....	7
1. Doença Celíaca.....	9
1.1. Definição.....	9
1.2. Ocorrência.....	14
1.3. Legislação e Limite de Ingestão.....	15
1.4. Tipos de Cereais e Avaliação da Toxicidade das Frações (Reatividades).....	17
1.5. Tipos de Produtos Existentes no Mercado.....	22
1.6. Imunoensaios para Detecção de Glúten.....	23
2. Quinoa.....	25
2.1. Histórico.....	25
2.2. Condições de Cultivo e Características.....	27
2.3. Composição Centesimal e Aminoacídica.....	28
2.4. Vitaminas e Minerais.....	32
2.5. Saponinas e Ácido Fítico.....	35
2.6. Qualidade Nutricional.....	38
2.7. Amido.....	41
2.8. Usos.....	45
3. Referências Bibliográficas.....	47

## Artigo II

<b>Performance da Farinha de Quinoa na Elaboração de Massa sem Glúten para Celíacos.....</b>	<b>56</b>
Resumo.....	56
1. Introdução.....	58
2. Material e Métodos.....	60
2.1. Material.....	60
2.2. Métodos.....	60
2.2.1. Teste ELISA nas matérias-primas.....	60
2.2.2. Moagem dos Grãos de Quinoa.....	60
2.2.3. Composição Centesimal das Matérias-Primas.....	61
2.2.4. Análise de Aminoácidos na Quinoa Integral Moída, na Farinha de Quinoa e no Fubá.....	61
2.2.5. Granulometria do Fubá e da Farinha de Quinoa.....	62
2.2.6. Processamento do Macarrão.....	62
2.2.7. Avaliação da Qualidade de Cozimento do Macarrão.....	66
2.2.8. Avaliação de Textura.....	69
2.2.9. Avaliação das Propriedades de Pasta das Farinhas.....	69
2.2.10. Avaliação Sensorial.....	70
3. Resultados e Discussão.....	71
3.1. Teste ELISA nas matérias-primas.....	71
3.2. Moagem dos Grãos de Quinoa.....	71
3.3. Composição Centesimal e Perfil de Aminoácidos das Matérias-Primas.....	72
3.4. Granulometria do Fubá e da Farinha de Quinoa.....	74
3.5. Metodologia de Superfície de Resposta.....	76
3.5.1. Qualidade de Cozimento do Macarrão.....	76

3.5.2. Textura e Umidade da Farinha Tratada Termicamente.....	78
3.5.3. Propriedades de Pasta das Farinhas.....	83
3.6. Avaliação Sensorial.....	90
4. Conclusões.....	91
5. Sugestões.....	93
6. Referências Bibliográficas.....	94
Referências Bibliográficas (Introdução Geral).....	100
Anexos.....	102

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

<b>MF</b>	<b>Módulo de Finura</b>
<b>D</b>	<b>Diâmetro Médio de Partícula</b>
<b>RVA</b>	<b>Rapid Visco Analyzer</b>
<b>VP</b>	<b>Viscosidade de Pico</b>
<b>VF</b>	<b>Viscosidade Final</b>
<b>NPU</b>	<b>Utilização Líquida da Proteína</b>
<b>DV</b>	<b>Digestibilidade Verdadeira</b>
<b>VB</b>	<b>Valor Biológico</b>

# DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE MASSA TIPO MACARRÃO À BASE DE MILHO E QUINOA PARA CELÍACOS

## RESUMO GERAL

Doença celíaca é uma intolerância alimentar ao glúten, causada pela ingestão de cereais que contêm essa proteína, como trigo, amido de trigo, centeio, cevada, triticales e, provavelmente, aveia. O único tratamento efetivo contra a doença é a exclusão total da dieta de produtos elaborados a partir dos grãos considerados tóxicos. Essa exclusão pode ser uma tarefa difícil devido à grande quantidade de produtos industrializados e, até mesmo, caseiros preparados a partir desses grãos. No caso do trigo, a exclusão ou substituição desta matéria-prima é particularmente complexa, em função de suas propriedades viscoelásticas únicas. Pseudo cereal isento de glúten, originário da região andina sul americana, a quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd), é uma alternativa para a citada substituição muito atraente para celíacos e pessoas não portadoras de tal doença. Apresenta elevado teor de proteína e pode satisfazer quase completamente, em termos de vitaminas e minerais, o requerimento recomendado pelo "Committee on Dietary Allowances". O objetivo deste trabalho foi desenvolver um produto tipo macarrão de milho e quinoa para qualquer indivíduo, especialmente os celíacos. Foram avaliados os parâmetros de: qualidade de cozimento (perda de sólidos, aumento de peso, aumento de volume), textura (adesividade e elasticidade), viscosidade (viscosidade de pico e viscosidade final) e umidade da mistura de farinhas pré-gelatinizadas. Dos parâmetros estudados, verificou-se que a perda de sólidos, aumento de peso e volume, adesividade e umidade da farinha tratada termicamente variaram em torno de uma média. Esses valores médios foram: 16,2% de perda de sólidos, aumento de 2,3 vezes para o peso, aumento de 2,6 vezes para o volume, adesividade de 2090,7g e umidade

de 38,4% na farinha tratada termicamente. Os resultados de elasticidade e viscosidade de pico forneceram indicações relevantes quanto à formulação e processamento, mas não permitiram chegar a conclusões definitivas, em função do processo ainda não apresentar alta reprodutibilidade. Já a viscosidade final teve modelo significativo ( $p=0,0657$ ) e, portanto, preditivo. A combinação das variáveis independentes que implicou no maior valor de elasticidade, característica desejável para o produto em questão, foi baixo a médio tempo de tratamento térmico, baixa à média umidade de condicionamento e de baixa à média porcentagem de quinoa. Para a viscosidade de pico, todos os valores obtidos podem ser considerados baixos em relação à farinha inicial não tratada, e, portanto, qualquer combinação de tempo de tratamento térmico, umidade de condicionamento e porcentagem de quinoa pode ser considerada boa, devendo-se escolher a mais conveniente. Já para a viscosidade final, a melhor combinação foi baixo teor de quinoa (1,6 a 5%) e toda a faixa de tempo de tratamento térmico ou toda faixa de quinoa e tempo de tratamento térmico de aproximadamente 4 minutos. A média obtida para a aceitação global do produto foi 6,83, que se encontra entre “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente”. Com relação à intenção de compra, 50% dos provadores “possivelmente comprariam”. Isso mostra um considerável potencial de mercado para o produto.

## GENERAL ABSTRACT

Celiac disease can be understood as an intolerance to gluten exhibited by certain individuals upon ingestion of such cereals as wheat, wheat starch, rye, barley, triticale and probably oats, which contain this class of proteins. The only effective treatment to date, is the complete exclusion from the diet of products known to be toxic. Exclusion of these grains from a standard diet can be a difficult task for the patient, given the wide spectrum of industrialized and home-made products of the Western diet that include those ingredients. The substitution of wheat requires the use of special technical strategies because of its unique viscoelastic properties. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), a pseudo cereal original of the high Andes that has been adapted to the low lands of the Brazilian "cerrado," is reportedly gluten-free and should be explored as a cereal food substitute for celiac patients. Quinoa products have high contents of protein, and can furnish most of the recommendations for vitamins and minerals. The objective of this work was to assess the potential of quinoa flour in the development of a spaghetti prototype, using corn and quinoa flours as ingredients. Cooking quality (loss of solids, volume and weight increments), texture (adhesiveness, elasticity), viscosity (peak and final viscosities) and moisture contents of the pre-gelatinized flour mixtures were the physical parameters studied. Of these, only texture did not vary, about a mean. Mean values were 16.2%, 2.3 times, 2.6 times, 2090.7g and 38.4% for loss of solids, weight increase, volume increase, adhesiveness and moisture, respectively. The results from elasticity and peak viscosities provided information relevant to both formulation and processing of the product, but did not permit to draw more definite conclusions due to the low reproducibility of the process. The final viscosity, in turn, afforded a significant model ( $p=0,0657$ ) and was, therefore, predictive. The combination of independent variables that resulted in higher elasticity values, desirable characteristic for the target product, was short-to-medium thermal treatment, low-to-medium conditioning moisture and low-

to-medium quinoa level of addition. For peak viscosity, all values obtained could be considered low with respect to the untreated, initial flour. Thus, any value could be satisfactory and convenience will influence selection. For the final viscosity, however, the best combinations were low (1,6 a 5%) quinoa content and the entire range of time of thermal treatment or, alternatively, the entire range of quinoa content and a thermal treatment of about 4 minutes. the mean sensory acceptance value was 6,83 placed the product between "I liked it slightly" and "I liked it moderately". Regarding the intention of buying the product, 50% of the tasters declared they "would probably buy it", which shows a substantial potential market for the product.

## INTRODUÇÃO GERAL

Doença Celíaca é uma intolerância alimentar causada em indivíduos sensíveis à ingestão de trigo, centeio, cevada, triticale e, provavelmente, aveia. Diarréia, desnutrição e perda de peso são alguns dos sintomas que podem aparecer. Ultimamente, a apresentação ativa tem diminuído e VISAKORPI & MÄKI (1994) relatam a existência da “incidência silenciosa”. É uma doença glúten-dependente, com ou sem enteropatia demonstrável na mucosa intestinal (CAMPBELL, 1987). As taxas de incidência relatadas variam de 1 em 100 a 1 em 8000 (STENHAMMAR & JOHANSON, 1981).

O único tratamento efetivo contra a doença, segundo CÂNDIDO & CAMPOS (1996), é a remoção completa da dieta de produtos que contenham trigo, centeio, cevada triticale, aveia e amido de trigo. A exclusão desses produtos pode ser tecnicamente difícil, principalmente a exclusão do trigo em produtos clássicos industrializados, devido às propriedades mecânicas conferidas pelo glúten. Nos últimos anos, várias formulações de produtos especiais para celíacos têm sido desenvolvidas em vários países.

Uma alternativa atraente para o tratamento desta doença é a utilização da quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd), semente amilácea típica dos altos Andes da América do Sul, isenta de glúten (FRIEDMAN, 1993) e com características particulares de cultivo. Apresenta alto teor de proteína, elevada proporção de lisina e metionina, considerável concentração de riboflavina, ácido fólico e alfa-tocoferol. Em geral, as quantidades de minerais também são suficientes para satisfazer as recomendações nutricionais. O cálcio deve ser suplementado com outras fontes (RUALES & NAIR, 1993).

Um ponto negativo com relação à utilização da quinoa é o teor de saponinas e ácido fítico, presentes principalmente na casca. Essas substâncias são antinutrientes com efeitos variáveis e, portanto, têm que ser reduzidos a um nível não prejudicial, através de lavagem e/ou polimento dos grãos.

Entre as formulações desenvolvidas como alternativa aos produtos com glúten, têm-se “cookies” e sequilhos (DUTCOSKI, 1995), massa tipo espaguete e talharim de farinha de arroz (TOUFELLI et al., 1994), pasta de farinha de milho (MESTRES et al., 1993), e, apenas uma referência de pasta de milho e quinoa (WONG, 1994).

O macarrão é um dos produtos que integram a cesta básica do brasileiro e, portanto, seria estratégico disponibilizá-lo, de forma segura, também para os celíacos. Além disso, seria de extrema importância do ponto de vista nutricional e psicológico que pessoas com essa doença encontrem no mercado uma ampla gama de produtos especialmente direcionados, mas não exclusivos, por serem consumíveis por qualquer indivíduo.

Nesse trabalho desenvolveu-se e avaliou-se um protótipo de produto tipo macarrão sem glúten na base de milho e quinoa.

A dissertação está dividida em 2 artigos:

Artigo I - Revisão bibliográfica sobre doença celíaca e quinoa

Artigo II - Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de produto tipo macarrão de milho e quinoa.

## ARTIGO I

# POTENCIAL DA QUINOA COMO FARINÁCEO ALTERNATIVO EM PRODUTOS PARA CELÍACOS

## RESUMO

Doença Celíaca é uma espécie de intolerância alimentar, relatada pela primeira vez no ano 200 D.C., por Aretaeus da Capadócia. É causada pela ingestão de trigo, triticale, centeio, cevada e seus derivados. O objetivo deste trabalho foi revisar e avaliar as propriedades da quinoa como possível substituto do trigo no fabrico de alimentos para celíacos. Há dúvidas com relação à toxicidade da aveia para indivíduos celíacos. Dicke, em 1950, observou efeito deletério do trigo e do centeio em pacientes celíacos. A partir daí ficou estabelecido que o fator tóxico era encontrado na fração protéica do grão. Diarréia e desnutrição são alguns dos sintomas causados por essa doença. Existem algumas hipóteses na literatura sobre a razão pela qual o glúten causa má absorção e prejuízos à mucosa intestinal; entre elas, a falta de enzimas que hidrolisam as proteínas do glúten, ou que o glúten tem efeito citotóxico, similar ao da lectina. A literatura menciona freqüências de 1 em 100 a 1 em 8000 pessoas. A fração gliadina é conhecida como a mais tóxica. Todas suas quatro subfrações ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$  - gliadinas) exacerbam a doença Celíaca. As albuminas, globulinas e glutaminas também apresentam atividade antigênica significativa em pacientes celíacos. O único tratamento efetivo é a remoção completa dos produtos que contenham os grão tóxicos da dieta dos pacientes. Um alimento alternativo interessante para os celíacos é a quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd), pseudo cereal típico dos Andes, com características peculiares com relação ao cultivo. É uma planta que

crece com baixo índice pluviométrico, altitudes elevadas (a partir de 2000 metros), atmosfera fria e rarefeita, sol forte, temperatura subcongelante, suportando condições de solo arenosos, alcalinos e pobres. Atualmente as cultivares de quinoa estão sendo adaptadas ao cerrado brasileiro pela EMBRAPA com bastante sucesso. A quinoa tem alto teor de proteína com significativos teores de lisina e metionina, que são aminoácidos encontrados em baixas concentrações nos cereais em geral. Além disso, a quinoa é rica em vitaminas e minerais. A qualidade nutricional da proteína de quinoa comparada à de cereais típicos é alta. O problema do consumo da quinoa é a presença de saponinas e ácido fítico, considerados fatores antinutricionais. A remoção desses compostos é feita através da lavagem e/ou polimento dos grãos. Já existem trabalhos relatando o uso da quinoa como substituto de outros componentes na formulação de arepas, purês de batata, arroz com quinoa e pastas.

## **1. Doença Celíaca**

### **1.1. Definição**

A doença celíaca é o resultado de reações bioquímica-fisiológicas adversas do organismo de alguns indivíduos quando consomem produtos contendo trigo, centeio, cevada e provavelmente aveia. Segundo SKERRITT et al. (1990), BALDO & WRIGLEY (1984) e CAMPBELL (1987), o triticales também pode causar a reação.

Essa “intolerância” foi primeiramente relatada no segundo século D.C. por Aretaeus da Capadócia (CAMPBELL, 1987). Em 1950, DICKE observou o efeito deletério do trigo e do centeio em celíacos e, a partir daí, estabeleceu-se que o fator tóxico era encontrado na fração protéica do grão (KIEFFER et al., 1982).

Diarréia e desnutrição generalizada são alguns dos sintomas decorrentes da ampla má-absorção de nutrientes, que segue à atrofia da mucosa intestinal. Como consequência, o paciente celíaco perde peso e pode sofrer diversos sintomas associados à deficiência de vitaminas e minerais. A doença pode apresentar outras alterações tais como: desidratação, hipoproteïnemia, hipocalcemia, hipoprotrombinemia e raquitismo hipocalcêmico. Outros sintomas da doença são: dermatite herpertiformes, hipoplasia do esmalte dentário e diabetes melitus juvenil (CÂNDIDO & CAMPOS, 1996). Também existe má-absorção de vitaminas, minerais e aminoácidos, sintomas de deficiência de nutrientes que podem complicar o diagnóstico (CAMPBELL, 1987). Devido a esse fato, é obrigatório que o diagnóstico final seja feito pelo exame da morfologia da biópsia jejunal, utilizando determinados critérios (CAMPBELL, 1987; BARBIERI, 1988).

VISAKORPI & MÄKI (1994) relatam que nas duas últimas décadas, este tipo de apresentação ativa da doença celíaca diminuiu em muitos países europeus, dando a falsa impressão de que a doença estava desaparecendo. Ela pode ser encontrada em crianças mais velhas, com “apresentação silenciosa”. Os autores preferem o termo “silenciosa” ao invés de assintomática, pois muitos pacientes freqüentemente tem sintomas menores da doença.

É uma doença glúten-dependente, havendo ou não enteropatia demonstrável na mucosa intestinal (CAMPBELL, 1987). Alguns autores a consideram uma moléstia hereditária, de caráter autossômico dominante de baixa penetrância, enquanto outros trabalhos sugerem duas outras possibilidades: herança poligênica com alta hereditariedade ou herança dominante com baixa expressão nos heterozigotos (BARBIERI, 1988).

Uma série de patologias podem estar associadas à doença celíaca: doenças imunológicas e transtornos nervosos e psiquiátricos (CÂNDIDO & CAMPOS, 1996), como o autismo. Muitos pesquisadores encontraram características de autistas em pacientes celíacos (REICHELT et al., 1994).

Com a ingestão de produtos contendo glúten ocorre reação imunológica, localizada no intestino, que acelera a eliminação de células epiteliais, provoca a diminuição na altura das vilosidades, e acentua a divisão celular nas criptas, resultando em predominância de células epiteliais imaturas e decréscimo da área de absorção. O desaparecimento das vilosidades significa menor área disponível para absorção e células epiteliais com reduzida atividade enzimática e baixa capacidade de transporte. Com a exclusão de produtos com glúten da dieta, as vilosidades reaparecem, permitindo absorção e digestão normais (CÂNDIDO & CAMPOS, 1996).

Não existe acordo geral sobre a razão pela qual o glúten causa má-absorção e prejuízo à mucosa intestinal. Contudo, BALDO & WRIGLEY (1984) citam duas hipóteses. Uma sugere que o celíaco tem falta de uma enzima específica que normalmente hidrolisa as proteínas do glúten, mas faltam evidências para essa possibilidade. Outra propõe que as proteínas do glúten têm um papel similar ao da lectina, ligando-se às células epiteliais do intestino e exercendo efeito citotóxico.

Uma terceira hipótese sugere que pacientes celíacos têm uma deficiência imunológica ou anormalidade especificamente associada com a proteína do glúten (CHANDRA & SAHNI, 1981). Celíacos sempre têm níveis séricos elevados de IgA, IgD, IgE e IgG. O aumento de IgE não está especificamente relacionado com o glúten, mas o aumento dos anticorpos IgA e IgG está (KIEFFER et al., 1981). Na verdade, gliadinas específicas que se combinam com a IgG do soro do celíaco foram identificadas por SUTTON et al. (1982). Talvez tal complexo anticorpo-glúten contribua para os sintomas dos pacientes celíacos. Entretanto, esses complexos podem ser resultado do glúten e outras proteínas alimentares sendo absorvidas na forma não digerida, devido ao dano no revestimento da víscera (BALDO & WRIGLEY, 1984).

São descritas quatro formas clínicas de doença celíaca: clássica ou florida, frustra, atípica e latente (BARBIERI, 1988).

O estudo biópsico iterativo permitiu comparar o comportamento da mucosa intestinal em face da dieta sem glúten. A recuperação é constante, porém muito lenta. Após 15 dias, o enterócito aumenta de altura, a borda estriada se refaz. Após três meses ou mais já se esboçam vilosidades. A recuperação morfológica total só é observada após vários anos. A recuperação enzimática, no entanto, é bem precoce, mas não simultânea (BARBIERI, 1988).

ANAND et al. (1978) notaram no seu estudo que o grau de prejuízo da mucosa varia de um paciente para outro, apesar de todos terem consumido a mesma quantidade de um cereal particular. Eles sugerem que existe uma variabilidade inerente entre indivíduos celíacos que pode ser parcialmente responsável por essa ampla variação na severidade da doença nos indivíduos quando eles consomem uma dieta contendo glúten. A variação na resposta das pessoas afetadas pode também explicar parte da diferença no efeito da aveia nos pacientes celíacos observada por diferentes pesquisadores (CAMPBELL, 1987).

Existe muita discordância quanto à toxicidade da aveia. BAKER e READ (1976) e KIEFFER et al. (1982) concluíram que a aveia é prejudicial, enquanto outros pesquisadores não encontraram efeito nocivo na aveia (AYOB et al., 1988). BALDO e WRIGLEY (1984) afirmam que, como a aveia é mais distantemente relacionada ao trigo, ela é tóxica apenas em casos extremos de condição celíaca.

CICLITIRA et al. (1985) concluíram que as aveninas da aveia e zeínas do milho não se relacionam antigeneticamente às gliadinas. Tais dados podem ajudar a explicar a possível menor toxicidade da aveia e o fato de que, em quantidades razoáveis, ela é tolerada sem percepção de efeitos da doença pela maioria das crianças (CAMPBELL, 1987).

Estudos bem conduzidos demonstraram que, em crianças celíacas sob dieta e durante muitos anos assintomáticas, a reintrodução do glúten provocava o reaparecimento da lesão após horas ou dias, de acordo com a quantidade de glúten ingerida. Segundo os autores desses estudos, é inadmissível a hipótese de haver casos de intolerância transitória ao glúten, ponto muito importante a ser considerado na conduta terapêutica, pois, confirmado o diagnóstico de doença celíaca, a dieta deve ser seguida estrita e permanentemente (BARBIERI, 1988). A reintrodução do glúten na dieta faz com que a anormalidade retorne (CÂNDIDO & CAMPOS, 1996). Já segundo McNEISH et al.(1979) e MEEUWISSE (1970) se a

mucosa permanecer normal depois da introdução do glúten por um período de mais que dois anos, o paciente é considerado intolerante transitório ao glúten (ITG).

O único tratamento efetivo contra a doença é a remoção completa da dieta de produtos de trigo, centeio, cevada e aveia, ou seja, cereais da família *Gramineae*, com exceção do arroz e milho (CÂNDIDO & CAMPOS, 1996), remoção do triticales e também de produtos de amido de trigo.

Segundo CAMPBELL (1987), embora nenhum dado publicado esteja disponível; percebeu-se no Canadá que a farinha de amido de trigo parece causar sintomas intestinais em alguns pacientes com doença celíaca. CICLITIRA et al. (1985; citado por CAMPBELL, 1987) relataram que 4 de 10 pacientes que consumiram pão sem glúten contendo farinha de amido de trigo padeceram de sintomas intestinais. Eles sugerem que esses produtos podem ser a causa da baixa resposta em pacientes que requerem uma dieta sem glúten em lugar de uma dieta reduzida em glúten e que tais pacientes devem ser tratados com alimentos sem glúten e não baseados em amido de trigo.

O estudo de ASCHER et al. (1993) indica que a quantidade de proteína de trigo ou outros alimentos nocivos consumida durante a infância pode ser um importante fator no desenvolvimento da doença celíaca. Uma grande quantidade ingerida pode conduzir aos sintomas óbvios da doença que, de outra maneira, permaneceria não diagnosticada. Por outro lado, uma grande quantidade ingerida pode induzir a doença em pessoas susceptíveis que, com menor exposição, poderiam permanecer saudáveis.

A complexidade dos problemas etiopatogênicos e de diagnóstico da doença celíaca contrasta com a simplicidade das medidas terapêuticas, cuja eficiência é extraordinária (BARBIERI, 1988).

## 1.2. Ocorrência

Segundo CAMPBELL (1987) e BABIERI (1988), a doença celíaca atinge somente indivíduos da cor branca e com maior frequência do sexo feminino. BARBIERI (1988) relata que a distribuição com relação à idade mostra que ela se manifesta a partir do segundo semestre de vida, ou, eventualmente antes, coincidindo com a introdução da alimentação com cereais que contêm glúten. Em geral, a doença é diagnosticada entre o sexto e o 24º mês, mas pode ser referida em qualquer faixa etária, inclusive na idade adulta.

A literatura contém muitas investigações sobre a frequência da doença celíaca, relatando taxas de incidência que variam de 1 em 100 a 1 em 8000 (STENHAMMAR & JOHANSSON, 1981). Segundo BARBIERI (1988), na Inglaterra e nos Estados Unidos a frequência com que a doença celíaca ocorre na população em geral é estimada em 1 em 3.000. BALDO & WRIGLEY (1984) relatam que uma incidência de 1 em 2000 é aceitável para países ocidentais. As taxas de incidência relatadas variam muito de país para país e até de região para região. Isso se deve às diferenças genéticas entre as populações e aos diferentes fatores ambientais, como por exemplo, as diferentes práticas de alimentação das crianças.

Já no Brasil, segundo KOTZE (1996), a sensibilidade ao glúten tem maior prevalência do que se supõe. Um inquérito realizado pela Professora Dorina Barbieri, em 1993, mostrou 886 casos. KOTZE et al. (1996) atendiam cerca de 150 crianças e 52 adultos com doença celíaca e 3 adultos com dermatites herpetiformis.

### 1.3. Legislação e Limite de Ingestão

A lei brasileira nº 8.543 de 23/12/92, promulgada pela Presidência da República, estabeleceu que os alimentos industrializados que contenham glúten, como trigo, aveia, cevada, malte e centeio e/ou seus derivados, deverão conter, obrigatoriamente, advertência indicando esta composição (CÂNDIDO & CAMPOS, 1996).

Alimentos designados sem glúten foram definidos pela Comissão do Codex Alimentarius como aqueles onde o conteúdo total de prolaminas (gliadinas) do trigo, triticale, centeio, cevada, aveia ou de variedades híbridas destes no produto não deve exceder 1 mg/100g em base seca (CX/NFSDU 88/15) (CÂNDIDO & CAMPOS, 1996).

Sabe-se que a fração mais tóxica do glúten é a gliadina, e glúten pode não ser o termo apropriado para expressar a toxicidade de grãos de cereais outros que não o trigo. Para a comissão do Codex Alimentarius, glúten foi definido como "aquelas proteínas, comumente encontradas no trigo, triticale, centeio, cevada ou aveia às quais algumas pessoas são intolerantes" (CAMPBELL, 1987).

CAMPBELL (1987) concluiu que a ingestão de 1 a 2mg de gliadina por dia é tóxica e que sua toxicidade está relacionada com o tamanho da dose e o tempo de administração. Já HEKKENS & GRAAF (1990) acreditam que um nível máximo de ingestão de 10mg de gliadina por dia é uma quantidade realista que pode ser tolerada pela maioria das crianças com doença celíaca. Esses fatores devem ser considerados na avaliação da aceitabilidade dos alimentos e seus constituintes.

CICLITIRA & LENNOX (1983; citados por CAMPBELL, 1987) notaram que pequenas quantidades de gliadina encontradas em alimentos denominados "sem

glúten” podem ser problemáticos em pacientes muito sensíveis, quando consumidos regularmente.

Foi decidido como resultado da representação da Associação Celíaca Canadense que no Canadá o termo sem glúten deve ser aplicado apenas para alimentos que são naturalmente livres de glúten. Isto exclui amido de trigo da designação. Esta interpretação do termo “sem glúten” despertou a atenção da Comissão do Codex Alimentarius na década de 80 (CAMPBELL, 1987).

O símbolo que indica alimentos sem glúten segue na Figura 1 abaixo.

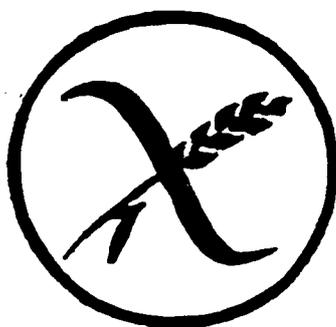


Figura 1- O símbolo de “sem glúten” que indica alimentos formulados para celíacos.

Fonte: BALDO & WRIGLEY (1984)

Na Inglaterra, a Sociedade Celíaca decidiu adotar o símbolo “sem glúten” (a espiga de trigo cruzada), para facilitar ao consumidor a identificação dos produtos isentos de glúten. O uso do símbolo não está sujeito ao controle do governo. Esse símbolo também é usado, variando o grau, em alguns outros países como Suíça, Holanda, Alemanha e Estados Unidos. Não tem caráter legal mas é considerado de muita utilidade para os consumidores e é geralmente recomendado pelas associações de celíacos (CAMPBELL, 1987).

#### **1.4. Tipos de Cereais e Avaliação da Toxicidade das Frações (Reatividades)**

Trigo, centeio, cevada, aveia, milho e arroz são membros da Família *Graminea*; e as proteínas dessa família são classificadas seguindo o método da solubilidade de Osborne (KIEFFER et al., 1982)

De acordo com os estudos de Osborne, as proteínas do trigo foram divididas em quatro classes com base na solubilidade:

- Albuminas, solúveis em água;
- Globulinas, solúveis em soluções salinas (solução de NaCl 10%), mas insolúveis em água;
- Gliadinas, solúveis em etanol 70 a 90%;
- Gluteninas, insolúveis em soluções aquosas neutras, soluções salinas ou alcoólicas (LÁSZTITY, 1984)

Como os termos gliadina e glutenina são usualmente reservados para o trigo. Osborne sugeriu os nomes genéricos prolaminas e glutelinas para as frações de proteína equivalentes de outros cereais. Na classificação de Osborne, as proteínas complexas não foram levadas em consideração (HEKKENS & GRAAF, 1990).

A definição das frações de proteína de trigo foi proposta por Osborne em 1907 e, apesar da melhora nos métodos de separação e purificação, a classificação de Osborne não foi invalidada. Trabalhos recentes, entretanto, têm mostrado que essas características de solubilidade são relativas e, sendo que, as gluteninas de baixo peso molecular são agora conhecidas por serem também solúveis em etanol (CICLITIRA & ELLIS, 1987).

É a qualidade e a quantidade de proteína que dá à farinha de trigo suas propriedades de cozimento características, e é também a proteína que contém o fator tóxico associado a doença celíaca (PATEY, 1974).

O glúten é o componente protéico do trigo, aveia, cevada e centeio. No caso do trigo, o glúten é constituído de partes iguais de gliadina e glutenina e corresponde a 90% das proteínas do trigo. Podem ser precipitadas utilizando-se etanol a 70% no qual a gliadina é solúvel e a glutenina, insolúvel (CÂNDIDO & CAMPOS, 1996).

A fração gliadina tem sido considerada de maior importância na doença celíaca. As gliadinas são ainda subdivididas em subfrações (40-50 bandas) de acordo com sua mobilidade relativa em eletroforese em gel de poliacrilamida ou amido em tampão lactato de alumínio. As sub-frações de gliadina são denominadas  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - e  $\omega$ -gliadina em ordem decrescente de mobilidade eletroforética (KIEFFER et al., 1982; CICLITIRA & ELLIS, 1987; PATEY, 1974; HOWDLE et al., 1984).

A natureza genética da variedade do trigo determina a composição das frações protéicas. Portanto, a mesma variedade de trigo cultivada em diferentes áreas do mundo produzirão proteínas idênticas, embora não necessariamente na mesma quantidade (PATEY, 1974).

Os pesos moleculares da  $\alpha$ -,  $\beta$ - e  $\gamma$ -gliadina estão entre 32.000 e 44.000 Da, por eletroforese em gel de poliacrilamida e sulfato dodecil de sódio, mas os pesos moleculares relatados variam consideravelmente quando técnicas mais antigas são empregadas. A  $\omega$ -gliadina, que constitui aproximadamente 10% da mistura de gliadinas, tem peso molecular mais ou menos dobrado em relação as outras gliadinas e é o menor componente da mistura de gliadinas (CICLITIRA & ELLIS, 1987; PATEY, 1974). A  $\alpha$ -,  $\beta$ - e  $\gamma$ -gliadina (cada uma em torno de 30% da

mistura de gliadina) têm cadeias polipeptídicas simples e ligações dissulfeto intramoleculares.

Foi observado que de todas as gliadinas, a  $\omega$ -gliadina é a fração mais resistente ao calor e é, portanto, essa a proteína que é usada como padrão em análises por ELISA de produtos processados termicamente (WIESER et al., 1994)

A composição aminoacídica de uma gliadina típica mostra cerca de 40% em glutamina, 15% prolina, e uma deficiência em aminoácidos básicos. Proteínas de diferentes variedades do trigo fornecem análises de aminoácidos similares, mas com pequenas diferenças. A seqüência de aminoácidos da gliadina ainda não foi determinada. Entretanto, estudos de probabilidade computacional indicam que muitas seqüências de glutamina consecutivas são esperadas em cada cadeia protéica. Para a estrutura física da gliadina, calculou-se um conteúdo de 38% de  $\alpha$ -hélice usando dispersão rotatória óptica e dicroísmo circular. Elas são globulares com diâmetro interno e externo de 100 e 340 Ångstrons, respectivamente, e uma espessura de 90 Ångstrons (PATEY, 1974).

A toxicidade parece estar associada com alguma seqüência de aminoácidos não usual na gliadina. A molécula de proteína completa não é necessária para a atividade tóxica; o proteólisado resultante do tratamento do glúten com pepsina e tripsina é tóxica, mas um hidrolisado ácido completo não é (BALDO & WRIGLEY, 1984). A possível estrutura desses complexos foi discutida por KASARDA (1981 e 1983; citados por CAMPBELL, 1987), mas sua natureza exata não é conhecida.

HOWDLE et al. (1984) e JOS et al. (1978) usaram biopsia *in vitro* de cultura jejunal e, independentemente, concluíram que não apenas alfa, mas frações beta, gama e ômega da gliadina do trigo exacerbam a doença celíaca. CICLITIRA & ELLIS (1987) avaliaram a toxicidade comparando a morfologia de

biópsias jejunais e concluíram dos resultados das avaliações morfométricas duplas-cegas de biópsias jejunais, antes e depois das provocações, que todas as quatro sub-frações de gliadina de trigo exacerbam a doença celíaca *in vivo*.

KIEFFER et al. (1982) concluíram que, embora as gliadinas tenham sido confirmadas como o maior estímulo antigênico na doença celíaca, e dentro dessa fração a alfa-gliadina tem mostrado ter a maior atividade antigênica, as albuminas e globulinas solúveis em água e as gluteninas solúveis em ácido também tem atividade antigênica significativa em pacientes celíacos.

Deve-se lembrar que a separação das proteínas por solubilidade não fornece frações exatas ou precisamente "puras"; existe um espectro de solubilidade. O método de Osborne depende de uma extração sequencial e, infelizmente, a extração exaustiva para remoção de albuminas e globulinas completamente tende a extrair quantidades significativas de gliadina (KIEFFER et al., 1982).

KIEFFER et al. (1982) também chegaram a resultados que indicam que as alfa-gliadinas são o principal estímulo antigênico em celíacos, e também, mas em extensão muito menor, em pessoas normais. Esses autores também chegaram a resultados indicando claramente que proteínas solúveis em etanol a 70% do centeio, cevada e aveia são similares àquelas do trigo na reatividade antigênica com soro celíaco. A atividade das prolaminas da aveia nesse teste apareceu quase inequivocamente, apesar das incertezas na literatura quanto ao efeito da aveia na doença celíaca.

Combinações de cromatografia de filtração em gel, cromatografia de troca iônica em médias diferentes a diferentes pH's e eletroforese em gel de poliacrilamida a diferentes pH's forneceram evidências de 24 componentes

diferentes que são designados de mistura A-gliadina de uma fração tóxica alfa-gliadina (KASARDA, 1981; citado por CAMPBELL, 1987).

Assumindo que a A-gliadina é a proteína mais tóxica para os celíacos, KASARDA et al. (1978) produziram trigo com falta do cromossomo 6A, que codifica a A-gliadina. Pães feitos desse trigo alimentaram pacientes celíacos e os resultados iniciais com os poucos celíacos foram estimulantes pois eles ficaram em grande parte livres de sintomas por duas semanas. Entretanto, uma avaliação mais prolongada de um total de seis celíacos mostrou que mesmo esse trigo ajustado geneticamente conservou toxicidade considerável para celíacos.

Esse e outros experimentos tendem a fortalecer a probabilidade de que muitas proteínas diferentes dos cereais são responsáveis pela condição celíaca e que a tarefa de criar um trigo sem essas proteínas pode ser impossível (BALDO & WRIGLEY, 1984).

A quantidade ingerida e a natureza (cozido ou cru) são obviamente importantes. A dose de antígeno potencial realmente absorvida e presente na mucosa dependerá da maneira e extensão de sua digestão e a adaptação de cada espécie para a digestão de substâncias alimentares particulares (COOMBS et al., 1984).

É de considerável interesse o descobrimento de que o soro de pessoas normais deu o mesmo padrão de reatividade contra as várias frações e amostras como para os pacientes celíacos, sendo diferente apenas na magnitude das titulações (KIEFFER et al., 1982; COOMBS et al., 1984). KIEFFER et al., (1982) sugerem que os anticorpos de gliadina encontrados nos celíacos podem não ser especialmente diretos contra um antígeno específico ativo, mas reflete a resposta elevada dos anticorpos para aumentar os níveis de antígenos absorvidos nas vísceras. COOMBS et al. (1984) sugere que ou a maioria dos antígenos de

cereais são absorvidos nas vísceras nos celíacos ou que os pacientes celíacos têm elevada resposta de anticorpos para esses antígenos.

CICLITIRA & ELLIS, 1987 relataram que proteínas de armazenamento do trigo podem ser sintetizadas em *E. coli* usando vetores de nova expressão. Isto pode permitir a produção de gliadinas sequenciadas que podem ser investigadas por sua toxicidade em celíacos por análises *in vitro* e fornecer a estrutura do peptídeo de cereal que exacerba a doença celíaca.

Segundo CAMPBELL (1987), pelo fato das prolaminas estarem confinadas ao endosperma amiláceo, o farelo de trigo não deveria conter gliadinas. Entretanto, como a contaminação com gliadinas é inevitável, as autoridades não recomendam seu uso. Por outro lado, o amido e a proteína do endosperma podem ser separados com relativa eficiência, e por isso pastas de farinha de amido de trigo foram consideradas aceitáveis para celíacos. CAMPBELL (1987) citou a experiência de CICLITIRA et al. (1985) e concluiu que embora alguns celíacos possam tolerar o amido de trigo sem efeitos tóxicos, essa farinha não deve ser considerada isenta de glúten e não deve ser utilizada em receitas sem glúten.

### **1.5. Tipos de Produtos Existentes no Mercado**

A obtenção de produtos de panificação torna-se difícil sem as propriedades mecânicas conferidas a massa pelo glúten. Várias formulações têm sido desenvolvidas, contudo, utilizando grãos de cereais “não tóxicos”, sendo encontrados em vários países produtos de panificação destinados a celíacos. Entre as formulações mais recentes estão aquelas desenvolvidas por DUTCOSKI (1995), que incluem tecnologia para fabricação de biscoitos tipo “cookie” e sequilho e massas tipo talharim e espaguete a partir de farinha de arroz, as de TOUFEILI et al. (1994) que formulou pães isentos de glúten utilizando farinha de

arroz e amido de milho pré-gelatinizado com farinha de milho e a formulação de macarrão de arroz com emulsificantes de ORMENESE (1998).

A exclusão do glúten da dieta pode ser difícil de conseguir devido à sua utilização em uma ampla classe de alimentos processados. Mesmo quando a dieta é confinada a produtos caseiros, produtos de cereais assados são difíceis de se obter dispensando as propriedades do glúten.

### **1.6. Imunoensaios para detecção e quantificação de glúten**

Existem muitos artigos na literatura que dizem a respeito da resposta de anticorpos às proteínas de leite e ovos. As análises, que eram disponíveis antigamente, não se equiparam às disponíveis hoje. Requer-se um procedimento em que uma proteína alimentar particular purificada é ligada a uma partícula ou suporte de fase sólida. As reações dos anticorpos são medidas com reagentes antiglobulina de isotipo específico (COOMBS et al., 1984).

Antigamente, utilizavam-se testes para detectar isotipos de anticorpos tais como: RCLAAR (Red Cell-Linked Antigen-Antiglobulin Reaction) ou RAST (RadioAllergoSorbent Test). Hoje em dia, todas as classes de isotipos de anticorpos alimentares podem ser satisfatoriamente medidos por ELISA (Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay), com os antígenos de alimento adsorvidos nas paredes dos poços das placas microtituladoras. A reação MRsPAH (Mixed Reverse Solid-phase Passive Antiglobulin Haemadsorption) é também extremamente satisfatória, onde os reagentes antiglobulinas de isotipo específico são marcados por acoplamento às células vermelhas (KIEFFER et al., 1982; COOMBS et al., 1984).

Por muitos anos foi conhecido que pacientes com doença celíaca têm elevada titulação de anticorpos IgG do soro direcionados contra proteínas do trigo (KIEFFER et al., 1981; COOMBS et al., 1984).

Até recentemente, os procedimentos dos testes usados para medir estes anticorpos não estavam aperfeiçoados devido às características de solubilidade das gliadinas. Foi demonstrado que isso não é problema para a reação de ELISA ou MrsPAH, onde os antígenos são adsorvidos na superfície plástica dos poços das placas de microtitulação. No caso particular das gliadinas, o antígeno é depositado na superfície do poço por evaporação de uma solução de etanol. Usando tais placas cobertas com antígenos e a reação de ELISA ou MrsPAH, uma medida de anticorpos de gliadina no soro de pessoas normais e de pacientes com doença celíaca é facilmente obtido (AYOB et al., 1988).

Um dos objetivos do estudo de KIEFFER et al.(1982) foi fazer uma comparação entre MrsPAH e ELISA. O estudo concluiu que a reação MrsPAH e o teste de ELISA deram resultados comparáveis, que o MrsPAH é muito simples de realizar e pode ser lido sem qualquer equipamento elaborado e que o teste de ELISA é provavelmente mais econômico porque o reagente anti-imunoglobulina e os reagentes acopladores de enzimas podem ser mantidos por longos períodos a 4°C enquanto os reagentes acopladores de células vermelhas tem de ser preparados cada 2-3 semanas. As duas análises são igualmente sensíveis mas ELISA é prontamente lido num espectrofotômetro, o que torna o resultado independente de julgamento individual.

AYOB et al. (1988) desenvolveram um teste específico para gliadina baseado nas técnicas convencionais de ELISA e desenvolveram também técnicas para eliminar o problema de ligações não-específicas, já que a gliadina liga-se ávida e não especificamente a placas de poliestireno não recobertas. O ELISA descrito detecta exatamente gliadina, com alta sensibilidade, em farinhas e

produtos alimentícios contendo farinha de trigo, é um método rápido, confiável e específico para detecção de glúten. Esse método também pode ser usado para monitorar os limites legais de proteínas de cereais que podem ser adicionadas a produtos alimentícios por razões econômicas ou tecnológicas.

Com o novo sistema de pós-cobertura, chegou-se a um sistema capaz de alta especificidade, alta sensibilidade, dado o baixo número de ligações não específicas (AYOB et al., 1988).

A análise de AYOB et al. (1988) foi específica para aqueles antígenos causadores da doença celíaca e a especificidade da análise para frações de gliadina foi claramente demonstrada pelo estudo comparativo de diferentes farinhas. A atividade foi confirmada em cevada, centeio e trigo, mas não em aveia, milho ou soja. O ELISA modificado (ELISA sanduíche) é capaz de detectar gliadina em alimentos crus e misturas de cereais. Além disso, o tempo total de análise é de aproximadamente 30 minutos, o que a torna uma detecção rápida em amostras de alimentos crus. Estudos estão em andamento para a detecção de gliadina em alimentos cozidos.

## **2. Quinoa**

### **2.1. Histórico**

Quinoa, *Chenopodium quinoa*, família *Chenopodiaceae*, é uma planta indígena cultivada na América do Sul, tradicional da região dos Andes (DINI et al., 1992; RUALES & NAIR, 1993), e também cultivada como uma safra menor no México, Colômbia e Peru (DINI et al., 1992).

Quando os espanhóis chegaram ao Peru em 1537, encontraram um povo capaz de irrigar e preparar solos tão bem como cultivar muitas plantas (cerca de

50), selecionadas para alimentar uma população de 20 milhões de habitantes, espalhados em um território incluindo Peru, Colômbia e México, com grandes diferenças de temperatura, altitude e solo (DINI et al., 1992).

Nos séculos seguintes, algumas dessas plantas como milho, batata e tomate foram exportadas para todo o mundo, mudando radicalmente a dieta do planeta; outras, entretanto, não aceitas pela cozinha tradicional, acabaram sendo desprezadas. Algumas dessas plantas têm propriedades nutricionais e agrícolas muito interessantes. Felizmente, elas ainda são cultivadas pelo povo dos Andes (DINI et al., 1992). Nos tempos pré-colombianos, a quinoa era usada para fins de agricultura e culinária. Para os Incas, a cultura era considerada sagrada (GONZÁLES et al., 1989).

Historicamente, os povos da região andina da América do Sul usam as sementes em sopas, pães e bebidas fermentadas (BECKER & HANNERS, 1990). Junto com batatas e milho, a quinoa é um grande alimento básico para os povos em desenvolvimento nos Andes (MAHONEY et al., 1975), e é uma boa fonte de numerosas vitaminas e minerais (RUALES & NAIR, 1994).

Quinoa é uma amilácea, semente dicotiledônea, e não um grão cereal (RANHOTRA et al., 1993). É um pseudo cereal anual, que surgiu como uma safra de grãos alternativa, é tolerante às geadas e ao sal, com rendimento agrônômico razoável (BECKER & HANNERS, 1990). A área de cultivo da quinoa declinou rapidamente de 47.000 para 15.000 ha entre 1947 e 1975 (TAPIA, 1979, citado por GONZÁLES et al., 1989 ) devido ao desdém que a população local sentia por produtos de cultura indígena. Mas, hoje em dia, o cultivo da safra de quinoa tem aumentado porque seu valor nutricional tem-se tornado mais amplamente reconhecido (GONZÁLES et al., 1989).

## 2.2. Condições de Cultivo e Características da Quinoa

De igual importância aos benefícios nutricionais do grão da quinoa, é a resistência da planta. Diferente da maioria das outras safras de alimentos, a quinoa floresce com baixos índices de chuva, altas elevações, ar frio e rarefeito, sol forte, temperaturas subcongelantes e, até mesmo, em solos alcalinos, arenosos e pobres (LORENZ, 1990, WEBER, 1978). Ela cresce bem e rápido em altitudes de 2.000 a 4.000m, acima do nível do mar (RUALES & NAIR, 1993), tem baixo requerimento de esterco e qualidade dos solos (DINI et al., 1992), com rendimento variando de 2.000 a 4.000 kg/ha, dependendo da variedade e condições de cultivo (RUALES & NAIR, 1993).

A planta é uma herbácea, com raiz pivotante com muitas ramificações, que alcança uma profundidade de até 60cm. A parte aérea planta varia entre 100 e 230cm. As folhas são grandes na porção inferior e pequenas na parte superior da planta. O fruto é pequeno, achatado, com aproximadamente 2mm de diâmetro e 1mm de espessura, a cor da semente pode ser amarela, café, creme, branca ou translúcida (ALVAREZ et al., 1990). O peso de 100 sementes variou de 0,19 a 0,43g para as variedades estudadas por este autor.

As sementes de quinoa brancas ou rosadas ocorrem em aglomerados grandes como no sorgo (LORENZ, 1990). A quinoa é uma semente dicotiledônea (RANHOTRA et al., 1993) e é rica em amidos e proteína de boa qualidade biológica (TELLERIA RIOS et al., 1978).

A quinoa é uma importante fonte protéica, mas a expansão do seu cultivo precisa de forte estímulo governamental e provavelmente o uso de modernas técnicas agrícolas, para compensar a competição do trigo subsidiado e a migração das populações do campo para a cidade. Com relação a isto, é interessante frisar que a quinoa está confinada a regiões de terras altas porque o

cultivo em terras baixas apresenta sérios problemas de germinação e frutificação (GIUSTI, comunicação pessoal, 1988; citado por GONZÁLES et al., 1989). Em terras baixas, o cultivo de outra espécie de quinoa (*Ch. hircinum*), que não exhibe os problemas mencionados acima, está sendo incrementado (GONZÁLES et al., 1989).

GOMES et al. (1998) relatam em seu trabalho de avaliação de genótipos de quinoa cultivados em Planaltina, DF, Brasil, que a quinoa adaptada pela EMBRAPA às condições adversas àquelas dos países andinos apresenta características composicionais bastante semelhantes às das variedades oriundas daquelas regiões.

A média do fator de conversão de proteína determinado experimentalmente para a quinoa é  $5,96 \pm 0,05$ , inferior ao 6,25 usado pela FAO (BECKER & HANNERS, 1990) para misturas protéicas gerais. Esse valor reflete o maior conteúdo de nitrogênio da glutamina, apesar do escasso conteúdo de aminoácidos básicos.

### **2.3. Composição Centesimal e Aminoacídica**

A composição da quinoa varia em alguma extensão, dependendo de sua variedade (RUALES & NAIR, 1992) e também de fatores ambientais.

As sementes, que contêm de 12 a 19% de proteína, são uma das mais ricas fontes de proteína entre os grãos. Mais ainda, sua proteína, assim como a do amaranto, possui um balanço de aminoácidos excepcionalmente atrativo para a nutrição humana, devido aos seus altos níveis de lisina e metionina (LORENZ, 1990).

Apesar do alto teor protéico, para alcançar o mesmo valor biológico das proteínas da carne, deveria-se ter uma ingestão três vezes maior (KOZIOL, 1990).

O conteúdo de proteína do grão integral é de cerca de 15% (RUALES e NAIR 1993). No trabalho de DINI et al. (1992), o conteúdo de proteína bruta é de 13,7%, em base seca, que é mais alto que em grãos comuns, exceto a soja. Já para JANSSEN et al., 1979 (citados por GONZÁLES et al., 1989), o conteúdo de proteína total na quinoa (11,22%) é maior que o valor padrão do trigo (10,7%) e milho (9,0%) e muito perto do valor da cevada (11,9%).

RUALES e NAIR (1992) constataram que o conteúdo de proteínas e gorduras (proteína 14,1%, gordura 9,7%) é mais alto que os valores correspondentes aos cereais comuns, como farinha de trigo integral (proteína 10%, gordura 2,5%) e farinha de cevada (proteína 9,2%, gordura 3%). Esses valores estão de acordo com aqueles relatados anteriormente para a quinoa por DE BRUIN et al. (1963), WHITE et al. (1955) e GROSS et al. (1989).

A quinoa contém cerca de 11% de fibras da dieta (RUALES & NAIR, 1993). No trabalho de RANHOTRA et al. (1993), os valores de fibra dietética totais da quinoa pareciam equiparar-se aos valores relatados para cereais comuns e sementes de leguminosas (FROLICH & HESTANGEN, 1983; VARO et al., 1983; RANHOTRA et al., 1990). Diferente de legumes, tais como soja e ervilhas, a quinoa não foi uma fonte significativa de fibras solúveis.

O alto valor calórico (434,6 kcal/100g) indica energia potencial armazenada na forma de proteínas, carboidratos e gorduras. O valor calórico encontrado para a quinoa é mais alto que para os cereais conhecidos. Este grão torna-se uma fonte de energia potencial para os nativos de regiões montanhosas, cujos requerimentos calóricos são fornecidos pela quinoa e a batata, sendo outras fontes de energia escassas na região (GONZÁLES et al., 1989).

Na Tabela 1 têm-se valores de composição centesimal obtidos por diferentes autores e na Tabela 2 segue a composição aminoacídica da quinoa, também relatada por alguns autores.

Tabela 1 - Composição centesimal das sementes de *Chenopodium quinoa*

autor	variedade	umidade (%)	proteína (%)	lipídeos (%)	cinzas (%)	carboid (%)	fibras (%)	
							crua	total
González et al. (1989)	Sajama	14.5	11.2	4.04	3.0	-----	-----	-----
Dini et al. (1992)	Perlada	14.7	11.7	12.4	3.0	55.3	2.2	-----
Ruales & Nair (1992)	40057 crua	-----	14.1	9.7	3.4	72.5	-----	-----
Ruales & Nair (1992)	40057 lavada	-----	14.2	9.7	2.8	72.6	-----	-----
Ranhotra et al. (1993)	cultivar D407	7.8	15.6	4.6	2.3	-----	-----	8.9
Chauan et al. (1992)	cultivar D407	12.0	13.7	6.8	2.8	61.2	2.2	-----
Ascheri et al. (1998)	marca comercial	10.8	10.8	5.5	2.3	70.4	3.6	-----
Ascheri et al. (1998)	marca comercial	13.1	3.9	1.1	0.8	80.8	0.7	-----

Fonte: González et al. (1989), Dini (1992), Ruales & Nair (1992), Ranhotra et al. (1993), Chauan et al. (1992), Ascheri et al. (1998).

A contribuição de proteína para o conteúdo de energia total da farinha de semente de quinoa é 15%; 20% é da gordura e os restantes 65% são dos carboidratos. A contribuição feita pela proteína para o valor energético de dietas mais bem balanceadas está geralmente entre 10 e 15% da energia total, e raramente é maior que 20% (RUALES & NAIR, 1992).

A mais importante característica nutricional é que o conteúdo de proteínas solúveis que foi detectado rendeu alta proporção de lisina e metionina, que são escassos na maioria das proteínas de cereais, e o valor do triptofano foi muito próximo do registrado para outros cereais (RISI e GALWEY, 1984; citados por González et al., 1989). A proteína de quinoa tem alto teor de lisina, que é o aminoácido limitante nas proteínas de vegetais (MAHONEY et al., 1975; RUALES & NAIR, 1992), com exceção da soja e do feijão.

**Tabela 2 - Composição aminoacídica da quinoa**

Autor	Dini et al. (1992)	Ruales & Nair (1992)	Ruales & Nair (1992)
Variedade	Perlada	40057 crua	40057 lavada
Unidade	mg/g prot.	mg/g prot.	mg/g prot.
Ác. Aspártico	66.8	70	81
Treonina	34.9	38	40
Serina	38.3	39	45
Ác. Glutâmico	166.7	131	147
Prolina	22.6	32	21
Glicina	60.9	47	42
Alanina	57.1	37	47
Valina	60.0	39	59
Cistina	22.1	16	21
Metionina	22.5	18	28
Isoleucina	74.3	32	52
Leucina	75.0	79	77
Tirosina	31.3	29	26
Fenilalanina	43.4	34	36
Histidina	19.9	24	21
Lisina	45.8	51	57
Arginina	84.3	70	78
Triptofano	n.d.	15	19

Fonte: Dini et al. (1992), Ruales & Nair (1992).

O perfil aminoacídico é muito parecido entre as amostras de quinoa, antes e depois de lavar, o que pode significar que o processo de remoção das saponinas por lixiviação não modifica a composição aminoacídica das sementes de quinoa. O “score” químico da proteína de quinoa parece ser comparável ao de outras proteínas alimentares como a soja (RUALES & NAIR, 1992).

Há também uma variação considerável no conteúdo de aminoácidos entre as variedades de quinoa: o conteúdo de metionina da variedade Sajama foi mais

baixo que em outras variedades, enquanto a variedade Blanca contém menos lisina que outras variedades. Na maioria das amostras, metionina e triptofano foram os primeiros aminoácidos essenciais limitantes (MAHONEY et al., 1975; RUALES & NAIR, 1992). Essas diferenças devem-se ao fato de se tratar de diferentes variedades e também diferentes fatores ambientais.

O conteúdo de triptofano e lisina da proteína de quinoa é três vezes superior ao do trigo integral, enquanto que o conteúdo de metionina é no mínimo duas vezes maior na quinoa que no trigo (RUALES & NAIR, 1992). Por outro lado, RANHOTRA et al. (1993) afirmam que, tanto a caseína quanto a quinoa atenderam adequadamente o requerimento de lisina dos ratos, mas ambas as fontes aparentemente falharam em atender as necessidades de metionina, o primeiro aminoácido limitante da quinoa e também da caseína. A quinoa é comparável à soja em termos de conteúdo de lisina podendo servir como excelente suplemento protéico para cereais (RANHOTRA et al., 1993).

Segundo KOZIOL (1990), em relação ao padrão estabelecido pela FAO, a quinoa proporciona 67% de fenilalanina, 123% de isoleucina, 94% de leucina, 109% de lisina, 66% de metionina, 93% de treonina e 90% de triptofano e valina.

#### **2.4. Vitaminas e Minerais**

Embora a quinoa não seja um cereal, é freqüentemente consumida em seu lugar. Ela contém mais riboflavina e ácido fólico que os cereais comuns, tais como trigo, cevada, aveia, centeio, arroz e milho (KOZIOL, 1990). A quantidade de  $\alpha$ -tocoferol na quinoa (2,6mg/100g) é mais alta que aquela do trigo. Por isso, as sementes de quinoa podem ser uma fonte de vitamina E. A quantidade de  $\gamma$ -tocoferol (5,3mg/100g) é duas vezes a de  $\alpha$ -tocoferol na quinoa (RUALES e NAIR, 1993).

Valores de tiamina (0,24g/100g) e niacina (1,17g/100g) da quinoa descascada foram mais baixos que aqueles para os grãos mais comuns (HOSENEY, 1986; COULTER & LORENZ, 1990). Apesar disso, ela pode ser uma boa fonte de tiamina, ácido fólico e vitamina C (RUALES & NAIR, 1993). Já a riboflavina (0,22g/100g) foi mais alta do que em grãos comuns (RANHOTRA et al., 1993), como já relatado acima. A Tabela 3 apresenta os valores encontrados por diferentes autores para as vitaminas.

Tabela 3 - Conteúdo de vitaminas na semente de quinoa

Autor	Ranhotra et al. (1993)	Coulter & Lorenz (1990)	Ascheri et al. (1998)
Variedade	D407	D407	comercial
Unidade	mg/100g	mg/100g	mg/100g
Tiamina (B1)	0.29	0.24	0.27
Riboflavina (B2)	0.30	0.22	0.12
Niacina	1.24	1.17	----

Fonte: Ranhotra et al. (1993), Coulter & Lorenz (1990), Ascheri et al. (1998).

A quinoa pode satisfazer o requerimento da maioria das vitaminas recomendadas pelo "Committee on Dietary Allowances" (National Research Council, 1989). Em geral, as quantidades de minerais na semente de quinoa também são suficientes para satisfazer as recomendações nutricionais. Entretanto, o cálcio precisa ser suplementado (RUALES & NAIR, 1993).

RUALES e NAIR (1993) relataram que a quinoa é um pobre extrator de fósforo do solo. O solo da região Andina, onde a quinoa cresce, é de origem vulcânica com pouco conteúdo de fósforo, e esta pode ser uma razão para a adaptação natural da quinoa nesta região. A relação N:P:K na planta da quinoa foi de 8:1:13.

A quinoa contém mais ferro que os cereais comuns; entretanto, sua disponibilidade pode ser afetada, em alguma extensão, pelas saponinas e pelo ácido fítico presentes nas sementes (RUALES & NAIR, 1993b).

Os conteúdos de cobre e sódio na quinoa processada encontrados foram altos, o que é difícil de explicar. Pode ser devido a contaminação causada pela água usada para lavar (RUALES & NAIR, 1993).

A quinoa contém 35mg de Se /kg em base seca. O National Research Council (1989) recomenda 0,87mg/kg de peso corporal de selênio para adultos e o valor para crianças é usualmente extrapolado dos valores para os adultos com base no peso corporal e um fator para crescimento (RUALES & NAIR, 1993).

Mercúrio, chumbo e cádmio foram encontrados nas sementes de quinoa, e as quantidades são baixas quando comparadas com a ingestão tolerável de acordo com a FAO/WHO (1972), que é de 0,43mg/dia para chumbo, 0,04mg por dia para mercúrio e entre 0,06 e 0,07 mg por dia para cádmio (RUALES & NAIR, 1993).

As sementes contêm grandes quantidades de cálcio, fósforo, magnésio, ferro, zinco, potássio e cobre em relação aos grãos de cereais mais comuns, segundo RUALES & NAIR (1993).

A Tabela 4 a seguir apresenta o conteúdo de minerais na semente de quinoa encontrados por diferentes autores para os minerais.

A quinoa é uma fonte importante de ferro e com boa disponibilidade biológica. Juntamente com sua alta concentração no grão, ela deve ser reconhecida como um valioso alimento complementar (KOZIOL, 1990)

O processo de remoção das saponinas das sementes reduziu o conteúdo de vitaminas e minerais em alguma extensão. A perda foi significativa ( $p < 0,001$ ) no caso do potássio, e considerável também no caso do ferro e manganês

( $p < 0,01$ ). A tiamina foi reduzida em 30% ( $p < 0,001$ ),  $\alpha$ -tocoferol em 5% e ácido fólico em 15% ( $p < 0,001$ ) (RUALES & NAIR, 1993).

Tabela 4 - Conteúdo de minerais na semente de quinoa.

Autor	Ranhotra et al.(1993)	Coulter & Lorenz (1990)	Ascheri et al.(1998)
Variedade	D407	D407	comercial
Unidade	mg/100g	mg/100g	mg/100g
Fe	6.3	9.1	11.8
Mn	3.5	4.3	1.3
Cu	0.7	0.6	0.4
Co	----	----	----
Zn	3.2	----	3.6
P	462	377	357.3
Na	2.7	----	18.9
K	855	1040	564.8
Ca	70	71.2	38.3
Mg	161	310	160.2

Fonte: Ranhotra et al. (1993), Coulter & Lorenz (1990), Ascheri et al. (1998).

## 2.5. Saponinas e Ácido Fítico

Alguns antinutrientes, tais como as saponinas e ácido fítico, são conhecidos por abaixar a biodisponibilidade do zinco e do ferro (SOUTHON et al., 1988), e também por restringir o consumo direto da quinoa (FARFÁN et al., 1983).

As saponinas da quinoa são glicosídeos triterpenóides (KOZIOL, 1990) presentes nas camadas externas (DINI et al., 1992; LORENZ, 1990; FARFÁN et al., 1983) solúveis em água, com gosto amargo, e com efeito na quebra das membranas das células vermelhas do sangue (TELLERIA-RIOS et al., 1978). Saponinas são conhecidas pela produção de espuma, hemólise e inibição de crescimento de fungos (BECKER & HANNERS, 1990; TELLERIA-RIOS et al., 1978). O importante efeito da quebra das células vermelhas do sangue causado por esses glicosídeos foi detectado em grupos A e O (GONZÁLES et al., 1989).

As saponinas são compostos tóxicos, cuja toxicidade depende do tipo de saponina, do organismo receptor e sua sensibilidade e do método de absorção (KOZIOL, 1990)

Um caminho econômico de remoção das saponinas é primeiro fazer o polimento das sementes por atrito e depois lavar com água (LORENZ, 1990; RUALES & NAIR, 1992). Entretanto, a quantidade de ácido fítico que permanece depois da remoção da camada externa das sementes é relativamente alto, provavelmente por causa de sua distribuição por igual no endosperma (RUALES & NAIR, 1993).

A quantidade de ácido fítico depois do processo de lavagem usado para remoção das saponinas é de cerca de 8mg/g de farinha de quinoa (RUALES e NAIR, 1993). Quantidades excessivas de fitato na dieta tem um efeito negativo no balanço de minerais, pois ele liga-se a minerais multivalentes, tais como  $Fe^{3+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  e torna-os menos disponíveis para absorção no trato intestinal (LARSON & SANDBERG, 1990; citados por Ruales e Nair, 1993). As quantidades máximas de fitato que não tem efeito negativo na disponibilidade do Zn e Fe foram relatados em 50mg e 10mg por refeição, respectivamente (SANDBERG, 1990; citados por Ruales e Nair, 1993).

No trabalho de RUALES & NAIR (1993), após polimento e lavagem com água, os traços de saponinas (0,33% b.s.) que permanecem na semente não foram detectados por provadores informais de gosto. O conteúdo de ácido fítico na quinoa foi reduzido em 29% como resultado do polimento e lavagem.

Nenhuma diferença significativa entre o conteúdo de proteína e gordura da quinoa lavada e da quinoa bruta foi encontrada, mas o conteúdo de cinzas foi mais baixo na quinoa lavada que na quinoa bruta, o que pode ser devido ao fato de alguns minerais da camada externa também serem removidos durante o

processo de remoção das saponinas (RUALES & NAIR, 1992), o que também foi relatado por RUALES & NAIR (1993). Nenhum dos métodos empregados (lavar ou polir) têm efeito significativamente adversos sobre a composição dos grãos (KOZIOL, 1990).

TELLERIA RIOS et al. (1978) desenvolveram um processo térmico para extração das saponinas, estudaram seus efeitos na qualidade da proteína e não acharam nenhuma mudança na composição aminoacídica nas quatro variedades de quinoa estudadas depois de tratamento com água a 50°C, 70°C e 87°C. Os autores relataram que não houve diferença na composição aminoacídica da quinoa crua e da quinoa tratada com água à diferentes temperaturas para a remoção das saponinas. Estudos biológicos mostraram um decréscimo do valor de PER quando a temperatura de extração foi de 85°C, mas nenhuma mudança a 70°C.

FARFÁN et al. (1983) relatam que a lavagem simples não é suficiente para reduzir a quantidade destes compostos na semente e que processos como extração em meio alcalino (PULGAR, 1954; citados por FARFÁN et al., 1983), extração em água à 70°C (TELLERIA RIOS et al., 1978) e em solução alcoólica (JUNGE, 1978; citado por FARFÁN et al., 1983), apesar de serem processos baratos e artesanais, podem ser um fator limitante para planos futuros de industrialização. O trabalho de FARFÁN et al. (1983) foi investigar o efeito que a moagem do grão de quinoa em moinhos de rolo em diferentes graus de condicionamento poderia ter sobre o conteúdo de saponinas, monitorando o ácido oleanólico dos produtos. Como resultados, os autores obtiveram que os grãos condicionados a 14,5% de umidade produziram farinhas (quebra e redução) com apenas 27,3% do ácido oleanólico original e também que a moagem do grão de quinoa da variedade Kancolla em moinhos de rolo para trigo pode remover a maior parte das saponinas, como foi mostrado pela migração do ácido oleanólico e por provas de degustação.

Na hidrólise enzimática *in vitro*, existe um padrão de liberação de aminoácidos individuais para a quinoa crua e a quinoa lavada similar, o que sugere que a liberação de aminoácidos pelas enzimas não é influenciado pelas saponinas (RUALES & NAIR, 1992).

Os taninos estão presentes no sorgo (PRICE e BUTLER, 1977), mas GONZÁLES et al. (1989) fez o primeiro relato de taninos em grãos de quinoa.

## **2.6. Qualidade Nutricional**

A qualidade nutricional da proteína das sementes de quinoa é determinada pela análise de aminoácidos e por experimentos com animais. A determinação de aminoácidos dos grãos dá o conhecimento químico da proteína da quinoa, mas este conhecimento tem informação limitada sem a informação complementar sobre o valor biológico da proteína (KOZIOL, 1990).

A qualidade nutricional da proteína de quinoa, comparada com a de cereais comuns, é muito alta (MAHONEY et al., 1975; RUALES e NAIR, 1992b).

A composição aminoacídica da proteína na quinoa bruta e na quinoa lavada mostrou padrão similar, como já relatado. Os experimentos com animais mostram valores de NPU (utilização líquida da proteína) de 75,7, VB (valor biológico) de 82,6 e DV (digestibilidade verdadeira) de 91,7 para a proteína na quinoa bruta no trabalho de RUALES & NAIR (1992). Não existiu diferença significativa para os valores de NPU, DV e VB entre as dietas baseadas em quinoa lavada e crua, mas existiu diferença significativa entre essas duas dietas e a dieta de caseína para esses valores. O VB da quinoa crua (82,58) e da quinoa lavada (80,79) é mais alto que aquela relatado para a média de arroz, milho, centeio, trigo e soja (RUALES & NAIR, 1992).

O ganho de peso dos ratos alimentados com quinoa crua no final do período do experimento no trabalho de RUALES & NAIR (1992) foi mais baixo que daqueles alimentados com dieta de quinoa lavada, e também muito menor que daqueles alimentados com dieta de caseína. Uma comparação da digestibilidade (DV) de quinoa crua (91,7) e de quinoa lavada (91,6) mostrou que as saponinas não exercem qualquer efeito negativo na digestibilidade das proteínas no nível que estavam presentes nas amostras do trabalho desses autores. Os valores de NPU (75,7 para quinoa bruta e 74 para a quinoa lavada) obtidos neste experimento apontam para o fato que as saponinas da quinoa não interferem na eficiência da utilização de nitrogênio. Os altos valores de DV indicam a melhor disponibilidade das proteínas de quinoa às enzimas digestivas (RUALES & NAIR 1992).

No trabalho de MAHONEY et al. (1975), apesar dos ratos que foram alimentados com quinoa não cozida terem ganho menos peso que os ratos alimentados com caseína, a diferença de ganho de peso não foi estatisticamente significativa. Expressando os valores de crescimento promovido pelas dietas como a eficiência em converter nitrogênio absorvido em nitrogênio de carcaça (NEG), os autores encontraram que as proteínas de quinoa não cozida e caseína foram similares. O NEG pode ser uma melhor medida da qualidade protéica que o PER (quociente de eficiência protéica) sempre que existam diferenças significativas na composição corporal.

No trabalho de MAHONEY et al. (1975), a proteína da farinha de trigo teve o mais baixo NEG. A mistura de 20% de quinoa com 80% de farinha de trigo resultou em uma melhora de 43% do NEG e 72% do PER, quando comparado a farinha de trigo sozinha. A mistura continha 50% mais de lisina que a farinha de trigo sozinha, o que é suficiente para explicar a melhora no valor de PER (MAHONEY et al., 1975).

Os valores de PER no trabalho de MAHONEY et al. (1975) mostram que a qualidade protéica da quinoa cozida é quase idêntica a da caseína. O PER da quinoa cozida foi 30% maior que o da quinoa não cozida, mesmo com a composição aminoacídica das duas dietas sendo idênticas. Entretanto, os ratos consumiram aproximadamente 60% mais da dieta de quinoa cozida em relação a de quinoa não cozida. Tal diferença de ingestão alimentar pode causar diferente ingestão de proteína, que por sua vez, pode causar esta diferença de PER (MAHONEY et al., 1975).

Novamente para o trabalho de MAHONEY, et al. (1975), usando ganho de peso, NEG, PER e ingestão de alimento por unidade de ganho de peso como critério, as dietas protéicas podem ser classificadas em ordem de qualidade decrescente: quinoa cozida, caseína, quinoa não cozida, 20% de farinha de quinoa com 80% de farinha de trigo, pão de farinha de quinoa-trigo e farinha de trigo. Embora a ordem das dietas acima não mude, a qualidade protéica da quinoa e da caseína não é significativamente diferente. A observação concorda bem com WHITE et al. (1955), que relatou que os valores de crescimento promovidos pela dieta de quinoa, preparados similarmente aqueles usados no laboratório por MAHONEY et al. (1975), foram iguais aos da proteína de leite integral desidratado.

Para RANHOTRA et al. (1993), houve uma pequena, porém significativa, diferença observada na digestibilidade entre a quinoa e a caseína, o que pode ser explicado pelo fato de que os alimentos de cereais e derivados são usualmente menos digeríveis que alimentos de origem animal.

Os resultados de métodos enzimáticos *in vitro* mostraram que a digestibilidade da proteína na quinoa é comparável àquela de outras proteínas alimentares de alta qualidade. Os experimentos correspondentes realizados com

amostras de sementes de quinoa, que foram processadas para a remoção das saponinas, mostraram que as saponinas não exercem qualquer efeito negativo na qualidade nutricional da proteína (RUALES e NAIR, 1992).

## **2.7. Amido da Quinoa**

A quinoa tem mais baixo conteúdo de amido (54% em base seca) do que os cereais comuns, como o trigo (64-70%) ou milho (73%) (RUALES & NAIR, 1994).

Os grânulos de amido da quinoa têm uma faixa de tamanho de 0,6 a 2,0mm (LORENZ, 1990; KOZIOL, 1990) e são encontrados dentro das células das sementes sozinhos ou como estruturas compostas de agregados esféricos. A composição química e as características estruturais dos polímeros de amido são indubitavelmente importantes para o seu desempenho (LORENZ, 1990).

O valor protéico do amido de quinoa é mais alto que de outros amidos isolados pelo mesmo procedimento. É mais difícil remover material protéico durante o isolamento do amido de quinoa. Entretanto, o conteúdo de amilose é baixo, em comparação com trigo e cevada. ATWELL et al. (1983) relataram um conteúdo de amilose de 11% para o amido de quinoa. O baixo conteúdo de amilose e o tamanho pequeno dos grânulos de amido de quinoa afetam significativamente as características funcionais do amido (LORENZ, 1990).

Amidos com baixo conteúdo de amilose (arroz selvagem, amaranto, e quinoa) tiveram baixa capacidade de retenção de água (LORENZ, 1990). A capacidade de retenção de água foi mais alta para o amido de amaranto, seguido pelo amido de quinoa e do arroz selvagem. A capacidade de retenção de água é uma medida feita a temperatura ambiente e não indica o comportamento do amido quando aquecido. A baixa capacidade de retenção é atribuída a uma associação

próxima dos polímeros de amido no grânulo nativo. Essa capacidade aumenta tão logo o aquecimento comece a romper as ligações intergranulares durante a gelatinização.

O amido de quinoa teve poder muito mais alto de entumescimento que os outros amidos na temperatura estudada por LORENZ (1990), com exceção do amido de batata. Como esperado, o aumento na temperatura da pasta aumentou o poder de entumescimento de todos os amidos e também a solubilidade. A força e o caráter de rede micelar dentro dos grânulos é o maior fator controlador do comportamento de entumescimento do amido. Então, um amido altamente associado com uma estrutura micelar fortemente ligada e extensiva deverá ser relativamente resistente ao entumescimento. LORENZ (1990) viu maior entumescimento nos amidos de mais ou menos baixo conteúdo de amilose (quinoa, arroz selvagem e amaranto), indicando que a amilose reforça a rede interna dentro do grânulo e, portanto, restringe o entumescimento, o que já havia sido relatado.

Amidos com grânulos de tamanho pequeno (arroz selvagem, amaranto e quinoa) mostraram mais alta susceptibilidade à enzimas que os amidos de trigo, cevada e batata. A estrutura do grânulo de amido, quando reforçada por amilose, torna-se mais resistente à hidrólise enzimática (LORENZ, 1990). Segundo RUALES & NAIR (1994), o amido de quinoa é envolvido por uma matriz protéica, o que reduz a taxa de hidrólise enzimática do amido.

Quanto ao poder espessante, os amidos com os grânulos de menor tamanho (arroz selvagem e quinoa) produziram constante aumento na viscosidade durante a estocagem, até 5 dias, como resultado da lenta hidratação dos grânulos (LORENZ, 1990). Como agente espessante para recheios, o amido de quinoa teve melhor desempenho que os outros amidos no estudo de LORENZ (1990).

Os amilogramas do amido de quinoa mostraram viscosidades substancialmente diferentes comparadas às dos amidos de trigo e cevada usando iguais concentrações de amido (ATWELL et al., 1983). Em um mesmo ponto de referência, o amido de quinoa exibiu viscosidade muito mais alta que o amido de trigo ou cevada (LORENZ, 1990; ATWELL et al., 1983). O amido de quinoa não exibiu perda de viscosidade (ATWELL et al., 1983).

Amidos com os mais baixos conteúdos de amilose tiveram as mais altas temperaturas de gelatinização finais. A temperatura de gelatinização do amido de quinoa foi levemente mais alta que a do trigo e da cevada (LORENZ, 1990). Já KOZIOL (1990) e LI & LINEBACK (1977) relataram que a temperatura de gelatinização é similar à do trigo. ATWELL et al. (1983) relataram uma temperatura de gelatinização na faixa de 57-64°C para o amido de quinoa.

Bolos assados com amido de amaranto, batata e quinoa mostraram um volume muito bom no forno, mas todos os bolos colapsaram perto do fim do processo de assamento. A capacidade de retenção de gás desses bolos foi grandemente reduzida. O "score" total indicou que apenas os amidos de trigo e cevada produziram bolos com qualidade satisfatória. O baixo desempenho do amido de quinoa, amaranto e batata em panificação pode ser parcialmente atribuído ao fato de que esses amidos contêm muito pouca amilose. Portanto, a ligação estrutural é fraca. Embora os grânulos de amido entumeçam durante o assamento, a estrutura do bolo não suporta o estresse desenvolvido durante o assamento ou no subsequente resfriamento. Amidos de milho, cevada, e batata produzem bolos de qualidade média (LORENZ, 1990).

LORENZ & COULTER (1991) relatam que o uso de farinha de quinoa em até 20% de substituição não teve efeito no volume do bolo. Já com uma substituição de 30%, o volume do bolo diminuiu. Esses autores também relataram

que a substituição de 5% de farinha de pão pela farinha de quinoa resultou em aumento de volume, talvez devido a alta taxa de atividade da  $\alpha$ -amilase. Já a substituição de 10% ou mais causou redução do volume, o que foi causado pela diluição do glúten.

Pães assados com amidos de batata, amaranto e quinoa têm volumes consideravelmente mais baixos. Amido de cevada e trigo produzem pães de boa qualidade, enquanto os outros produzem pães de baixa qualidade (LORENZ, 1990). No caso do amaranto, batata e quinoa, a força do glúten não foi capaz de segurar o peso adicional do amido hidratado para formar a rede permanente de glúten e reter o dióxido de carbono formado durante a fermentação. Em consequência, esses amidos tiveram baixo desempenho no assamento do pão (LORENZ, 1990).

Amidos não de trigo, exceto aqueles que vêm de outras espécies de cereais, como cevada e centeio não são próprios para propósitos de panificação como substitutos do amido de trigo (LORENZ, 1990). HOSENEY et al. (1978) atribuíram os baixos resultados de panificação de amidos não de trigo às temperaturas mais altas ou mais baixas de gelatinização e as diferentes características de pasta daquelas do amido de trigo. Dados de DENNETT & STERLING (1979) mostraram que o conteúdo de amilose tem um efeito direto sobre a afinidade glúten-amido e, portanto, nas características de superfície do amido, afetando a interação entre os componentes amido e glúten. Eles também observaram que a amilose tem mais alta afinidade por glúten que a amilopectina.

## 2.8. Uso da Quinoa

A quinoa pode ser utilizada sozinha, tanto como grão inteiro como farinha integral, ou pode ser usada em combinação com cereais para melhorar o valor nutricional de alguns produtos. Em combinação com farinha de trigo, “noodles”, “cookies”, pães e bolos de alto teor protéico podem ser feitos. A extrusão do grão de quinoa integral pode ser um bom meio de processamento. Em combinação com “frits” de milho, pode ser utilizada potencialmente em produtos tipo “snack” com alto teor de fibras e proteínas (COULTER & LORENZ, 1990).

RÜTTE (1990), em um trabalho para Latinreco S.A., apresenta vários pratos que podem ser preparados, bem como outras formas de consumo da quinoa. O autor cita também o livro “Mil Delicias de La Quinoa” de Bethsabe Iñiguez de Barrios (1977), que contém numerosas receitas para preparar a quinoa.

Deve-se lembrar que a quinoa deve ser utilizada como farinha integral, já que a parte protéica da mesma encontra-se, em sua maior parte, na casca (ASCHERI et al., 1998). A farinha do endosperma tem aproximadamente 30% da quantidade total de proteína da quinoa.

VELA & CABRERA (1984) fizeram várias formulações fazendo substituições parciais de um ingrediente pela farinha de quinoa (arepas, pastas e arroz com quinoa), a quinoa participando como um ingrediente (verdura com quinoa, arroz com quinoa, purê de batata com quinoa, gelatina de vários sabores com quinoa) e quinoa como componente principal da formulação (“torrejas” de sal e doce).

Como resultados, os autores tiveram que, com a semente de quinoa lavada pode-se preparar uma grande variedade de alimentos salgados e doces, sendo

que, os mais aceitos foram: a mistura de farinha de arroz e de quinoa, as “torrejas”, o “turón” e a gelatina de piña ou de laranja. Pode-se também substituir, na elaboração de arepas, a farinha pré-cozida de milho pela farinha pré-cozida de quinoa em até 15%, sem alterar as características físicas, organolépticas e de textura do produto tradicional. Da mesma forma, ela pode substituir a sêmola do trigo na elaboração de pastas em até 15%, com características muito similares ao padrão, desde que a farinha de quinoa seja pré-cozida.

WONG (1994) fez análise sensorial de pasta fresca de quinoa com milho e obteve como resultados que a pasta mais aceita foi aquela com 20% de quinoa e 80% de milho em termos de ser a menos amarga e de melhor aspecto visual. O autor também conclui que seria necessário uma análise sensorial mais completa antes de se chegar a conclusões definitivas.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, M.; PAVÓN, J.; RÜTTE, S.; Characterization. In: WAHLI, C. **Quinoa, Hacia su Cultivo Comercial**. Latinreco, Quito, p. 5-30, 1990.
- ANAND, B.S.; JUAN PIRIS, TRUELOVE, S.C.; The role of various cereals in coeliac disease. **Quarterly Journal of Medicine**, v.47, n.185, p.101-110, 1978.
- ASCHER, H., HOLM, K., MÄKI, M.; Different features of coeliac disease in two neighboring countries. **Archives of Disease in Childhood**, London, v.69, p.375-380, 1993.
- ASCHERI, J.L.R.; RAMÍREZ-ASQUIERI, E.; CARVALHO, C.W.P.; Elaboracion de harina integral instantanea de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) por extrusion termoplastica. **Alimentaria**, v.292, n.5, p.93-98, 1998.
- ATWELL, W.A.; PATRICK, B.M.; JOHNSON, L.A.; GLASS, R.W.; Characterization of quinoa starch. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.60, n.1, p.9-11, 1983.
- AYOB, M.K.; RITTENBURG, J.; ALLEN, J.C.; SMITH, C.J., Development of a rapid enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for gliadin determination in food. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v.2, n.1, p.39-49, 1988.
- BAKER, P.G.; READ, A.E.; Oats and barley toxicity in coeliac patients. **Postgraduate Medical Journal**, Basingstoke, v.52, p.264-168, 1976.
- BALDO, B.A., WRIGLEY, C.W.; Allergies to cereals. **Advances in Cereal Science and Technology**, St. Paul, v.6, p.289-356, 1984.

- BARBIERI, D.; Doença Celíaca. In: MARCONDES, E.; **Pediatria Básica**, 7ªed, São Paulo: Sarvier, p.1186-1191, 1988.
- BECKER, R.; HANNERS, G.D., Compositional and nutritional evaluation of quinoa whole grain flour and mill fractions. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, London; Zurich, v.23, n.5, p.441-444, 1990.
- De BRUIN, A.; Investigation of the food value of quinoa and cañihua seed. **Journal of Food Science**, v.29, n.6, p.872-876, 1964.
- CAMPBELL, J.A.; Diet therapy of celiac disease and dermatitis herpetiformis. In: **World Review of Nutrition and Dietetics**, Basel, v.51, p.189-233, 1987.
- CÂNDIDO, L.M.B.; CAMPOS, A.M. **Alimentos para Fins Especiais: Dietéticos**, p.111-113, 1996.
- CICLITIRA, P.J.; ELLIS, H.J., EVANS, D.J.; LENNOX, E.S.; Relation of antigenic structure of cereal proteins to their toxicity in coeliac patients. **British Journal of Nutrition**, v.53, n.1, p.39-45, 1985.
- CICLITIRA, P.J.; ELLIS, H.J.; Investigation of cereal toxicity in coeliac disease. **Postgraduate Medical Journal**, Basingstoke, v.63, p.767-775, 1987.
- CHANDRA, R.K.; SAHNI, S.; Immunological aspects of gluten intolerance. **Nutrition Reviews**, v.39, n.3, p.117-120, 1981.
- CHAUAN, G.S.; ESKIN, N.A.M.; TKACHUK, R.; Nutrients and antinutrients in quinoa seed. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.69, n.1, p.85-88, 1992.

- COULTER, L.; LORENZ, K.; Quinoa - composition, nutritional value, food applications. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, London; Zurich, v.23, n.3, p.203-207, 1990.
- COOMBS, RR, et al; Allergenicity of food proteins and its possible modifications. **Annals of allergy**, Palatine, December, 1984.
- DENNETT K.; STERLING, C.; Role of starch in bread formation. **Starch/Stärke**, Alemanha, v.31, n.6, p.209-213, 1979.
- DINI, A. et al., A compositional study of *Chenopodium quinoa* seeds. **Die Nahrung**, Berlin, v.36, n.4, p.400-404, 1992.
- DUTCOSKI, S.D.; FUGMANN, H.A.J.; WASZCZYNSKYJ, N.; Desenvolvimento de tecnologia para fabricação de massas alimentícias isentas de glúten, tipo espaguete pré-cozido. **B. CEPPA**, Curitiba, v.14, n.1, p.111-130, 1996.
- FARFAN, J.A.; CIACCO, C.F.; RUIZ, W.A.; GROSSO, C.R.F.; Reduccion del nivel de saponinas en quinoa con molino para cereales. **Mesa Redonda International**, Procesamiento de la Quinoa, La Paz, p.75-80, 1983.
- FROLICH, W.; HESTANGEN, B.; Dietary fiber content of different cereal products in Norway. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.60, n.1, p.82-83, 1983.
- GOMES, M.P.; SPEHAR, C.R.; SABAA SRUR, A.U.; BARBOSA, A.L.S.; Avaliação das propriedades de genótipos de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) cultivadas nos cerrados brasileiros I: determinação da composição química. **Anais do XVI Congresso da Sociedade Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos (SBCTA)**, "Alimento, População e Desenvolvimento", v.2, p.1085-1088, julho, 1998.

GONZÁLES, J.A.; ROLDÁN, A.; GALLARDO, M.; ESCUDERO, T.; PRADO, F.E.,  
Quantitative determinations of chemical compounds with nutritional value from  
Inca crops: *Chenopodium quinoa* ("quinoa"). **Plant Foods for Human  
Nutrition**, Lincoln, v.39, n.4, p.331-337, 1989.

GROSS, R.; KOCH, F.; MALAGA, I.; MIRANDA, A.F.; SCHOENEBERGER, H.;  
TRUGO, L.C.; Chemical composition and protein quality of some local andean  
food source. **Food Chemistry**, v.34, n.1, p.25-34, 1989.

HEKKENS, W.T.J.M., GRAAF, M. T.; What is gluten-free - Levels and tolerances  
in the gluten-free diet. **Die Nahrung**, Berlin, v.34, n.5, p.483-487, 1990.

HOSENEY, R.C.; Minor constituents of cereals. In: Principles of Cereal Science  
and Technology. **American Association of Cereal Chemists**, St.Paul, p.108,  
1986.

HOSENEY, R.C.; LINEBACK, D.R.; SEIB, P.A.; Role of starch in baked foods. **The  
Bakers Digest**, v.52, n.4, p.11-18, 1978.

HOWDLE, P. D.; CICLITIRA, P.J.; SIMPSON, F.G.; LOSOWSKY, M.S.; Are all  
gliadins toxic in coeliac disease? An *in vitro* study of  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  and  $\omega$  gliadins.  
**Scandinavian Journal of Gastroenterology**, v.19, p.41-47, 1984.

JOS, J.; CHARBONNIER, L; MOSSÉ, J; OLIVES, J.P.; de TAND, M.F.; REY, J.;  
The toxic fraction of gliadin digests in coeliac disease. Isolation by  
chromatography on biogel P-10. **Clinica Chimica Acta**, v. 119, p. 263-274,  
1982.

- KASARDA, D.D.; The relationship of wheat proteins to celiac disease. **Cereal Foods World**, v.23, n.5, p.240-262, 1978.
- KIEFFER, M.; FRAZIER, P.J.; DANIELS, N.W.R.; CICLITIRA, P.J.; COOMBS, R.R.A.; Serum antibodies (measured by MrsPAH) to alcohol-soluble gliadins in adult coeliac patients. **Journal of Immunological Methods**, v. 42, n.2, p.129-136, 1981.
- KIEFFER, M.; FRAZIER, P.J.; DANIELS, N.W.R.; COOMBS, R.R.A., Wheat gliadins fractions and other cereal antigens reactive with antibodies in the sera of coeliac patients. **Clinical and Experimental Immunology**, Oxford, v.50, p.651-660, 1982.
- KOTZE, L.M.S., **Receitas para Pessoas com Sensibilidade ao Glúten**. Ed. Revinter, Rio de Janeiro, 1996.
- KOZIOL, M.J.; Composición química. In: WAHLI, C. **Quinoa, Hacia su Cultivo Comercial**. Latinreco, Quito, p. 137-159, 1990.
- LÁSZTITY, R; **The Chemistry of Cereal Proteins**. 1ª ed., Boca Raton: CRC Press, 203p., 1984.
- LII, C.Y.; LINEBACK, D.R.; Characterization and comparison of cereal starches. **Cereal Chemistry**, v.54, n.1, p.138-149, 1977.
- LORENZ, K., Quinoa (*Chenopodium quinoa*) Starch - Physico-chemical properties and functional characteristics. **Starch/Stärke**, Alemanha, v.42, n.3, p.81-86, 1990.

- LORENZ, K.; COULTER, L.; Quinoa flour in baked products. **Plant Foods for Human Nutrition**, Lincoln, v.41, n.3, p.213-223, 1991.
- MAHONEY, A.W.; LOPEZ, J.G.; HENDRICKS, D.G.; An evaluation of the protein quality of quinoa. **Journal Agr. Food Chem**, Easton, v.23, n.2, p.190-193, 1975.
- MEEUWISSE, G.W.; Diagnostic criteria in coeliac disease. **Acta Paediatrica Scandinavica**, v.59, p.461-463, 1970.
- McNEISH, A.S.; HARMS, H.K.; REY, J.; SHMERLING, D.H.; VISAKORPI, J.K.; WALKER-SMITH, J.A.; The diagnosis of coeliac disease. **Archives of Disease in Childhood**, v.54, p.783-786, 1979.
- ORMENESE, R.C.S.C.; Influência da adição de emulsificantes nas características de cozimento do macarrão de arroz obtido pelo processo convencional de produção de massas alimentícias. **Anais do XVI Congresso da Sociedade Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos (SBCTA)**, "Alimento, População e Desenvolvimento", v.3, p.754-757, julho, 1998.
- PATEY, A.L., Gliadin: the protein mixture toxic to coeliac patients. **The Lancet**, London, v.20, p.722-723, April, 1974.
- PRICE, M.L.; BUTLER, L.G.; Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content of sorghum grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.25, n.6, p.1268-1273, 1977.
- RANHOTRA, G.S.; GELROTH, J.A.; ASTROTH, K.; Total and soluble fiber in selected bakery and other cereal products. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.67, n.5, p.499-501, 1990.

RANHOTRA, G.S.; GELROTH, J.A.; GLASER, B.K., LORENZ, K.J.; JOHNSON, D.L., Composition and protein nutritional quality of quinoa. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.70, n.3, p.303-305, 1993.

REICHELT, K.L.; KNIVSBERG, A.M.; NODLAND, M.; LIND, G.; Nature and consequences of hyperpeptiduria and bovine casomorphins found in autistic syndromes. **Dev. Brain Dysfunction**, v.7, p.71-85, 1994.

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

RUALES, J.; NAIR, B.M., Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. **Food Chemistry**, Oxford, v.48, n.2, p.131-136, 1993.

RUALES, J.; NAIR, B.M., Saponins, phytic acid, tannins and protease inhibitors in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. **Food Chemistry**, Oxford, v.48, n.2, p.137-143, 1993b.

RUALES, J.; NAIR, B.M.; Properties of starch and dietary fibre in raw and processed quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. **Plant Foods for Human Nutrition**, Lincoln, v.45, n.3, p.223-246, 1994.

RÜTTE, S.; Usos. In: WAHLI, C.; **Quinoa, Hacia su Cultivo Comercial**. Latinreco, Quito, p. 161-169, 1990.

SKERRITT, J.H.; DEVERY, J.M.; HILL, A.S.; Gluten intolerance: chemistry, celiac-toxicity and detection of prolamins in foods. **Cereal Foods World**, v.35, n.7, p.638-644, 1990.

SOUTHON, S.; WRIGHT, A.J.A.; PRICE, K.R.; FAIRWEATHER-TAIT, S.J.; FENWICK, G.R.; The effect of three types of saponin on iron and zinc absorption from a single meal in the rat. **British Journal of Nutrition**, v.59, n.3, p.389-396, 1988.

STENHAMMAR, L.; JOHANSSON, C.G.; The incidence of coeliac disease in children in south-east sweden. **Acta Paediatrica Scandinavia**, v.70, p.379-381, 1981.

SUTTON, R.; WRIGLEY, C.W.; BALDO, B.A.; Detection of IgE- and IgG-binding proteins after eletrophoretic transfer from polyacrylamide gels. **Journal of Immunological Methods**, v. 52, n.2, p.183-194, 1982.

TELLERIA RIOS M.L.; SGARBIERI V.C.; FARFAN, J.F.; Evaluacion quimica y biologica de la quinoa (*Chenopodim quinoa* Willd). Influencia de la extraccion de las saponinas por tratamiento termico. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Caracas, v.28, n. 3, Setembro, 1978.

TOUFEILI, I.; DAGHER, S.; SHADAREVIAN, S.; NOUREDDINE, A.; SARAKBI, M.; FARRAN, M.T.; Formulation of gluten-free pocket-type flat breads: optimization of methylcellulose, gum arabic and egg albumen levels by response surface methodology. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.71, n.6, p.594-601, 1994.

- VARO, P.; LAINE, R.; KOIVISTOINEN, P.; Effect of heat treatment on dietary fiber: interlaboratory study. **Journal of AOAC International**, v.66, n.4, p.933-938, 1983.
- VELA, N.P.; CABRERA, J.A.L.; Utilización de la semilla de quinua en la alimentación humana. **IIT Tecnología**, v.25, n.147, p.7-27, 1984.
- VISAKORPI, J.K.; MÄKI, M.; Changing clinical features of coeliac disease. **Acta Paediatrica Scandinavica Supplement**, v.395, p.10-13, 1994.
- WEBER, E.J.; The Inca's ancient answer to food shortage. **Nature**, v.272, p.486, 1978.
- WHITE, P.L.; ALVISTUR, E.; DÍAS, C.; VIÑAS, E.; WHITE, H.S.; COLLAZOS, C.; Nutrient content and protein quality of quinua and cañihua, edible seeds products of the Andes mountains. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.3, n.6, p.531-534, 1955.
- WIESER, H.; SEILMEIER, W.; BELITZ, H.D.; Quantitative determination of gliadin subgroups from different wheat cultivars. **Journal of Cereal Science**, v.19, n.2, p.149-155, 1994.
- WONG, L.; Quinoa processing (*Chenopodium quinoa*, Willd). **Food Technologist**, v.24, n.1, p.26-29, 1994.

## ARTIGO II

### PERFORMANCE DA FARINHA DE QUINOA NA ELABORAÇÃO DE MASSA SEM GLÚTEN PARA CELÍACOS

#### RESUMO

Foi desenvolvido um produto tipo macarrão. Foram avaliadas as qualidades de cozimento, de textura, a umidade da farinha tratada termicamente e a viscosidade. Entre elas, a perda de sólidos, o aumento de peso, o aumento de volume, a adesividade e a umidade da farinha tratada termicamente, nas faixas estudadas, variaram em torno de um valor médio. Os valores foram 16,2% de perda de sólidos, aumento de 2,3 vezes para o peso, aumento de 2,6 vezes para o volume, adesividade de 2090,7g e umidade de 38,4% na farinha tratada termicamente. Para a elasticidade e a viscosidade de pico (VP), pode-se chegar a recomendações quanto ao processamento e formulações, mas não a conclusões definitivas, devido à baixa reprodutibilidade do processo. Já para a VF, o modelo foi significativo ( $p=0,0657$ ), e portanto, preditivo. Com relação à elasticidade, a melhor combinação foi baixo tempo de tratamento térmico, baixa umidade de condicionamento e baixa porcentagem de quinoa. Para a VP, qualquer combinação resultou em VP baixa, o que faz com que a mais conveniente e econômica seja a melhor. Já para a viscosidade final (VF), a recomendação foi de baixo teor de quinoa e toda a faixa de tempo de tratamento térmico ou toda a faixa de porcentagem de quinoa e tempo de tratamento térmico de aproximadamente 4 minutos. A média de aceitação global do produto foi 6,83, que se encontra entre “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente”. Com relação à intenção de

compra, 50% dos provadores “possivelmente comprariam” e 20% “certamente comprariam”, o que mostra um considerável potencial de mercado para o produto.

## 1. INTRODUÇÃO

Doença celíaca é um tipo de intolerância alimentar induzida por proteínas provenientes de cereais como trigo, centeio, cevada, triticale e provavelmente aveia. Esta doença provoca atrofia de moderada a severa da mucosa intestinal, tendo como conseqüências a má-absorção de nutrientes, diarréia e desnutrição generalizada. Essa intolerância é de origem genética, mas é influenciada por fatores ambientais e sua freqüência na população é considerável. Segundo STENHAMMAR & JOHANSSON (1981), a literatura relata faixas de 1 em cada 100 a 1 em 8000 habitantes (dados europeus).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e avaliar um protótipo de produto tipo macarrão obtido de misturas de farinhas de milho e de quinoa para indivíduos de várias faixas etárias portadores da doença celíaca.

A quinoa, *Chenopodium quinoa* Willd, é um pseudo-cereal da família Quenopodiácea, originária dos altos Andes da América do Sul, que não foi disseminado pelos colonizadores espanhóis que chegaram ao Peru em 1537, ao contrário do que ocorreu com o milho, batata e tomate. A cultura ainda é utilizada pelo povo nativo andino como base alimentar para o desmame e ingrediente principal para tortas, sopas e sobremesas (FARFÁN et al., 1983; DINI et al., 1992; RUALES & NAIR, 1993).

A quinoa é uma espécie herbácea de ciclo anual, de grande resistência à seca, ao frio e ao sal, florescendo com baixos índices de chuva (300-400mm). Os cultivares da Bolívia e do Peru frutificam em elevadas altitudes, sob ar rarefeito, sol intenso, temperaturas negativas e, até mesmo, em solos alcalinos, arenosos e pobres (MAHONEY et al., 1975; LORENZ, 1990). Observações realizadas em nossos laboratórios indicam que após sete anos de estocagem a -10°C, com

vários descongelamentos e recongelamentos, a germinabilidade da semente de quinoa permanece em cerca de 100%.

A quinoa é uma importante fonte de proteína entre os grãos. Sua proteína possui um balanço de aminoácidos excepcionalmente atrativo para a nutrição humana em função de seus altos índices de lisina e metionina (LORENZ, 1990), aminoácidos normalmente limitantes nos cereais. A qualidade nutricional da proteína de quinoa, comparada à dos cereais comuns, é também muito alta (MAHONEY et al., 1975; RUALES & NAIR, 1992).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Centro de Pesquisas Agronômicas do Cerrado (EMBRAPA/CPAC), em Planaltina, Distrito Federal, tem cultivado recentemente a quinoa em terras baixas semiáridas brasileiras, objetivando adaptá-la a regiões não andinas. GOMES et al. (1998) analisaram 25 desses cultivares e concluíram que a quinoa adaptada às condições climáticas de solo do cerrado brasileiro apresentou características composicionais bastante semelhantes às das variedades oriundas daquelas regiões.

Sendo o macarrão um dos produtos que integra a cesta básica do brasileiro, e baseados nos vários relatos que apontam a quinoa como isenta de glúten (FREIDMAN, 1993), seria nutricionalmente estratégico disponibilizar um produto análogo, mas livre de glúten, para pacientes celíacos. A abordagem introduziria as vantagens práticas do macarrão (facilidade de estocagem e preparo), proporcionaria meio nutroterapêutico para o celíaco, além de se ter um produto que possa ser consumido pelo resto de população. Não se deve descartar também a possibilidade de enriquecimento dos macarrões convencionais com quinoa, como meio para melhorar a qualidade nutricional da dieta básica do brasileiro.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Material**

Foram utilizados:

- grãos de quinoa doce, obtidos no mercado peruano, de duas marcas comerciais: “Sureña” e “3 ositos”
- fubá especial, doado pela Fecularia Baptistella, de Itatiba, São Paulo, Brasil
- albumina de ovo, pasteurizada e desidratada, doada pela Ito Brasil Ind. e Com. Ltda
- Curdlana, doada pela Mitsui do Brasil
- “kit” para teste para detecção de glúten pelo método de ELISA Ridascreen<sup>®</sup>, doado pela R-Biopharm GmbH, Alemanha

### **2.2. Métodos**

#### **2.2.1. Teste ELISA**

Foi realizado o teste para detecção de glúten nos grãos de quinoa pelo método de ELISA (Enzyme-linked Immunosorbent Assay), seguindo o procedimento descrito pelo fabricante. Previamente, foram extraídas as proteínas solúveis em etanol (40%) através de centrifugação. Como padrão foram utilizadas várias diluições de  $\omega$ -gliadina fornecidas no kit Ridascreen<sup>®</sup>.

#### **2.2.2. Moagem dos grãos de quinoa**

Os grãos de quinoa foram condicionados a 15% de umidade, após testes preliminares apontarem essa umidade de condicionamento como a que produziu maior rendimento.

A quinoa foi moída em moinho de rolos Brabender, modelo Quadrumat Senior, sendo obtidas quatro frações de moagem. As frações de quebra e redução foram misturadas e usadas para a produção do macarrão.

### **2.2.3. Composição centesimal das matérias-primas**

Foram feitas as análises de composição centesimal do fubá, da quinoa integral moída e da farinha de quinoa. Foram utilizados os métodos da AACC para determinação de proteínas e cinzas, métodos 46-13/1995 (micro Kjeldahl) e 08-01/1995, respectivamente. Os teores de proteína do fubá e da quinoa foram calculados utilizando os fatores de correção de 6,25 e 5,96, respectivamente. Para a determinação de lipídeos foi utilizado o método de BLIGH-DYER (1959) modificado. A umidade foi determinada em balança para umidade por infravermelho AND, modelo AD-4714 A. Os carboidratos foram calculados por diferença.

Foi determinada também a composição centesimal e calorimétrica do produto final do tratamento 17, que corresponde a um dos pontos centrais. A calorimetria foi realizada em bomba calorimétrica PARR 1261, seguindo metodologia fornecida pelo equipamento, em duplicata.

### **2.2.4. Análise de aminoácidos na quinoa integral moída, na farinha de quinoa e no fubá**

As amostras de quinoa integral moída, farinha de quinoa e fubá foram analisadas em analisador de aminoácidos Thermo-Separation Products-Pickering,

modelo PCX 3100, após hidrólise ácida. Para a hidrólise, pesou-se em triplicata quantidades de amostra contendo aproximadamente 0,025g de proteínas, as quais foram processadas seguindo as recomendações gerais de SPACKMAN et al. (1958).

### **2.2.5. Granulometria do fubá e da farinha de quinoa**

O procedimento adotado foi o mesmo para o fubá e para a farinha de quinoa: 100 g do material foram pesados e peneirados por 5 minutos a 3600rpm em aparelho Produtest com peneiras variando de 30 (0,59mm) a 100 mesh (0,149mm) e fundo. Em seguida, as quantidades retidas em cada peneira foram pesadas e os resultados expressos em porcentagem.

Foi calculado o Módulo de Finura (MF), que é definido como a soma do peso das frações retidas em cada peneira dividido por 100, indicando a uniformidade de partículas no produto. Também calculou-se o diâmetro médio de partícula através da fórmula  $D = 104,14 (2)^{MF}$ , onde D é o diâmetro médio de partículas (em  $\mu\text{m}$ ) e MF é o módulo de finura (HENDERSON & PERRY, 1976).

### **2.2.6. Processamento do macarrão**

Primeiramente, foram feitas várias misturas das matérias-primas em diferentes proporções com ou sem condicionamento prévio: só fubá, fubá com Curdlana, fubá com albumina de ovo, fubá com quinoa, fubá com quinoa e albumina de ovo, fubá com quinoa e Curdlana, um novo polímero gelificante de ação em alta temperatura (JEZEQUEL, 1998).

Essas misturas foram colocadas em máquina homogeneizadora-trituradora STEPHAN-GEIGER, modelo UM 12, com aquecimento por injeção direta de vapor, por aproximadamente 5 minutos, até que fosse atingida a temperatura de

75°C ou 85°C, conforme previamente estipulado. Depois, a temperatura foi mantida em 75/85°C por mais 10 minutos. Em seguida, o equipamento foi desligado e mantido fechado até o resfriamento da mistura para aproximadamente 67°C. Nesse ponto, retirou-se a mistura, que foi então conduzida para extrusão em equipamento para macarrão PASTAIA 2 e depois para a secagem em estufa comum FANEM, modelo 330, a 37°C, por 20 horas. O produto final, tipo espaguete, foi então acondicionado em sacos plásticos e armazenado até que fossem realizados os testes físicos de qualidade (períodos inferiores a duas semanas).

É importante relatar que sem tratamento térmico a mistura de farinhas não passa pela extrusora. O tratamento térmico possibilita o processamento de macarrão sem trigo.

O objetivo desta etapa preliminar foi determinar as variáveis que seriam estudadas, as faixas de variação e o tipo de ferramenta estatística a ser utilizada para análise do dados.

Para avaliação do produto final optou-se pela metodologia de superfície de resposta, com 3 variáveis e respectivas faixas: tempo de tratamento térmico (6 a 12 minutos), umidade de condicionamento da mistura de farinhas (18-22%) e teor de farinha de quinoa (5-15%). Pelos resultados dos ensaios preliminares, decidiu-se também que seria utilizada somente a albumina de ovo como agente aglutinante e não mais a Curdlana.

A partir daí foi traçado o delineamento experimental para a primeira etapa de coleta de dados.

A metodologia de superfície de resposta foi escolhida por possibilitar a construção de um modelo matemático que pudesse, por interpretação quantitativa

e/ou gráfica, descrever as relações entre as variáveis tempo de tratamento térmico, umidade e porcentagem de quinoa (variáveis independentes) e as variáveis dependentes. O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos das variáveis nas respostas de interesse, sem esperar necessariamente a otimização. Quando o objetivo fora otimização, essa metodologia permite definir os níveis ótimos de ingredientes de formulações, sem a necessidade de se testar todas as combinações possíveis dos níveis dos tratamentos (MIRANDA, 1998).

Os tratamentos foram estabelecidos conforme Delineamento Central Composto Rotacional (DCCR)  $2^3$ , com 3 variáveis independentes ou fatores.

A Tabela 1 mostra os níveis das variáveis que foram estabelecidos pelo delineamento experimental.

Tabela 1 - Variáveis e níveis de variação.

Variáveis	Níveis				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Tempo de tratamento térmico(min)	4	6	9	12	14
Umidade de condicionamento (%)	16,6	18	20	22	23,4
Porcentagem de quinoa (%)	1,6	5	10	15	18,4

Os valores codificados e reais das 3 variáveis utilizadas no delineamento estatístico dos ensaios são mostrados na Tabela 2. Os ensaios foram executados em seqüência temporal definida de forma aleatória. Para cada ensaio foram avaliadas as seguintes variáveis dependentes ou respostas:

- Qualidade de cozimento: perda de sólidos, aumento de volume e aumento de peso;
- Textura: adesividade e elasticidade;
- Viscosidade: viscosidade de pico e viscosidade final;

- Umidade da farinha tratada

O delineamento contou com 8 pontos para a porção fatorial, 6 pontos axiais ou estrela e 4 pontos centrais. Ao todo foram 18 ensaios.

Tabela 2 - Delineamento central composto rotacional  $2^3$  para as 3 variáveis independentes.

Tratamento ou ensaio	Variáveis Codificadas			Variáveis Reais		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>
1	-1	-1	-1	6	18	5
2	-1	-1	1	6	18	15
3	-1	1	-1	6	22	5
4	-1	1	1	6	22	15
5	1	-1	-1	12	18	5
6	1	-1	1	12	18	15
7	1	1	-1	12	22	5
8	1	1	1	12	22	15
9	-1,68179	0	0	4	20	10
10	1,68179	0	0	14	20	10
11	0	-1,68179	0	9	16,6	10
12	0	1,68179	0	9	23,4	10
13	0	0	-1,68179	9	20	1,6
14	0	0	1,68179	9	20	18,4
15	0	0	0	9	20	10
16	0	0	0	9	20	10
17	0	0	0	9	20	10
18	0	0	0	9	20	10

V<sub>1</sub>=Tempo de tratamento térmico (min); V<sub>2</sub>=Umidade de condicionamento (%); V<sub>3</sub>=Porcentagem de quinoa (%)

Nessa etapa de coleta de dados, a mistura de fubá, farinha de quinoa (em diferentes proporções) e albumina (em concentração constante) foi condicionada ao nível de umidade determinada pelo delineamento. A mistura foi então colocada

na homogeneizadora e a temperatura foi elevada até 75°C em aproximadamente 5 minutos, depois até 80°C, em aproximadamente 1 minuto. Após isso, o equipamento foi aberto para agitação manual. Em seguida, a temperatura foi mantida em 75°C por 4 minutos e o equipamento aberto para nova agitação manual. Finalizada a segunda abertura, a temperatura foi mantida novamente em 75°C, pelo tempo determinado pelo delineamento, após o qual o equipamento foi aberto para a última agitação manual. A mistura resfriada até aproximadamente 67°C permitiu a retirada da massa, que foi então conduzida para extrusão na Pastaia, e depois para a secagem em estufa a 37°C por 20 horas, exatamente como se procedeu na etapa preliminar. O produto final foi então acondicionado em sacos plásticos e armazenado, para a realização dos testes físicos de qualidade. O procedimento seguido para esta etapa de coleta de dados pode ser apreciado no fluxograma da Figura 1.

A análise estatística dos resultados experimentais da etapa de coleta de dados foi realizada utilizando o programa STATISTICA, versão 5.0, utilizando, a princípio, 5% de significância. Na análise de variância (ANOVA) foi observada a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 10% de significância pelo teste F e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Essa ampliação da porcentagem de significância foi necessária para melhor exploração dos resultados, devido a alta variabilidade do processo e aos altos valores do erro puro.

O tratamento térmico e a secagem das duas etapas (preliminar e etapa de coleta de dados) basearam-se no trabalho de MESTRES et al. (1993).

### **2.2.7. Avaliação da qualidade de cozimento do macarrão**

O teste de cozimento foi realizado seguindo o procedimento do método 16-50 da AACC (1995), com modificações.

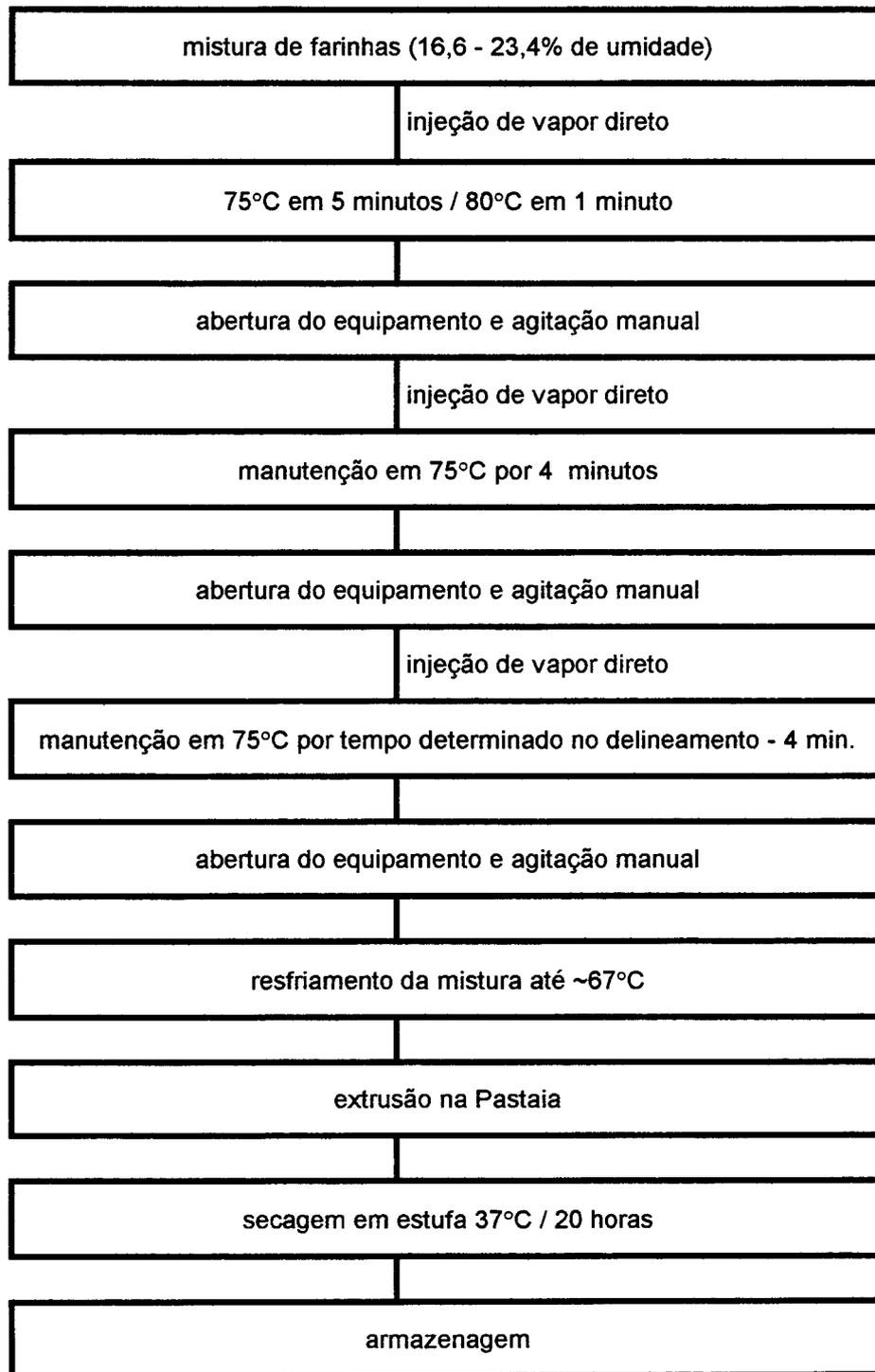


Figura 1 - Fluxograma do processamento (etapa de coleta de dados)

Dez gramas do produto foram colocados em 140ml de água destilada em ebulição. O macarrão foi cozido até o ponto ótimo de cozimento. O tempo ótimo de cozimento foi considerado atingido quando a linha central branca do macarrão comprimido entre duas placas de petri desapareceu.

Depois de definido o tempo ótimo de cozimento foram determinados o aumento de peso, o aumento de volume e a perda de sólidos na água de cozimento, em triplicata.

O aumento de peso foi calculado pela relação entre a pesagem de 10g de amostra crua após o cozimento por 10g de amostra crua.

O aumento de volume foi determinado pela relação entre o volume de hexano deslocado por 10g de macarrão cozido e o deslocamento causado por 10g de macarrão cru, em proveta de 100ml, contendo 50ml de hexano.

A perda de sólidos foi calculada evaporando-se uma alíquota de 25ml da água de cozimento do macarrão em estufa a 105°C, até peso constante. A porcentagem de resíduo foi calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{Resíduo (\%)} = \frac{\text{Peso do resíduo evaporado} \times \text{Restante da água de cozimento} \times 100}{\text{Peso da amostra crua} \times \text{Volume da alíquota}}$$

Para os cálculos de aumento de peso, aumento de volume e perda de sólidos, o macarrão foi drenado após o tempo ótimo de cozimento em funil de Buchner por 20 minutos.

Um macarrão comercial de milho e quinoa obtido em mercado dos Estados Unidos foi avaliado com relação a qualidade de cozimento e textura, apenas como parâmetro comparativo.

### **2.2.8. Avaliação da textura**

As várias formulações foram avaliadas no analisador de textura TA-XT2 Texture Analyzer, marca SMS (Stable Micro Systems, Haslemere, England), em 2 atributos: elasticidade e adesividade. O equipamento foi operado pelo programa Texture Expert em ambiente Windows Microsoft. O macarrão foi cozido (10g em 140ml de água destilada em ebulição) no seu tempo ótimo de cozimento previamente determinado e drenado em funil de Buchner por 15 minutos.

Para a adesividade, os parâmetros fixados foram os seguintes: velocidade pré-teste, velocidade do teste e pós-teste de 2mm/s. O corpo de prova ("probe") utilizado foi o P35. Quanto maior o valor obtido (em g), maior a adesividade do produto.

Já para a elasticidade, os parâmetros foram: velocidade pré-teste e teste de 3mm/s e velocidade pós-teste de 5mm/s. O corpo de prova ("probe") utilizado consistiu de duas "garras" onde o macarrão foi preso e que, com o início do teste, foram distanciadas uma da outra, "esticando" o macarrão. Quanto maior o valor (em g), maior a elasticidade do produto. Essas metodologias foram definidas utilizando-se sugestões contidas no manual computadorizado fornecido pelo fabricante do texturômetro.

### **2.2.9. Avaliação das propriedades de pasta das farinhas**

A viscosidade foi avaliada na farinha condicionada e na farinha tratada, utilizando um analisador de viscosidade (Rapid Visco Analyzer 3D, Newport Scientific, NSW, Australia), com programa computacional (Thermocline for Windows) para perfis de viscosidade. As amostras foram de 3,5g, em base seca, e a água ajustada para 25ml.

O perfil escolhido foi o Standard 1, com tempo total de análise de 13 minutos. O perfil de temperatura e tempo do Standard 1 foram assim definidos:

- aumento de temperatura de 50°C para 95°C em 4:45 minutos,
- manutenção da temperatura em 95°C por 2:30 minutos e
- diminuição da temperatura para 50°C em 3:45 minutos.

#### **2.2.10. Avaliação sensorial**

A aceitação global do produto final obtido no tratamento 17 foi avaliada utilizando-se teste de aceitação com escala hedônica de 9 pontos, na qual 1 corresponde a “desgostei muitíssimo”, 5, “nem gostei / nem desgostei” e 9, “gostei muitíssimo”. A intenção de compra de compra foi avaliada na mesma ficha, utilizando escala de 5 pontos, correspondendo o valor 5 ao termo “certamente compraria” e o valor 1 a “certamente não compraria”. A ficha utilizada para o teste pode ser apreciada no Anexo 1.

Uma equipe de 30 provadores, entre alunos de pós-graduação e funcionários da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) da UNICAMP, com idade entre 20 e 55 anos, foi selecionada com base em interesse, gosto pelo produto e disponibilidade. A amostra foi avaliada em cabines individuais no Laboratório de Análise Sensorial da FEA, com luz branca. A amostra foi mantida em banho-maria, depois de preparada, para ser servida quente. O produto foi cozido e preparado com margarina e salsa picada.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Teste ELISA nas matérias-primas**

Farinhas de quinoa e milho foram submetidas ao teste de ELISA, para detecção de glúten, tendo como resultado o não desenvolvimento da cor amarelada característica ( $\lambda=450\text{nm}$ ) de presença de glúten. Amostras extraídas de produtos comerciais de trigo foram incluídas como testemunhas positivas. O teste confirmou a ausência de glúten, já conhecida para o milho, e os relatos não científicos de que a quinoa é também isenta (FRIEDMAN, 1993).

#### **3.2. Moagem dos grãos de quinoa**

A quinoa foi pré-condicionada a 15% de umidade e então moída com rendimento de 55,4% de farinha. O pré-condicionamento permitiu o amolecimento da casca do grão para que esta fosse “aberta” durante a moagem. Isso faz com que a farinha obtida seja exclusivamente do endosperma. A moagem fracionada do grão foi recomendada após indicações de que a farinha do grão integral não compatibilizaria com o fubá em função da granulometria.

Segundo ASCHERI et al. (1998), esse valor de 55,4% pode ser considerado baixo se comparado com o de cereais tradicionais. ASCHERI et al. (1998) ainda afirma que os rendimentos da moagem são baixos devido às características típicas do grão de quinoa, que requer um moinho específico que possibilite a separação da pequena casca e do germe.

### 3.3. Composição centesimal e perfil de aminoácidos das matérias-primas

Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentados os dados de composição centesimal e o perfil de aminoácidos do fubá, da quinoa integral moída e da farinha de quinoa, respectivamente.

Os dados de composição estão de acordo com os dados publicados pela literatura: RUIZ (1979) e ASCHERI et al. (1998) para a quinoa; FRANCO (1992) e ZÓIA (1994) para o milho. Deve-se lembrar que a quinoa utilizada foi obtida no comércio, não tendo variedade especificada.

Tabela 3 - Composição centesimal do fubá, da quinoa integral moída e da farinha de quinoa (%).

	Fubá		Quinoa integral		Farinha quinoa**	
	média	±e.p.***	média	±e.p.***	média	±e.p.***
Umidade (%)	12,47	±0,13	13,2	±0,11	16,26	±0,07
Cinzas (%)	0,46	±0,001	2,20	±0,009	0,62	±0,006
Lipídeos(%)	1,89	±0,04	4,57	±0,14	0,84	±0,04
Proteínas (%)	7,88	±0,02	12,52	±0,25	3,55	±0,03
Carboidratos* (%)	77,30	---	67,51	---	78,73	---

\* calculado por diferença

\*\* grão de quinoa previamente condicionado

\*\*\*e.p. = erro padrão

resultados representam médias de 3 determinações

A farinha elaborada exclusivamente do endosperma amiláceo (farinha de quinoa) mostra baixa porcentagem de proteína quando comparada com o milho e com a quinoa integral. Isto mostra que a riqueza protéica da quinoa encontra-se basicamente na casca e no germe (ASCHERI et al., 1998). Essa mesma farinha tem teor de umidade alto quando comparado ao fubá e a quinoa integral devido ao pré condicionamento que foi feito para aumentar o rendimento na moagem.

Os cereais, em geral, são deficientes em lisina e metionina, mas essa característica não é compartilhada pela quinoa, devido ao fato desta não ser propriamente um cereal. Apesar de não ter sido determinado triptofano neste trabalho, o valor desse aminoácido é superior entre 75 e 80% em quase todas as variedades de quinoa estudadas, quando comparado com o dos cereais (ASCHERI et al., 1998).

Tabela 4 - Composição aminoacídica do fubá, da quinoa integral moída e da farinha de quinoa (mg de aa/ 100 mg de proteína).

	ASP	THR*	SER	GLU	PRO	GLY	ALA	CYS	VAL*	MET*
Fubá	5,790	2,723	4,405	21,13	14,67	2,618	7,226	0,784	4,876	1,839
Qn. int.	9,55	3,93	4,64	16,73	4,40	6,15	4,04	1,04	4,33	1,96
Far. qn.	10,49	3,537	4,418	13,31	6,539	5,096	5,252	0,277	8,352	2,036

	ILE*	LEU*	TYR	PHE*	LYS*	NH <sub>3</sub>	HIS	ARG	TRP*
Fubá	3,615	13,93	1,716	5,340	1,244	1,497	3,622	1,973	ND
Qn. int.	4,42	7,77	2,73	4,77	7,28	1,72	3,96	10,57	ND
Far. qn.	5,057	8,327	2,415	5,151	6,229	1,205	6,010	6,291	ND

N.D. = Não determinado  
\* aminoácidos essenciais

Vale lembrar que a composição aminoacídica varia, assim como a composição centesimal, para as diferentes variedades de quinoa e também conforme os diferentes solos de cultivo.

Na Tabela 5 a seguir, estão apresentados os dados de composição centesimal e calorimétrica do produto final correspondente ao ensaio 17 do delineamento experimental.

A massa alimentícia deve ser bem seca, com umidade ao redor de 13%, para não prejudicar a conservação. Massas alimentícias com umidade ao redor

deste valor têm possibilidade de manter-se íntegra em características químicas por longos períodos de tempo (LEITÃO, 1987). Pode-se então observar que o valor de umidade obtido no produto seco foi muito bom.

Tabela 5 - Composição centesimal e calorimétrica do macarrão do ensaio.

	Macarrão (Ensaio 17)	
	média	±e.p.**
Umidade (%)	11,30	±0,30
Cinzas (%)	0,586	±0,002
Lipídeos(%)	0,782	±0,005
Proteínas (%)	9,65	±0,03
Carboidratos* (%)	77,68	---
Calorimetria (kcal/100g)	387	±1

\* calculado por diferença

\*\*e.p. = erro padrão

O teor de cinzas também deve ser considerado como parâmetro de qualidade. Para um produto de boa qualidade, o teor de cinzas oscila ao redor de 0,5-0,7% na matéria seca (LEITÃO, 1987). Com relação ao teor de cinzas, pode-se considerar o produto final como de boa qualidade.

### 3.4. Granulometria do fubá e da farinha de quinoa

A Tabela 6 mostra a distribuição do tamanho de partícula para o fubá e a farinha do endosperma da quinoa.

Pode-se observar que 80,67% do fubá ficou retido nas peneiras de 45 a 80 mesh, enquanto 94,2% da farinha de quinoa ficou retida entre as peneiras de 80 e 100 mesh e no fundo. Portanto, o tamanho de partícula predominante no fubá está compreendido entre 0,177 e 0,350mm e o tamanho predominante para a farinha

de quinoa está compreendido entre menor que 0,149 e 0,177mm. O fubá teve tamanho de partícula maior que a farinha de quinoa.

Foi calculado também o Módulo de Finura, que indica a uniformidade de partícula no produto (HENDERSON & PERRY, 1976). Segundo SILVER (1931), citado por HENDERSON & PERRY (1976), o milho descascado (grão inteiro) tem módulo de finura de 5,00 e o milho descascado moído é classificado como grosso (MF= 4,80), médio (MF= 3,60), fino (MF= 2,40) e muito fino (MF= 1,80). Por esta classificação, o fubá, apesar de não ser milho descascado, pode-se encaixar entre médio e fino.

Tabela 6 - Distribuição do tamanho de partícula para o fubá e a farinha do endosperma da quinoa.

Mesh (Tyler)	Abertura (mm)	Fubá (%)	Far. quinoa (%)
30	0,59	4,11	1,18
45	0,35	43,4	1,96
60	0,25	9,84	2,4
80	0,177	27,43	14,33
100	0,149	11,9	34,97
fundo	<0,149	2,69	44,9
Módulo de Finura (MF)	-----	2,92	0,85
Diâmetro médio de partícula (µm)	-----	788,2	187,7

Com relação ao diâmetro médio de partícula, o valor encontrado de 0,788mm para o fubá e 0,187mm para a quinoa, é superior ao encontrado para o tamanho médio de partícula, que é menor que 0,350mm para o fubá e menor que 0,149mm para a quinoa, justamente por se tratar de um valor médio (MIRANDA, 1998).

### **3.5. Metodologia de superfície de resposta**

Foram avaliados os efeitos lineares, quadráticos e as interações entre as variáveis independentes (tempo de tratamento térmico, umidade e porcentagem de quinoa) nas respostas qualidade de cozimento, textura, viscosidade e umidade da farinha tratada.

#### **3.5.1. Qualidade de cozimento do macarrão**

Para avaliar a qualidade de cozimento, foram analisados os seguintes parâmetros: perda de sólidos, aumento de volume e aumento de peso. As médias dos dados experimentais para estas respostas estão na Tabela 7, juntamente com os dados obtidos do macarrão comercial.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que indica a porcentagem da variabilidade total que é explicável pelo modelo, para a perda de sólidos foi baixo (37%) e a análise de variância (ANOVA), apresentada no Anexo 2, mostrou que o modelo não foi significativo ( $p=0,7684$ ), o que indica que houve muita variação nos dados devido a falta de reprodutibilidade do processo.

Para o aumento de peso, esse coeficiente foi razoável: 59%, assim como para o aumento de volume, 65%. A ANOVA para o aumento de peso, apresentada no Anexo 3, mostrou que a regressão não foi significativa ( $p=0,3611$ ) e que o modelo não apresentou falta de ajuste. Com relação ao aumento de volume, a ANOVA, apresentada no Anexo 4, mostrou que, apesar do  $R^2$  ter sido razoável, o modelo não foi significativo ( $p=0,2269$ ) e não houve falta de ajuste. Poderia-se fazer uma análise exploratória desta resposta, o que não foi feito pelo fato de apenas a média apresentar-se significativa ( $p \leq 0,10$ ).

Nas faixas estudadas, o tempo de tratamento térmico, a umidade de condicionamento e a porcentagem de quinoa não tiveram efeito significativo ( $p \leq 0,10$ ) na perda de sólidos, aumento de peso e aumento de volume na análise de variância dos dados. Elas variaram em torno de um valor médio: 16,2% para perda de sólidos, aumento de 2,3 vezes para o peso e de 2,6 vezes para o volume.

Tabela 7 - Médias dos dados experimentais e do macarrão comercial para as variáveis perda de sólidos, aumento de volume e aumento de peso.

Tratamento ou ensaio	Variáveis Independentes			Respostas		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Perd. Sólid. (%)	Aum. Peso**	Aum. Volume**
1	6	18	5	19,850	2,260	2,480
2	6	18	15	16,110	2,370	2,730
3	6	22	5	14,310	2,340	2,530
4	6	22	15	18,010	2,250	2,620
5	12	18	5	21,490	2,205	2,465
6	12	18	15	18,030	2,330	2,710
7	12	22	5	19,060	2,260	2,520
8	12	22	15	17,505	2,260	2,485
9	4	20	10	20,000	2,240	2,530
10	14	20	10	17,530	2,310	2,640
11	9	16,6	10	14,390	2,320	2,520
12	9	23,4	10	23,550	2,260	2,460
13	9	20	1,6	21,470	2,230	2,440
14	9	20	18,4	15,590	2,270	2,500
15	9	20	10	19,820	2,290	2,540
16	9	20	10	14,740	2,280	2,710
17	9	20	10	13,490	2,380	2,560
18	9	20	10	16,660	2,260	2,640
m.c.*	---	---	---	11,550	2,130	2,570

X<sub>1</sub>=Tempo de tratamento térmico; X<sub>2</sub>=Umid. de condicionamento; X<sub>3</sub>=Porcentagem de quinoa

\* m.c. = macarrão comercial

\*\*adimensional

No trabalho de MESTRES et al. (1993), a amostra de pasta de milho com tratamento térmico mais próximo com o realizado aqui, teve perdas de sólidos ao redor de 20-25%. CIACCO & CHANG (1986) relataram um aumento de volume em torno de 3 a 4 vezes para pastas de trigo. PEREIRA (1997) relata valores de aumento de peso de aproximadamente 2 vezes para pasta de trigo, classificando o macarrão com esse desempenho como de boa qualidade. No levantamento realizado, nenhum registro foi verificado com valores de aumento de peso e volume para macarrão de milho ou milho e quinoa.

Segundo dados encontrados na literatura, a porcentagem de perda de sólidos média de 16,2% encontra-se dentro de um valor razoável para pasta de milho, mesmo quando comparado com 11,55% do macarrão comercial de farinha de milho e quinoa, que tem condições muito melhores de processamento e secagem pelo fato de ser em escala industrial. O aumento de volume de 2,6 vezes é um pouco mais baixo, mas é próximo do valor encontrado para o macarrão de trigo e é o mesmo do macarrão comercial. Já o aumento de peso de 2,1 vezes é igual ao encontrado por PEREIRA (1997) e maior que o valor do macarrão comercial. Com relação ao aumento de volume e de peso, o produto pode ser considerado de boa qualidade.

Os tempos ótimos de cozimento para cada ensaio variaram entre 9 e 12 minutos.

### **3.5.2. Textura e umidade da farinha tratada termicamente**

Com relação a textura, foram avaliados os seguintes parâmetros: elasticidade e adesividade. Elasticidade é definida como a taxa na qual um material deformado retorna à sua condição original depois que a força de deformação for removida e a adesividade é definida como o trabalho necessário

para vencer as forças atrativas entre a superfície do alimento e a superfície de outros materiais (por exemplo, língua, palato, dente) (SZCZESNIAK, 1983).

Também foi avaliada a umidade da farinha tratada termicamente. As médias dos dados experimentais para estas respostas estão na Tabela 8. Na Tabela 8 também encontram-se os dados obtidos para o macarrão comercial com relação a textura (elasticidade e adesividade).

Para a elasticidade, temos que 65% da variabilidade total pode ser explicada pelo modelo, que não foi significativo e não apresentou falta de ajuste ( $p=0,2382$ ), como pode ser observado no Anexo 5. Apesar do modelo não ser significativo, foi feita uma análise exploratória para verificar as tendências do mesmo.

Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para a adesividade e para a umidade foram 57% e 58%, respectivamente. As ANOVAS apresentadas nos Anexos 6 e 7 mostram que os modelos da adesividade e da umidade não foram significativos ( $p=0,4146$  e  $p=0,3952$ , respectivamente). Não houve falta de ajuste.

Para a elasticidade, o efeito da interação entre tempo de tratamento térmico e porcentagem de quinoa e entre umidade de condicionamento e porcentagem de quinoa foram significativos ( $p\leq 0,10$ ). Para a adesividade nenhum efeito foi significativo ( $p\leq 0,10$ ), nas faixas estudadas. Já para a umidade da farinha tratada termicamente, a umidade de condicionamento foi significativa ( $p\leq 0,10$ ).

Na avaliação da adesividade e da umidade, os resultados experimentais variaram em torno de um valor médio. Isso também aconteceu nas variáveis de qualidade de cozimento. O valor médio para a adesividade foi 2090,7g e para a umidade 38,4%.

Tabela 8 - Médias dos dados experimentais para as variáveis elasticidade, adesividade e umidade da farinha tratada termicamente e média do macarrão comercial para textura.

Tratamento ou ensaio	Variáveis Independentes			Respostas		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Elasticidade(g)	Adesividade(g)	Umidade (%)
1	6	18	5	26,456	2468,430	39,500
2	6	18	15	14,164	2236,896	36,950
3	6	22	5	25,553	2621,201	41,050
4	6	22	15	18,637	1649,621	40,050
5	12	18	5	15,825	1989,288	39,400
6	12	18	15	12,881	2012,103	38,100
7	12	22	5	12,928	2115,750	39,430
8	12	22	15	28,359	1858,317	39,675
9	4	20	10	18,604	2479,499	38,950
10	14	20	10	14,786	1733,807	36,700
11	9	16,6	10	17,746	2418,542	36,450
12	9	23,4	10	13,096	1548,714	40,400
13	9	20	1,6	13,945	1971,902	38,050
14	9	20	18,4	22,089	1428,633	42,030
15	9	20	10	15,265	1752,481	38,750
16	9	20	10	18,483	2859,832	36,700
17	9	20	10	19,248	1841,785	39,150
18	9	20	10	13,321	1947,258	39,270
m.c*	---	---	---	19,554	2959,654	---

X<sub>1</sub>=Tempo de tratamento térmico; X<sub>2</sub>=Umidade de condicionamento; X<sub>3</sub>=Porcentagem de quinoa  
\*m.c. = macarrão comercial

O modelo utilizado para a análise exploratória da elasticidade foi o modelo ajustado, que teve uma queda no R<sup>2</sup> de 0,65157 para 0,4825.

$$ELAST = 17,85 + 3,96X_1 * X_3 + 2,97X_2 * X_3$$

A Figura 2 ilustra as variações da elasticidade do macarrão em função do tempo de tratamento térmico e percentagem de quinoa e a Figura 3 mostra as variações em função da umidade de condicionamento e percentagem de quinoa. Através das figuras é possível observar que:

- a maior elasticidade foi encontrada em baixo a médio tempo de tratamento térmico (4 a 9min), baixa à média umidade (16,6 a 20%) e baixa à média percentagem de quinoa (1,6 a 10%) ou altos tempos de tratamento térmico (12 a 14min), alta umidade de condicionamento (22 a 23,4%) e altas percentagens de quinoa (15 a 18,4%),

- a menor elasticidade encontra-se em médio a alto tempo de tratamento térmico (9 a 14min), média à alta umidade (20 a 23,4%) e média à baixa percentagem quinoa (1,6 a 10%) e também na combinação de baixo a médio tempo de tratamento (4 a 9min), baixa à média umidade (16,6 a 20%) e média à alta percentagem de quinoa (10 a 18,4%).

É interessante ressaltar que, no caso de macarrão cozido, é desejável que a elasticidade seja alta (CHIMIROV et al., 1981). Levando-se em conta o custo do tratamento térmico mais prolongado, a melhor combinação se daria com o baixo tempo de tratamento, baixa umidade de condicionamento e a baixa percentagem de quinoa.

Foi calculado, para testar o modelo, o desvio entre o valor real (obtido experimentalmente) e o valor previsto (calculado) pelo modelo. No Anexo 8, tem-se os valores dos desvios e um gráfico destes valores para a elasticidade. Pelo gráfico, observa-se que poucos valores de desvios estão na faixa de 25-35%, sendo que a maioria encontra-se na faixa de 20% para menos. Pode-se considerar, então, que o modelo está prevendo adequadamente as respostas.

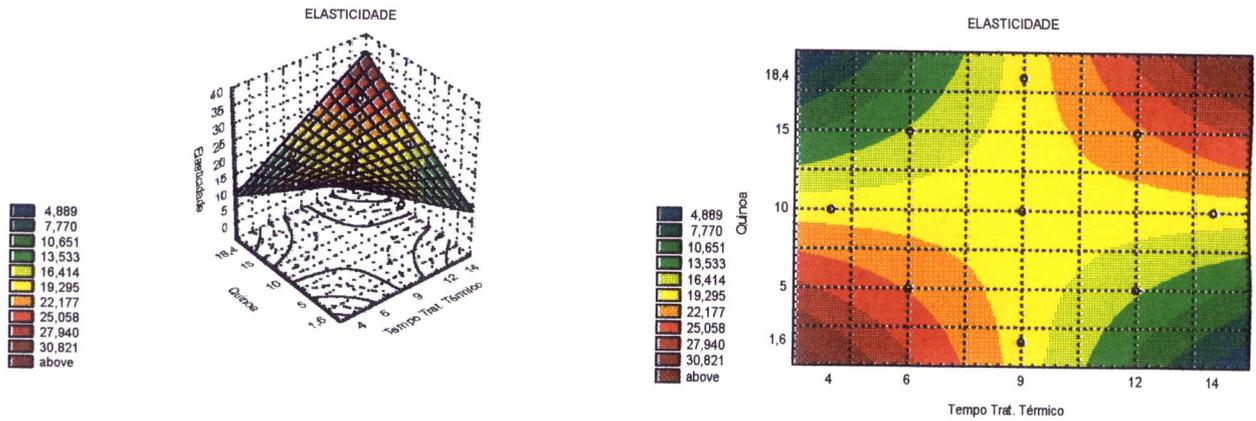


Figura 2 - Efeito do tempo de tratamento térmico e da porcentagem de quinoa na elasticidade.

Os pontos brancos no gráfico de superfície de resposta tridimensional são as médias dos dados experimentais; variável  $x_2$  fixada em 0.

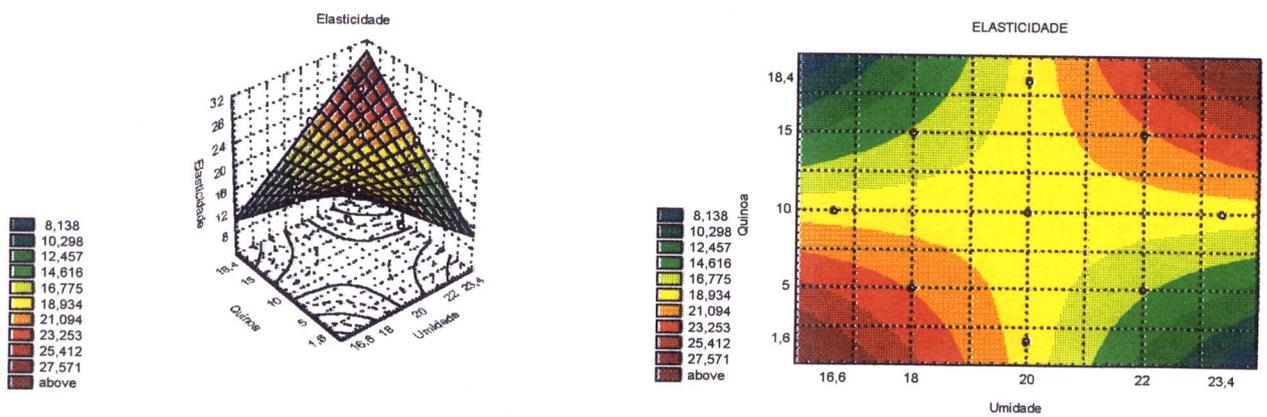


Figura 3 - Efeito da umidade de condicionamento e porcentagem de quinoa na elasticidade.

Os pontos brancos no gráfico de superfície de resposta tridimensional são as médias dos dados experimentais; Variável  $x_1$  fixada em 0.

### 3.5.3. Propriedades de pasta das farinhas

Os efeitos do tempo de tratamento térmico, umidade de condicionamento e porcentagem de quinoa nas propriedades de pasta das farinhas foram avaliadas através da variação da viscosidade de pico e viscosidade final. As médias dos dados experimentais para estas respostas estão na Tabela 9.

A temperatura onde começou a ocorrer o aumento de viscosidade (gelatinização) nas farinhas pré-tratadas variou de 49 a 62°C. Essa temperatura fornece uma indicação da temperatura mínima requerida para cozinhar uma dada amostra (NEWPORT SCIENTIFIC, 1995) e também, segundo SONI & AGARWAL (1983), reflete a ordenação das moléculas no grânulo de amido: alta temperatura de gelatinização pode indicar alto grau de associação. Para o amido de milho, a temperatura de gelatinização encontrada por SONI & AGARWAL (1983), foi na faixa de 85-95°C, o que pode indicar que a mistura de farinhas pré-gelatinizada tem pouca organização nos grânulos de amido.

PAGANI (1985) relata que muitos autores dão ênfase ao fato de que, para “noodles” de amido, quanto mais alto o grau de gelatinização do amido e, portanto, a dispersão dos componentes do amido, a qualidade de cozimento da pasta é melhor.

Viscosidade de pico (VP) é máxima viscosidade desenvolvida durante ou imediatamente após a fase de aquecimento do teste. É o ponto de equilíbrio entre o entumescimento, que aumenta a viscosidade, e a ruptura do grânulo, que diminui a viscosidade (NEWPORT SCIENTIFIC, 1995).

A VP está relacionada com o entumescimento do grão e com o conteúdo de amilose desse grânulo. Esse fenômeno começa a ocorrer quando uma suspensão aquosa de amido é aquecida em água. Os grânulos começam a entumescer

quando suficiente energia térmica é fornecida para quebrar as forças de ligação entre as moléculas de amido (BAHNASSEY & BREENE, 1994). Essa ocorrência é verificada mais facilmente em grânulos com baixo teor de amilose, pois a amilose reforça a rede interna do grânulo, e, portanto, restringe o entumescimento (LORENZ, 1990).

Tabela 9 - Médias dos dados experimentais para as variáveis viscosidade de pico e viscosidade final.

Tratamento ou ensaio	Variáveis Independentes			Respostas (cP)	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Visc. Pico	Visc. Final
1	6	18	5	456,00	1259,00
2	6	18	15	732,00	2360,00
3	6	22	5	496,00	1726,50
4	6	22	15	435,00	1644,00
5	12	18	5	790,00	1885,00
6	12	18	15	718,00	2326,00
7	12	22	5	411,00	1318,00
8	12	22	15	749,00	2381,50
9	4	20	10	447,00	1446,00
10	14	20	10	559,00	2038,00
11	9	16,6	10	742,00	2204,00
12	9	23,4	10	519,00	1774,00
13	9	20	1,6	525,00	1622,00
14	9	20	18,4	782,00	2442,00
15	9	20	10	527,00	1822,00
16	9	20	10	707,00	2127,00
17	9	20	10	661,00	2206,00
18	9	20	10	629,00	2228,00

X<sub>1</sub>=Tempo de tratamento térmico; X<sub>2</sub>=Umidade de condicionamento; X<sub>3</sub>=Porcentagem de quinoa

Alto teor de amilose conduz a altos valores de viscosidade pois a amilose causa o desenvolvimento de estruturas agregadas que, por conseguinte, aumentam a viscosidade (BECKER et al., 1981).

A VP no amido é em grande parte determinada pela resistência do grânulo de amido à ruptura e liberação de amilose e amilopectina; qualquer mudança que aumente a estabilidade da amilose e amilopectina livres, tornará a ruptura do grânulo de amido energeticamente mais favorável e então poderá ocorrer antecipação na fase de entumescimento com uma conseqüente redução na VP (GAOSONG et al., 1997).

Todas as misturas de farinhas no nosso trabalho tiveram maior proporção de farinha de milho que, segundo YANEZ et al. (1986), tem alto teor de amilose e menor proporção de farinha de quinoa que, segundo LORENZ (1990), tem baixo teor de amilose.

LII & CHANG (1981) definiram que o tipo ideal de amido para a produção de "noodles" é aquele com alto teor de amilose e entumescimento restrito. Este amido também deve ter viscoamilograma tipo C, caracterizado pela ausência de pico e viscosidade que permanece constante ou até mesmo aumenta durante o contínuo aquecimento, indicativo de pasta de boa estabilidade a quente.

Para a viscosidade de pico, 68% das respostas são explicadas pelo modelo, que não foi significativo ( $p=0,1875$ ) e não teve falta de ajuste, como pode ser observado na ANOVA do Anexo 9. Apesar disso, foi feita uma análise exploratória destes dados, utilizando para isso o modelo reduzido, a seguir, que mostrou uma diminuição do  $R^2$  (0,57908).

$$VP = 604,72 + 53,99X_1 - 71,76X_2 + 66,87X_3$$

A Figura 4 mostra o efeito do tempo de tratamento térmico e da porcentagem de quinoa na viscosidade de pico e a Figura 5 mostra o efeito da umidade de condicionamento e da porcentagem de quinoa.

Para a viscosidade de pico, analisando-se os gráficos de superfície de resposta das Figuras 4 e 5, tem-se que a VP é alta com umidade tendendo a valores baixos (16,6 a 20%) e toda a faixa de quinoa (1,6 a 18,4%) e tempo de tratamento térmico tendendo a alto (9 a 14min) e porcentagem de quinoa variando de 5 a 18,4%. A VP é baixa com umidade tendendo a valores altos (20 a 23,4%) e porcentagem de quinoa de baixa à média (1,6 a 10%) e também com tempo de tratamento térmico tendendo a baixo (4 a 9min) e porcentagem de quinoa variando de 1,6 a 10%. Percebe-se que o tempo de tratamento térmico e a porcentagem de quinoa tiveram efeitos positivos e a umidade de condicionamento teve efeito negativo.

Para que a pasta tenha melhor qualidade de cozimento, o amido deve ter alto grau de gelatinização, o que implica em baixa viscosidade de pico em relação a VP da farinha não tratada. Como a VP das farinhas não tratadas foi em média  $2063 \pm 158\text{cP}$  (resultados do RVA não tabelados) e a VP das farinhas tratadas, nas faixas estudadas, variou de 370 a 830cP, pode-se considerar que as viscosidades de pico obtidas foram baixas, e portanto, qualquer faixa pode ser considerada boa, com relação a VP, devendo-se escolher a mais conveniente.

Com relação à viscosidade final, temos que 77% das respostas são explicadas pelo modelo, que foi significativo ( $p=0,0657$ ) e não teve falta de ajuste, como pode ser observado na ANOVA do Anexo 10. O modelo ajustado mostrou diminuição do  $R^2$  (0,6568) em relação ao modelo completo. A equação ajustada foi utilizada para prever esta resposta na região analisada.

$$VF = 2025,93 + 140,34X_1 + 285,71X_3 - 121,38X_1^2$$

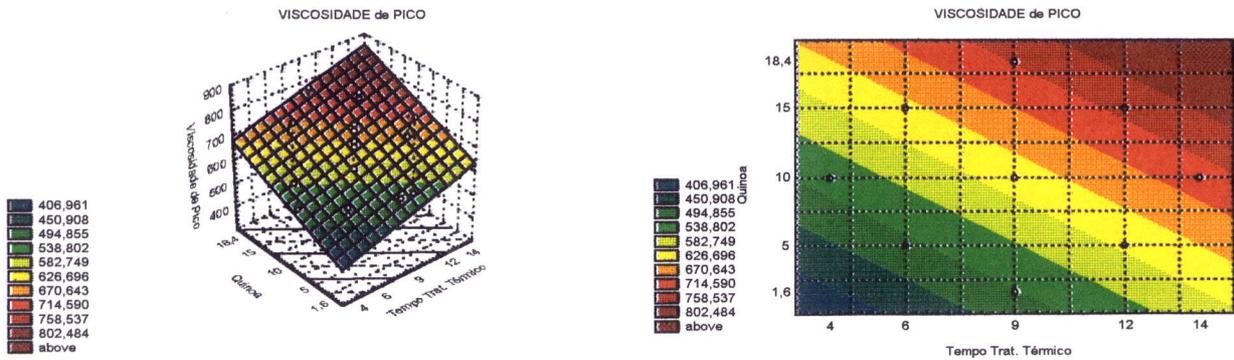


Figura 4 - Efeito do tempo de tratamento térmico e da porcentagem de quinoa na viscosidade de pico. Os pontos brancos no gráfico de superfície de resposta tridimensional são as médias dos dados experimentais; Variável  $x_2$  fixada em 0.

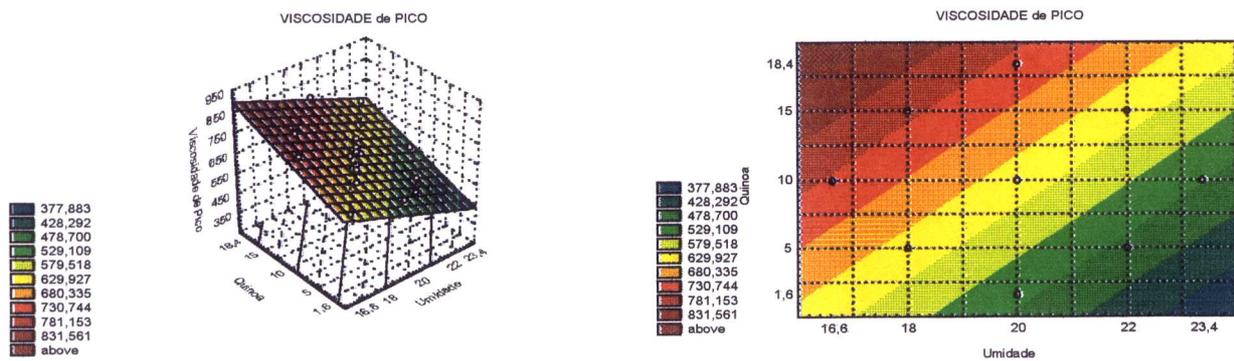


Figura 5 - Efeito da umidade e da porcentagem de quinoa na viscosidade de pico. Os pontos brancos no gráfico de superfície de resposta tridimensional são as médias dos dados experimentais; Variável  $x_1$  fixada em 0.

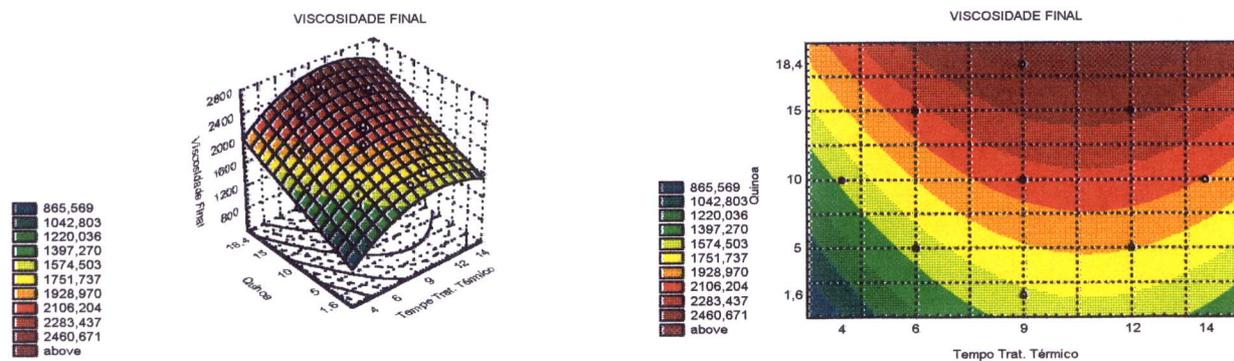


Figura 6 - Efeito do tempo de tratamento térmico e da porcentagem de quinoa na viscosidade final. Os pontos brancos no gráfico de superfície de resposta tridimensional são as médias dos dados experimentais; Variável  $x_2$  fixada em 0.

Viscosidade final (VF) é a viscosidade no fim do teste, no período de resfriamento. Esta fase da curva envolve retrogradação, reorganização das moléculas de amido. Retrogradação, segundo MATZ (1962), é um fenômeno de cristalização limitada, que pode alterar gêneros alimentícios que devem ser estocados por algum tempo depois de sua fração amilácea ter sido cozida ou pré-gelatinizada. A retrogradação é afetada pelo conteúdo de amilose, pelo tamanho da molécula e pela quantidade de amilose solúvel (PAGANI, 1985). Já JIN et al. (1994), citado por COLLADO & CORKE (1997) indicam que a amilose insolúvel é a mais importante e reflete melhor a qualidade de “noodles” e amido.

O milho tem forte tendência em reter a estrutura do amido degradado. Essa propriedade pode estar relacionada com a interação da amilose de peso molecular intermediário (JANE & CHEN, 1992; GREENWOOD, 1976). Esta propriedade intrínseca e o impacto da matriz proteína-amido do milho podem explicar o porquê da resistência do milho à degradação, como indicado pelas fortes propriedades do gel de alta viscosidade obtidos no trabalho de WHALE et al. (1997).

A Figura 6 mostra o efeito do tempo de tratamento térmico e da porcentagem de quinoa na viscosidade final.

Na Figura 6 observa-se que a maior viscosidade final foi obtida na faixa de tempo (8 a 13min) e teor de quinoa (10 a 18,4%) tendendo a altos. A menor viscosidade final ocorreu com baixas porcentagens de quinoa (1,6 a 5%) e toda a faixa de tempo de tratamento ou baixo tempo de tratamento (aproximadamente 4min) e toda a faixa de quinoa.

Teoricamente, as farinhas com menor proporção de quinoa, e portanto, mais milho (mais amilose) deveriam desenvolver mais VF, já que a amilose solúvel é amplamente responsável pela retrogradação. Talvez a amilose do milho

seja especialmente sensível à alta agitação do RVA, o que pode explicar a menor VF. (DEFFENBAUGH & WALTER, 1989).

No caso da viscosidade final, quanto maior o seu valor, menor será o grau de gelatinização e maior a tendência à retrogradação. O efeito mais importante no caso deste trabalho é o da gelatinização, o que faz com que a VF seja interessante com valor mais baixo, o que implica dizer: baixo teor de quinoa (1,6 a 5%) e toda a faixa de tempo de tratamento térmico ou toda faixa de quinoa e tempo de tratamento térmico de aproximadamente 4 minutos.

Os resultados do RVA da farinha apenas condicionada (farinha inicial; não tratada) mostram uma VP média de  $2063 \pm 158$ cP e uma VF média de  $5029 \pm 318$  cP (dados não tabelados). Todos os gráficos dos diferentes ensaios/tratamentos apresentaram a mesma curva: as farinhas pré-gelatinizadas não exibem quebra da estrutura formada; são farinhas altamente resistentes ao cisalhamento. Já as farinhas apenas condicionadas mostraram uma pequena queda (breakdown).

A VP diminuiu da farinha condicionada para a farinha tratada termicamente (pré gelatinizada) como era de se esperar, pois a VP diminui com o maior tratamento térmico, para uma mesma condição. A VF também diminuiu da farinha condicionada para a farinha tratada termicamente, o que também era esperado, pois quanto maior a VF, menor é o grau de pré-gelatinização.

Pelos Anexos 11 e 12, pode-se observar os valores dos desvios obtidos entre os valores reais e previstos de VP e VF, respectivamente. Observa-se que, para os dois modelos, poucos valores ultrapassam a faixa de 10%, o que indica que os dois modelos estão prevendo adequadamente as respostas, assim como para a elasticidade.

### 3.5.Avaliação sensorial

A média obtida para a aceitação global do produto final do ensaio 17 foi 6,83, que se encontra entre “gostei ligeiramente” e muito próximo de “gostei moderadamente”, o que implica dizer que o produto teve boa aceitação.

A Figura 7 mostra a aceitação global do produto final. Observa-se que 20% da equipe atribuiu nota 6 (“gostei ligeiramente”) para o produto, 33,3% atribuiu nota 7 (“gostei moderadamente”), 23,3% atribuiu nota 8 (“gostei muito”) e 10% da equipe atribuiu nota 9 (“gostei muitíssimo”). Oito provadores da equipe (26,7%) indicaram a textura como sendo o ponto que menos gostou.

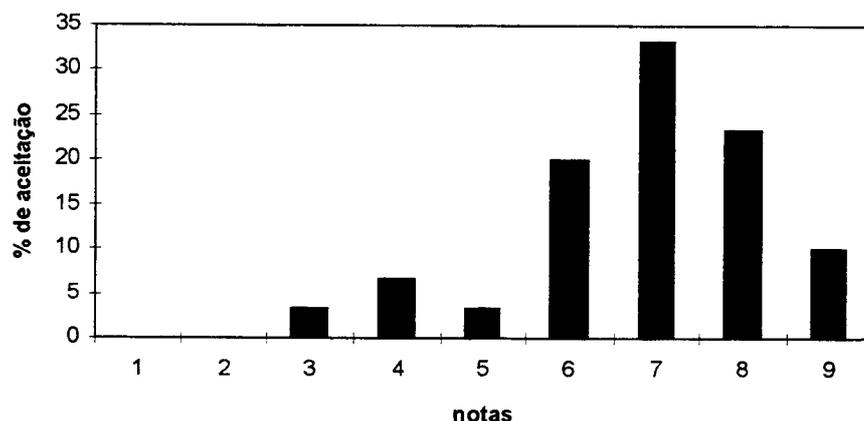


Figura 7 - Aceitação global do produto final do ensaio 17

O resultado da intenção de compra indicou que, da equipe de 30 provadores, 3 (10%) responderam que “possivelmente não comprariam”, 6 (20%) “talvez comprasse / talvez não comprasse”, 15 (50%) responderam que “possivelmente comprariam” e 6 (20%) “certamente comprariam”.

#### 4. CONCLUSÕES

- A tentativa de utilização do endosperma da quinoa na elaboração de produtos para celíacos requer a obtenção de farinha não integral, o que leva à perda de cerca de 70% das proteínas do grão. Isto é, o valor protéico-nutricional é sacrificado em função do ganho em homogeneidade granulométrica e visual do produto final.

- Nas faixas estudadas, as seguintes respostas variaram em torno de um valor médio: perda de sólidos (16,2%), aumento de 2,3 vezes para o peso, aumento de 2,6 vezes para o volume, adesividade (2090,7g) e umidade da farinha tratada termicamente (38,4%)

- Considerando a ausência do glúten, as características físicas, perda de sólidos, aumento de volume e de peso e a umidade da farinha tratada termicamente mostraram-se entre razoáveis e boas. A característica adesividade apresentou, entretanto, valor muito alto.

- Para avaliar os parâmetros de elasticidade e a viscosidade de pico, foram feitas análises exploratórias. O gráfico de superfície de resposta mostrou tendências, mas não conclusões definitivas, devido aos baixos valores de  $R^2$  que resultaram da falta de reprodutibilidade do processo. Já para a viscosidade final, o modelo foi significativo ( $p=0,0657$ ) e, portanto, preditivo.

- Para a elasticidade, levando-se em conta o custo do tratamento térmico tem-se que a melhor combinação seria baixo tempo de tratamento (4 a 6min), baixa umidade de condicionamento (16,6 a 20%) e a baixa porcentagem de quinoa (1,6 a 10%).

- O valor da VP obtida em todos os ensaios foi bem menor quando comparada ao valor de VP da farinha não tratada (inicial), para uma mesma

condição. Pode-se considerar, então, qualquer combinação de tempo, umidade e porcentagem de quinoa como sendo boa, devendo-se escolher a mais conveniente (provavelmente a de mais baixo custo).

- Para a VF, que é interessante com valor mais baixo, tem-se que a melhor combinação é baixo teor de quinoa (1,6 a 5%) e toda a faixa de tempo de tratamento térmico ou, alternativamente, toda faixa de quinoa e tempo de tratamento térmico de aproximadamente 4 minutos.

- No teste de aceitação global 66,7% dos provadores responderam que “gostaram moderadamente” (nota 7) do macarrão, o que indica que o produto teve boa aceitação. O teste de intenção de compra mostrou que 50% da equipe “possivelmente compraria” e 20% “certamente compraria”, o que é um forte indicador do bom potencial de mercado do produto.

## 5. SUGESTÕES

Na avaliação dos resultados experimentais, pode-se identificar possíveis pontos críticos de controle deste processo. Seguem algumas sugestões que objetivam a futura melhora do processo.

- Aumento da quantidade da mistura a ser pré-gelatinizada, para no mínimo 2000g.
  
- Substituição do tratamento térmico de injeção direta de vapor por vapor indireto, na camisa. Para tanto, a umidade de condicionamento inicial deve ser aumentada a fim de que o amido tenha água disponível para a gelatinização.
  
- Usando injeção indireta ou direta de vapor, o controle do processo deve ser feito pelo monitoramento da temperatura que se objetiva atingir, e não pelo tempo, como foi feito neste trabalho.
  
- Resfriamento da massa recém-tratada termicamente de maneira forçada, passando água à temperatura ambiente ou fria pela camisa. Segundo PAGANI (1985), este processo completa a retrogradação.
  
- Ampliação da faixa de estudo das variáveis independentes, para que se tenha uma visão abrangente da situação.
  
- Teste de alguns aditivos, como monoglicérides, para melhorar a qualidade da pasta.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC; AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods**, 9<sup>a</sup> ed., St Paul: AACC, 1995.
- ASCHERI, J.L.R.; RAMÍREZ-ASQUIERI, E.; CARVALHO, C.W.P.; Elaboracion de harina integral instantanea de quinua (*Chenopodium quinoa*, Willd.) por extrusion termoplastica. **Revista Alimentaria**, V.292, n.5, p. 93-98, maio, 1998.
- BALDO, B.A., WRIGLEY, C.W.; Allergies to cereals. In: **Advances in Cereal Science and Technology**, v.6, p.289-356, American Association of Cereal Chemists, 1984.
- BAHNASSEY, Y.A.; BREENE, W.M.; Rapid Visco Analyser (RVA) pasting profiles of wheat, corn, waxy corn, tapioca and amaranth starches (*A. hypocondriacus* and *A. cruentus*) in the presence of konjac flour, gellan, guar, xanthan and locust bean gums. **Starch/Stärke**, v.46, n.4, p.134-141, 1994.
- BECKER, R.; WHEELER, E.L.; LORENZ, K.; STAFFORD, A.E.; GROSJEAN, O.K.; BETSCHART, A.A.; SAUNDERS, R.M.; A compositional study of amaranth grain. **Journal of Food Science**, v.46, n.4, p. 1175-1180, 1981.
- BLIGH, E.G.; DYER, W.J.; A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, p. 911-917, 1959.
- CAMPBELL, J.A.; Diet therapy of celiac disease and dermatitis herpeticiformis. In: **World review of nutrition and Dietetics**, Basel, Suíça, v.51. p.189-233, 1987.

- CIACCO, C.F.; CHANG, Y.K.; **Massas: Tecnologia e Qualidade**. Editora Ícone e Editora da UNICAMP, 127pp, 1986.
- CHIMIROV, J.I.; BRAUDO, E.E.; TOLSTOGUZOV, V.B.; On the possibility of using non-macaroni flours for making macaroni articles. **Die nahrung**, v.25, n.8, p.719-727, 1981.
- COLLADO, L.S.; CORKE, H.; Properties of starch noodles as affected by sweetpotato genotype. **Cereal Chemistry**, v.74, n.2, p.182-187, 1997.
- DEFFENBAUGH, L.B., WALKER, C.E.; Comparison of starch pasting properties in the Brabender Viscoamylograph and the Rapid Visco Analyzer. **Cereal Chemistry**, v.66, n.6, p.493-499, 1989.
- DINI, A.; RASTRELLI, L.; SATURNINO, P.; SCHETTINO, O.; A compositional study of *Chenopodium quinoa* seeds. **Die Nahrung**, v.36, n.4, p.400-404, 1992.
- FARFAN, J.A.; CIACCO, C.F.; RUIZ, W.A.; GROSSO, C.R.F.; Reduccion del nivel de saponinas en quinoa con molino para cereales. **Mesa Redonda International**, Procesamiento de la Quinoa, La Paz, p.75-80, 1983.
- FRANCO, G.; **Tabela de Composição Química dos Alimentos**. 9<sup>a</sup> ed. Atheneu, 1992.
- FRIEDMAN, M.; Grain-based products promote "well-bred" bodies. **Prepared Foods**, v.162, n.1, p.49, 1993.
- GAOSONG, J.G.; RAMSDEN, L.; CORKE, H.; Effect of water-soluble non-starch polysaccharides from Taro on pasting properties of starch. **Starch/Stärke**, v.49, n.7/8, p.259-261, 1997.

GIESE, J.; Measuring physical properties of food. **Food Technology**, v.49, n.2, p. 54-63, 1995.

GOMES, M.P.; SPEHAR, C.R.; SABAA SRUR, A.U.; BARBOSA, A.L.S.; Avaliação das propriedades de genótipos de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) cultivadas nos cerrados brasileiros I: determinação da composição química. **Anais do XVI Congresso da Sociedade Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos (SBCTA)**, "Alimento, População e Desenvolvimento", v.3, p.1085-1088, julho, 1998.

GONZÁLES, J.A.; ROLDÁN, A.; GALLARDO, M.; ESCUDERO, T.; PRADO, F.E., Quantitative determinations of chemical compounds with nutritional value from Inca crops: *Chenopodium quinoa* ("quinoa"). **Plant Foods for Human Nutrition**, v.39, n.4, p.331-337, 1989.

GREENWOOD, C.T.; Starch. In: **Advances in Cereal Science and Technology**, v.1, p.119-157, **American Association of Cereal Chemists**, St. Paul, MN, 1976.

HENDERSON, S.M.; PERRY, R.L.; **Agricultural Process Engineering**. 3<sup>a</sup> ed. Westport: AVI Publishing, 1976, 442p, chapter 6: Size reduction, p130-159, 1976.

JANE, J.L.; CHEN, J.F.; Effect of amylose molecular size and amylopectin branch chain length on paste properties of starch. **Cereal Chemistry**, v.69, n.1, p.60-65, 1992.

JEZEQUEL, V.; Curdlan: a new functional  $\beta$ -glucan. **Cereal Foods World**, v.43, n.5, p. 361-364, 1998.

- LEITÃO, R.R.F.; Massas alimentícias. In: **Tecnologia de Massas Alimentícias e Biscoitos**. Campinas/ITAL, p.1-34, 1987.
- LORENZ, K., Quinoa (*Chenopodium quinoa*) starch - physico-chemical properties and functional characteristics. **Starch/Stärke**, v.42, n.3, p.81-86, 1990.
- LII, C.Y.; CHANG, S.M.; Characterization of red bean (*Phaseolus radiatus* var. aurea) starch and its noodle quality. **Journal of Food Science**, v.46, n.1, p.78-81, 1981
- MAHONEY, A.W.; LOPEZ, J.G.; HENDRICKS, D.G.; An evaluation of the protein quality of quinoa. **Journal Agr. Food Chem**, v.23, n.2, p.190-193, 1975.
- MATZ, S.A.; **Food Texture**. AVI Publishing Company, 286pp., 1962.
- MESTRES, C.; COLONNA, P.; ALEXANDRE, M.C.; MATENCIO, F.; Comparison of various processes for making maize pasta. **Journal of Cereal Science**, v.17, n.3, p. 277-290, 1993.
- MIRANDA, M.Z.; **Efeito do tempo de germinação do trigo e das variáveis de extrusão na qualidade tecnológica e nutricional da farinha**. 216pp. Campinas, Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - FEA/ UNICAMP, 1998.
- NEWPORT SCIENTIFIC; **Operation manual for series 3: Rapid Visco Analyzer using Thermocline for Windows**. Warriewood, Australia, junho, 92p. (catálogo), 1995.

- PAGANI, M.A.; Pasta products from non conventional raw material. In: **Pasta and extrusion cooked foods**. Editors Mercier Ch. e Catarelli C. Elsevier Applied Science Publishers, London, p.52-68, 1985
- PEREIRA, M.R.; **Beta-caroteno em macarrão fortificado e avaliação da metodologia analítica**. 95pp. Campinas, UNICAMP, 1997. Tese (Mestrado em Ciência da Nutrição) – FEA – UNICAMP, 1997.
- RANHOTRA, G.S.; GELROTH, J.A.; GLASER, B.K., LORENZ, K.J.; JOHNSON, D.L., Composition and protein nutritional quality of quinoa. **Cereal Chemistry**, v.70, n.3, p.303-305, 1993.
- RUALES, J.; NAIR, B.M.; Nutritional quality of protein in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.42, n.1, p.1-11, 1992.
- RUALES, J.; NAIR, B.M., Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodim quinoa*, Willd) seeds. **Food Chemistry**, v.48, n.2, p.131-136, 1993.
- RUIZ, W.A.; **Estudo cromatográfico das saponinas da quinoa (*Chenopodim quinoa* Willd, variedade Kancolla)**. Campinas, UNICAMP, 1979. Dissertação (Mestrado) - FEAA / UNICAMP, 1979.
- SONI, P.L.; AGARWAL, A.; The starch of *Pueria tuberosa* - Comparison with maize starch. **Starch/Starke**, v.35, n.1, p.4-7, 1983.
- SPACKMAN, D.H.; STEIN, W.H.; MOORE, S.; Automatic recording apparatus for use in the chromatography of aminoacids. **Analytical Chemistry**, v.30, n.3, p1190-1206, june, 1958.

STENHAMMAR, L.; JOHANSSON, C.G.; The incidence of celiac disease in children in south-east Sweden. **Acta Paediatric Scandinavia**, v.70, p.379-381, 1981.

SZCZESNIAK, A.S.; Physical properties of foods: what they are and their relation to other food properties. In: **Physical Properties of Foods**. AVI Publishing Co, p.1-42, 1983.

WHALE, P.J.; BASON, M.L.; BOOTH, R.I.; WALKER, C.E.; WILLIAMS, P.J.; Measurement of extrusion effects by viscosity profile using Rapid Visco Analyser. **Cereal Foods World**, v.42, n.6, p. 469-475, 1997.

YANEZ, G.A.; MESSINGER, J.K.; WALKER, C.E.; RUPNOW, J.H.; *Amaranthus hypocondriacus*: starch isolation and partial characterization. **Cereal Chemistry**, v.63, n.3, p. 273-276, 1986.

ZÓIA, W. F.; **Características sensoriais e nutricionais de angus fortificados com diferentes níveis de farinha de soja desengordurada**. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1994. Tese (Mestrado) - ESALQ, 1994.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### (Introdução Geral)

- CAMPBELL, J.A.; Diet therapy of celiac disease and dermatitis herpetiformis. In: **World Review of Nutrition and Dietetics**. Basel, v.51, p.189-233, 1987.
- CÂNDIDO, L.M.B.; CAMPOS, A.M. **Alimentos para Fins Especiais: Dietéticos**, p.111-113, 1996.
- DUTCOSKI, S.D.; FUGMANN, H.A.J.; WASZCZYNSKYJ, N.; Desenvolvimento de tecnologia para fabricação de massas alimentícias isentas de glúten, tipo espaguete pré-cozido. **B. CEPPA**, Curitiba, v.14, n.1, p.111-130, 1996.
- FRIEDMAN, M.; Grain-based products promote "well-bred" bodies. **Prepared Foods**, v.162, n.1, p.49, 1993.
- MESTRES,C.; COLONNA, P.; ALEXADRE, M.C.; MATENCIO,F.; Comparison of various processes for making maize pasta. **Journal of Cereal Science**, v.17, n.3, p. 277-290, 1993.
- RUALES, J.; NAIR, B.M., Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. **Food Chemistry**. Oxford, v.48, n.2, p.131-136, 1993.
- STENHAMMAR, L.; JOHANSSON, C.G.; The incidence of coeliac disease in children in south-east sweden. **Acta Paediatric Scandinavia**, v.70, p.379-381, 1981.

TOUFEILI, I.; DAGHER, S.; SHADAREVIAN, S.; NOUREDDINE, A.; SARAKBI, M.; FARRAN, M.T.; Formulation of gluten-free pocket-type flat breads: optimization of methylcellulose, gum arabic and egg albumen levels by response surface methodology. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.71, n.6, p.594-601, 1994.

VISAKORPI, J.K.; MÄKI, M.; Changing clinical features of coeliac disease. **Acta Paediatric Suppl**, v.395, p.10-13, 1994.

WONG, L.; Quinoa processing (*Chenopodium quinoa* Willd). **Food Technologist**, v.24, n.1, p.26-29, 1994.

## ANEXOS

### ANEXO 1. Ficha do teste de aceitação aplicado

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

1- Você está recebendo 1 amostra codificada de macarrão. Por favor, prove a amostra da esquerda para a direita e avalie utilizando a escala abaixo para indicar o quanto você gostou ou desgostou de uma FORMA GLOBAL da amostra:

- 9 - gostei muitíssimo
- 8 - gostei muito
- 7 - gostei moderadamente
- 6 - gostei ligeiramente
- 5 - nem gostei / nem desgostei
- 4 - desgostei ligeiramente
- 3 - desgostei moderadamente
- 2 - desgostei muito
- 1 - desgostei muitíssimo

Amostra	Valor	+ gostou	- gostou

2 - Agora, utilizando a escala abaixo, indique a sua intenção de compra com relação ao produto:

- 5 - certamente compraria
- 4 - possivelmente compraria
- 3 - talvez comprasse / talvez não comprasse
- 2 - possivelmente não compraria
- 1 - certamente não compraria

Amostra	Valor

ANEXO 2. Análises de variância (ANOVA) e coeficientes - Perda de sólidos

$R^2 = 0,37765$

Regressão	GL	SQ	QM	F	p>F
Linear	3	23,0145	7,6715	0,7260	0,5645
Quadrática	3	20,043	6,681	0,6323	0,6146
Interação	3	14,0686	4,6895	0,4438	0,7282
Total da reg	9	57,1261	6,3473	0,6007	0,7684

Resíduo	GL	SQ	QM	F	p>F
Falta de ajuste	5	61,7395	12,3479	1,6255	0,3657
Erro puro	3	22,7897	7,5965		
Total do erro	8	84,5292	10,5661		

Fatores	Par. estimado	GL	Erro padrão	t( 3 )	p>F
b	16,2192	1	1,3761	11,7865	0,0013
X1	0,2672	1	0,7458	0,3584	0,7438
X2	0,6452	1	0,7458	0,8651	0,4506
X3	-1,0942	1	0,7458	-1,4672	0,2386
X1 <sup>2</sup>	0,7274	1	0,7748	0,9388	0,4171
X2 <sup>2</sup>	0,7998	1	0,7748	1,0323	0,3779
X3 <sup>2</sup>	0,6443	1	0,7748	0,8316	0,4665
X1X2	0,0856	1	0,9744	0,0879	0,9355
X1X3	-0,6219	1	0,9744	-0,6382	0,5687
X2X3	1,1681	1	0,9744	1,1987	0,3167

ANEXO 3. Análises de variância (ANOVA) e coeficientes - Aumento de peso

$R^2 = 0,59012$

Regressão	GL	SQ	QM	F	p>F
Linear	3	0,0052	0,0017	0,85	0,5045
Quadrática	3	0,0036	0,0012	0,6	0,6329
Interação	3	0,0146	0,0049	2,45	0,1383
Total da reg	9	0,0234	0,0026	1,30	0,3611

Resíduo	GL	SQ	QM	F	p>F
Falta de ajuste	5	0,0076	0,0015	0,5365	0,7468
Erro puro	3	0,0085	0,0028		
Total do erro	8	0,0161	0,0020		

Fatores	Par. estimado	GL	Erro padrão	t( 3 )	p>F
b	2,3018	1	0,0265	86,7403	0,0000
X1	-0,0035	1	0,0144	-0,2406	0,8254
X2	-0,0114	1	0,0144	-0,7938	0,4853
X3	0,0155	1	0,0144	-1,0807	0,3589
X1 <sup>2</sup>	-0,0066	1	0,0149	-0,4395	0,6900
X2 <sup>2</sup>	-0,0013	1	0,0149	-0,0847	0,9378
X3 <sup>2</sup>	-0,0154	1	0,0149	-1,0309	0,3784
X1X2	0,0031	1	0,0188	0,1663	0,8785
X1X3	0,0131	1	0,0188	0,6984	0,5352
X2X3	-0,0406	1	0,0188	-2,1619	0,1194

ANEXO 4. Análises de variância (ANOVA) e coeficientes - Aumento de volume

$R^2 = 0,6540$

Regressão	GL	SQ	QM	F	p>F
Linear	3	0,0390	0,0130	2,0968	0,1790
Quadrática	3	0,0300	0,0100	1,6129	0,2615
Interação	3	0,0278	0,0093	1,5000	0,2869
Total da reg	9	0,0968	0,0107	1,7258	0,2269

Resíduo	GL	SQ	QM	F	p>F
Falta de ajuste	5	0,0317	0,0063	1,0429	0,5199
Erro puro	3	0,0183	0,0061		
Total do erro	8	0,0500	0,0062		

Fatores	Par. estimado	GL	Erro padrão	t( 3 )	p>F
b	2,6097	1	0,0389	66,9704	0,0000
X1	0,0004	1	0,0211	0,0174	0,9872
X2	-0,0242	1	0,0211	-1,1472	0,3345
X3	0,0476	1	0,0211	2,2566	0,1093
X1 <sup>2</sup>	0,0029	1	0,2194	0,1329	0,9027
X2 <sup>2</sup>	-0,0307	1	0,2194	-1,3975	0,2567
X3 <sup>2</sup>	-0,0377	1	0,2194	-1,7197	0,1835
X1X2	-0,0137	1	0,0276	-0,4983	0,6525
X1X3	0,6162	1	0,0276	-0,5889	0,5973
X2X3	-0,0550	1	0,0276	-1,9931	0,1402

ANEXO 5. Análises de variância (ANOVA) e coeficientes - Elasticidade

$R^2 = 0,65157$

Regressão	GL	SQ	QM	F	p>F
Linear	3	41,6712	13,8904	0,7848	0,5352
Quadrática	3	19,7339	6,5779	0,3716	0,7759
Interação	3	206,2352	68,745	3,8839	0,0554
Total da reg	9	267,6403	29,7378	1,6801	0,2382

Resíduo	GL	SQ	QM	F	p>F
Falta de ajuste	5	118,5090	23,7018	3,0795	0,1917
Erro puro	3	23,0899	7,6966		
Total do erro	8	141,5989	17,6998		

Fatores	Par. estimado	GL	Erro padrão	t( 3 )	p>F
b	16,4524	1	1,3851	11,8779	0,0013
X1	-1,5500	1	0,7507	-2,0715	0,1300
X2	0,6099	1	0,7507	0,8124	0,4760
X3	0,5108	1	0,7507	0,6805	0,5449
X1 <sup>2</sup>	0,6104	1	0,7799	0,7826	0,4909
X2 <sup>2</sup>	0,1601	1	0,7799	0,2052	0,8505
X3 <sup>2</sup>	1,0777	1	0,7799	1,3818	0,2609
X1X2	1,1264	1	0,9808	1,1484	0,3341
X1X3	3,9619	1	0,9808	4,0392	0,0273
X2X3	2,9689	1	0,9808	3,0268	0,0564

Modelo Ajustado:  $R^2$  do modelo ajustado = 0,4825

Fatores	Par. estimado	t( 3 )	p>F	Erro padrão
b	17,8548	27,3049	0,0001	0,6539
X1X3	3,9619	4,0392	0,0273	0,9808
X2X3	2,9689	3,0268	0,0564	0,9808

Regressão	GL	SQ	QM	F	p>F
Interação	2	196,0854	98,0427	6,9927	0,0071
Total da reg	2	196,0854	98,0427	6,9927	0,0071

Resíduo	GL	SQ	QM	F	p>F
Falta de ajuste	12	187,2217	15,6018	2,0271	0,3064
Erro puro	3	23,0899	7,6966		
Total do erro	15	210,3116	14,0208		

ANEXO 6. Análises de variância (ANOVA) e coeficientes - Adesividade

$R^2 = 0,5751$

Regressão	GL	SQ	QM	F	p>F
Linear	3	1048416	349472	2,5262	0,1310
Quadrática	3	148375	49458,33	0,3575	0,7854
Interação	3	268097	89365,67	0,6460	0,6070
Total da reg	9	1464888	162765,33	1,1766	0,4146

Resíduo	GL	SQ	QM	F	p>F
Falta de ajuste	5	318576	63715,2	0,2425	0,9193
Erro puro	3	788119	262706,3		
Total do erro	8	1106695	138336,875		

Fatores	Par. estimado	GL	Erro padrão	t( 3 )	p>F
b	2090,75	1	255,9011	8,1701	0,0038
X1	-165,09	1	138,6876	-1,1904	0,3195
X2	-140,93	1	138,6876	-1,0162	0,3844
X3	-172,17	1	138,6876	-1,2414	0,3027
X1 <sup>2</sup>	45,308	1	144,0888	0,3144	0,7738
X2 <sup>2</sup>	1,823	1	144,0888	0,1226	0,9907
X3 <sup>2</sup>	-98,34	1	144,0888	-0,6825	0,5439
X1X2	50,89	1	181,2134	0,2809	0,7971
X1X3	121,06	1	181,2134	0,6681	0,5519
X2X3	-127,54	1	181,2134	-0,7038	0,5323

ANEXO 7. Análises de variância (ANOVA) e coeficientes - Umidade da farinha tratada termicamente

$R^2 = 0,58465$

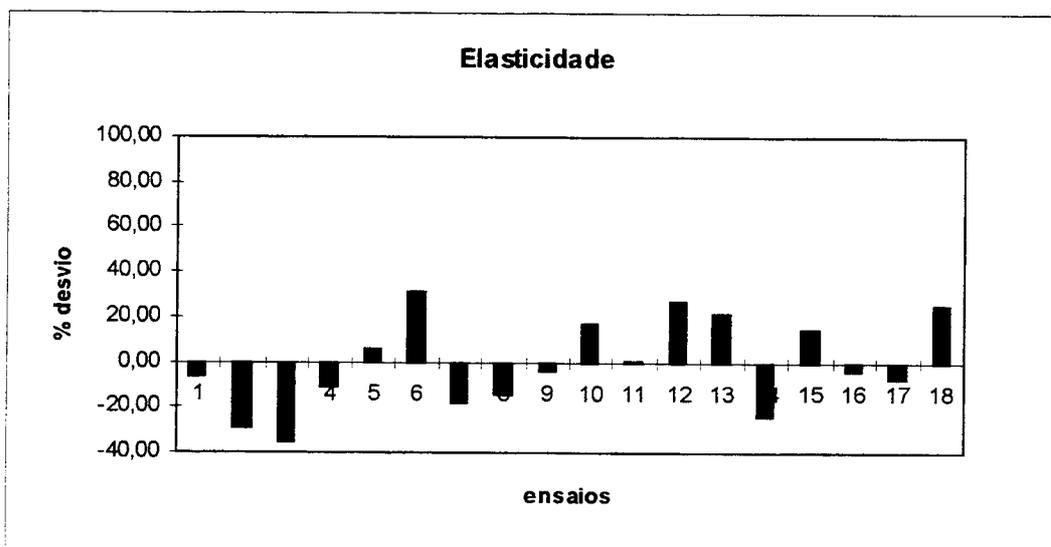
Regressão	GL	SQ	QM	F	p>F
Linear	3	14,1391	4,7130	2,2389	0,1611
Quadrática	3	5,8271	1,9423	0,9227	0,4726
Interação	3	3,1345	1,0448	0,4963	0,6949
Total da reg	9	23,1007	2,5667	1,2193	0,3952

Resíduo	GL	SQ	QM	F	p>F
Falta de ajuste	5	12,5272	2,5054	1,7424	0,3435
Erro puro	3	4,3137	1,4379		
Total do erro	8	16,8409	2,1051		

Fatores	Par. estimado	GL	Erro padrão	t( 3 )	p>F
b	38,4439	1	0,5987	64,2138	0,0000
X1	-0,3463	1	0,3245	-1,0672	0,3641
X2	0,9444	1	0,3245	2,9107	0,0619
X3	0,1529	1	0,3245	0,4715	0,6695
X1 <sup>2</sup>	-0,1214	1	0,3371	-0,3603	0,7425
X2 <sup>2</sup>	0,0906	1	0,3371	0,2688	0,8055
X3 <sup>2</sup>	0,6615	1	0,3371	1,9622	0,1445
X1X2	-0,3806	1	0,4239	-0,8978	0,4354
X1X3	0,3119	1	0,4239	0,7356	0,5152
X2X3	0,3869	1	0,4239	0,9125	0,4288

## ANEXO 8. Desvios entre valores reais e previstos pelo modelo - Elasticidade

TEMPOTT	UMIDADE	QUINOA	X1*X3	X2*X3	ELST real	ELAST prev	Desvio
-1	-1	-1	1	1	26,456	24,78	-6,76
-1	-1	1	-1	-1	14,164	10,92	-29,71
-1	1	-1	1	-1	25,553	18,84	-35,63
-1	1	1	-1	1	18,637	16,86	-10,54
1	-1	-1	-1	1	15,825	16,86	6,14
1	-1	1	1	-1	12,881	18,84	31,63
1	1	-1	-1	-1	12,928	10,92	-18,39
1	1	1	1	1	28,359	24,78	-14,44
-1,682	0	0	0	0	18,604	17,85	-4,22
1,682	0	0	0	0	14,786	17,85	17,17
0	-1,682	0	0	0	17,746	17,85	0,58
0	1,682	0	0	0	13,096	17,85	26,63
0	0	-1,682	0	0	13,945	17,85	21,88
0	0	1,682	0	0	22,089	17,85	-23,75
0	0	0	0	0	15,265	17,85	14,48
0	0	0	0	0	18,483	17,85	-3,55
0	0	0	0	0	19,248	17,85	-7,83
0	0	0	0	0	13,321	17,85	25,37



ANEXO 9. Análises de variância (ANOVA) e coeficientes - Viscosidade de pico

$R^2 = 0,68671$

Regressão	GL	SQ	QM	F	p>F
Linear	3	171205,9	57068,63	4,9289	0,0317
Quadrática	3	25750,4	8583,47	0,7413	0,5567
Interação	3	2026,3	675,43	0,5883	0,9802
Total da reg	9	198982,6	22109,18	1,9095	0,1875

Resíduo	GL	SQ	QM	F	p>F
Falta de ajuste	5	75129,4	15025,88	2,5764	0,2329
Erro puro	3	17496,0	5832,00		
Total do erro	8	92625,4	11578,175		

Fatores	Par. estimado	GL	Erro padrão	t( 3 )	p>F
b	630,7666	1	38,1281	16,5433	0,0005
X1	53,9882	1	20,6638	2,6127	0,0795
X2	-71,7578	1	20,6638	-3,4726	0,0403
X3	66,8661	1	20,6638	3,2359	0,0480
X1 <sup>2</sup>	-44,1957	1	21,4686	-2,0586	0,1317
X2 <sup>2</sup>	0,8712	1	21,4686	0,0406	0,9702
X3 <sup>2</sup>	9,0010	1	21,4686	0,4193	0,7032
X1X2	-11,3750	1	27,0000	-0,4213	0,7019
X1X3	6,3750	1	27,0000	0,2361	0,8285
X2X3	9,1250	1	27,0000	0,3379	0,7576

Modelo Ajustado:  $R^2$  do modelo ajustado = 0,57908

Fatores	Par. estimado	t( 3 )	p>F	Erro padrão
b	604,7222	33,5957	0,0000	18,0000
X1	53,9882	2,6127	0,0795	20,6638
X2	-71,7578	-3,4726	0,0403	20,6638
X3	66,8661	3,2359	0,0480	20,6638

Regressão	GL	SQ	QM	F	p>F
Linear	3	171205,9	57068,63	6,4202	0,0058
Total da reg	3	171205,9	57068,63	6,4202	0,0058

Resíduo	GL	SQ	QM	F	p>F
Falta de ajuste	11	106947,7	9722,52	1,6671	0,3716
Erro puro	3	17496,0	5832		
Total do erro	14	124443,7	8888,83		

ANEXO 10. Análises de variância (ANOVA) e coeficientes - Viscosidade final

$R^2 = 0,7706$

Regressão	GL	SQ	QM	F	p>F
Linear	3	1544959	514986,33	7,4441	0,0106
Quadrática	3	275019	91673	1,325	0,3323
Interação	3	77510	25836,67	0,3735	0,7746
Total da reg	9	1897488	210832	3,0475	0,0657

Resíduo	GL	SQ	QM	F	p>F
Falta de ajuste	5	4478,85	89577	2,5457	0,2359
Erro puro	3	105561	35187		
Total do erro	8	553446	69180,75		

Fatores	Par. estimado	GL	Erro padrão	t( 3 )	p>F
b	2098,061	1	93,6543	22,4022	0,0002
X1	140,336	1	50,7567	2,7649	0,0699
X2	-108,598	1	50,7567	-2,1396	0,1219
X3	285,706	1	50,7567	5,6289	0,0111
X1 <sup>2</sup>	-135,415	1	52,7334	-2,5679	0,0826
X2 <sup>2</sup>	-48,109	1	52,7334	-0,9123	0,4289
X3 <sup>2</sup>	-32,909	1	52,7334	-0,6241	0,5768
X1X2	-32,875	1	66,3202	-0,4957	0,6541
X1X3	60,750	1	66,3202	0,9160	0,4272
X2X3	-70,125	1	66,3202	-1,0574	0,3679

Modelo Ajustado:  $R^2$  do modelo ajustado = 0,65678

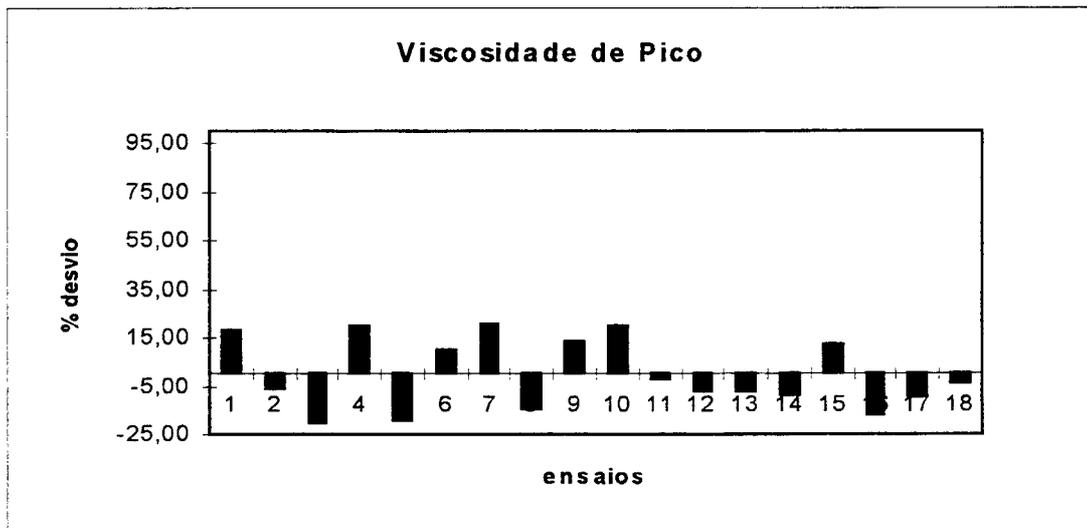
Fatores	Par. estimado	t( 3 )	p>F	Erro padrão
b	2025,935	34,5435	0,0000	58,6487
X1	140,336	2,7649	0,0699	50,7567
X3	285,706	5,6289	0,0111	50,7565
X1 <sup>2</sup>	-121,379	-2,3901	0,0967	50,7829

Regressão	GL	SQ	QM	F	p>F
Linear	2	1383880	691940	11,6964	0,0010
Quadrática	1	201016	201016	3,3979	0,0865
Total da reg	3	1584896	528298,67	8,9302	0,0015

Resíduo	GL	SQ	QM	F	p>F
Falta de ajuste	11	722657	656961	1,8671	0,3326
Erro puro	3	105561	35187		
Total do erro	14	828218	59158,43		

ANEXO 11. Desvios entre valores reais e previstos pelo modelo - Viscosidade de pico

TEMPOTT	UMIDADE	QUINOA	VP real	VP prev	Desvio
-1	-1	-1	456	556	17,93
-1	-1	1	732	689	-6,19
-1	1	-1	496	412	-20,36
-1	1	1	435	546	20,31
1	-1	-1	790	664	-19,05
1	-1	1	718	797	9,95
1	1	-1	411	520	20,97
1	1	1	749	654	-14,56
-1,682	0	0	447	514	13,02
1,682	0	0	559	696	19,63
0	-1,682	0	742	725	-2,29
0	1,682	0	519	484	-7,23
0	0	-1,682	525	492	-6,65
0	0	1,682	782	717	-9,04
0	0	0	527	605	12,85
0	0	0	707	605	-16,91
0	0	0	661	605	-9,31
0	0	0	629	605	-4,02



ANEXO 12. Desvios entre valores reais e previstos pelo modelo - Viscosidade final

TEMPOTT	UMIDADE	QUINOA	X1*X1	VF real	VF prev	Desvio
-1	-1	-1	1	1259	1478,50	14,85
-1	-1	1	1	2360	2049,92	-15,13
-1	1	-1	1	1726,5	1478,50	-16,77
-1	1	1	1	1644	2049,92	19,80
1	-1	-1	1	1885	1759,18	-7,15
1	-1	1	1	2326	2330,60	0,20
1	1	-1	1	1318	1759,18	25,08
1	1	1	1	2381,5	2330,60	-2,18
-1,682	0	0	2,829124	1446	1446,48	0,03
1,682	0	0	2,829124	2038	1918,58	-6,22
0	-1,682	0	0	2204	2025,93	-8,79
0	1,682	0	0	1774	2025,93	12,44
0	0	-1,682	0	1622	1545,37	-4,96
0	0	1,682	0	2442	2506,49	2,57
0	0	0	0	1822	2025,93	10,07
0	0	0	0	2127	2025,93	-4,99
0	0	0	0	2206	2025,93	-8,89
0	0	0	0	2228	2025,93	-9,97

