



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**Potencialidade de aplicação de farinha de
Yacon (*Polymnia sonchifolia*) em produtos à base
de cereais**

ANDRÉ LUIS MARANGONI
Engenheiro de Alimentos

PROF^ª DR^ª FERNANDA PAULA COLLARES
Orientadora

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia de Alimentos, da Universidade
Estadual de Campinas para obtenção do título
de Mestre em Tecnologia de Alimentos

Campinas-SP
2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

M325p Marangoni, André Luis
Potencialidade de Aplicação de farinha de yacon (*Polymnia sonchifolia*) em produtos à base de cereais / André Luis Marangoni. – Campinas, [s.n.], 2007.

Orientador: Fernanda Paula Collares
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Alimentos.
Faculdade de Engenharia de Alimentos

1. Yacon. 2. Alimentos funcionais. 3. Produtos extrudados. 4. Bolos. 5. Biscoito. I. Collares, Fernanda Paula. II. Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

(cars/fea)

Título em inglês: Potentiality of application of Yacon (*Polymnia sonchifolia*) flour on cereal-based products

Palavras-chave em inglês (Keywords): Yacon, Functional foods, Extruded snacks, Pound cakes, Biscuit

Titulação: Mestre em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora: Fernanda Paula Collares

Caroline Joy Steel

Yoon Kil Chang

Juliana Tófano de Campos Leite

Data da defesa: 28/02/07

Programa de Pós Graduação: Programa em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora

Prof^a. Dr^a. Fernanda Paula Collares

Faculdade de Engenharia de Alimentos – DTA – UNICAMP

Orientadora

Prof^a. Dr^a. Caroline Joy Steel

Faculdade de Engenharia de Alimentos – DTA – UNICAMP

Membro

Prof. Dr. Yoon Kil Chang

Faculdade de Engenharia de Alimentos – DTA – UNICAMP

Membro

Prof^a. Dr^a. Juliana Tófano de Campos Leite

Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP

Membro

O mundo não acontece,
ele simplesmente é.

HERMANN WEYL

1885-1955

Matemático alemão

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais Luiz e Ana, pelo apoio que sempre me deram e pelo exemplo que são. Foi a certeza deste apoio que me levou chegar até aqui.

Aos meus irmãos, Ana Paula e Luis Henrique, pela amizade e companheirismo que sempre tivemos uns pelos outros.

À minha orientadora, Prof^a Fernanda, pela amizade, confiança e ajuda em meu trabalho. Sua dedicação, compreensão e atenção foram fundamentais para o êxito deste trabalho.

Aos demais membros da banca, Prof. Yoon e Prof^{as} Caroline e Juliana, pelas correções e sugestões apresentadas neste trabalho.

À Kátia, minha namorada, companheira fiel destes anos todos. Muito do que sei hoje devo à você, tanto no lado pessoal e profissional.

Aos meus amigos que tenho como irmãos, Ricardo e Matheus. Mais que a ajuda que vocês me deram neste trabalho e nestes anos, a convivência que tivemos será a maior lembrança. Agradeço as conversas, companhia, conselhos, o bom-humor e as cervejas.

Aos amigos que fiz no laboratório e não os esquecerei – afinal somos os Cereal Killers: Reinaldo (Rei de Araras), Eveline (parceira de vários trabalhos), Gabi, Nádia (companheiras dos happy-hours), Larissa (pela ajuda), Isabella (pela ajuda na extrusão), Cris (tirou várias dúvidas minhas) e Farayde (me ajudou na sensorial). Também não posso me esquecer da Camila, Luz e Luciana.

Agradeço também ao CNPq pela concessão da bolsa, sem a qual não seria possível a realização desta pesquisa. Também sou grato à FAPESP pela concessão dos recursos que permitiram a aquisição do extrusor utilizado neste trabalho.

Um agradecimento especial às alunas de iniciação que se dedicaram bastante e me ajudaram muito neste trabalho: Lívia, Priscila e Camila Mayumi.

Agradeço a todos os técnicos e técnicas que colaboraram em várias etapas deste trabalho: Alessandra (Laboratório de Cereais), Ana (Laboratório de Frutas), Renata (Laboratório de Instrumentação), Adauto (Planta-piloto) e Karina (DEPAN). Agradeço também à Fifa e à Sartjee (Laboratório de Bioengenharia-DEA), que colaboraram com a análise cromatográfica. Márcia (Padaria da FEA), sua colaboração foi muito útil.

À professora Hillary pela correção do *abstract* e também faço uma menção também ao Prof. Carlos Grosso, pela ajuda concedida.

Obrigado!

Índice

Introdução.....	1
Objetivo Geral.....	3
Objetivos Específicos	3
Capítulo 1. Revisão Bibliográfica.....	5
Resumo.....	5
1.1. Yacon (<i>Polymnia sonchifolia</i>).....	6
1.1.1. Composição química.....	6
1.1.2. Aspectos funcionais e fisiológicos.....	7
1.2. Linhaça (<i>Linum usitatissimum</i>).....	9
1.3. Aveia (<i>Avena sativa</i>)	10
1.4. Snacks extrudados de arroz	12
1.4.1. Produto funcional sem glúten.....	12
1.4.2. Processo de extrusão termoplástica	13
1.5. Bolo.....	15
1.6. Biscoito	17
1.7. Referências Bibliográficas.....	19
Capítulo 2. Bolo inglês funcional com farinha de Yacon (<i>Polymnia sonchifolia</i>) e farinha de linhaça.....	26
Resumo.....	26
2.1. Introdução	26
2.2. Materiais e métodos.....	28
2.2.1. Matérias-primas.....	28
2.2.2. Métodos	28
2.2.2.1. Obtenção da farinha de Yacon e de linhaça.....	28
2.2.2.2. Delineamento experimental.....	29
2.2.2.3. Formulação e preparo dos bolos.....	30
2.2.2.4. Análise da matéria-prima e da farinha	32
2.2.2.4.1. Umidade	32
2.2.2.4.2. Proteínas	32
2.2.2.4.3. Lipídios.....	32

2.2.2.4.4.	Cinzas	33
2.2.2.4.5.	Fibra bruta	33
2.2.2.4.6.	Carboidratos	33
2.2.2.4.7.	pH.....	33
2.2.2.5.	Características físicas e químicas	34
2.2.2.5.1.	Análise de cor.....	34
2.2.2.5.2.	Granulometria.....	34
2.2.2.6.	Análises físicas e químicas dos bolos	34
2.2.2.6.1.	Densidade específica da massa.....	34
2.2.2.6.2.	Volume específico	35
2.2.2.6.3.	Índices de volume, simetria e uniformidade	35
2.2.2.6.4.	Análise de cor.....	35
2.2.2.6.5.	Umidade	35
2.2.2.6.6.	Análise de textura.....	35
2.2.2.6.7.	Análise sensorial	35
2.3.	Resultados e discussão	36
2.3.1.	Análises da matéria-prima e da farinha de Yacon.....	36
2.3.1.1.	Composição centesimal e pH.....	36
2.3.1.2.	Análise de cor.....	38
2.3.1.3.	Granulometria.....	39
2.3.2.	Análises físicas dos bolos	39
2.3.2.1.	Densidade específica da massa, volume específico e índices de volume, simetria e uniformidade.....	39
2.3.2.2.	Análise de cor do miolo	41
2.3.2.3.	Análise de textura.....	45
2.3.2.4.	Análise sensorial	46
2.4.	Conclusão	48
2.5.	Referências bibliográficas	49
Capítulo 3. Biscoitos funcionais tipo “Champurrada” com farinha de Yacon (<i>Polymnia sonchifolia</i>) e aveia em flocos		51
Resumo.....		51

3.1.	Introdução	51
3.2.	Materiais e métodos.....	53
3.2.1.	Matéria-prima	53
3.2.2.	Métodos	53
3.2.2.1.	Obtenção da farinha de Yacon.....	53
3.2.2.2.	Delineamento experimental.....	54
3.2.2.3.	Formulação e preparo dos biscoitos.....	55
3.2.2.4.	Análise da matéria-prima e da farinha.....	56
3.2.2.4.1.	Umidade	56
3.2.2.4.2.	Proteínas	57
3.2.2.4.3.	Lipídios	57
3.2.2.4.4.	Cinzas	57
3.2.2.4.5.	Fibra bruta	57
3.2.2.4.6.	Carboidratos.....	57
3.2.2.4.7.	pH.....	57
3.2.2.5.	Características físicas e químicas	57
3.2.2.5.1.	Análise de Cor.....	57
3.2.2.5.2.	Granulometria.....	57
3.2.2.5.3.	Teor de fruto-oligossacarídeos.....	57
3.2.2.6.	Análises físicas e químicas dos biscoitos.....	58
3.2.2.6.1.	Densidade específica da massa.....	58
3.2.2.6.2.	Volume específico do biscoito	58
3.2.2.6.3.	Análise de cor.....	58
3.2.2.6.4.	Análise de umidade.....	59
3.2.2.6.5.	Determinação do teor de fruto-oligossacarídeos.....	59
3.2.2.6.6.	Análise de textura.....	59
3.2.2.6.7.	Análise sensorial	59
3.3.	Resultados e discussão	60
3.3.1.	Análises da matéria-prima e da farinha.....	60
3.3.1.1.	Composição centesimal e pH.....	60

3.3.1.2.	Análise de cor.....	61
3.3.1.3.	Granulometria.....	61
3.3.1.4.	Teor de fruto-oligossacarídeos.....	62
3.3.2.	Análises físicas dos biscoitos.....	63
3.3.2.1.	Densidade específica da massa e volume específico.....	63
3.3.2.2.	Análise de cor.....	65
3.3.2.3.	Análise do teor de umidade durante a estocagem.....	67
3.3.2.4.	Determinação de fruto-oligossacarídeos.....	68
3.3.2.5.	Análise de textura.....	69
3.3.2.6.	Análise sensorial.....	70
3.4.	Conclusão.....	72
3.5.	Referências Bibliográficas.....	73
Capítulo 4. <i>Snacks</i> extrudados à base de farinha de arroz e farinha de Yacon (<i>Polymnia sonchifolia</i>).....		75
Resumo.....		75
4.1.	Introdução.....	75
4.2.	Material e métodos.....	77
4.2.1.	Matérias-primas.....	77
4.2.2.	Métodos.....	77
4.2.2.1.	Produção da farinha de Yacon.....	77
4.2.2.2.	Obtenção da farinha de arroz.....	77
4.2.2.3.	Análises das matérias-primas e farinha de Yacon.....	77
4.2.2.3.1.	Umidade.....	77
4.2.2.3.2.	Proteínas.....	78
4.2.2.3.3.	Lipídios.....	78
4.2.2.3.4.	Cinzas.....	78
4.2.2.3.5.	Fibra bruta.....	78
4.2.2.3.6.	Carboidratos.....	78
4.2.2.3.7.	pH.....	78
4.2.2.4.	Características físicas e químicas.....	78
4.2.2.4.1.	Teor de fruto-oligossacarídeos.....	78

4.2.2.4.2.	Análise de cor.....	78
4.2.2.4.3.	Granulometria.....	79
4.2.2.5.	Delineamento experimental.....	79
4.2.2.6.	Processo pré e pós-extrusão das farinhas.....	81
4.2.2.7.	Análise dos snacks extrudados.....	81
4.2.2.7.1.	Índice de Expansão (IE).....	81
4.2.2.7.2.	Índice de Absorção de Água (IAA).....	81
4.2.2.7.3.	Índice de Solubilidade em Água (ISA).....	82
4.2.2.7.4.	Análise de cor.....	83
4.2.2.7.5.	Determinação do teor de fruto-oligossacarídeos.....	83
4.2.2.7.6.	Análise de textura.....	83
4.2.2.7.7.	Análise sensorial.....	83
4.3.	Resultados e discussão.....	84
4.3.1.	Análise das matérias-primas e da farinha de Yacon.....	84
4.3.1.1.	Composição centesimal e pH.....	84
4.3.1.2.	Teor de fruto-oligossacarídeos.....	85
4.3.1.3.	Cor.....	85
4.3.1.4.	Granulometria.....	85
4.3.2.	Análise dos <i>snacks</i> extrudados.....	86
4.3.2.1.	Teor de fruto-oligossacarídeos.....	86
4.3.2.2.	Índice de Expansão (IE).....	87
4.3.2.3.	Índices de absorção de água e de solubilidade em água.....	90
4.3.2.4.	Cor.....	92
4.3.2.5.	Textura.....	94
4.3.2.6.	Análise sensorial.....	95
4.4.	Conclusão.....	99
4.5.	Referências bibliográficas.....	101
Conclusões.....		104

Lista de figuras

Figura 2.1. Etapas do processamento de bolo inglês.	31
Figura 2.2. Superfícies de resposta para a densidade específica: teor farinha de Yacon versus teor de farinha de linhaça.	41
Figura 2.3. Superfícies de resposta para: (a) luminosidade; (b) saturação e (c) tonalidade; concentração de Yacon versus concentração de linhaça.....	44
Figura 2.4 Superfície de resposta para a dureza no 2º dia após o processamento dos bolos: concentração de Yacon versus concentração de linhaça.....	46
Figura 3.1. Processo de produção do biscoito tipo "Champurrada"..	56
Figura 3.2. Superfície de resposta para a luminosidade (parâmetro L*): teor de farinha de Yacon versus teor de aveia em flocos.....	66
Figura 4.1. Superfícies de resposta para o índice de expansão: (a) temperatura versus umidade; (b) teor de farinha de Yacon versus umidade e (c) teor de farinha de Yacon versus temperatura.	90
Figura 4.2. Superfícies de resposta para o atributo textura: (a) temperatura versus umidade; (b) teor de farinha de Yacon versus umidade e (c) teor de farinha de Yacon versus temperatura.	97
Figura 4.3. Superfícies de resposta para o atributo intenção de compra: (a) temperatura versus umidade; (b) teor de farinha de Yacon versus umidade e (c) teor de farinha de Yacon versus temperatura.	99

Lista de tableas

Tabela 1.1. Composição química (% da massa seca), acidez e pH de raízes de Yacon (VILHENA <i>et al.</i> , 2000).	7
Tabela 2.1. Níveis das variáveis independentes do planejamento fatorial completo 2^2	30
Tabela 2.2. Delineamento estatístico composto central rotacional.	30
Tabela 2.3. Formulação básica do bolo inglês sem adição de linhaça.	31
Tabela 2.4. Composição centesimal do Yacon <i>in natura</i> e da farinha de Yacon (em base úmida).	37
Tabela 2.5. Cor do Yacon <i>in natura</i> e da farinha de Yacon.	38
Tabela 2.6. Granulometria da farinha de Yacon.	39
Tabela 2.7. Densidade específica da massa, volume específico e índices de volume, simetria e uniformidade dos bolos com farinha de Yacon e de linhaça.	40
Tabela 2.8. Parâmetros de cor dos miolos dos bolos com farinha de Yacon e de linhaça.	42
Tabela 2.10. Modelo matemático para a luminosidade (L^*), saturação (C^*) e tonalidade (h^*).....	43
Tabela 2.11. Textura dos bolos no 2º, 4º e 6º dias após processamento.	45
Tabela 2.12. Médias da análise sensorial dos bolos para todos os atributos avaliados.	47
Tabela 3.1. Níveis das variáveis independentes do planejamento fatorial completo 2^2	54
Tabela 3.4. Composição centesimal do Yacon <i>in natura</i> e da farinha de Yacon (em base úmida).	60
Tabela 3.5. Cor do Yacon <i>in natura</i> e da farinha de Yacon.	61
Tabela 3.6. Perfil granulométrico para a farinha de Yacon.	61
Tabela 3.7. Perfil de carboidratos presentes no Yacon <i>in natura</i> e na farinha de Yacon com diluição igual a 1/50.	62
Tabela 3.8. Densidade específica da massa e volume específico do biscoito.	64
Tabela 3.10. Modelo matemático para a luminosidade (parâmetro L^*).....	66
Tabela 3.11. Teor de umidade dos biscoitos no 2º, 4º e 6º dias após o processamento.	67
Tabela 3.12. Perfil de carboidratos presentes no biscoito tipo “Champurrada” com diluição igual a 1/50.	68
Tabela 3.13. Textura dos biscoitos no segundo, quarto e sexto dias após processamento.	69
Tabela 3.14. Valores médios dos atributos: aparência, sabor, textura e intenção de compra dos biscoitos. ...	70
Tabela 3.15. Modelo matemático para o atributo aparência global.....	71
Tabela 4.1. Níveis das variáveis independentes do planejamento fatorial completo 2^3	79

Tabela 4.2. Delineamento estatístico composto central 2^3	80
Tabela 4.3. Composição centesimal do Yacon <i>in natura</i> e das farinhas de Yacon e de arroz.	84
Tabela 4.6. Perfil granulométrico para a farinha de Yacon e farinha de arroz.....	85
Tabela 4.7. Perfil de carboidratos presentes no <i>snack</i> de arroz e farinha de Yacon com diluição igual a 1/50.87	
Tabela 4.8. Índice de expansão dos <i>snacks</i> extrudados, segundo delineamento experimental	88
Tabela 4.9. Modelo matemático para o índice de expansão dos <i>snacks</i> extrudados.	88
Tabela 4.10. IAA e ISA dos <i>snacks</i> extrudados obtidos segundo delineamento experimental.....	91
Tabela 4.11. Parâmetros de cor dos <i>snacks</i> extrudados obtidos segundo delineamento experimental.	93
Tabela 4.12. Textura dos <i>snacks</i> extrudados obtidos segundo delineamento experimental.	94
Tabela 4.14. Modelos matemáticos para os atributos textura e intenção de compra.	96

Resumo

O presente trabalho visou avaliar a aplicação de farinha de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) em produtos à base de cereais como bolo inglês, biscoito tipo “Champurrada” e snacks à base de arroz obtidos por extrusão termoplástica. Para tanto, a incorporação de farinha de Yacon nos snacks e a substituição parcial da farinha de trigo pela farinha de Yacon no bolo e no biscoito foram analisadas quantificando-se a magnitude das mudanças físicas e sensoriais nestes produtos. Para os três estudos, utilizou-se a metodologia de superfície de resposta com um delineamento estatístico do tipo composto central rotacional (com 2 variáveis independentes no caso do bolo e biscoito, e 3 variáveis independentes para o estudo dos snacks). As variáveis independentes no estudo do bolo foram as concentrações de farinha de Yacon e de farinha de linhaça. Já, para o biscoito, as variáveis foram as concentrações de farinha de Yacon e de aveia em flocos. Em se tratando dos snacks, as variáveis foram: umidade da farinha de alimentação; temperatura na 4ª e 5ª zona do extrusor; e teor de farinha de Yacon incorporada. Os bolos e os biscoitos foram analisados quanto à textura e cor instrumental (Hunterlab), densidade da massa, volume específico, além das avaliações sensoriais. Por sua vez, as variáveis dependentes no estudo dos snacks foram: propriedades físico-químicas (textura e cor instrumental, índice de absorção de água e de solubilidade em água, e índice de expansão) e sensoriais. Para o bolo, as superfícies geradas sugeriram que concentrações de farinha de Yacon variando entre 0,0% e 3,45% e teores de farinha de linhaça entre 3,18% e 6,0% resultaram em um produto de menor dureza. Para os parâmetros de cor, com concentrações mínimas de farinha de Yacon e linhaça (0,0% e 3,18%, respectivamente), obteve-se um bolo mais claro, de coloração mais amarelada e a densidade da massa atingiu valores mínimos quando o teor de linhaça foi de 6,0%, sendo que o teor de farinha de Yacon não apresentou influência sobre este parâmetro. No estudo do biscoito, a superfície de resposta indicou que quando a concentração de Yacon foi de 3,45% ou superior, e a de aveia de 6,82%, o parâmetro L* atingiu seu valor máximo. O maior valor de intenção de compra ocorreu para uma concentração de Yacon de 3,45% e de aveia de 1,18% e 6,82%. Dessas observações pode-se inferir que a concentração recomendada de incorporação de farinha de Yacon seria 3,45% e de aveia de 6,82%, considerando a faixa de valores estudada. Os snacks que apresentaram maior expansão foram obtidos a 120°C, com teor de umidade da matéria-prima igual a 17% e

concentração da farinha de Yacon de 12%. As superfícies geradas para os atributos sensoriais textura e intenção de compra, mostraram que o valor máximo para estes dois atributos ocorreram para as mesmas condições de temperatura, umidade da farinha de alimentação e teor de farinha de Yacon que propiciaram o maior índice de expansão. A utilização da farinha de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) como um ingrediente funcional em produtos panificados (bolo e biscoito) e extrudados (snacks de arroz) mostrou-se viável. Os fruto-oligossacarídeos (FOS), objeto central no desenvolvimento de um produto funcional, foram conservados no processamento do Yacon até a obtenção da farinha e permaneceram em concentrações satisfatórias, de modo a suprir a ingestão nutricional de acordo com padrões difundidos na literatura. .

Abstract

This study aimed at evaluating the application of yacon (*Polymnia sonchifolia*) flour in cereal-based products such as pound cake, “Champurrada” type biscuits and rice-based snacks produced by a thermoplastic extrusion process. Thus the effect of incorporating yacon flour into the snacks and the partial substitution of wheat flour by yacon flour in the cake and biscuit were analysed, quantifying the magnitude of the physical and sensory changes in these products. Response surface methodology was used in the three studies, with a rotatable central-composite experimental design (with 2 independent variables for the cake and biscuit, and 3 independent variables for the snacks). The independent variables for the cake study were the yacon flour and flaxseed flour concentrations, and for the biscuit, the yacon flour and oat flake concentrations. For the snacks, the variables were: moisture content of the feed flour; temperature in the 4th and 5th extruder zones; and amount of yacon flour incorporated. The cakes and biscuits were analysed for instrumental texture and colour (Hunterlab), dough density and specific volume, as well as the sensory analyses. On the other hand the dependent variables for the snacks were: the physical (instrumental texture and colour, water solubility index, water absorption index and expansion ratio) and sensory properties. For the cake, the surfaces generated suggested that concentrations of yacon flour between 0.0% and 3.45% and of flaxseed flour between 3.18% and 6.0% resulted in a cake with reduced hardness. For the colour parameters, the minimum yacon and flaxseed flour concentrations (0.0% and 3.18%, respectively), produced lighter coloured cakes with a yellowish colour. The dough density reached minimum values when the concentration of flaxseed was 6.0%, whilst the yacon flour concentration showed no influence on this parameter. In the biscuit study, the response surface indicated that when the yacon flour concentration was 3.45% or above and that of the oat flakes 6.82%, the L* parameter reached its maximum value. The highest value for purchasing intention was obtained with a Yacon flour concentration of 3.45% and an oats concentration between 1.18% and 6.82%. These observations inferred that the recommended concentrations for the yacon flour and oat flakes would be 3.45% and 6.82%, respectively, considering the range of values studied. The most expanded snacks were obtained under the following conditions: 17% moisture content in the feed flour, a temperature of 120°C and the incorporation of 12% yacon flour. The surfaces generated for the sensory attributes of texture and purchasing intention, showed that the

maximum values for these two attributes were obtained under the same conditions of temperature, feed flour moisture content and yacon flour incorporation that propitiated the greatest expansion values. The use of yacon flour (*Polymnia sonchifolia*) as a functional ingredient in bakery products (cake and biscuit) and extruded products (rice snacks) was shown to be viable. The fructooligosaccharides (FOS), central object of the development of a functional product, were conserved during the processing of the yacon to obtain the flour, remaining in satisfactory concentrations, sufficient to supply the recommended values for ingestion according to standards divulged in the literature.

Introdução

Alimentos funcionais ou nutracêuticos são termos utilizados para caracterizar alimentos e/ou ingredientes alimentares que, além de suas funções nutricionais normais (fonte de energia e substrato para a formação de células e tecidos), possuem, em sua composição, uma ou mais substâncias capazes de atuar como moduladores dos processos metabólicos, melhorando as condições de saúde, promovendo o bem estar e prevenindo o surgimento precoce de doenças degenerativas. Os alimentos funcionais representam uma união da farmacologia com a tecnologia de alimentos na busca de uma melhor qualidade de vida, baseada na alimentação. Isso vem sendo reconhecido pelo consumidor moderno, que tem procurado com mais frequência esse tipo de produto nas prateleiras dos mercados. Evidentemente, esses alimentos não podem ser encarados como uma solução única, mas sim como mais um auxílio que os avanços tecnológicos e científicos colocam à disposição (SKLIUTAS, 2002).

O mercado de alimentos funcionais está se desenvolvendo fortemente nos países onde já foi estabelecido um mercado de alimentos processados. É um mercado difícil de se quantificar, uma vez que há diferenças de opinião sobre sua definição, com estimativas variando de US\$ 10 até US\$ 50 bilhões globalmente por ano. É um mercado que se desenvolve diferentemente em cada região, com produtos ligados à saúde intestinal, principalmente na linha de laticínios probióticos na Europa e Austrália, enquanto que nos Estados Unidos o mercado é caracterizado pelo maior interesse com a saúde do coração, produtos anti-câncer e uso de plantas medicinais (HILLIAN & YOUNG, 2000 citados por HILLIAN, 2003).

Especificamente na América Latina, a população de modo geral não tem conhecimento sobre alimentos funcionais, apesar de existir uma crescente conscientização, por parte do consumidor, da importância de uma boa alimentação e dos cuidados com relação à saúde, sobretudo nos grandes centros urbanos. No entanto, ainda é necessário maior investimento em pesquisa, de modo a se aproveitar melhor a biodiversidade regional na busca por produtos saudáveis. Falta ainda, por parte da comunidade científica e governamental desta região, criar regulamentação oficial com respeito aos alimentos funcionais, sendo que os poucos códigos existentes focam apenas em segurança e eficácia alimentar (LAJOLO, 2002).

Ainda de acordo com LAJOLO (2002), uma regulamentação dos alimentos funcionais, dentro dos atuais conceitos de benefício à saúde e a utilização mais eficaz dos já permitidos apelos de saúde, conduzirá à introdução de vários produtos com caráter de funcionalidade no mercado.

O Yacon *in natura* pode ser considerado um alimento funcional pelo seu alto teor de fruto-oligossacarídeos (FOS). ASAMI *et al.* (1991) determinaram que, no Yacon recém colhido, o total de FOS representou 67% da matéria seca, enquanto OHYAMA *et al.* (1990), em amostras mantidas sob refrigeração por três meses, verificaram só 26% de FOS.

O Yacon (*Polymnia sonchifolia*) é uma espécie originária da região andina da América do Sul (ASAMI *et al.*, 1991). Foi introduzido no Japão por volta de 1985 (ASAMI *et al.*, 1991) e rapidamente ganhou atenção por causa da grande quantidade de fruto-oligossacarídeos (FOS) que possuía. Começou a ser cultivado no Brasil em 1991 (ITAYA *et al.*, 2002), sendo produzido e comercializado no estado de São Paulo e agora também na região de Itajaí, no estado do Rio Grande do Sul. A maior região produtora de Yacon é a América do Sul (QUINTEROS, 2000).

Os fruto-oligossacarídeos do Yacon não são digeríveis pelo aparelho digestivo, possuindo efeito de fibra alimentar. No estudo conduzido por NAKANISHI (1997), observou-se que o tubérculo possui quantidades abundantes de frutanas e carência de amido, o que torna o Yacon potencialmente benéfico na dieta de diabéticos. Os benefícios para a saúde humana seriam: não cariogenicidade; valor energético reduzido; eliminação de bactérias patogênicas e putrefativas por efeito da multiplicação das bifidobactérias; redução dos lipídios no sangue; aumento da absorção de minerais como cálcio, magnésio e ferro; inibição dos estágios iniciais do câncer de cólon e diminuição da velocidade de absorção dos açúcares. Neste contexto, o Yacon é um alimento com propriedades funcionais bastante promissoras e poderia ser incorporado à dieta da população em geral (QUINTEROS, 2000).

Adicionalmente, o Yacon contém considerável quantidade de compostos fenólicos, os quais demonstram atividade antioxidativa, de acordo com CHUDA *et al.* (1998). Como uma fonte natural de antioxidantes, os compostos fenólicos da planta podem proteger as membranas celulares contra danos provocados pelos radicais livres.

FRANCK (2002), em seu trabalho, aponta que em formulações de alimentos, a inulina e a oligofrutose podem melhorar significativamente as características

organolépticas. Suas respectivas incorporações permitem um melhoramento do sabor e sensação bucal em uma larga faixa de aplicações em produtos como iogurtes, bebidas de frutas, queijos, sorvetes, chocolates, dentre outros.

Um aspecto também muito interessante do Yacon é sua alta produtividade. Alguns estudos disponíveis indicam uma produtividade que varia de 10 a 100 toneladas/hectare (UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, 2003). No Brasil, tomando-se como referência a batata e a mandioca, com rendimentos médios que variam em torno de 20-30 t/ha. e 13,5 t/ha., respectivamente, segundo dados de EDUARDO (2002) e GOMES & LEAL (2003), demonstra-se o potencial da cultura do Yacon.

Os países como o Peru, Bolívia e Equador têm desenvolvido estudos abrangentes, visando valorizar raízes e tubérculos andinos. No caso do Yacon, obtiveram-se farinhas, doces e fatias desidratados (QUINTEROS, 2000). Ainda segundo o mesmo autor, no Brasil há produção artesanal de desidratados das raízes tuberosas e folhas de Yacon. Os produtos são fatias das raízes, semelhantes à batata “chips” e folhas secas destinadas ao preparo de chá.

A busca por processos de transformação que conduzam ao aumento da vida útil do Yacon *in natura* tem se tornado importante, pois visa principalmente: (i) a obtenção de um ingrediente de fácil aplicação; (ii) agregar valor aos produtos, de modo que estes produtos apresentem um maior valor nutricional e possam contribuir para uma dieta mais saudável; (iii) permitir a estes produtos a adição da funcionalidade fisiológica, uma vez que há uma crescente demanda por produtos deste tipo, lhes permitindo um grande potencial de mercado.

Objetivo Geral

O presente trabalho visa o desenvolvimento e a aplicação de farinha de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) em produtos à base de cereais.

Objetivos Específicos

1. Estudar a viabilidade de utilização de farinha de Yacon em substituição parcial da farinha de trigo em produtos de panificação como bolo inglês (Capítulo 2) e

biscoito tipo Champurradas (Capítulo 3), avaliando-se a extensão das mudanças físicas e sensoriais nestes produtos.

2. Avaliar o efeito da incorporação de farinha de Yacon e a viabilidade da aplicação deste ingrediente funcional em *snacks* à base de arroz, obtidos por extrusão termoplástica (Capítulo 4).

Capítulo 1. Revisão Bibliográfica

Resumo

Alimentos funcionais ou nutracêuticos além de suas funções nutricionais normais também são capazes de melhorar as condições de saúde, podendo prevenir o surgimento precoce de doenças degenerativas, incluem-se nesta categoria o Yacon (*Polymnia sonchifolia*), a linhaça (*Linum usitatissimum*), aveia (*Avena sativa*). O Yacon é uma espécie da família Asteraceae, originária da região dos Andes. Suas raízes tuberosas contêm grandes quantidades de glicose, frutose e fruto-oligossacarídeos do tipo inulina, como carboidratos de reserva, o que o torna benéfico para diabéticos, além de atuarem como prebióticos, melhorando a microbiota intestinal, redução de lipídios do sangue, inibição dos estágios iniciais do câncer de cólon, dentre outros. Além disso, o Yacon contém considerável quantidade de compostos fenólicos, os quais são importantes antioxidantes. A linhaça (*Linum usitatissimum*) é uma fonte abundante de ácido α -linolênico, fibras e fito-químicos, como ligninas e proteínas. Os ácidos graxos poli-insaturados ômega-3 presentes na linhaça a tornam efetiva na prevenção de doenças cardiovasculares e de alguns tipos de câncer. Além disso, a linhaça também contém todos os aminoácidos de uma proteína completa, além de ser uma considerável fonte de lecitina, vitaminas e minerais. A aveia (*Avena sativa*), por sua vez, pertence à família Gramineae, e sua semente tem um alto teor de óleo, proteína de alta qualidade e grande quantidade de fibras solúveis, predominantemente β -glucana, além de significativa quantidade de vitaminas. Vários estudos evidenciam que a aveia pode abaixar o colesterol plasmático e os níveis de glicose, reduzir o tempo de trânsito no intestino, prevenir a constipação e reduzir o risco de câncer de cólon e retal. Em se tratando de produtos de conveniência e de fácil consumo, destaca-se o processo de extrusão termoplástica. É notório o aumento da importância de alimentos do tipo *snack* nos hábitos alimentares de hoje. Isto deve-se ao fato destes produtos poderem servir como veículos para importantes nutrientes, ao passo que constituem produtos facilmente aceitos pelos consumidores. Apesar do uso difundido, o processo de extrusão ainda necessita de muitos estudos, dada a sua complexidade. O bolo, na categoria de alimentos semi-prontos, ganha mercado, sobretudo no Brasil, e já existem estudos que avaliam a viabilidade de se adicionar algum caráter de funcionalidade a estes produtos. Biscoitos também são produtos muito populares em todo o mundo, com vastas combinações de textura e sabor, e uma gama de formas pode ser produzida pela variação das concentrações de seus ingredientes, e idêntico ao bolo, há trabalhos que estudam a viabilidade de se agregar ao biscoito algum caráter de funcionalidade.

1.1. Yacon (*Polymnia sonchifolia*)

1.1.1. Composição química

O gênero *Polymnia* (Asteraceae-Heliantheae-Melampodiinae) compreende dezenove espécies americanas (WELLS, 1965 citado por ZARDINI, 1991). A espécie de maior importância econômica é a *P. sonchifolia* Poepp. & Endl., cultivada por suas raízes tuberosas, grandes, suculentas e de reserva de inulina nas "yungas" ou florestas úmidas nas encostas leste dos Andes da Venezuela, ao noroeste da Argentina, ao redor de 2000 metros de altitude (ZARDINI, 1991).

O Yacon (*Polymnia sonchifolia*) é uma espécie originária da região andina da América do Sul (ASAMI *et al.*, 1991). Foi introduzido no Japão por volta de 1985 (ASAMI *et al.*, 1991; TAKENAKA *et al.*, 2003) e rapidamente ganhou atenção devido à grande quantidade de fruto-oligossacarídeos (FOS) que possuía. Começou a ser cultivado no Brasil em 1991 (ITAYA *et al.*, 2002), sendo produzido e comercializado no estado de São Paulo e agora também na região de Itajaí, no estado do Rio Grande do Sul. A maior região produtora de Yacon é a América do Sul (QUINTEROS, 2000).

O estudo conduzido por NIETO (1991) revelou a composição química das raízes de algumas linhagens de Yacon, sendo encontrados os seguintes valores médios (em relação à matéria seca): 3,7% de proteínas; 3,5% de cinzas; 1,5% de matéria-graxa; 3,4% de fibras; 87,8% de extrato livre de nitrogênio e 2,2% de potássio, o que caracteriza o Yacon como um alimento de baixo valor energético e de bom valor nutricional.

Em outro estudo, VILHENA *et al.* (2000) relacionam seu valor energético ao alto conteúdo de açúcares totais, além de determinarem a composição química apresentando valores muito semelhantes aos encontrados por NIETO (1991), como mostra a **Tabela 1.1.**

Tabela 1.1. Composição química (% da massa seca), acidez e pH de raízes de Yacon (VILHENA *et al.*, 2000).

Propriedade	Quantidade
Proteína (%)	4,34
Matéria Graxa (%)	1,66
Cinzas (%)	3,56
Fibras (%)	3,26
Acidez*	1,28
pH	5,53
Frutanos (%)	60-70

% de água nas raízes = 85,93%; *Acidez normal em mL/100 g de amostra.

1.1.2. Aspectos funcionais e fisiológicos

O Yacon, considerado pelos primitivos habitantes dos Andes como sendo uma fruta, tem relativamente baixo valor energético, apesar de sua suculência e sabor doce. Esses fatores acabam por justificar a importância potencial do Yacon na indústria alimentícia, como adoçante alternativo à sacarose e de produtos dietéticos, por conter baixas calorias. Na Bolívia, as raízes do Yacon são consumidas por pessoas que sofrem de diabetes ou de vários distúrbios digestivos e renais. No Brasil, propriedades medicinais foram atribuídas às folhas de Yacon, onde as folhas secas são utilizadas no preparo de um chá anti-diabético (AYBAR *et al.*, 2001; VILHENA *et al.*, 2000).

Estudos recentes têm investigado as propriedades benéficas do Yacon em relação à saúde, devido à presença de antioxidantes, compostos fenólicos e, principalmente, de fruto-oligossacarídeos (FOS). Estes FOS, no Yacon, possuem baixo grau de polimerização (DP) e estão presentes em grandes quantidades no tecido, aproximadamente de 60 a 70%, em base seca, conforme observações feitas por GOTO *et al.* (1995).

Em geral, os FOS têm sido relacionados à redução dos níveis de glicose do sangue e considera-se que atuem como prebióticos, por melhorarem o balanço da microflora intestinal e por promoverem o crescimento de organismos probióticos. Prebióticos são definidos como ingredientes alimentícios não digeríveis, que beneficiam o hospedeiro seletivamente por estimularem o crescimento e a atividade de um número limitado de bactérias no intestino, melhorando assim sua saúde (GIBSON & ROBERFROID, 1995).

Algumas linhagens de bifidobactérias e lactobacilos são considerados importantes probióticos para a saúde humana. Probióticos são definidos como organismos vivos adicionados à dieta que beneficiam o desenvolvimento da microbiota do cólon intestinal. Os benefícios relatados incluem imunopotencialização, competição com bactérias putrefativas e patogênicas (bacteróides, *Escherichia coli*, e cocos anaeróbios) pelos nutrientes e sítios de ataque, e produção de ácidos graxos voláteis que provêm energia metabólica para o hospedeiro, acidificação do intestino e inibição do crescimento de muitos patógenos (SGHIR *et al.*, 1998).

No estudo conduzido por PEDRESCHI *et al.* (2003), foram cultivadas sob condições anaeróbicas - para simular o ambiente intestinal - *L. plantarum*, *L. acidophilus* e *B. bifidum*, em FOS comercial (*Neosugar*, da Nutraflora) e em extrato de Yacon. A fermentação de FOS foi avaliada pela medição do crescimento microbiano (mudanças na densidade óptica), pH ou acidificação do meio e pela determinação da quantidade de FOS consumida. O meio de cultura com ambas as linhagens de *Lactobacillus* e *B. bifidum* mostrou aumento da densidade óptica depois de 24 e 48 horas, respectivamente, indicando crescimento microbiano e sugerindo a utilização dos FOS como fonte de carbono. Em geral, o aumento da densidade óptica para cada tipo de probiótico foi muito similar para ambos os FOS, comercial e do extrato de Yacon. A variação de pH observada nos meios também foi similar para ambos os FOS. Estes resultados sugerem que os FOS do Yacon têm potencial como prebióticos e podem ser utilizados pelas espécies de *Bifidobactruim* e *Lactobacillus* probióticos (PEDRESCHI *et al.*, 2003).

Segundo YAN *et al.* (1999), o Yacon contém também considerável quantidade de compostos fenólicos, 3,8% da massa em base seca, como o ácido clorogênico e o L-triptofano, que é um aminoácido essencial para animais e seres humanos, também conhecido como precursor da melatonina e serotonina. A atividade antioxidativa do L-triptofano recebeu recentemente muita atenção, pois, observou-se que a melatonina e L-triptofano protegem a mucosa gástrica de danos oxidativos como “stress” e isquemia (KONTUREK *et al.*, 1997).

AYBAR *et al.* (2001) investigaram o efeito do extrato aquoso das folhas de Yacon em ratos normais, transientemente hiperglicêmicos e diabéticos induzidos por estreptozotocina. Os resultados revelaram que uma única administração intraperitoneal ou via tubo gástrico de chá a 10%, preparado pela decocção do Yacon, causou um decréscimo nos níveis de glicose plasmática nos ratos normais, enquanto que a

administração via tubo gástrico de chá de Yacon a 2% falhou em produzir tal decréscimo. Em um teste de tolerância à glicose, uma única administração de chá a 10% obtido por decocção do Yacon baixou os níveis de glicose plasmática nos ratos normais.

Os pesquisadores concluíram que a administração de chá a 2% de Yacon, por um período de 30 dias, inibiu significativamente a ação hiperglicêmica da estreptozotocina. As manifestações diabéticas em ratos tratados com o chá de Yacon foram reduzidas conforme revelaram os parâmetros clínicos. Este efeito foi observado 30 dias depois, possivelmente devido à substância hipoglicêmica requerer um determinado período para atingir a concentração apropriada no organismo dos animais tratados.

São muitas também as evidências de que os FOS podem contribuir para a diminuição do risco de câncer de cólon. Em seu estudo, REDDY (1998) avaliou as propriedades inibitórias da oligofrutose e da inulina, administrando-as em ratos machos portadores de carcinogênese de cólon induzida por azoximetano (AOM), usando focos de colônia de glândulas simples anômalas (ACF) como pontos de saturação. A eficácia dos pontos de saturação, utilizados neste estudo, foi a inibição do número total de ACF/cólon assim como a redução do número de grupamentos multi-foliculares de focos glandulares anômalos. A administração de inulina ou oligofrutose na dieta destes ratos significativamente inibiu o número total de ACF/cólon quando comparados com a dieta de controle.

Portanto, a inulina e a oligofrutose, presentes em plantas e vegetais, podem ser adicionadas aos alimentos normais, modulando funções fisiológicas-chaves como a absorção de cálcio, o metabolismo de lipídios, além de modularem a composição da microflora intestinal, a qual desempenha um papel principal na fisiologia gastrointestinal, e podem atuar na redução do risco de câncer de cólon (POOL-ZOBEL *et al.*, 2002).

1.2. Linhaça (*Linum usitatissimum*)

A linhaça é uma oleaginosa economicamente muito importante, sendo que o Canadá – o maior exportador desta semente - responde por 75% do comércio mundial. A linhaça é uma fonte abundante de ácido α -linolênico, fibras e fito-químicos, como ligninas e proteínas. Estes componentes da linhaça são de grande interesse, tanto para a indústria alimentícia, quanto para a farmacêutica (OOMAH & MAZZA, 1999). Acredita-se que os ácidos graxos poli-insaturados ômega-3 presentes na linhaça, tornam-a efetiva na

prevenção de doenças cardiovasculares e de alguns tipos de câncer. Segundo AHMED (1999), ela também contém todos os aminoácidos de uma proteína completa, além de ser uma considerável fonte de lecitina, vitaminas e minerais. Adicionalmente, a linhaça é de particular interesse em relação ao seu papel na redução do risco de câncer de mama e de cólon (CARTER, 1993 citado por AHMED, 1999).

Na ingestão associada de ácido graxo α -linolênico com fibra alimentar, o ácido parece desempenhar um efeito significativo na redução do risco de doenças coronárias. Estudos de nutrição humana também sugerem que gomas solúveis em água e fibras de linhaça têm um efeito hipocolesterolêmico (CARTER, 1993).

No estudo de DODIN *et al.* (2005), mulheres saudáveis em menopausa tiveram 40g/dia de linhaça incorporada à dieta e, após um período de 12 meses, o nível de lipídios serosos e a densidade mineral óssea foram avaliados. Os resultados mostraram que a linhaça produziu uma redução 5,4% na concentração do colesterol HDL, o que pode atenuar a redução do risco de AVC (Acidente vascular-cerebral), em comparação com mulheres que ingeriram o placebo de gérmen de trigo. A densidade mineral óssea não diferiu significativamente entre os dois grupos. Os pesquisadores observaram que a incorporação de linhaça à dieta por um ano produziu um efeito favorável, porém não-significativo no colesterol sanguíneo, o que não ocorreu em relação à densidade mineral óssea. Entretanto, os pesquisadores afirmam que os efeitos benéficos sobre o perfil de lipídios combinado com ligeiros descréscimos na massa corpórea, índice de massa corpórea e pressão sanguínea, podem contribuir para uma redução na incidência de anormalidades nos lipídios e doenças cárdio-vasculares.

A incorporação de linhaça na dieta é particularmente atraente devido à perspectiva de se desenvolver alimentos com vantagens específicas com relação à saúde. A demonstração de atividade clínica associada com o consumo de linhaça levou o Instituto Nacional do Câncer dos EUA a considerar a linhaça como uma das seis plantas para estudo de alimentos que previnem câncer (OOMAH & MAZZA, 1999).

1.3. Aveia (*Avena sativa*)

Grão de cereal usado como alimento para humanos e animais, a aveia é membro do gênero *Avena*, da família Gramineae. Dentre as espécies de aveia, 75% do total

cultivado no mundo é de *Avena sativa* (aveia branca). A planta se adapta melhor em climas frios e úmidos.

A cultura da aveia provê uma vasta gama de produtos que são utilizados na nutrição humana e animal. A casca é fibrosa e a semente tem um considerável número de funções que são únicas entre os cereais. Dentre elas, estão: alto teor de óleo, proteína de alta qualidade e grande quantidade de fibras solúveis, predominantemente β -glucana, além de significativa quantidade de vitaminas (WELCH, 1995).

A produção mundial de aveia se mantém em 50 milhões de toneladas por ano. Os maiores produtores são Rússia, Estados Unidos, Canadá, Alemanha, Polônia, Finlândia e Austrália. É cultivada com vários propósitos: para pastagens, forragens e grãos, sendo que a produção mundial é distribuída da seguinte maneira: aproximadamente 78% para alimentação animal, 18% para alimentação humana e os 4% restantes para uso industrial, sementes e exportação (CERES, 2006).

Segundo dados do IBGE (2006), a produção brasileira de aveia em grão, em 2005, foi de 522.428 toneladas, sendo que 97% deste total, foram produzidos nos estados da região Sul do País.

Diversos efeitos benéficos à saúde estão relacionados à fibra alimentar solúvel, cujo principal componente é o polissacarídeo de ligações combinadas do tipo (1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 4) - β -glucana, conhecido como β -D-glucana. Diversos estudos sugerem que a aveia tem efeito positivo na saúde humana: ela pode abaixar o colesterol plasmático e os níveis de glicose (ANDERSON et al., 1994); reduzir o tempo de trânsito no intestino (BRENNAN & CLEARY, 2005); prevenir a constipação; reduzir o risco de câncer de cólon e retal (HILL, 1997).

JANATUINEN et al. (1995), citados por JOHANSSON et al. (2000), mostraram que pacientes adultos celíacos podem usar a aveia como parte de uma dieta isenta de glúten.

A maior parte da molécula consiste de blocos de celotriose e celotetraose separados por ligações do tipo 1 \rightarrow 3, mas há uma quantidade minoritária de seqüências de ligações 1 \rightarrow 4, mais longas que as do tipo tetraose. A celulose também é uma β -D-glucana, mas consiste apenas de ligações 1 \rightarrow 4- β -D e, adicionalmente, é inflexível, altamente cristalina e não-solúvel. As ligações 1 \rightarrow 3 rompem a estrutura uniforme da molécula de β -D-glucana e a tornam solúvel e flexível (JOHANSSON et al., 2000).

O crescente interesse no uso de β -glucana em alimentos, não se deve apenas às propriedades de benefícios nutricionais, mas também à otimização de processos de fabricação de alimentos que contém β -glucana incorporada. Um bom exemplo deste último caso é uso de β -glucanas na indústria de laticínios. Pesquisas recentes têm focado seu objetivo no uso de fibras solúveis, em particular das β -glucanas, na produção de sorvetes e iogurtes de baixo teor de gordura. A incorporação da β -glucana, juntamente com outras fibras solúveis, em produtos lácteos com baixo teor de gordura pode tornar sua palatabilidade e suas propriedades sensoriais semelhantes às de produtos com teor integral de gordura. Similarmente, a incorporação de β -glucana em queijos de baixo conteúdo de gordura apresenta efeitos benéficos na sua gelificação e características reológicas (BRENNAN & CLEARY, 2005).

1.4. Snacks extrudados de arroz

1.4.1. Produto funcional sem glúten

A doença celíaca, também conhecida como enteropatia sensitiva ao glúten, é caracterizada pela inflamação da mucosa do intestino delgado, causada pela ingestão de glúten do trigo ou proteínas relacionadas da cevada e do centeio. A inflamação, freqüentemente, leva à má absorção de um ou mais nutrientes (STØRSRUD et al., 2003b). Isto ocorre principalmente devido à sensibilização dos linfócitos T mesentéricos pelo glúten do trigo em indivíduos pré-dispostos geneticamente (WILLIAMSON & MARSH, 2002).

Por muito tempo, acreditou-se que o único tratamento para os indivíduos celíacos era a manutenção de uma dieta livre de glúten. No entanto, isto acarreta em deficiências de fibra, vitaminas e minerais. Há também a possibilidade de complicações como risco de anemia, infertilidade, osteoporose e linfoma intestinal (MÄKI & COLLIN, 1997 citados por STØRSRUD et al. 2003b).

Há discussões a respeito da quantidade de glúten que poderia ser prejudicial à mucosa intestinal. Alguns estudos apontam que pequenas quantidades podem não afetar a mucosa, tomando-se cuidado para que apenas a ingestão do glúten não seja freqüente (STØRSRUD et al., 2003a). Segundo estes autores, a Comissão do CODEX Alimentarius sugeriu um padrão estabelecendo o teor máximo de 20 mg de glúten/kg de produto (em

base seca), para alimentos naturalmente isentos de glúten, e de 200 mg/kg (em base seca), em produtos formulados, por exemplo, com amido de trigo.

Entretanto, os benefícios de uma dieta isenta de glúten são vários, e não apenas para os portadores de doença celíaca, conforme apontam diversos estudos. BARERA et al. (2004) relatam que uma dieta isenta de glúten rapidamente corrige a deficiência mineral dos ossos em crianças celíacas. Por sua vez, CURIONE et al. (2002) avaliaram dois pacientes com cardiomiopatia dilatada idiopática submetidos a uma dieta livre de glúten, os quais, após 28 meses de dieta, apresentaram melhora nos parâmetros ecocardiográficos, bem como nas funções cardiológicas e na qualidade de vida. Isto sugere que a ausência de glúten pode trazer melhoras em pacientes com este tipo de distúrbio cardíaco.

No estudo de PASTORE et al. (2003), ratos diabéticos não obesos foram submetidos a uma dieta isenta de glúten por seis meses, e isto resultou em um efeito benéfico na preservação da função das células-beta em indivíduos com risco de diabetes do tipo 1. O trabalho de KAUKINEN et al. (2002) concluiu que pacientes com severa doença hepática devem ser também investigados quanto à doença celíaca. Um tratamento dietético pode prevenir a progressão de problemas no fígado, mesmo em casos em que o fígado foi transplantado.

Diante de tais evidências, a elaboração de um produto isento de glúten, como um *snack* extrudado de arroz, não só seria interessante para os indivíduos celíacos, mas também para aqueles com algum tipo de distúrbio, como anteriormente mencionado. Adicionalmente, reforçaria-se o caráter de funcionalidade adquirido por meio da incorporação da farinha de Yacon.

1.4.2. Processo de extrusão termoplástica

O aumento da importância de alimentos do tipo *snack* nos hábitos alimentares de hoje deve-se ao fato destes produtos poderem servir como veículos para importantes nutrientes, ao passo que constituem produtos facilmente aceitos pelos consumidores. O processo de extrusão tornou-se largamente explorado na produção de cereais matinais, *snacks* e alimentos saudáveis de uma vasta gama de fontes de cereais (AHMED, 1999).

O processo de extrusão é um processo contínuo de cozimento, mistura e moldagem. Trata-se de uma tecnologia muito eficiente, versátil e de baixo custo para o

processamento de alimentos. Durante a extrusão, as matérias-primas passam por muitas transformações químicas e estruturais, como gelatinização do amido, desnaturação protéica, formação de complexos entre amilose e lipídios e reações de degradação de vitaminas e pigmentos (ILO & BERGHOFER, 1999).

Os alimentos extrudados (*snacks*) têm-se tornado uma importante parte da dieta de muitas pessoas, incluindo crianças (TAKUR & SAXENA, 2000). Os grãos de cereais são geralmente utilizados como a principal matéria-prima dos alimentos extrudados. No entanto, segundo PRINYAWIWATKUL *et al.* (1996), estes produtos tendem a possuir baixo teor de proteínas e baixo valor biológico devido aos limitados teores de aminoácidos essenciais.

Snacks de maior valor nutritivo podem ser obtidos se forem incorporados às suas formulações leguminosas, vegetais e frutas. Estas matérias-primas passam por uma série de reações químicas e físicas complexas durante a extrusão, levando à obtenção de produtos de características diversas (ÖZER *et al.*, 2004).

Nos últimos anos, tem crescido rapidamente o interesse por produtos de baixo teor de gordura ou isentos dela. Isto levou a indústria de produtos extrudados à descobrir novos meios de obter estes produtos com baixo teor de óleo incorporado, porém retendo textura e sabor desejáveis (MAJCHER & JELÉN, 2005). De acordo com estes mesmos autores, em termos de sabor, o processo de extrusão causa degradação química devido à oxidação, hidrólise e outras reações que ocorrem dentro do canhão, bem como os compostos voláteis também são removidos. Por outro lado, matérias-primas contendo açúcares redutores e aminoácidos livres sofrem reação de Maillard, o que é notado pelo desenvolvimento de cor e sabor (YAYLAYAN *et al.*, 1992).

Apesar da crescente utilização desta tecnologia, a extrusão é um processo complicado, que ainda tem muito a ser compreendido. Pequenas variações nas condições de processo afetam as suas variáveis de processo tanto quanto a qualidade do produto final (DESRUMAUX *et al.*, 1999). Segundo ILO & BERGHOFER (1999), a qualidade do produto pode variar consideravelmente dependendo do tipo de extrusor, configuração da rosca, umidade de alimentação e perfil de temperatura no canhão, velocidade da rosca e vazão de alimentação.

Em seu trabalho, QING *et al.* (2005) constataram que as propriedades e as características sensoriais de um produto extrudado à base de arroz foram dependentes das variáveis de processo. A taxa de alimentação, a umidade da alimentação e a

temperatura do canhão tiveram significativo efeito em várias propriedades do produto extrudado.

Nota-se que é de grande importância a investigação das variáveis de processo nas propriedades de produtos extrudados de arroz, sobretudo quando se incorpora um novo ingrediente como a farinha de Yacon.

Intensificam-se também as pesquisas pela obtenção de alimentos extrudados que também tenham maior valor nutricional e/ou possuam propriedades funcionais. ILO *et al.* (1999) avaliaram o processo de extrusão de misturas de farinhas de arroz e amaranto, obtendo-se produtos bem expandidos com aceitável textura macia com níveis de amaranto entre 20-40g/100g de arroz. Por sua vez, KADAN *et al.* (2003) estudaram as propriedades funcionais de farinhas de arroz extrudadas, obtendo-se *snacks* fritos de farinha de trigo com substituição de 25% por arroz, os quais foram capazes de reduzir a absorção de gordura de 35 a 50% e sem afetar a textura de um modo geral.

1.5. Bolo

A massa do bolo é uma emulsão complexa de gordura em água, composta de bolhas como fase descontínua e de uma mistura de ovo-açúcar-água-gordura como fase contínua, na qual partículas de farinha estão dispersas (KOCER *et al.*, 2007).

De acordo com KOCER *et al.* (2007), durante o forneamento, conforme a temperatura aumenta, a pressão do vapor de água e a taxa de formação de dióxido de carbono também se elevam, os quais posteriormente se difundem nas bolhas de ar resultando na expansão da massa do bolo. Além disso, o aumento de temperatura também provoca gelatinização do amido e coagulação da proteína.

O açúcar, quando em alta concentração na formulação, resulta em uma boa incorporação de ar, levando a uma massa mais viscosa e estável. Adicionalmente, o açúcar também afeta a estrutura física do produto forneado por regular a gelatinização do amido (PATON *et al.*, 1981). A gordura, por sua vez, tem por principal função aprisionar o ar dentro da massa durante a etapa de batimento. Na massa do bolo, a maior parte dos cristais de gordura permanece na fase aquosa (BROOKER, 1993; citado por KOCER *et al.*, 2007).

Segundo ROSS *et al.* (2004), uma mistura de farinha de trigo e água, quando submetida à energia mecânica como na etapa de mistura, permitirá a formação da massa. Mesmo uma simples massa de farinha de trigo e água é um sistema complexo. Logo, a complexidade da massa não é restrita apenas à sua composição química, mas também inclui suas propriedades físicas. As propriedades reológicas da massa refletem em suas propriedades de maquinabilidade durante o processamento e na qualidade do produto final (MANI *et al.*, 1992).

A etapa de mistura é uma etapa-chave durante a produção da massa. A mistura permitirá que os ingredientes sejam assimilados formando assim uma massa coesa. Ressalte-se também que o ar é um importante ingrediente, incorporado durante a mistura, porém frequentemente não é mencionado (CAMPBELL *et al.*, 1998).

Os parâmetros de qualidade mais importantes de bolos são: a textura, a cor, o teor de umidade, a densidade e o pH, os quais podem ser mensurados. As cinéticas de todos estes parâmetros são controladas pela transferência de massa e de calor. Estes parâmetros variam não apenas devido à variação da temperatura de forneamento, mas também devido à estrutura do forno e à umidade e velocidade do ar no interior do forno (BAIK *et al.*, 2000).

Consensos entre todos os institutos e fontes de pesquisas do mercado revelam uma forte tendência na preferência do consumidor: alimentos prontos ou semi-prontos ganham cada vez mais espaço nas gôndolas de supermercados. Quedas em volumes consumidos de açúcar e farinha de trigo são paralelas aos aumentos de bolos industrializados e misturas para bolos. O mercado brasileiro de bolos industrializados apresentou crescimento de 50% em 2004 com relação a 2003. Em 2003, o mercado de bolos movimentou R\$ 270 milhões no Brasil. Praticidade e mudança nos padrões de consumo do brasileiro também impulsionam o mercado de misturas para bolos. Mercado que já atingiu patamares de crescimento de até 30% ao ano, mantém índices entre 10 e 15%. Em 2003, foram movimentadas 45 mil toneladas deste produto no Brasil, excluindo volumes das regiões Norte e Nordeste. Um dos grandes desafios deste setor da indústria de alimentos, se não o maior, é a manutenção das características de frescor e maciez dos bolos por um período maior de tempo (GRANOTEC, 2006).

Dentro do conceito de alimentos funcionais já existem estudos que avaliam a viabilidade da aplicação de ingredientes que possam adicionar este caráter de funcionalidade a produtos forneados, como bolo.

O trabalho de MOSCATTO *et al.* (2005) teve por objetivo desenvolver uma formulação de bolo de chocolate otimizada, de modo que a farinha de trigo fosse substituída parcialmente por inulina e/ou farinha de Yacon, chegando-se à obtenção de formulações que resultaram num produto de característica funcional com parâmetros físicos comparáveis a formulações controle (sem substituição da farinha de trigo). O estudo de LEE *et al.* (2004) avaliou os efeitos da substituição parcial da margarina por farelo de aveia (Nutrim OB) e linhaça sobre as propriedades físicas e reológicas de bolos. Os autores observaram que a coesividade e a maciez aumentaram gradualmente com o aumento da substituição.

Por sua vez, o estudo de HYVÄRINEN *et al.* (2006) concluiu que pães e *muffins* podem ser suplementados com secoisolariciresinol diglucosídeo (SDG) – uma lignana derivada da linhaça – sem perdas significativas deste componente durante o processamento ou subsequente armazenamento, tanto a temperatura ambiente como sob congelamento.

Neste presente trabalho, o produto escolhido para estudo foi o bolo inglês tradicional, uma vez que este produto é de fácil processamento e o tipo de maior disponibilidade no mercado, o que o torna mais relevante em termos de viabilidade, além de ser de grande conveniência.

1.6. Biscoito

Biscoitos e *cookies* são produtos muito populares em todo o mundo, com vastas combinações de textura e sabor, o que lhes confere um apelo universal (SCHOBER *et al.*, 2003). No processamento de biscoitos, os principais ingredientes são: farinha, água, açúcar e sal. Uma variedade de texturas e formas pode ser produzida pela variação das proporções destes ingredientes (MAACHE-REZZOUG *et al.*, 1998).

Segundo MAACHE-REZZOUG *et al.* (1998), a água é essencial na formação da massa, pois ela é necessária para a solubilização de outros ingredientes, para hidratação de proteínas e carboidratos e para o desenvolvimento da rede de glúten. A água tem um complexo papel, uma vez que ela determina o estado conformacional dos biopolímeros, afeta a natureza das interações entre os vários constituintes da fórmula e contribui para a estruturação da massa (ELIASSON & LARSSON, 1993 citados por MAACHE-REZZOUG, *et al.*, 1998).

O efeito do açúcar no comportamento da massa é um importante fator no processamento de biscoitos. Em excesso, o açúcar causa um amaciamento da massa, devido em parte à relação entre o açúcar adicionado e a disponibilidade de água no sistema (BURE, 1980; citado por MAACHE-REZZOUG *et al.*, 1998). O estudo de VETTERN (1984) concluiu que o açúcar de granulometria fina e em alta concentração contribui para um significativo espalhamento do biscoito. A sacarose atua como um agente de endurecimento, por cristalizar à medida que o biscoito resfria, tornando o produto mais crocante.

A gordura ou margarina contribui para a plasticidade da massa e age como um lubrificante. Quando presente em grandes quantidades, seu efeito lubrificante é tão pronunciado, que menos água é necessária para se atingir uma consistência macia. A gordura influencia a maquinabilidade da massa durante o processo, a espalhabilidade da massa após o corte e as qualidades de textura e gustativas do biscoito após o forneamento (VETTERN, 1984).

Segundo CONTAMINE *et al.* (1995), a mistura é um estágio chave no processamento de biscoito. A energia dispendida durante a mistura da massa controla a qualidade do biscoito. De acordo com BLOKSMA (1990), a mistura tem três funções principais: homogeneização dos ingredientes da formulação, criação de estruturas protéicas orientadas pelos efeitos de batimento e inclusão de ar.

As propriedades visco-elásticas da massa, relacionadas à extensão da rede de glúten, determinam o comportamento da massa durante a laminação e a qualidade final do biscoito, sendo a última uma preocupação importante da indústria, e inclui a regularidade do comprimento, espessura e densidade do biscoito (WADE, 1988; citado por CHARUN *et al.*, 2000). A energia mecânica fornecida durante a mistura e a temperatura final atingida pela massa detêm importância crítica na consistência e subseqüentes parâmetros dimensionais de qualidade do biscoito, como peso e espessura (CHARUN *et al.*, 2000).

O Brasil é o segundo maior mercado de biscoitos do mundo – a categoria está presente em nada menos que 97% das despensas brasileiras – movimenta cerca de R\$ 2,6 bilhões por ano. Trata-se de um mercado bastante diverso, pois são mais de 800 pequenas empresas atuando neste segmento, além de grandes corporações como Nestlé, Danone e Kraft Foods (IstoÉ Dinheiro, 2002).

Apesar de certo retraimento em volume do mercado de biscoitos, em 2002, foram vendidas 631 mil toneladas do produto - contra 638 mil em 2000 e 675 mil em 2001, constituindo ainda um mercado altamente promissor e competitivo.

Assim como no caso do bolo, há diversos trabalhos que estudam a viabilidade de se agregar ao biscoito algum caráter de funcionalidade. O trabalho de KERCKHOFFS *et al.* (2003) investigou os efeitos da glucana do farelo de aveia incorporado a pães e *cookies* sobre as lipoproteínas do plasma sanguíneo de indivíduos levemente hipercolesterolêmicos. De acordo com GIUNTINI *et al.* (2003), *cookies*, pasta e pães à base de trigo integral são exemplos de produtos enriquecidos que vêm sendo testados. Um outro exemplo é o estudo de LARREA *et al.* (2005), no qual os pesquisadores avaliaram a incorporação de polpa de laranja extrudada em biscoitos. A farinha de trigo nos biscoitos foi substituída em até 25g/100g pela fibra extrudada, obtendo-se assim produtos de boa qualidade tecnológica e com considerável nível de aceitação por parte dos consumidores

O presente trabalho utilizou, para efeito de estudo, um tipo de biscoito típico de países como Guatemala e México, conhecido como “champurrada”, cuja receita é conhecida há séculos e integra a culinária regional. Nestes países, existem versões industrializadas do mesmo e a opção por sua utilização no estudo é ressaltar o aspecto inovador, haja visto ser um produto inexistente no Brasil.

1.7. Referências Bibliográficas

- A cara da mãe. **IstoÉ Dinheiro**, São Paulo, 12 jul. 2002. Disponível em: <http://www.terra.com.br/istoedinheiro/250/negocios/250_cara_mae.htm>. Acesso em 13 jul. 2006.
- AHMED, Z. Physico-chemical, structural and sensory quality of corn based flax-snack. **Nahrung**, v.43, n.4, p. 253-258, 1999.
- ANDERSON, J.W.; JONES, A.E.; RIDDELL-MANSON, S.; Ten different dietary fibers have significantly different effects on serum and liver lipids of cholesterol-fed rats. **Journal of Nutrition**, v. 124, p. 78-83, 1994.
- ASAMI T.; MINAMISAWA, K.; TSUCHIYA, T.; KANO, K.; HORI, I.; OHYAMA, T.; KUBOTA, M.; TSUKIHASHI, T.; Fluctuations of oligofructan contents in tubers of Yacon (*Polymnia*

- sonchifolia*) during growth and storage. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 62, p. 621-627, 1991.
- AYBAR, M.J.; RIERA, A.N.S.; GRAU, A.; SÁNCHEZ, S.S.; Hypoglycemic effect of the water extract of *Smallantus sonchifolius* (Yacon) leaves in normal and diabetic rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 74, p. 125-132, 2001.
- BAIK, O. D., MARCOTTE, M. & CASTAIGNE, F. Cake baking in tunnel type multi-zone industrial ovens. Part II. Evaluation of quality parameters. **Food Research International**, v. 33, p. 599–607, 2000.
- BARERA, G.; BECCIO, S.; PROVERBIO, M.C.; MORA, S.; Longitudinal changes in bone metabolism and bone mineral content in children with celiac disease during consumption of a gluten-free diet. **American Journal Of Clinical Nutrition**, v. 79, n. 1, p. 148-154, 2004.
- BLOKSMA, A.H.; Rheology of the breadmaking process. **Cereal Foods World**, v. 35, p. 228-236, 1990.
- BRENNAN, C.S.; CLEARY, L.J.; The potential use of cereal (1→3, 1→4)-β-D-glucans as functional food ingredients. **Journal Of Cereal Science**, v. 42, p. 1-13, 2005.
- CAMPBELL, G.M.; RIELLY, C.D.; FRYER, P.J.; SADD, P.A.; Aeration of bread dough during mixing: Effect of mixing dough at reduced pressure. **Cereal Foods World**, v. 43, n. 3, p. 163-167, 1998.
- CERES: Laboratório de Ciência e Tecnologia de Cereais. 2006. <<http://www.cca.ufsc.br/dcal/labs/ceres/aveia.html#carac>>. Acesso em: 13 jul. 2006
- CHARUN, E.; ABECASSIS, J.; CONTAMINE, A.S.; ROULLAND, T.M.; VERGNES, B.; MOREL, M.H.; Effects of temperature and mechanical input on semisweet biscuit (cookie) quality and dough characteristics. **Cereal Chemistry**, v. 77, n. 3, p. 265-271-1439, 2000.
- CHUDA, Y.; SUZUKI, M.; NAGATA, T.; TSUSHIDA, T. Contents and cooking loss of three quinic acid derivatives from garland (*Chrysanthemum coronarium* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 1437-1439, 1998.
- CONTAMINE, A.S.; ABECASSIS, J.; MOREL, M.H.; VERGNES, B.; VEREL, A. The effect of mixing conditions on the quality of dough and biscuits. **Cereal Chemistry**, v. 72, p. 516-522, 1995.
- CURIONE, M.; BARBATO, M.; VIOLA, F.; FANCIA, P.; DE BIASE, L.; CUCCHIARA, S.; Idiopathic dilated cardiomyopathy associated with celiac disease: the effect of a gluten-free diet on cardiac performance. **Digestive and Liver Disease**, v. 34, n. 12, p. 866-869, 2002.
- DESRUMAUX, A.; BOUVIER, J.M.; BURRI, J.; Effect of free fatty acids addition on corn grits extrusion cooking. **Cereal Chemistry**, v. 76, p. 699-704, 1999.

- DODIN, S.; LEMAY, A.; JACQUES, F.; LÉGARÉ, H.; FOREST, J.-C.; MÂSSE, B. The effects of flaxseed dietary supplement on lipid profile, bone mineral density, and symptoms in menopausal women: a randomized, double-blind, wheat germ placebo-controlled clinical trial. **The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism**, v. 90, n. 3, p. 1390-1397, 2005.
- EDUARDO, M.P.; **Hidrólise enzimática de mandioca e puba para obtenção de xarope de maltose**. Piracicaba, 2002. 60p. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- FRANCK, A.; Technological functionality of inulin and oligofructose. **British Journal of Nutrition**, v. 87, supl. 2, p. S287-S291, 2002.
- GIBSON, G.; ROBERFROID, M. Dietary modulation of the human colonic microbiota introducing the concept of prebiotics. **Journal of Nutrition**, v. 125, p. 1401-1412, 1995.
- GIUNTINI, E.B.; LAJOLO, F.M.; DE MENEZES, E.W.; Dietary fiber potential in iberian-american countries: Food, products and residues. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 53, p. 14-20, 2003.
- GOMES, J.C.; LEAL, E.C.; Cultivo da mandioca para a região dos tabuleiros costeiros. **Embrapa: Mandioca e Fruticultura. Sistemas de produção**, v. 11, versão eletrônica, jan. 2003.
- GOTO, K.; FUKAI, K.; HIKIDA, J.; NANJI, F.; HARA, Y. Isolation and structural analysis of oligosaccharides from Yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Bioscience, Biotechnology, Biochemistry**, v. 59, p. 2346-2347, 1995.
- GRANOTEC: do Brasil. 2006. Disponível em <http://www.granotec.com.br/granonews_edicao_atual.asp>. Acesso em 12 jul. 2006.
- HILL, M.J.; Cereals, cereal fibre and colorectal cancer risk: a review of the epidemiological literature Future for. **European Journal of Cancer Prevention**, v. 6, p. 219-225, 1997.
- HILLIAM, M.; Future for dairy products and ingredients in the functional foods market. **The Australian Journal of Dairy Technology**, v. 58, n. 2, p. 98-103, 2003.
- HYVÄRINEN, H.K.; PIHLAVA, J.M.; HIIDENHOVI, J.A.; HIETANIEMI, V.; KORHONEN, H.J.T.; RYHÄNEN, E.L.; Effect of processing and storage on the stability of flaxseed lignan added to bakery products. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, p. 48-53, 2006.
- ILO, S.; BERGHOFER, E.; Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, v. 39, p. 73-80, 1999.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção agrícola municipal: cereais, sementes e oleaginosas 2005. Rio de Janeiro. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pamclo/2005/pamclo2005.pdf>>. Acesso em 13 jul. 2006.

- ITAYA, N.M.; CARVALHO, M.A.M.; RIBEIRO, R.C.L.F. Fructosyl tranferse and hyfrolase activities in rhizophores and tuberous roots upon growth of *Polymnia sonchifolia* (Asteraceae). **Physiologia Plantarum**, v. 116, p. 451–459, 2002.
- JOHANSSON, L.; VIRKKI, L.; MAUNU, S.; LEHTO, M.; EKHOLM, P.; VARO, P.; Structural characterization of water soluble β -glucan of oat bran. **Carbohydrate Polymers**, v. 42, p. 143-148, 2000.
- KADAN, R.S.; BRYANT, R.J.; PEPPERMAN, A.B. Functional properties of extruded rice flours. **Journal of Food Science**, v. 68, p. 1669-1672, 2003.
- KAUKINEN, K.; HALME, L.; COLLIN, P.; FARKKILA, M.; MAKI, M.; VEHMANEN, P.; PARTANEN, J.; HOCKERSTEDT, K.; Celiac disease in patients with severe liver disease: Gluten-free diet may reverse hepatic failure. **Gastroenterology**, v. 122, n. 4, p. 881-888, 2002.
- KERCKHOFFS, D.A.J.M.; HORNSTRA, G.; MENSINK, R.P. Cholesterol-lowering effect of β -glucan from oat bran in mildly hypercholesterolemic subjects may decrease when β -glucan is incorporated into bread and cookies. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 78, p. 221-227, 2003.
- KOCER, D.; HICSASMAZ, Z.; BAYINDIRLI, A.; KATNAS, S. Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar- and fat-replacer. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 953-964, 2007.
- KONTUREK, P.CH.; KONTUREK, S.J.; BRZOWSKI, T.; DEMBINSKI, A.; ZEMBALA, M.; Gastroprotective activity of melatonin and its precursor, L-Tryptophan, against stress-induced and ischaemia-induced lesions is mediated by scavenge of oxygen radicals. **Scandinavian Journal of Gastroenterology**, v. 32, p. 433-438, 1997.
- LAJOLO, L.A.; Functional foods: Latin America perspectives. **British Journal of Nutrition** v. 88, suppl. 2, p. S145-S150, 2002.
- LEE, S.; INGLETT, G.E.; CARRIERE, C.J.; Effect of Nutrim oat bran and flaxseed on rheological properties of cakes. **Cereal Chemistry**, v. 81, n.5, p. 637-642, 2004.
- LARREA, M.A.; CHANG, Y.K.; MARTINEZ-BUSTOS, F.; Some functional properties of extruded orange pulp and its effect on the quality of cookies. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 38, p. 213-220, 2005.
- MAACHE-REZZOUG, Z.; BOUVIER, J.M.; ALLA, K.; PATRAS, C.; Effect of principal ingredients on rheological behaviour of biscuit dough and on quality biscuits. **Journal of Food Engineering**, v. 35, p. 23-42, 1998.

- MAJCHER, M.A.; JELEN, H.H. Identification of potent odorants formed during the preparation of extruded potato snacks. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 6432-6437, 2005.
- MANI, K.; TRAGARDH, C.; ELIASON, A.C.; LINDHAL, L.; Water content, water soluble fraction, and mixing affect the fundamental rheological properties of wheat flour doughs. **Journal of Food Science**, v. 57, p. 1198-1200, 1992.
- MOSCATTO, J.A.; BORSATO, D.; BONA, E.; OLIVEIRA, A.S.; HAULY, M.C.O.; The optimization of the formulation for a chocolate cake containing inulin and yacon meal. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, p. 181-188, 2006.
- NAKANISHI, T.; Cultivation of Yacon. **Nogyo Oyobi Engyo**, v. 72, p. 44-50, 1997.
- NIETO, C.C.; Estudios agronómicos y bromatológicos en jicama (*Polymnia sonchifolia* Poepp et Endl.). **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 41, n. 2, p. 213-221, 1991.
- OOMAH, B. D.; MAZZA, G. Health benefits of phytochemicals from selected Canadian crops. **Trends in Food Science & Technology**, v.10, p. 193-198, 1999.
- OHYAMA, T.; ITO, O.; YASUYOSHI, S.; KARAHASHI, T.; MINAMISAWA, K.; KUBOTA, M.; TSUKIHASHI, T.; ASAMI, T.; Composition of storage carbohydrate in tubers of Yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 36, n. 1, p. 167-171, 1990.
- ÖZER, E.A.; IBANOGLU, S.; AINSWORTH, P.; YAGMUR, C. Expansion characteristics of a nutritious extruded snack food using response surface methodology. **European Food Research and Technology**, v. 218, p. 474-479, 2004.
- PASTORE, M. R.; BAZZIGALUPPI, E.; BELLONI, C.; ARCOVIO, C.; BONIFACIO, E.; BOSI, E.; Six months of gluten-free diet do not influence autoantibody titers, but improve insulin secretion in subjects at high risk for type 1 diabetes. **Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism**, v. 88, n. 1, p. 162-165, 2003.
- PATON, D.; LAROCQUE, G.M.; HOLME, J.; Development of cake structure: influence of ingredients on the measurement of cohesive force during baking. **Cereal Chemistry**, v. 58, p. 527-529, 1981.
- PEDRESCHI, R.; CAMPOS, D.; NORATTO, G.; CHIRINOS, R.; ZEVALLOS, L.C.; Andean Yacon root (*Smallantus sonchifolius* Poepp.)Endl) fructooligosaccharides as a potential novel source of prebiotics. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 5278-5284, 2003.
- POOL-ZOBEL, B.; VAN LOO, J.; ROWLAND, I.; ROBERFORID, M. Experimental evidences on the potential of prebiotic fructans to reduce the risk of colon cancer. **British Journal of Nutrition**, v. 87, suppl. 2, p. 273-281, 2002.

- PRINYAWIWATKUL, W.; McWATTERS, K.H.; BEUCHAT, L.R.; PHILLIPS, R.D. Cowpea flour: A potential ingredient in food products. **Critical Reviews of Food Science and Nutrition**, v. 36, p. 413-436, 1996.
- QUING, B.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H.; The effect of extrusion conditions on the physiochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 283-289, 2005.
- QUINTEROS, E.T.T.; **Produção com tratamento enzimático e avaliação do suco de Yacon**. Campinas, 2000. 164p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- REDDY, B. S.; Prevention of colon cancer by pre- and probiotics: evidence from laboratory studies. **British Journal of Nutrition**, v. 80, suppl. 2, p. S219-S223, 1998.
- ROSS, K.A.; PYRAK-NOLTE, L.J.; CAMPANELLA, O.H.; The use of ultrasound and shear oscillatory tests to characterize the effect of mixing time on the rheological properties of dough. **Food Research International**, v. 37, p. 567-577, 2004.
- SCHOBER, T.J.; O'BRIEN, C.M.; McCARTHY, D.; DARNEDDE, A.; ARENDT, E.K. Influence of gluten-free flour mixez and fat powders on the quality of gluten-free biscuits. **European Food Research and Technology**, v. 216, p. 216-376, 2003.
- SGHIR, A.; CHOW, J.M.; MACKIE, R.I. Continuous culture selection of bifidobacteria and lactobacilli from human faecal samples using fructooligosaccharide as selective substrate. **Journal of Applied Microbiology**, v. 85, p. 769-777, 1998.
- SKLIUTAS, A.R.; **Estudo do desenvolvimento de barra dietética de cereais e goiaba desidratada pelo processo de osmose a vácuo com utilização de fruto-oligossacarídeo**. 2002. 116 p. Tese (Mestrado)-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- STØRSRUD, S.; HULTHÉN, L. R.; LENNER, R. A.; Beneficial effects of oats in the gluten free diet of adults with special reference to nutrient status, symptoms and subjective experiences. **British Journal of Nutrition**, v. 90, p. 101-107, 2003a.
- STØRSRUD, S.; YMAN, I. M.; LENNER, R. A.; Gluten contamination in oat products and products naturally free from gluten. **European Food Research and Technology**, v. 217, p. 481-485, 2003b.
- TAKENAKA, M.; YAN, X.; ONO, H.; YOSHIDA, M.; NAGATA, T.; NAKANISHI, T. Caffeic acid derivatives in the roots of Yacon (*Smallantus sonchifolius*). **Ljournal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 793-796, 2003.

- TAKUR, S.; SAXENA, D.C. Formulation of extruded snack food (Gum based cereal-pulse blend): Optimization of ingredients levels using response surface methodology. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 33, p. 354-361, 2000.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA. **Programa de Investigación y Proyección Social en Raíces y Tuberosas**. Lima, Peru. Disponível em: www.lamolina.edu.pe/investigacion/programa/papa/, acesso em 21/12/2003.
- VETTERN, J.L.; Technical bulletin VI. **American Institute of Baking, Manhattan**, 1984.
- VILHENA, S.M.C., CÂMARA, F.L.A.; KAKIHARA, S.T.; O cultivo de Yacon no Brasil. **Horticultura brasileira**, v. 18, n. 1, p. 5-8, 2000.
- WELCH, R. W.; **The Oat Crop** – Production and Utilization. 1st. ed. London: Chapman & Hall, 1995. 584p.
- WILLIAMSON, D.; MARSH, M. N.; Celiac Disease. **Molecular Biotechnology**, v. 22, n. 3, p. 293-299, 2002.
- YAN, X.; SUZUKI, M.; KAMEYAMA, M.O.; SADA, Y.; NAKANISHI, T.; NAGATA, T.; Extraction and identification of antioxidants in the roots of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, p. 4711-4713, 1999.
- YAYLAYAN, V.A.; FICHTALI, J.; VAN DER VOORT, F.R.; Production of Maillard reaction flavour precursors by extrusion processing. **Food Research International**, v. 25, p. 175-180, 1992.
- ZARDINI, E.; Ethnobotanical notes on "Yacon", *Polymnia sonchifolia* (Asteraceae). **Economic Botany**, v. 45, n. 1, p. 72-85, 1991.

Capítulo 2. Bolo inglês funcional com farinha de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) e farinha de linhaça

Resumo

Atualmente, o mercado vem exigindo alimentos de qualidade e que adicionalmente tragam benefícios à saúde. A metodologia de superfície de resposta (com um delineamento estatístico do tipo composto central rotacional 2^2) foi utilizada para analisar os efeitos de alguns ingredientes funcionais sobre as características físicas de bolo inglês. As variáveis independentes foram as concentrações de farinha de Yacon (alto teor de fruto-oligossacarídeos) e de linhaça (rica em α -linolênico, lignanas e fibras dietéticas solúveis e insolúveis), que variaram de 0,0 a 6,9% e de 0,0 a 8,2%, respectivamente, visando obter um produto com funcionalidade fisiológica e de fácil consumo. Os bolos foram analisados quanto à umidade, textura e cor instrumental (Hunterlab), densidade da massa e volume específico. Adicionalmente, foram realizadas avaliações sensoriais de aparência global e do miolo, textura, sabor e intenção de compra. Modelos válidos estatisticamente, bem como sua respectiva superfície de resposta, foram obtidos para a textura instrumental (atributo dureza, $R^2=0,73$); parâmetros de cor L^* , C^* e h^* (Sistema $L^*C^*h^*$, R^2 igual a 0,90, 0,87 e 0,90, respectivamente); e densidade da massa ($R^2=0,78$). As superfícies geradas sugerem que concentrações de farinha de Yacon variando entre 0,0% e 3,45% e teores de farinha de linhaça entre 3,18% e 6,0% resultam em um bolo de menor dureza. Para os parâmetros de cor, concentrações mínimas de farinha de Yacon e linhaça (0,0% e 3,18%, respectivamente), forneceram valores mais altos, ou seja, tem-se um bolo mais claro, de coloração mais amarelada. Com relação à densidade da massa, ela atinge valores mínimos quando o teor de linhaça está em 6,0%, sendo que o teor de farinha de Yacon não apresentou influência sobre este parâmetro.

2.1. Introdução

Um alimento pode ser considerado funcional se ele satisfatoriamente demonstra ser capaz de influenciar benéficamente uma ou mais funções-chave no organismo, além de possuir os efeitos nutricionais adequados, de modo que contribua para um estado de bem-estar e saúde ou para uma redução do risco de uma determinada doença (ROBERFROID, 2002). Um alimento funcional deve permanecer como alimento e deve demonstrar seus efeitos em quantidades que são esperadas que sejam consumidas em uma dieta regular, ou seja, não sob a forma de pílulas ou cápsulas.

Atualmente, o fator-chave que conduz o mercado de alimentos funcionais tem sido a crescente preocupação dos consumidores do mundo todo em se cuidarem. Os consumidores sentem-se mais responsáveis com relação à própria saúde. Há um

considerável interesse no papel que uma dieta pode desempenhar neste processo e os consumidores estão gradativamente se voltando para alimentos que podem ser fortificados com nutrientes adicionais e ingredientes que eles acreditam necessitar. Isto tem conduzido a um grande número de mercados de alimentos funcionais, incluindo alimentos e bebidas promotores da boa saúde do coração, ossos e intestino (HILLIAM, 2003).

O Yacon (*Polymnia sonchifolia*) *in natura*, espécie da família Asteraceae originária dos Andes, pode ser considerado um alimento funcional. Suas raízes tuberosas e rizóforos contêm grandes quantidades de frutose e glicose livres, além de fruto-oligossacarídeos (FOS). De acordo com NINESS (1999), citado por GRAEFE *et al.* (2003), as ligações do tipo β -(2→1) destes açúcares os previnem de serem digeridos no cólon intestinal, uma vez que os seres humanos não dispõem de enzimas para essa hidrólise. Isso faz com que os FOS adquiram um caráter bifidogênico, tornam-os benéficos à saúde, uma vez que levam ao aumento da microflora benéfica. Adicionalmente, o Yacon contém considerável quantidade de compostos fenólicos, os quais demonstram atividade antioxidativa, de acordo com MARUTA *et al.* (1995) e CHUDA *et al.* (1998). AYBAR *et al.* (2001) também comprovaram a ação hipoglicêmica do chá de Yacon e REDDY (1998) observou a ação inibitória da oligofrutose sobre o câncer de cólon.

A linhaça (*Linum usitatissimum*) também tem despertado a atenção por ser considerada um alimento funcional devido ao seu perfil nutricional único, pois possui uma alta concentração de lignanas, as quais atuam como fibras, e ácidos graxos do tipo ômega-3 (DEMARK-WAHNEFRIED *et al.*, 2004).

DODIN *et al.* (2005) observaram que a incorporação de linhaça na dieta produziu um efeito favorável quanto à redução dos sintomas da menopausa em mulheres saudáveis. OOMAH & MAZZA (1999) também relatam que dentre os benefícios trazidos pela linhaça, devido ao ácido linolênico, estão a inibição da produção de eicosanóides, a alteração da produção de vários prostanóides, a redução da pressão arterial em indivíduos hipertensos e a diminuição de triglicérides e colesterol.

A linhaça possui um alto conteúdo de polissacarídeos ou mucilagem. Estes polissacarídeos têm valor de fibra alimentar e pressupõe-se que podem influenciar na diminuição dos riscos de diabetes e doença cardíaca coronária, além de prevenir câncer retal e de cólon e a incidência de obesidade. Os polissacarídeos da linhaça podem

contribuir para baixar a glicose sanguínea por dois modos: estimulando a secreção de insulina e interagindo com outros polissacarídeos (OOMAH & MAZZA, 1999).

O estudo de aplicações tecnológicas é muito importante e pode levar à obtenção de um produto de valor agregado, com um maior valor nutricional, além de fornecer funcionalidade fisiológica a este produto, uma vez que há uma crescente demanda por produtos deste tipo, permitindo-lhes um grande potencial de mercado. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das concentrações das farinhas de Yacon e de linhaça nas características físicas e sensoriais do bolo inglês e, por meio do método de superfície de resposta, obter uma formulação otimizada em relação a estes dois ingredientes.

2.2. Materiais e métodos

2.2.1. Matérias-primas

As raízes de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) foram obtidas na Central de Abastecimento de Campinas S.A. (Ceasa, Campinas-SP). Adicionalmente, foi utilizado o metabissulfito de sódio (marca Ecibra), para inibir o escurecimento enzimático do Yacon descascado. No preparo dos bolos, foram utilizados os seguintes ingredientes, adquiridos no mercado local: (i) farinha de trigo, marca Letizia - Cargill; (ii) açúcar refinado, marca Cometa; (iii) linhaça, marca Cisbra; (iv) margarina, marca Amélia; (v) amido de milho, marca Adram; (vi) leite em pó desnatado, marca Alibra; (vii) fermento em pó químico, marca Fleischmann; (viii) sal refinado, marca Lebre; (ix) ovo, marca Granja Lobo.

2.2.2. Métodos

2.2.2.1. Obtenção da farinha de Yacon e de linhaça

Para a produção da farinha de Yacon, inicialmente, 100 kg de raízes foram lavados em equipamento automático por imersão e aspersão de água clorada (ICMA Ltda., sem especificação de modelo, Campinas, Brasil), descascados em descascador de vegetais Hobart (Hobart-Dayton do Brasil, modelo B6025, São Paulo, Brasil), e, imediatamente, imersos em solução de metabissulfito (2%). A seguir, foram triturados em processador de alimentos (Skymesen LTDA, modelo PAIE, Brusque, Brasil) e depositados em bandejas de aço inoxidável (42 X 29 X 3,5 cm). A secagem do Yacon foi realizada em

estufa com circulação de ar (Marconi LTDA, modelo MA035, Piracicaba, Brasil), a 60°C, durante 72 horas. Posteriormente, o Yacon seco foi triturado e sua granulometria reduzida em um multi-processador (Walita, modelo HL3251, São Paulo, Brasil) até a obtenção de uma farinha. A farinha obtida foi embalada em sacos plásticos de polietileno, selados em soldadora de plásticos Proels, modelo P601 (PROELS LTDA, Marília, Brasil) e armazenada em local seco, à temperatura ambiente.

A farinha de linhaça foi obtida triturando-se as sementes em moinho de escala laboratorial Brabender (Brabender AG, modelo Quadrumat Sênior, Duisburg, Alemanha) e armazenada da mesma forma que a farinha de Yacon.

2.2.2.2. Delineamento experimental

No processo de elaboração dos bolos, as variáveis independentes escolhidas foram os teores de farinhas de Yacon e de linhaça, cujos níveis são apresentados na Tabela 2.1. A farinha de trigo foi substituída em parte pela farinha de linhaça, enquanto que a farinha de Yacon foi adicionada à formulação. A escolha dos níveis de concentração das farinhas foi baseado em testes preliminares.

Para analisar o efeito combinado dessas variáveis nas características físicas e sensoriais dos bolos processados, foi aplicado um delineamento estatístico em metodologia de superfície de resposta do tipo composto central rotacional 2^2 (BOX et al.,1978). Foram realizados 12 ensaios, conforme a matriz de planejamento apresentada na Tabela 2.2.

A metodologia descreve o comportamento de um sistema no qual estão combinadas as variáveis independentes (X_k) e a variável dependente ou resposta (Y_i). A resposta é uma função dos níveis nos quais estes fatores foram combinados e definidos conforme BOX & DRAPER (1987).

Através da análise de regressão, é possível obter um polinômio de segunda ordem com variáveis independentes (X_k). Os dados (respostas) obtidos são submetidos à Análise de Variância (ANOVA) utilizando-se o pacote estatístico Statistica, versão 5.5 (StatSoft, Inc, EUA). A partir das equações de regressão, foi possível obter gráficos de superfície de resposta, bem como suas respectivas curvas de nível.

Tabela 2.1. Níveis das variáveis independentes do planejamento fatorial completo 2^2 .

Variáveis		Níveis				
Codificado	Real	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
X_1	farinha de Yacon (%)	0,00	1,00	3,45	5,90	6,90
X_2	farinha de linhaça (%)	3,18	4,00	6,00	8,00	8,82

$\pm |\alpha| = \pm 1,41$.

Tabela 2.2. Delineamento estatístico composto central rotacional.

Ensaio	Codificado		Real	
	x_1	x_2	X_1	X_2
1	-1	-1	1,00	4,00
2	-1	+1	1,00	8,00
3	+1	-1	5,90	4,00
4	+1	+1	5,90	8,00
5	$-\alpha$	0	0,00	6,25
6	$+\alpha$	0	6,90	6,25
7	0	$-\alpha$	3,45	3,18
8	0	$+\alpha$	3,45	8,82
9	0	0	3,45	6,25
10	0	0	3,45	6,25
11	0	0	3,45	6,25
12	0	0	3,45	6,25

$\pm |\alpha| = 1,41$; x_1, x_2 = variáveis independentes: concentração de farinha de Yacon e concentração da farinha de linhaça do modelo codificado, respectivamente; X_1 = teor de farinha de Yacon (%); X_2 = teor de farinha de linhaça (%).

2.2.2.3. Formulação e preparo dos bolos

Os demais ingredientes do bolo não tiveram sua proporção alterada (exceto a farinha de trigo), mantendo-se fixos em todos os ensaios nas quantidades apresentadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3. Formulação básica do bolo inglês sem adição de linhaça.

Ingredientes	Proporção (%)
Farinha de trigo	26,59*
Açúcar refinado	25,60
Ovo	11,38
Margarina	9,60
Amido de milho	2,98
Leite em pó desnatado	1,42
Fermento em pó químico	0,64
Sal refinado	0,42
Água	17,83

* Quantidade de farinha de trigo correspondente ao nível mais baixo de farinha de linhaça (0,0%). Conforme eleva-se o teor desta, diminui o de farinha de trigo. A farinha de Yacon foi adicionada à formulação básica de acordo com os níveis do planejamento.

A massa de bolo foi preparada em uma batedeira industrial INCO (Inco Componentes Industriais, São Paulo), utilizando-se a formulação descrita anteriormente e seguindo-se o procedimento esquematizado na Figura 2.1. Para cada formulação, preparou-se uma batelada de 6 kg. Colocou-se porções de 300 g da massa em fôrmas de alumínio para bolo inglês (Wyda, Brasil), de dimensões 210x100x45 mm, levando-se a seguir para o forneamento a 160°C por 20 minutos em forno de convecção a gás, modelo CM101G (Rational GmBh, Landsberg, Alemanha). Após assados e resfriados, os bolos foram embalados em filme de polietileno e selados em soldadora de plásticos modelo P601 (PROELS LTDA, Marília, Brasil) e estocados a temperatura ambiente.

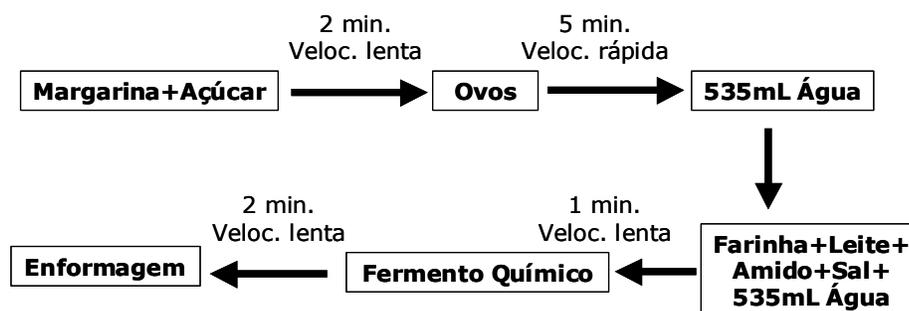


Figura 2.1. Etapas do processamento de bolo inglês.

2.2.2.4. Análise da matéria-prima e da farinha

O Yacon *in natura* e a farinha de Yacon foram caracterizados quanto à composição química. As principais análises efetuadas foram: umidade, proteína, fibra bruta, lipídios, cinzas e carboidratos. Todas as análises foram executadas em triplicata. O Yacon *in natura* e sua farinha também foram submetidos à análise de cor, e a farinha foi caracterizada quanto à sua granulometria.

2.2.2.4.1. Umidade

O teor de umidade do Yacon *in natura* foi determinado pelo método gravimétrico, por secagem em estufa com circulação forçada de ar a 70°C, por 6 horas, sob vácuo de 50 mmHg, até massa constante, segundo método n. 934.01 da AOAC (1995). Já, o teor de umidade da farinha de Yacon foi determinado pelo método n. 930.15 da AOAC (1995), em estufa com circulação forçada de ar, a 105°C, por 2 horas, até massa constante.

2.2.2.4.2. Proteínas

A determinação do conteúdo de proteína foi realizada pela técnica de micro-Kjeldahl, segundo o método n. 984.13 da AOAC (1995), sendo o teor protéico calculado multiplicando-se o teor de nitrogênio pelo fator 6,25.

2.2.2.4.3. Lipídios

O teor de lipídios totais do Yacon *in natura* e das farinhas foi analisado conforme metodologia n. 930.05 da AOAC (1995), que consiste em retirar o extrato etéreo utilizando-se éter de petróleo, submetendo a amostra ao refluxo contínuo do solvente. O conjunto para extração de gordura Soxhlet, constituído de balão, extrator, condensador tipo Ahllen e bateria de aquecedores por resistência elétrica protegidas por placa marca Quimis, modelo 308.26, foram utilizados.

As amostras foram colocadas na quantidade de aproximadamente 3 g em cartuchos de extração Soxhlet, envolvidas em um pedaço de algodão. O cartucho contendo a amostra foi colocado no extrator. A amostra permaneceu cerca de 5 horas destilando ao refluxo. Após a destilação, o éter de petróleo foi removido do balão por evaporação. O balão com o resíduo foi seco em estufa, a 105°C, por cerca de 1 hora. O resíduo seco foi resfriado em dessecador até temperatura ambiente e pesado.

2.2.2.4.4. Cinzas

O teor de cinzas foi determinado por processo gravimétrico, segundo o método n. 930.05 da AOAC (1995), através da carbonização das amostras, seguida de incineração em mufla a 550°C até massa constante e resfriamento em dessecador.

2.2.2.4.5. Fibra bruta

A quantidade de fibra bruta foi determinada para o Yacon *in natura* e a farinha de Yacon, segundo o método proposto pelo Instituto Adolfo Lutz (1976), sendo que 1 g de amostra previamente desengordurada foi utilizada. As amostras foram colocadas em tubo digestor, onde também foram acrescentados 150 mL de H₂SO₄ na concentração de 1,25%. A digestão foi realizada sob ebulição, por 30 minutos, no aparelho de determinação de fibras (Tecnal, modelo TE-146, Piracicaba, Brasil). Após o período de 30 minutos, a amostra foi filtrada à quente sob vácuo usando tela de malha 20 mesh (0,508 mm). A amostra foi lavada com água quente até se obter reação neutra. A seguir, foram adicionados 150 mL de NaOH 1,25% e a amostra foi digerida por mais 30 minutos em ebulição. A amostra digerida foi filtrada à quente, sob vácuo, utilizando-se filtro teflon e papel de filtro qualitativo de massa conhecida. O resíduo foi lavado com água quente até reação neutra. O cadinho foi colocado em estufa, a 105°C, por 3 horas e, após resfriado em dessecador até temperatura ambiente, foi pesado. A seguir, a amostra foi incinerada em mufla, a 550°C, por 2 horas, resfriada em dessecador até temperatura ambiente e pesada.

2.2.2.4.6. Carboidratos

O teor de carboidratos foi determinado por diferença, subtraindo de 100 a soma dos valores obtidos de umidade, proteína, lipídios e cinzas.

2.2.2.4.7. pH

O Yacon *in natura* foi triturado em multi-processador (Walita, modelo HL3251, São Paulo, Brasil) e, posteriormente, depositado em um béquer de 50 mL para a leitura direta do pH através do pHmetro WTW (Digimed, modelo pH 320, São Paulo, Brasil).

2.2.2.5. Características físicas e químicas

2.2.2.5.1. Análise de cor

A cor do Yacon *in natura* e da farinha de Yacon foi determinada pelo espectrofotômetro modelo Color Quest II (Hunterlab, Reston, EUA) segundo o sistema Cielab, utilizando-se do espaço de cor ($L^*C^*h^*$), o qual possui o mesmo diagrama das coordenadas $L^*a^*b^*$, porém utiliza coordenadas cilíndricas ao invés de retangulares. Basicamente, os parâmetros têm os seguintes significados: L, medida da luminosidade de um material e varia de zero (para preto) até 100 (branco); C, medida da saturação (sendo zero no centro do sólido e aumentando conforme se aumenta a distância partindo do centro) e h^* , medida do ângulo da tonalidade, começando no eixo $+a^*$ e expresso em graus; 0° seria $+a^*$ (vermelho), 90° seria $+b^*$ (amar elo), 180° corresponde a $-a^*$ (verde) e 270° a $-b^*$ (azul).

O Yacon *in natura* foi cortado em rodela de aproximadamente 1 cm de espessura e imediatamente imerso em solução de metabisulfito 2%, para evitar escurecimento e alteração da cor. A leitura da cor da farinha foi realizada diretamente.

2.2.2.5.2. Granulometria

A farinha de Yacon foi caracterizada quanto à sua granulometria, determinando-se a distribuição do tamanho das partículas e o diâmetro médio da partícula, segundo MATSUO & DEXTER (1980). Uma amostra de 100 g foi depositada no conjunto de peneiras (18; 20; 30; 35; 80 e 270 mesh - ABNT) Granutest (Telastem LTDA, São Paulo); do agitador de peneiras Produtest (Telastem LTDA, modelo T, São Paulo, Brasil). Este sistema de peneiras foi submetido à vibração durante 10 minutos com o potenciômetro ajustado para a escala máxima de vibração (10). Após pesagem, foi calculada a porcentagem de farinha retida em cada peneira. A análise foi conduzida em duplicata.

2.2.2.6. Análises físicas e químicas dos bolos

2.2.2.6.1. Densidade específica da massa

A densidade específica da massa foi determinada, em duplicata, de acordo com o procedimento n. 72-10 da AACCC (1995).

2.2.2.6.2. Volume específico

O volume específico dos bolos foi determinado, em triplicata, pelo método de deslocamento de sementes de painço, conforme descrito por GRISWOLD (1972).

2.2.2.6.3. Índices de volume, simetria e uniformidade

Os índices de volume, simetria e uniformidade foram determinados de acordo com o procedimento n. 10-90 da AACC (1995).

2.2.2.6.4. Análise de cor

A cor do miolo foi analisada conforme descrito anteriormente para o Yacon *in natura* (item 2.2.2.5.1.).

2.2.2.6.5. Umidade

A umidade dos bolos foi determinada no 2º, 4º e 6º dias após o processamento em estufa com circulação forçada de ar, a 105°C, até massa constante, segundo o método n. 930.15 da AOAC (1995).

2.2.2.6.6. Análise de textura

A análise do perfil de textura (TPA) também foi realizada no 2º, 4º e 6º dia após o processamento. Os bolos foram previamente cortados com um fatiador elétrico G. Paniz (GPaniz – Equipamentos para Alimentação LTDA, Caxias do Sul, Brasil), em fatias de 1,25 cm de espessura cada. A textura dos bolos foi determinada em um texturômetro Stable Micro Systems Texture Analyser TAXT2 (Texture Technologies Corp, Inglaterra), utilizando a célula sensor probe de alumínio P/100 (*compression platens*, diâmetro de 100 mm), carga máxima de 50 kg e considerando os seguintes parâmetros de operação: (i) velocidade pré-teste = 2,0 m/s; (ii) velocidade de teste = 2,0 m/s; (iii) velocidade de pós-teste = 2,0 m/s; (iv) força = 20 g; (v) ciclo de contagem = 5 segundos; (vi) sensibilidade do aparelho = 20 g, com medida de força em compressão. Os atributos de textura avaliados foram: dureza, gomosidade e mastigabilidade. A análise foi realizada em sextuplicata, utilizando-se duas fatias centrais sobrepostas.

2.2.2.6.7. Análise sensorial

Os bolos formulados com as farinhas de Yacon e de linhaça foram submetidos à análise sensorial de aceitação, realizada por 36 provadores, em sua maioria alunos de graduação e pós-graduação da UNICAMP, de ambos os sexos, com média de idade de

23 anos. Os ensaios sensoriais foram realizados em cabines individuais de degustação, com luz branca, no Laboratório de Análise Sensorial do DTA/FEA/UNICAMP. As amostras foram entregues aos provadores monadicamente, em pratos plásticos, codificados com número de três dígitos. A análise foi realizada em duas sessões distintas, sendo seis amostras em cada sessão. A ordem de apresentação das amostras e o número de provadores seguiu o delineamento proposto por MACFIE & BRATCHELL (1989), que considera o balanceamento dos efeitos “first-order, carry-over”.

Utilizou-se escala hedônica de sete pontos, ancorada em seus extremos com os termos “gostei muito” (7) e “desgostei muito” (1) e escala de intenção de compra (1=certamente não compraria; 5=certamente compraria). As amostras dos bolos foram avaliadas inteiras (sem cortar) com relação aos atributos aparência global e aceitação global. Posteriormente, os provadores avaliaram também as amostras em fatias, cujos atributos avaliados foram aparência global do miolo, textura, sabor e intenção de compra. Os dados do teste de aceitação foram submetidos à análise de variância-ANOVA (O'MAHONY, 1986), sendo os atributos sensoriais considerados como variáveis dependentes do planejamento fatorial 2². Os produtos foram analisados após 24 horas de fabricação.

2.3. Resultados e discussão

2.3.1. Análises da matéria-prima e da farinha de Yacon

2.3.1.1. Composição centesimal e pH

Os resultados das análises de composição centesimal do Yacon *in natura* e da farinha de Yacon estão mostrados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4. Composição centesimal do Yacon *in natura* e da farinha de Yacon (em base úmida).

Componentes	Yacon <i>in natura</i> (g/100g)	Farinha de Yacon (g/100g)
- Umidade	87,45 ± 0,10	15,42 ± 0,72
- Proteínas	0,26 ± 0,04	1,76 ± 0,19
- Lipídios	0,10 ± 0,03	0,16 ± 0,02
- Cinzas	0,15 ± 0,11	4,72 ± 0,14
- Fibra bruta	2,40 ± 0,12	3,86 ± 0,16
- Carboidratos totais	12,04	77,94

A proporção dos componentes (Tabela 2.4) apresentou valores coerentes com a redução de umidade. Pode-se observar que os carboidratos são os componentes majoritários, como era esperado (95,94 g/100g para o Yacon *in natura*, 92,15g/100g para a farinha de Yacon).

Em seu trabalho, NIETO (1991) obteve, dentre algumas linhagens do Yacon *in natura*, os seguintes valores médios para a composição química, em base seca: 3,7% de proteínas, 3,5% de cinzas, 1,5% de lipídios e 3,45% de fibras. De acordo com a Tabela 2.4, nota-se que os valores diferiram dos obtidos por NIETO (1991), pois em base em seca, os teores dos componentes do Yacon *in natura* são: 2,07% de proteínas, 0,84% de lipídios, 1,26% de cinzas, e 95,94% de carboidratos totais. Com relação à farinha de Yacon, MOSCATTO et al. (2006) caracterizaram a farinha de Yacon por eles produzida, obtendo-se em média, em base seca: 7,77% de proteínas, 4,55% de cinzas, 0,70% de lipídios e 86,97% de carboidratos. No presente trabalho a composiçãoa farinha em base seca foi: 2,08% de proteínas, 5,58% de cinzas, 0,19% de lipídios e 92,15% de carboidratos. Observa-se que a umidade da farinha apresenta um valor consideravelmente elevado ao obtido por MOSCATTO et al. (2006) – 6,79%, enquanto que os teores de proteínas e lipídios ficaram abaixo quando comparados aos valores obtidos por aquele estudo.

Para o Yacon, a análise de pH resultou em 6,51, enquanto que para a farinha de Yacon foi de 6,34. Não foram encontrados na literatura dados sobre o pH do Yacon.

2.3.1.2. Análise de cor

Os resultados da análise de cor são apresentados na Tabela 2.5. Não foram encontradas na literatura referências sobre os parâmetros de cor para Yacon *in natura* e farinha de Yacon. No entanto, para se ter uma melhor referência com relação aos valores acima obtidos, MARTINEZ-BUSTOS et al. (1996) obtiveram para o arroz triturado os valores: $L^*=86,08$, $a^*=-0,40$ e $b^*=11,90$. Já, SINGH *et al.* (2003) encontraram para farinha de batata (cultivar Kufri Badshah) os parâmetros $L^*=72,18$, $a^*=-1,92$ e $b^*=20,11$. A quase totalidade dos dados da literatura utilizam o sistema $L^*a^*b^*$, portanto, coerentemente a comparação deve ser feita apenas entre os parâmetros L, uma vez que não podemos comparar parâmetros a^* e b^* , com C^* e h^* , respectivamente. Observa-se então que a farinha de Yacon assemelha-se à farinha de batata, porém tende a ser mais escura que uma farinha de arroz em se tratando do parâmetro luminosidade.

Com relação à saturação, verifica-se que o Yacon *in natura* apresenta uma menor saturação de cor (menor valor de C^*) e um grau de pureza (h^*) um pouco superior, quando comparado à farinha dele obtida.

Tabela 2.5. Cor do Yacon *in natura* e da farinha de Yacon.

Amostra	Parâmetros de cor		
	L^*	C^*	h^*
Yacon <i>in natura</i>	58,33	14,30	87,16
Farinha de Yacon	75,79	22,34	83,65

Analisando-se os parâmetro de cor L^* , C^* e h^* , nota-se que ao transformar o Yacon *in natura* em farinha, houve um acréscimo nos valores dos parâmetros luminosidade (L^*) e saturação (C^*), mostrando que a farinha possui uma cor mais clara, suave, em comparação à cor do Yacon *in natura*. Devido à secagem da matéria-prima, poderia ocorrer a reação de Maillard de forma intensa, contribuindo para um escurecimento da farinha, mas isso não observado, confirmando que a utilização de uma temperatura de secagem branda (60°C) foi adequada para o produto.

2.3.1.3. Granulometria

A análise granulométrica da farinha de Yacon apresentou a composição mostrada pela Tabela 2.6.

Tabela 2.6. Granulometria da farinha de Yacon.

Mesh	Granulometria (% retida em cada peneira)
18 (1,00 mm)	23,11 ± 0,49
20 (0,85 mm)	13,48 ± 0,50
30 (0,60 mm)	15,21 ± 0,50
35 (0,50 mm)	8,64 ± 0,48
80 (0,18 mm)	26,37 ± 0,44
270 (0,053 mm)	12,83 ± 0,43
Fundo (<0,053 mm)	0,36 ± 0,31

A partir dos dados acima, calculou-se o diâmetro médio da partícula, segundo HENDERSON & PERRY (1976), obtendo-se o valor de 0,59 mm.

Não foram encontrados na literatura dados de granulometria de farinha de Yacon, porém para efeito de comparação e de fornecer um referencial para a granulometria desta farinha, MATHEW *et al.* (1999) obtiveram como diâmetro médio geométrico para a farinha de milho um valor de 0,40 mm, enquanto que HATCHER *et al.* (2002) observaram que 74,7% da farinha de trigo vermelho do Canadá ficou retida em peneiras de 0,10 a 0,15 mm. Torna-se importante salientar que estes dados servem apenas para situar uma faixa de valores. Dados referentes à granulometria de uma dada farinha irão depender do tipo de moagem utilizado, tanto no que se refere ao equipamento, como às condições empregadas.

Logo, verifica-se que a farinha de Yacon, da forma obtida neste trabalho, apresenta uma granulometria maior e distribuída de forma pouco homogênea.

2.3.2. Análises físicas dos bolos

2.3.2.1. Densidade específica da massa, volume específico e índices de volume, simetria e uniformidade

Os resultados das análises de densidade específica da massa, volume específico do bolo e dos índices de volume, simetria e uniformidade estão apresentados na Tabela 2.7.

Tabela 2.7. Densidade específica da massa, volume específico e índices de volume, simetria e uniformidade dos bolos com farinha de Yacon e de linhaça.

Ensaio	Densidade específica (g/mL)	Volume específico (mL/g)	Índices		
			Volume	Simetria	Uniformidade
1	0,84 ± 0,04 ^{abc}	2,20 ± 0,12 ^{abc}	13,3 ± 0,6 ^{abcde}	0,7 ± 0,2 ^{ab}	0,1 ± 0,06 ^a
2	0,90 ± 0,03 ^{abc}	2,24 ± 0,03 ^{ab}	13,2 ± 0,8 ^{abcde}	0,5 ± 0,2 ^{ab}	0,1 ± 0,06 ^a
3	0,80 ± 0,04 ^c	1,91 ± 0,25 ^{abcd}	13,7 ± 0,6 ^{abcd}	1,0 ± 0,5 ^{ab}	0,1 ± 0,10 ^a
4	0,94 ± 0,03 ^{ab}	1,87 ± 0,27 ^{abcd}	12,2 ± 0,3 ^{de}	0,5 ± 0,2 ^{ab}	0,1 ± 0,06 ^a
5	0,82 ± 0,06 ^{bc}	2,14 ± 0,16 ^{abcd}	14,7 ± 0,2 ^a	1,3 ± 0,3 ^a	0,2 ± 0,35 ^a
6	0,88 ± 0,02 ^{abc}	2,32 ± 0,09 ^a	12,3 ± 0,1 ^{cde}	0,3 ± 0,1 ^b	0,1 ± 0,06 ^a
7	0,83 ± 0,04 ^{bc}	2,27 ± 0,09 ^{ab}	14,1 ± 0,5 ^{ab}	1,3 ± 0,5 ^a	0,1 ± 0,15 ^a
8	0,96 ± 0,04 ^a	2,18 ± 0,09 ^{abcd}	13,1 ± 0,4 ^{abcde}	0,6 ± 0,3 ^{ab}	0,1 ± 0,15 ^a
9	0,85 ± 0,01 ^{abc}	2,00 ± 0,23 ^{abcd}	12,8 ± 0,7 ^{bcde}	0,5 ± 0,5 ^{ab}	0,2 ± 0,10 ^a
10	0,80 ± 0,02 ^c	1,74 ± 0,15 ^d	11,8 ± 1,1 ^e	0,2 ± 0,3 ^b	0,2 ± 0,06 ^a
11	0,83 ± 0,02 ^{bc}	1,79 ± 0,12 ^{bcd}	12,8 ± 0,3 ^{bcde}	0,6 ± 0,4 ^{ab}	0,1 ± 0,10 ^a
12	0,79 ± 0,03 ^c	1,69 ± 0,17 ^d	14,0 ± 0,3 ^{abc}	1,0 ± 0,1 ^{ab}	0,2 ± 0,12 ^a

Médias nas mesmas colunas seguidas por letras idênticas não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

Considerando a densidade específica da massa, verificou-se que a amostra 8 apresentou diferença significativa em relação às amostras 3, 5, 7, 10, 11 e 12, as quais são as de menores densidades, o que indica que a alta concentração de linhaça na amostra 8, pode ter tornado a massa mais viscosa e conseqüentemente ter interferido na aeração da massa produzindo uma estrutura densa, conforme relatam LEE *et al.* (2004). Já, para o volume específico, a amostra 6 difere das amostras 10, 11 e 12, o que entra em concordância com o resultado obtido por MOSCATTO *et al.* (2006). Estes pesquisadores obtiveram um bolo de maior volume específico (1,86 g/mL) para uma formulação contendo 20% de farinha de Yacon incorporada, enquanto que aqui, o ensaio com maior volume possuía 6,9% de farinha de Yacon e 6,0% de linhaça incorporados. Parece, portanto, que adição de farinha de Yacon e/ou farinha de linhaça contribuiu para um maior volume específico.

Analisando-se as outras propriedades, nota-se diferenças mais nítidas para o índice de volume, onde as amostras 5 e 7 possuem índices maiores significativamente em relação as amostras 4 e 10. Portanto, quando a concentração de uma farinha estava no nível mínimo e a da outra no nível central, os bolos obtidos apresentaram índices de volume maiores. A simetria apresentou significativa diferença entre os ensaios 5 (1,3) e 6 (0,3), justamente os ensaios onde as concentrações de farinha de Yacon eram as extremas (0,0% para amostra 5 e 6,9% para o ensaio 6), o que aponta que a alta concentração da farinha de Yacon interferiu negativamente com a simetria. Estes índices

assemelham-se aos apresentados pelo trabalho de WHITAKER & BARRINGER (2004), cujo índice de simetria médio foi de 0,6 e o de uniformidade foi de 0,1.

Os dados da Tabela 2.7 foram analisados estatisticamente para a obtenção de um modelo matemático para a variável densidade da massa, tendo sido o mesmo validado pelo teste F ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$), e o coeficiente de regressão (R^2) obtido foi de 0,78. Já, para as demais variáveis (volume específico e índices de volume, simetria e uniformidade), o teste F mostrou-se inválido, inviabilizando a obtenção de um modelo matemático.

Observando-se a superfície de resposta obtida (Figura 2.2), nota-se mais claramente o efeito de cada uma das variáveis sobre a densidade específica. Percebe-se que a concentração da farinha de Yacon não possui efeito, sendo que qualquer concentração desta, na faixa de valores estudados, não altera a densidade. Apenas a concentração de linhaça influencia, sendo que as menores densidades – o que no caso é desejável - ocorreram para concentrações entre 3,18% e 6,0%.

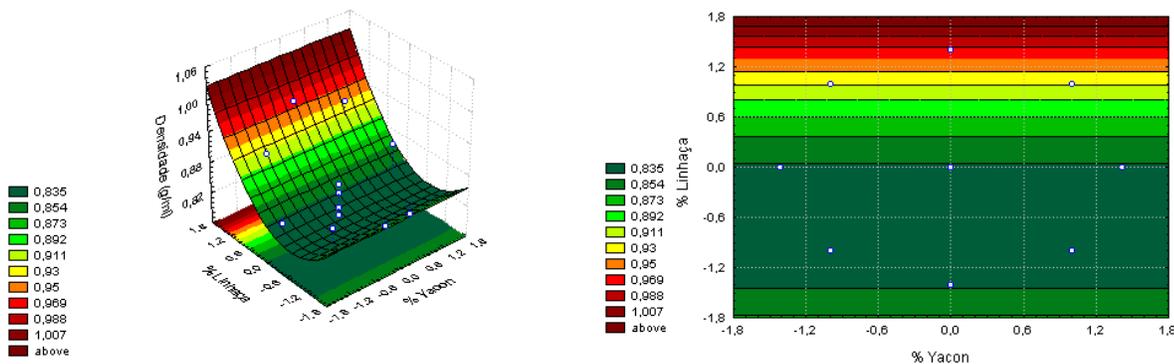


Figura 2.2. Superfícies de resposta para a densidade específica: teor farinha de Yacon versus teor de farinha de linhaça.

2.3.2.2. Análise de cor do miolo

Os valores obtidos a partir da análise de cor são apresentados na Tabela 2.8. As formulações que contêm maiores teores de farinha de Yacon e de linhaça apresentaram menores valores de luminosidade (parâmetro L^*). O mesmo ocorreu com parâmetro h^* (tonalidade) e o parâmetro C^* (saturação).

Tabela 2.8. Parâmetros de cor dos miolos dos bolos com farinha de Yacon e de linhaça.

Ensaio	L*	C*	h*
1	63,01 ^{ab}	16,55 ^{ef}	81,08 ^a
2	51,36 ^{fg}	16,05 ^f	75,62 ^{de}
3	59,65 ^{bc}	19,85 ^a	77,77 ^{bc}
4	48,97 ^g	19,31 ^{ab}	74,32 ^e
5	60,44 ^{abc}	16,20 ^{ef}	79,46 ^{ab}
6	53,92 ^{def}	19,74 ^a	76,32 ^{cd}
7	64,34 ^a	17,93 ^{cd}	81,03 ^a
8	52,95 ^{efg}	16,94 ^{def}	76,29 ^{cd}
9	56,83 ^{cde}	17,19 ^{de}	78,18 ^b
10	57,11 ^{cde}	17,22 ^{de}	78,91 ^b
11	57,76 ^{cd}	17,95 ^{cd}	78,49 ^b
12	59,30 ^{bc}	18,41 ^{bc}	79,15 ^b

Médias nas mesmas colunas seguidas por letras idênticas não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

A análise destes resultados mostra que quanto mais farinha de Yacon e/ou linhaça são incorporadas, mais os bolos tornam-se escuros. Os bolos produzidos por LEE et al. (2004), adicionados de 2,10% de linhaça e farelo de aveia, em substituição à margarina, apresentaram valores de L* próximos a 60. Quanto mais margarina foi substituída, mais claras tornaram-se as crostas dos bolos, enquanto que o miolo tornou-se mais escuro, em comparação ao bolo controle (sem estes ingredientes). E quanto mais farelo de aveia e linhaça foram incorporados aos bolos, mais amarelados tornaram-se os miolos destes.

Segundo GALAGHER *et al.* (2003), em seu estudo sobre a raftilose em biscoito, há uma relação entre brilho e opacidade da superfície. A raftilose pode contribuir para a reação de Maillard, acarretando uma coloração escura, semelhante à produzida na presença de açúcar comum. O mesmo tipo de efeito pode ser inferido quanto à contribuição dos FOS do Yacon na diminuição da luminosidade do bolo. Pode-se verificar também que a incorporação de farinha de linhaça contribui para bolos mais escuros (menor valor de L*).

Situação análoga ocorre com relação à tonalidade dos bolos, sendo que os de coloração mais amarelada (maiores valores de h*) foram aqueles com menores teores de farinha de Yacon e de linhaça incorporadas.

A saturação (C*) é um parâmetro associado à pureza da cor de um objeto, sendo que as formulações que continham maiores teores de farinha de Yacon apresentaram uma maior saturação, cujos valores situam-se ao redor de 19,60.

Os dados de parâmetros de cor foram analisados estatisticamente para a obtenção de um modelo matemático. Para os três parâmetros: luminosidade (parâmetro L*), saturação (parâmetro C*) e tonalidade (parâmetro h*), o modelo matemático foi validado pelo teste F ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$), e as equações e os respectivos coeficientes de regressão (R^2) obtidos estão mostrados na Tabela 2.10.

Tabela 2.10. Modelo matemático para a luminosidade (L*), saturação (C*) e tonalidade (h*).

Parâmetros	Modelo codificado	Nível de significância	R^2	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}
L*	$y = -1,87.x_1 - 4,81.x_2 + 57,14$	95% ($p < 0,05$)	0,90	39,94	4,26
C*	$y = 1,45.x_1 + 17,78$	95% ($p < 0,05$)	0,87	65,65	4,96
h*	$y = 1,13.x_1 - 0,62.x_1^2 - 1,95.x_2 + 78,46$	95% ($p < 0,05$)	0,90	23,17	4,07

As superfícies de resposta dos modelos matemáticos que prescrevem o comportamento das variáveis estudadas com relação aos referidos parâmetros de cor no bolo estão mostradas na Figura 2.3.

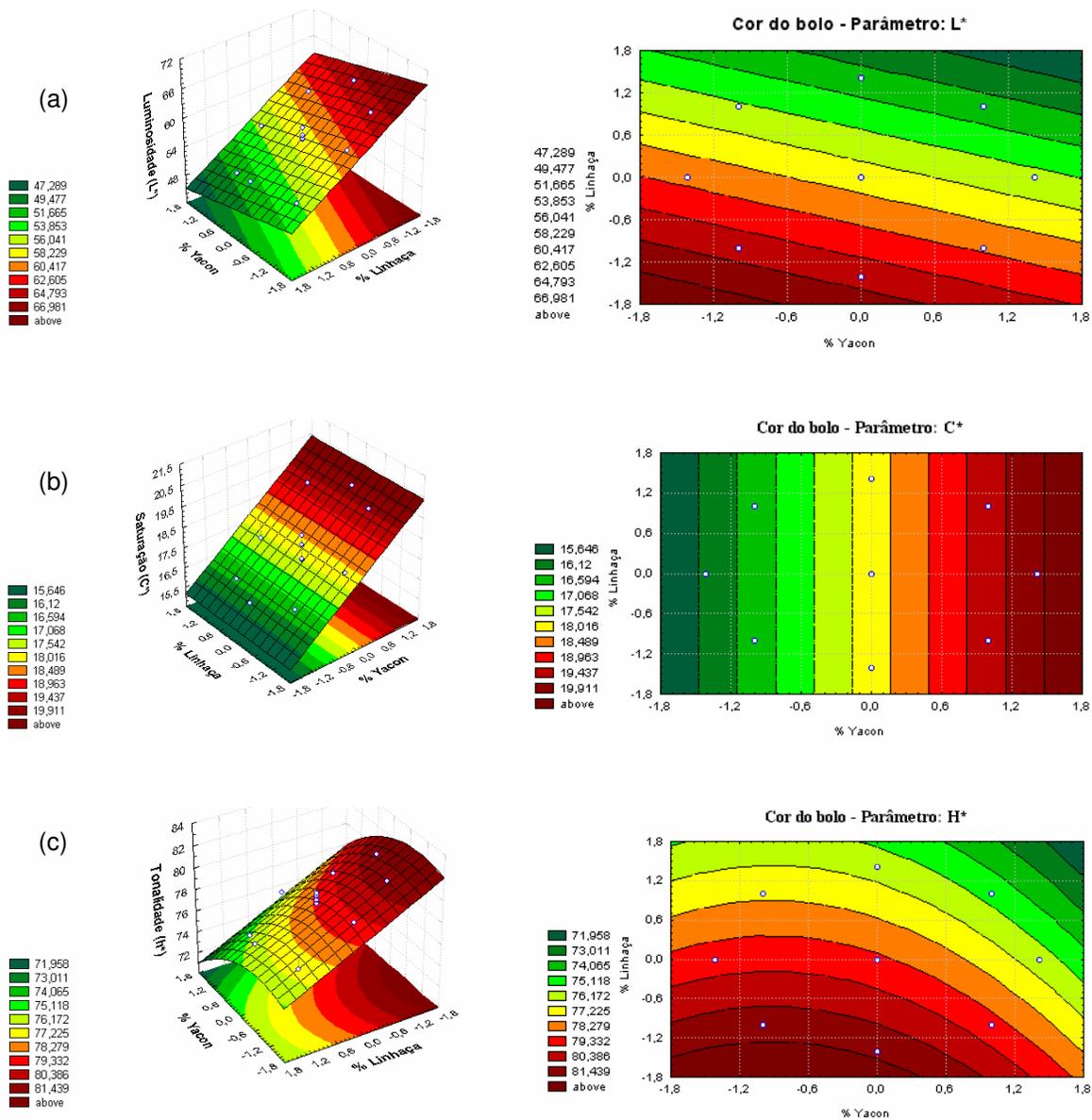


Figura 2.3. Superfícies de resposta para: (a) luminosidade; (b) saturação e (c) tonalidade; concentração de Yacon versus concentração de linhaça.

Avaliando as superfícies e considerando a discussão anterior, observa-se que os bolos mais claros e com coloração mais amarela (maiores valores de L^* e h^*) foram os obtidos com a incorporação de teores mínimos de farinha de Yacon e de linhaça (0,0% e 3,18%, respectivamente). Para o parâmetro C^* , os maiores valores foram obtidos com concentração máxima de Yacon (6,9%), sendo que o teor de farinha de linhaça não interferiu neste parâmetro.

2.3.2.3. Análise de textura

Os bolos foram submetidos à análise de perfil de textura (TPA) em três dias distintos, no 2º, 4º e 6º dias após o processamento dos mesmos, com a intenção de se observar o comportamento e possíveis alterações na textura. Os resultados das análises estão apresentados na Tabela 2.11.

Tabela 2.11. Textura dos bolos no 2º, 4º e 6º dias após processamento.

Ensaio	Dureza (g)			Gomosidade (g)			Mastigabilidade (g)		
	2º dia	4º dia	6º dia	2º dia	4º dia	6 dia	2º dia	4º dia	6º dia
1	2.269,70 ^a	2.139,65 ^a	2.856,19 ^a	1189,96 ^a	1175,34 ^a	1431,07 ^a	920,71 ^a	770,84 ^a	914,90 ^a
2	3.374,80 ^a	2.679,28 ^a	2.909,47 ^a	1.658,07 ^a	1.373,19 ^a	1.371,17 ^a	1.258,48 ^a	843,35 ^b	875,62 ^b
3	2.599,97 ^b	3.242,66 ^a	3.340,82 ^a	1.188,21 ^a	1.447,86 ^a	1.472,54 ^a	844,15 ^b	1.010,40 ^a	1.029,96 ^a
4	3.600,48 ^a	3.461,58 ^a	3.502,53 ^a	1.715,21 ^a	1.612,01 ^a	1.564,78 ^a	1.178,84 ^a	1.054,79 ^a	1.029,50 ^a
5	3.043,44 ^b	3.240,58 ^b	4.259,86 ^a	1.567,73 ^b	1.631,56 ^b	1.960,10 ^a	1.176,15 ^b	1.133,97 ^b	1.364,37 ^a
6	2.885,82 ^a	2.957,38 ^a	3.097,14 ^a	1.314,02 ^a	1.321,74 ^a	1.284,10 ^a	955,77 ^a	899,61 ^a	851,75 ^a
7	2.719,33 ^b	2.711,35 ^b	3.573,09 ^a	1.323,50 ^b	1.223,57 ^b	1.622,77 ^a	949,45 ^{ab}	874,68 ^b	1.100,02 ^a
8	2.800,78 ^a	2.928,92 ^a	3.251,53 ^a	1.372,56 ^a	1.396,08 ^a	1.453,63 ^a	976,63 ^a	937,16 ^a	965,95 ^a
9	2.473,41 ^b	2.724,34 ^b	3.291,63 ^a	1.318,12 ^a	1.249,96 ^a	1.444,07 ^a	937,22 ^a	873,56 ^a	978,91 ^a
10	1.992,03 ^b	1.808,57 ^b	3.135,81 ^a	1.031,00 ^{ab}	895,87 ^b	1.295,04 ^a	692,74 ^b	585,26 ^b	843,15 ^a
11	2.060,99 ^a	2.180,86 ^a	2.644,89 ^a	1.063,57 ^a	1.012,15 ^a	1.166,46 ^a	740,11 ^a	718,08 ^a	760,33 ^a
12	2.232,12 ^b	2.199,26 ^b	2.708,01 ^a	1.114,12 ^a	1.011,58 ^a	1.197,51 ^a	819,22 ^a	733,71 ^a	789,69 ^a

Médias nas mesmas linhas para cada parâmetro de textura seguidas por letras idênticas não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

A partir da Tabela 2.11, pode-se observar que, com relação à dureza, somente nos ensaios 3, 5, 7, 9, 10 e 12 houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dias de armazenamento. No entanto, essa diferença se restringiu as análises entre o 4º e 6º dia, ou seja, os bolos aumentaram sua dureza somente no último dia do período analisado, excetuando-se, neste caso, o ensaio 3, para o qual houve aumento nos três dias.

Quanto ao atributo gomosidade, apenas nos ensaios 5, 7 e 10 houve diferença significativa entre os dias, decorrente de um aumento da gomosidade a partir somente do 6º dia após o processamento.

Em seu estudo, SYCH *et al.* (1987) avaliaram a textura de bolos de diferentes tempos de armazenamento, submetidos a diferentes condições de umidade inicial e umidade relativa de equilíbrio no armazenamento, e os valores obtidos para a dureza, para um bolo com 26% de umidade inicial, armazenado sob umidade relativa de 23,1%, variou de 5477,1 g tendo chegado a 7108,9 g após sete dias. No estudo de MOSCATTO *et al.* (2006), os bolos produzidos com a incorporação de 60% (máxima concentração utilizada) de farinha de Yacon, apresentaram maiores valores de dureza, cerca de 6.000 a

7.000 g, enquanto que o bolo apontado como a melhor formulação (com 20% de farinha de Yacon) apresentou uma dureza de 3.638 g.

Em relação à mastigabilidade, os ensaios 2, 3, 5, 7 e 10, foram os que apresentaram diferenças significativas entre os dias, sendo que para o ensaio 3, a mastigabilidade aumentou do 2º para o 4º dia e estabilizou-se depois. Para os demais ensaios, o comportamento foi idêntico ao apresentado pelos outros dois atributos mencionados.

Os dados foram analisados estatisticamente para a obtenção de um modelo matemático, o qual apenas foi possível para o atributo dureza no 2º dia, tendo sido o mesmo validado pelo teste F ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$), e o coeficiente de regressão (R^2) obtido foi de 0,73. Da observação da superfície de resposta (Figura 2.4), pode-se notar que os bolos de menor dureza foram os produzidos com teores de farinha de Yacon variando entre 1,0% e 3,45%, e de farinha de linhaça de 1,18% a 6,0%.

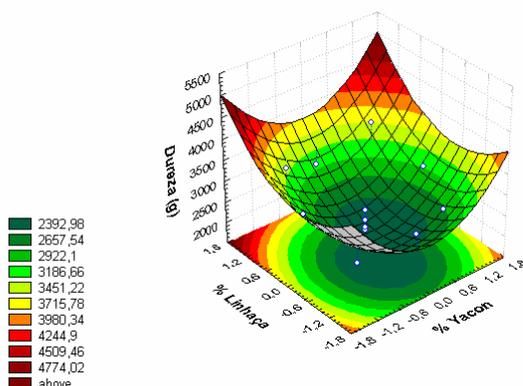


Figura 2.4 Superfície de resposta para a dureza no 2º dia após o processamento dos bolos: concentração de Yacon versus concentração de linhaça.

2.3.2.4. Análise sensorial

A análise sensorial foi conduzida por um painel de 36 provadores e as médias dos valores para cada atributo avaliado estão apresentadas na Tabela 2.12.

Tabela 2.12. Médias da análise sensorial dos bolos para todos os atributos avaliados.

Ensaio	Aparência do miolo	Sabor	Textura	Intenção de compra	Aparência global	Aceitação global
1	5,28 ^a	5,06 ^{ab}	5,39 ^a	3,61 ^a	4,03 ^{ef}	2,75 ^{fg}
2	5,28 ^a	4,78 ^{ab}	5,22 ^a	3,14 ^{ab}	4,94 ^{bcd}	3,64 ^{bcd}
3	5,64 ^a	5,39 ^a	5,64 ^a	3,69 ^a	6,08 ^a	4,39 ^a
4	5,11 ^a	4,25 ^b	5,17 ^a	2,83 ^b	4,67 ^{cde}	3,36 ^{cdef}
5	5,61 ^a	5,31 ^a	5,61 ^a	3,72 ^a	3,42 ^f	2,19 ^g
6	5,42 ^a	4,92 ^{ab}	5,53 ^a	3,44 ^a	5,75 ^a	3,89 ^{abc}
7	5,19 ^a	5,11 ^{ab}	5,56 ^a	3,67 ^a	5,89 ^a	4,11 ^{ab}
8	4,97 ^a	5,06 ^{ab}	5,11 ^a	3,44 ^{ab}	4,11 ^{def}	2,94 ^{ef}
9	5,00 ^a	5,28 ^a	5,42 ^a	3,64 ^a	4,58 ^{cde}	3,19 ^{def}
10	5,28 ^a	5,28 ^a	5,31 ^a	3,67 ^a	5,19 ^{abc}	3,58 ^{bcde}
11	5,47 ^a	5,42 ^a	5,64 ^a	3,78 ^a	5,92 ^a	4,11 ^{ab}
12	5,58 ^a	5,14 ^{ab}	5,31 ^a	3,72 ^a	5,86 ^a	4,11 ^{ab}

Médias na mesma coluna seguidas de letras idênticas não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

As amostras não diferiram estatisticamente entre si com relação aos atributos aparência do miolo e textura. Já, com relação ao sabor, observa-se que o ensaio 4 – que teve a avaliação mais baixa – fato que provavelmente deve-se às altas concentrações de farinha de Yacon (5,9%) e farinha de linhaça (8,0%) - não difere dos ensaios 2, 6, 7 e 12. O ensaio 3 foi o melhor avaliado considerando o sabor, o que está em acordo com o observado por RONDA *et al.* (2005). Estes pesquisadores avaliaram os efeitos de polióis e oligossacarídeos como substituintes do açúcar em bolos, sendo que a análise sensorial conduzida mostrou que os bolos com a presença de oligossacarídeos tiveram as maiores percepções de sabor e hedonicamente foram avaliados com nota média de 4,24.

Considerando-se a intenção de compra baseada na avaliação do miolo, novamente o ensaio 4 diferiu da maioria, excetuando-se os ensaios 2 e 8. Novamente, a alta concentração de das farinhas de Yacon e de linhaça pode ter contribuído para afetar negativamente este atributo.

A aparência global aponta uma maior diferença significativa entre os ensaios, principalmente em se tratando dos ensaios 3, 7, 11 e 12 que diferiram do ensaio número 5 (que recebeu a menor nota), onde as concentrações de farinhas de Yacon e de linhaça são iguais a 0,0% e 6,0%, respectivamente. A intenção de compra pelo aspecto global revelou que as amostras 1 e 5 receberam as menores notas, enquanto que as amostras 3, 7, 11 e 12 foram melhor avaliadas. Isso está em acordo com a aparência global (baseada na amostra inteira, sem cortar), onde estas mesmas amostras receberam as maiores avaliações. Nos ensaios 1 e 5, as concentrações de farinha de Yacon eram de 1,0% e 0,0%, respectivamente, enquanto que as de linhaça eram 4,0 e 6,0%. Parece que

nestes dois casos a linhaça interferiu de modo negativo, enquanto que nos ensaios 3 e 7, mesmo a concentração de farinha e Yacon tendo aumentado, ela ficou abaixo da concentração da farinha de linhaça, o que denota que a concentração da linhaça pode ser um limitante no que diz respeito à qualidade sensorial.

Para os atributos textura e aparência, RONDA *et al.* (2005), citado anteriormente, obtiveram notas iguais a 4,19 e 4,05, respectivamente, usando escala hedônica de nove pontos.

Os dados foram analisados estatisticamente, porém a obtenção de um modelo matemático não foi possível para nenhum dos atributos sensoriais avaliados, uma vez que não houve validação pelo teste F ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$).

2.4. Conclusão

Tanto a incorporação da farinha obtida a partir de raízes de Yacon como a de linhaça mostraram-se viáveis em bolo inglês. Mesmo parte da farinha de trigo tendo sido substituída pela linhaça, não houve prejuízos quanto às características físicas do bolo.

Pela análise das superfícies de resposta obtidas, notou-se que a concentração de farinha de Yacon não apresentou nenhum efeito sobre a densidade da massa, enquanto que concentrações de linhaça nos níveis mais baixos garantiram menor densidade. As superfícies obtidas para os parâmetros de cor mostraram que bolos mais claros e com coloração tendendo ao amarelo foram justamente os que apresentaram menores concentrações das farinhas estudadas, e os bolos mais macios foram os que apresentaram teores de farinha de Yacon nas concentrações intermediárias com quantidade de farinha de linhaça nos valores mais baixos.

Na análise sensorial, observou-se que os bolos com concentrações de farinha de Yacon e de linhaça em níveis opostos (quando a concentração de uma farinha era mínima e a da outra era máxima) foram melhor avaliados.

De um modo geral, pode-se concluir que um bolo inglês com características físicas adequadas e boa aceitação junto aos consumidores, e ainda possuindo o aspecto de funcionalidade – mantendo-se dentro do objetivo deste estudo - deve utilizar uma concentração de farinha de Yacon igual a 3,45%, enquanto que a de linhaça deve ser de 6,0%.

2.5. Referências bibliográficas

- A.A.C.C. – American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 9^a ed.. St. Paul: Approved Methods Committee, 1995. v. 1 e 2.
- A.O.A.C - Association Of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 16^a ed., Arlington, 1995.
- AYBAR, M. J.; RIERA, A. N. S.; GRAU, A.; SÁNCHEZ, S. S.; Hypoglycemic effect of the water extract of *Smallantus sonchifolius* (Yacon) leaves in normal and diabetic rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 74, p. 125-132, 2001.
- BOX, G. E. P.; DRAPER, N. R. **Empirical model-building and response surface**. New York, John Wiley & Sons. 1978. 669p.
- BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G; HUNTER, J.S. **Estatistics for experiments. An introduction to designanalysis and model building**. New York, John Wiley & Sons. 1978.
- CHUDA, Y.; SUZUKI, M.; NAGATA, T.; TSUSHIDA, T. Contents and cooking loss of three quinic acid derivatives from garland (*Chrysanthemum coronarium L.*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 1437-1439, 1998.
- DEMARK-WAHNEFRIED, W.; ROBERTSON, C. N.; WALTHER, P. J.; POLASCIOK, P. J.; PAULSON, D. F.; VOLLMER, R. T. Pilot study to explore effects of low-fat, flaxseed-supplemented diet on proliferation of benign prostatic epithelium and prostate-specific antigen. **Urology**, v. 63, n. 5, p. 900-904, 2004.
- DODIN, S.; LEMAY, A.; JACQUES, F.; LÉGARÉ,H.; FOREST, J-C.; MÂSSE, B. The effects of flaxseed dietary supplement on lipid profile, bone mineral density, and symptoms in menopausal women: a randomized, double-blind, wheat germ placebo-controlled clinical trial. **The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism**, v. 90, n. 3, p. 1390-1397, 2005.
- GALLAGHER, E.; O'BRIEN, C. M.; SCANNELL, A. G. M.; ARENDT, E. K. Evaluation of sugar replacers in short dough biscuit production. **Journal of Food Engineering**, v .56, p. 261-263, 2001.
- GRAEFE, S.; HERMANN, M.; MANRIQUE, I.; GOLOMBEK, S.; BUERKERT, A. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of Yacon roots in the Peruvian Andes. **Field Crops Research**, v. 86, p. 157-165, 2003.
- GRISWOLD, R.M.; **Estudo experimental dos alimentos**. São Paulo, Ed. Universidade de São Paulo. 1972. 469p
- HATCHER, D.W.; ANDERSON, M.J.; DESJARDINS, R.G.; EDWARDS, N.M.; DEXTER, J.E.; Effects of flour particle size and starch damage on processing and quality of white sated noodles. **Cereal Chemistry**, v. 79, p. 64-71, 2002.
- HENDERSON, S. M; PERRY, M. E. **Agricultural process engineering**. The AVI Publ. Com.; Chapter 6, 1976. Size reduction.
- HILLIAM, M.; Future for dairy products and ingredients in the functional foods market. **The Australian Journal of Dairy Technology**, v. 58, n. 2, p. 98-103, 2003.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 2^a ed., São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, v.1, 1976.
- LEE,S.; INGLETT, G.E.; CARRIERE, C.J.; Effect of Nutrim oat bran and flaxseed on rheological properties of cakes. **Cereal Chemistry**, v. 81, p. 637-642, 2004.
- MACFIE, H. J.; BRATCHELL, N. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. **Journal of Sensory Studies**, v. 4, p. 129-148, 1989.

- MARTINEZ-BUSTOS, F.; DELGADO, L.L.; VICTORIO, M.G.; Characterization of brown and milled yellow rice and development of an expanded snack. **Journal of Science Food and Agriculture**, v. 72, p. 148-154, 1996.
- MARUTA, Y.; KAWABATA, J.; NIKI, R. Antioxidative caffeoylquinic acid derivatives in the roots of burdock (*Arctium lappa L.*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 43, p. 2592-2595, 1995.
- MATHEW, J.M.; HOSENEY, R.C.; FAUBION, J.M.; Effects of corn sample, mill type, and particle size on corn curl and pet food extrudates. **Cereal Chemistry**, v. 76, p. 621-624, 1999
- MATSUO, R.R.; DEXTER, J.E.; Comparison of experimentally milled durum wheat of semolina produced by same Canadian commercial mills. **Cereal Chemistry**, v. 57, p. 117-122, 1980.
- MOSCATTO, J. A.; BORSATO, D.; BONA, E.; OLIVEIRA, A. S.; HAULY, M. C. O. The optimization of the formulation for a chocolate cake containing inulin and yacon meal. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, p. 181-188, 2006.
- NIETO, C.C.; Estudios agronómicos y bromatológicos en jicama (*Polymnia sonchifolia* Poep et Endl.). **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 41, n. 2, p. 213-221, 1991.
- O'MAHONY, M.; **Sensory evaluation of food: statistical methods and procedures**. New York: M. Dekker, 1986. 487p.
- OOMAH, B. D; MAZZA, G. Health benefits of phytochemicals from selected Canadian crops. **Trends in Food Science & Technology**, v.10, p. 193-198, 1999.
- REDDY, B.S.; Prevention of colon cancer by pre- and probiotics: evidence from laboratory studies. **British Journal of Nutrition**, v. 80, supl. 2, p. S219-S223, 1998.
- ROBERFROID, M. B.; Functional foods: concepts and application to inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, v. 87, supl. 2, p. S139-S143, 2002.
- RONDA, F.; GOMEZ, M.; BLANCO, C.A.; CABALLERO, P.A; Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. **Food Chemistry**, v. 90, p. 549-555, 2005.
- SINGH, J.; SINGH, N.; SHARMA, T.R.; SAXENA, S.K; Physicochemical, rheological and cooking properties of corn and potato flours. **Food Chemistry**, v. 83, p. 387-393, 2003.
- SYCH, J.; CASTAIGNE, F.; LACROIX, C.; Effects of initial moisture content and storage relative humidity on textural changes of layer cakes during storage. **Journal of Food Science**, v. 52, p. 1604-1612, 1987.
- WHITAKER, A.M.; BARRINGER, S.A.; Measurement of contour and volume changes during cake baking. **Cereal Chemistry**, v. 81, p. 177-181, 2004.

Capítulo 3. Biscoitos funcionais tipo “Champurrada” com farinha de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) e aveia em flocos

Resumo

Os biscoitos têm se tornado um alimento tradicional e importante em muitos países. Sua variedade em formatos e gostos combinados, com longa vida útil e conveniência no uso, têm perpetuado sua popularidade. Objetivando atender à demanda por produtos com características funcionais, neste trabalho, foi desenvolvida uma farinha de Yacon, a partir das raízes frescas, e estudado o efeito de sua aplicação nas propriedades físicas e sensoriais de biscoitos do tipo Champurrada contendo também aveia em flocos. A farinha de Yacon elaborada apresentou a seguinte composição centesimal: 5,94% de umidade, 2,02% de proteína, 0,11% de lipídios, 4,12% de cinzas e 87,81% de carboidratos. O diâmetro médio das partículas da farinha de Yacon, determinado em peneira vibratória, foi de 0,55 mm. Para avaliar o efeito da adição de farinha de Yacon (0,0 a 6,9%) e farinha de aveia (1,18 a 6,82%) nas características do biscoito, foi aplicado um delineamento estatístico do tipo composto central rotacional 2^2 , onde as variáveis independentes foram: umidade, textura e cor instrumental (Hunterlab), densidade da massa e volume específico. Adicionalmente, foram realizadas as avaliações sensoriais de aparência, textura, sabor e intenção de compra. Apenas o parâmetro L^* da cor e a intenção de compra da análise sensorial apresentaram modelo válido estatisticamente. A superfície de resposta indicou que o parâmetro L^* atingiu o valor máximo quando a concentração de Yacon foi de 3,45% ou superior e a de aveia de 6,82%. O maior valor de intenção de compra ocorreu para uma concentração de Yacon de 3,45% e de aveia de 1,18% e 6,82%. Visando um produto com caráter funcional e considerando-se os resultados obtidos, a concentração recomendada de incorporação de farinha de Yacon seria 3,45% e de farinha de aveia igual a 6,82%.

3.1. Introdução

As indústrias de alimentos têm grandes expectativas de que seus produtos atendam à demanda dos consumidores por um estilo de vida mais saudável. Neste contexto, o alimento funcional desempenha um papel específico. Estes alimentos não visam somente satisfazer a fome ou prover os nutrientes necessários, mas também prevenir doenças ligadas à nutrição e aumentar o bem-estar físico e mental destes consumidores (MENRAD, 2003).

Atualmente, os Estados Unidos da América representam um dos mais dinâmicos mercados de alimentos funcionais, chegando a apresentar um faturamento de até 15,5 bilhões de dólares, enquanto que, na Europa, estima-se que este mercado movimente cerca de 4 a 8 bilhões de dólares. No Japão, outro grande e importante mercado, estima-se que o faturamento tenha chegado a 14 bilhões de dólares em 1999 (HILLIAM, 2000).

O Yacon (*Polymnia sonchifolia*), uma espécie da família Asteraceae, originária dos Andes, pode ser considerado um alimento funcional devido ao seu alto teor de fruto-oligossacarídeos (FOS) e de compostos fenólicos - os quais demonstram atividade antioxidativa, de acordo com MARUTA et al. (1995) e CHUDA et al. (1998). Além disso, AYBAR et al. (2001) comprovaram a ação hipoglicêmica do chá de Yacon e REDDY (1998) observou ação inibitória da oligofrutose sobre câncer de cólon.

De modo geral, os FOS podem contribuir para a diminuição dos níveis de glicose no sangue e também podem atuar como prebióticos, por melhorarem o balanço da microflora intestinal e por promoverem o crescimento de organismos probióticos (PEDRESCHI et al., 2003).

A aveia também é considerada um alimento funcional, constituindo uma importante fonte de fibras hidrossolúveis. Este cereal é reconhecido como um componente alimentar potencialmente capaz de reduzir o colesterol. Estima-se que o consumo diário de 3 g da fibra solúvel oriunda da aveia seja capaz de baixar o colesterol total em 0,13 mMol/L nos indivíduos normocolesterolêmicos e em 0,41 mol/L nos indivíduos hipercolesterolêmicos (KERCKHOFFS et al., 2003).

Os efeitos benéficos advindos da aveia ou de produtos à base deste ingrediente são devidos à fibra solúvel, β -glucana, que é um polissacarídeo não-amiláceo composto por unidades de glicose ligadas por β -(1 \rightarrow 4), segundo BELL et al. (1999).

De acordo com KERCKHOFFS et al. (2003), a *Food and Drug Administration* (FDA), em 1997, aprovou a impressão em embalagens de alimentos do apelo de saúde de “uma dieta rica em fibras solúveis de aveia integral e baixa em gorduras e colesterol pode baixar o risco de doença cardíaca”. A FDA se baseou em 37 estudos nos quais a aveia era consumida como cereal ou utilizada em uma variedade de produtos como *muffins*, pães, etc. Concluiu-se que 3 g de β -glucana da aveia deveriam ser consumidos diariamente para se atingir um decréscimo clinicamente relevante na concentração do colesterol total. Tal quantidade de β -glucana é fornecida por 40 g de farelo de aveia ou 60 g de aveia. Tal recomendação nutricional seria mais prontamente cumprida se mais produtos comuns enriquecidos com aveia estivessem disponíveis.

No presente momento, as indústrias de alimentos têm o foco voltado para o desenvolvimento de produtos com alto valor nutricional, além do caráter de funcionalidade, sem esquecer do fator conveniência. Um produto como um biscoito com

farinha de Yacon e farinha de aveia certamente se enquadraria dentro dos aspectos citados anteriormente, uma vez que o biscoito é um produto de alta demanda e fácil consumo, sobretudo entre crianças.

Para tanto, escolheu-se como base para o desenvolvimento de um produto funcional a formulação do biscoito tipo “Champurrada”, típico de países como Guatemala e México, sendo muito difundido na América Central. Adicionalmente, por se tratar de um produto tradicional, uma alternativa funcional para o mesmo tratar-se-ia de uma notável inovação.

O objetivo deste estudo foi o desenvolvimento de um produto de característica funcional. Utilizando-se da metodologia de análise de superfícies de resposta, foi possível estudar o efeito da incorporação de farinha de Yacon e aveia em flocos nas características físicas e sensoriais do biscoito tipo “Champurrada” e definir as condições ideais dos ingredientes na formulação sem, no entanto, descaracterizar o produto quanto ao seu aspecto típico.

3.2. Materiais e métodos

3.2.1. Matéria-prima

As raízes de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) foram obtidas na Central de Abastecimento de Campinas S.A. (Ceasa, Campinas-SP). Adicionalmente, foi utilizado o metabissulfito de sódio (marca Ecibra), para inibir o escurecimento enzimático do Yacon. Para o preparo dos biscoitos, foram utilizados os seguintes ingredientes, adquiridos em mercados locais: (i) Farinha de trigo marca Letizia - Cargill; (ii) Açúcar refinado marca Cometa; (iii) Aveia em flocos marca Ferla; (iv) Margarina marca Amélia; (v) Fubá mimoso marca PQ; (vi) Fermento em pó químico marca Fleischmann; (vii) Sal refinado marca Lebre; (viii) Ovo (marca Granja Lobo).

3.2.2. Métodos

3.2.2.1. Obtenção da farinha de Yacon

A farinha de Yacon foi obtida de acordo com método descrito no ítem 2.2.2.1.

3.2.2.2. Delineamento experimental

No processo de elaboração dos biscoitos, as variáveis independentes escolhidas foram os teores de farinhas de Yacon e de aveia em flocos, cujos níveis – selecionados com base em testes preliminares - são apresentados na Tabela 3.1. A farinha de trigo foi substituída em parte pela aveia e a farinha de Yacon foi adicionada à formulação de acordo com os níveis do planejamento.

Para analisar o efeito combinado dessas variáveis nas características físicas e sensoriais dos biscoitos processados, foi aplicado um delineamento estatístico do tipo composto central rotacional 2^2 (BOX et al.,1978). Foram realizados 12 ensaios, conforme matriz de planejamento apresentada na Tabela 3.2.

A metodologia descreve o comportamento de um sistema no qual estão combinadas as variáveis independentes (X_k) e a variável dependente ou resposta (Y_i). A resposta é uma função dos níveis nos quais estes fatores foram combinados e definidos conforme BOX & DRAPER (1987).

Através da análise de regressão, é possível obter um polinômio de segunda ordem com as variáveis independentes (X_k). Os dados (respostas) obtidos são submetidos à Análise de Variância (ANOVA) utilizando-se o pacote estatístico Statistica versão 5.5 (StatSoft, Inc, EUA). A partir das equações de regressão, foi possível obter gráficos de superfície de resposta, bem como suas respectivas curvas de nível.

Tabela 3.1. Níveis das variáveis independentes do planejamento fatorial completo 2^2 .

Variáveis		Níveis				
Codificado	Real	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
X_1	% de farinha de Yacon	0,00	1,00	3,45	5,90	6,90
X_2	% de aveia em flocos	1,18	2,00	4,00	6,00	6,82

$\pm |\alpha| = \pm 1,41$.

Tabela 3.2. Delineamento estatístico composto central rotacional.

Ensaio	Codificado		Real	
	x_1	x_2	X_1	X_2
1	-1	-1	1,00	2,00
2	-1	+1	1,00	6,00
3	+1	-1	5,90	2,00
4	+1	+1	5,90	6,00
5	$-\alpha$	0	0,00	3,45
6	$+\alpha$	0	6,90	3,45
7	0	$-\alpha$	3,45	1,18
8	0	$+\alpha$	3,45	6,82
9	0	0	3,45	4,00
10	0	0	3,45	4,00
11	0	0	3,45	4,00

$\alpha = 1,41$; x_1, x_2 = variáveis dependentes: concentração de farinha de Yacon e concentração de aveia em flocos do modelo codificado, respectivamente; X_1 = teor de farinha de Yacon na formulação (%); X_2 = teor de aveia na formulação (%).

3.2.2.3. Formulação e preparo dos biscoitos

Os biscoitos foram elaborados de acordo com a formulação da Tabela 3.3. As concentrações de farinha de Yacon e de aveia em flocos foram as variáveis independentes do planejamento experimental, o qual será abordado adiante. Os demais ingredientes do biscoito, exceto a farinha de trigo, não tiveram sua proporção alterada, mantendo-se fixos em todos os ensaios.

Tabela 3.3. Formulação básica do biscoito tipo “Champurrada”.

Ingredientes	Quantidade
Farinha de trigo	54,64%*
Açúcar refinado	10,20%
Farinha de milho (Fubá)	18,21%
Ovo	9,11%
Margarina	6,80%
Fermento em pó químico	0,91%
Sal refinado	0,12%

* Quantidade de farinha de trigo correspondente ao nível mais baixo de aveia. Conforme se eleva o teor desta, diminui o de farinha de trigo.

A massa do biscoito foi preparada em uma batedeira industrial INCO (Inco Componentes Industriais, São Paulo), utilizando-se a formulação descrita anteriormente e seguindo-se o procedimento descrito na Figura 3.1. Para cada formulação, preparou-se uma batelada de 3 kg. Após o batimento, a massa foi esticada com rolo de madeira sobre uma superfície lisa e polvilhada com farinha de trigo, até adquirir uma espessura de cerca de 1,0 cm. Os biscoitos foram moldados com um molde circular de 4,0 cm de diâmetro e depositados em assadeiras. A seguir, foram levados para o forneamento, por 15 minutos,

a 140°C, em forno de convecção de ar (a gás, modelo CM101G, Rational GmbH, Landsberg, Alemanha).

Após assados, os biscoitos foram deixados resfriar até temperatura ambiente e, a seguir, embalados em filme de polietileno, selados em soldadora térmica de plásticos (PROELS LTDA, modelo P601, Marília, Brasil) e estocados a temperatura ambiente.

A farinha de Yacon e a aveia em flocos foram adicionados concomitantemente à adição de farinha de trigo e fubá, na mesma etapa, como se vê no fluxograma da Figura 5.1.

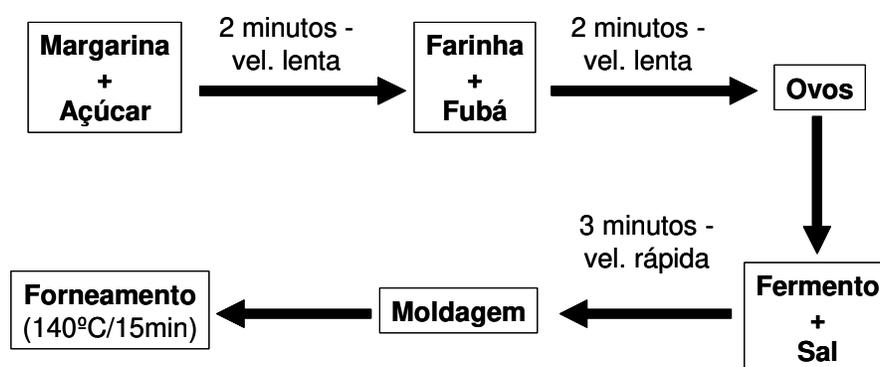


Figura 3.1. Processo de produção do biscoito tipo de "Champurrada".

3.2.2.4. Análise da matéria-prima e da farinha

O Yacon *in natura* e a farinha de Yacon obtida foram caracterizados quanto à composição química, cujas principais análises efetuadas foram: umidade, proteína, fibra bruta, lipídios, cinzas e carboidratos. Todas as análises foram executadas em triplicata. Adicionalmente, o Yacon *in natura* e a farinha de Yacon também foram submetidos à determinação do teor de FOS e à análise de cor, e a farinha de Yacon caracterizada quanto à sua distribuição granulométrica.

3.2.2.4.1. Umidade

O teor de umidade do Yacon *in natura* e da farinha de Yacon foi determinado de acordo com item 2.2.2.4.1.

3.2.2.4.2. *Proteínas*

A determinação do conteúdo de proteína foi realizada segundo método descrito em 2.2.2.4.2.

3.2.2.4.3. *Lipídios*

O teor de lipídios totais do Yacon *in natura* e da farinha foi analisado conforme descrito no item 2.2.2.4.3.

3.2.2.4.4. *Cinzas*

O teor de cinzas foi determinado segundo metodologia descrita no item 2.2.2.4.4.

3.2.2.4.5. *Fibra bruta*

A quantidade de fibra bruta foi determinada para o Yacon *in natura* e a farinha de Yacon, segundo o método descrito no item 2.2.2.4.5.

3.2.2.4.6. *Carboidratos*

Determinado segundo método citado no item 2.2.2.4.6.

3.2.2.4.7. *pH*

A determinação do pH fo conduzida segundo método descrito no item 2.2.2.4.7.

3.2.2.5. Características físicas e químicas

3.2.2.5.1. *Análise de Cor*

A cor do Yacon *in natura* e da farinha de Yacon foi determinada de acordo com método descrito no item 2.2.2.5.1.

3.2.2.5.2. *Granulometria*

A granulometria da farinha de Yacon foi determinada segundo a técnica descrita no item 2.2.2.5.2.

3.2.2.5.3. *Teor de fruto-oligossacarídeos*

As amostras de Yacon *in natura* e de farinha de Yacon foram diluídas em água Mili-Q na concentração de 3% para Yacon *in natura* e 1% para a farinha, e filtrados em

membrana Milipore. A seguir, as amostras foram diluídas em água destilada na proporção de 1/10.

Os frutanos com grau de polimerização (GP) de 2 a 4 foram quantificados por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), de acordo com a metodologia utilizada por VENTURA (2004). Foi utilizado um cromatógrafo de íons, com detector eletroquímico ED-40, sistema de bombas GP-50, detector de pulso amperométrico eletrodo de ouro, pré-coluna CarboPac 100 (50 x 4 mm) e coluna CarboPac PA100 (250 x 4 mm).

As amostras foram injetadas em alíquotas de 25 mL no sistema DIONEX DX-500 (Sunnyvale, CA, USA). O programa de detecção amperométrica utilizado para a determinação dos carboidratos nas amostras está acoplado a um computador usando um programa de aquisição de dados PeakNet 5.1. O gradiente de eluição utilizado consistiu de dois solventes: (i) uma solução de NaOH 100 mM e (ii) uma solução de NaOH 100 mM contendo 500 mM de acetato de sódio, com um fluxo de 1,0 mL/min.

3.2.2.6. Análises físicas e químicas dos biscoitos

3.2.2.6.1. Densidade específica da massa

A densidade específica da massa foi determinada de acordo com o procedimento n. 72-10 da AACC (1995). Esta análise foi realizada em duplicata.

3.2.2.6.2. Volume específico do biscoito

O volume específico dos biscoitos foi determinado pelo método de deslocamento de sementes de painço, conforme descrito por GRISWOLD (1972). Esta determinação foi realizada em triplicata.

3.2.2.6.3. Análise de cor

A análise de cor dos biscoitos foi realizada conforme descrito anteriormente para a farinha de Yacon (item 3.2.2.2.5.1). Os biscoitos foram previamente triturados em moinho laboratorial a fim de se obter uma amostra homogênea de cada ensaio.

3.2.2.6.4. Análise de umidade

A umidade dos biscoitos foi determinada no 2º, 4º e 6º dias após o processamento em estufa com circulação forçada de ar a 105°C até massa constante, segundo o método n. 930.15 da AOAC (1995).

3.2.2.6.5. Determinação do teor de fruto-oligossacarídeos

Essa análise foi conduzida para os biscoitos produzidos conforme metodologia descrita anteriormente no item 3.2.2.5.3, na diluição de 1/10.

3.2.2.6.6. Análise de textura

A análise de textura também foi realizada no 2º, 4º e 6º dia após o processamento. A determinação de dureza (parâmetro de textura) dos biscoitos foi realizada utilizando-se um texturômetro Stable Micro Systems Texture Analyser TAXT2 (Texture Technologies Corp, Inglaterra). As amostras foram dispostas horizontalmente sobre a plataforma metálica original do texturômetro (sem especificação de modelo), sendo utilizado o probe Warner Bratzler de 12 x 7 cm (HDP/BS), com carga máxima de 50 kg, que rompeu a amostra, atuando como uma guilhotina. Os resultados foram expressos em g (grama) e representaram a média aritmética de 6 determinações de força de ruptura para amostras provenientes de um mesmo ensaio. Os parâmetros utilizados nos testes foram: (i) velocidade pré-teste = 2,0 m/s; (ii) velocidade de teste = 2,0 m/s; (iii) velocidade pós-teste = 2,0 m/s; (iv) força = 0,20 N; (v) ciclo de contagem = 5 segundos; (vi) sensibilidade do aparelho = 20 g, com medida de força em compressão.

3.2.2.6.7. Análise sensorial

Os biscoitos formulados com a farinha de Yacon e aveia foram submetidos à análise sensorial de aceitação, segundo metodologia descrita no item 2.2.2.6.7. No entanto, nesta análise a idade média dos provadores foi de 26 anos. Utilizou-se a escala hedônica de sete pontos, ancorada em seus extremos com os termos “gostei muito” (7) e “desgostei muito” (1) e escala de intenção de compra (1=certamente não compraria; 5=certamente compraria). Os atributos avaliados foram: aparência global, textura, sabor e aceitação global (intenção de compra).

3.3. Resultados e discussão

3.3.1. Análises da matéria-prima e da farinha

3.3.1.1. Composição centesimal e pH

Os resultados das análises de composição centesimal para o Yacon *in natura* e a farinha de Yacon estão mostrados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Composição centesimal do Yacon *in natura* e da farinha de Yacon (em base úmida).

Componentes	Yacon <i>in natura</i> (g/100g)	Farinha de Yacon (g/100g)
Umidade	88,38 ± 0,11	5,94 ± 0,13
Proteínas	0,14 ± 0,17	2,02 ± 0,20
Lipídios	0,06 ± 0,05	0,11 ± 0,03
Cinzas	0,33 ± 0,05	4,12 ± 0,14
Fibras	2,67 ± 0,14	3,94 ± 0,28
Carboidratos totais	11,09	87,81

A proporção dos componentes (Tabela 3.4) apresentou valores coerentes com a redução de umidade. Pode-se observar que os carboidratos são os componentes majoritários, como era esperado (11,09 % para o Yacon *in natura*; 93,36% para a farinha de Yacon).

A composição química do Yacon *in natura* apresentada pelo estudo de NIETO (1991) aponta os seguintes valores médios, em base seca, 3,7% de proteínas, 3,5% de cinzas, 1,5% de lipídios e 3,45% de fibras. Comparando-se esses valores com os da Tabela 3.4, nota-se que os valores diferiram, pois em base em seca, os teores dos componentes obtidos neste trabalho são: 1,20% de proteínas, 0,52% de lipídios, 2,84% de cinzas, e 95,44% de carboidratos totais. Com relação à farinha de Yacon, os teores de umidade, cinzas e carboidratos obtidos neste presente estudo, foram semelhantes aos obtidos por MOSCATTO *et al.* (2006), os quais obtiveram os valores médios de 6,79% para umidade, e os seguintes valores, em base seca: 7,77% de proteínas, 4,55% de cinzas, 0,70% de lipídios e 86,97% de carboidratos. A análise de pH, resultou nos valores de 6,38 e 6,15, respectivamente, para o Yacon *in natura* e a farinha. Não foram encontrados dados em literatura referentes ao Yacon para poder comparar com estes valores.

3.3.1.2. Análise de cor

Os resultados da análise de cor são apresentados na Tabela 3.5. As considerações que aqui podem ser feitas são idênticas as do item 2.3.1.2.

A farinha de Yacon em relação ao Yacon *in natura* apresentou-se mais clara (maior valor de L*) e mais saturada (maior valor de C*) e com uma pureza de cor levemente menor (menor valor de h*). Seria esperado que, por ser submetido à secagem para a obtenção da farinha, o Yacon sofresse um escurecimento, devido sobretudo à reação de Maillard. No entanto, comparado-se a farinha com a matéria-prima *in natura*, nota-se que a farinha tem uma coloração mais clara (maior luminosidade) e mais amarelada, dado um maior valor de saturação (C*). Ao ser transformado em farinha, o Yacon acaba por adquirir um aspecto mais uniforme, o que pode ter contribuído para a visualização de uma coloração mais clara e homogênea.

Tabela 3.5. Cor do Yacon *in natura* e da farinha de Yacon.

Amostra	Parâmetros de cor		
	L*	C*	h*
Yacon <i>in natura</i>	57,86	14,64	86,92
Farinha de Yacon	76,20	21,66	82,73

3.3.1.3. Granulometria

A análise granulométrica conduzida para a farinha de Yacon revelou os resultados apresentados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6. Perfil granulométrico para a farinha de Yacon.

Granulometria (% retida em cada peneira)	
Mesh	Farinha de Yacon
18 (1,00mm)	22,15 ± 1,40
20 (0,85mm)	11,22 ± 0,35
30 (0,60mm)	15,28 ± 0,56
35 (0,50mm)	6,73 ± 0,18
80 (0,18mm)	29,28 ± 0,49
270 (0,053mm)	15,12 ± 1,19
Fundo (<0,053mm)	0,47 ± 0,64

Segundo a metodologia proposta por HENDERSON & PERRY (1976), foi calculado o diâmetro médio da partícula de farinha, obtendo-se então o valor para a farinha de Yacon de 0,55 mm.

Cabe aqui considerar os comentários feitos no item 2.3.1.3. Também é válido comparar a granulometria obtida para esta farinha, com a da farinha obtida no Capítulo 2 (Tabela 2.6). Nota-se que as distribuições e o diâmetro médio de ambas se assemelham, o que já era esperado.

Em comparação as análises para as farinhas de milho e trigo dos estudos de MATHEW *et al.*, (1999) e HATCHER *et al.* (2002), respectivamente, a farinha de Yacon apresentou uma granulometria maior e se distribuiu mais irregularmente nas peneiras de classificação. Entretanto, ressalte-se que os dados obtidos pelos pesquisadores citados depende do tipo e das condições de moagem utilizados nestes estudos. A comparação aqui é válida somente a título de situar uma faixa de valores para granulometria.

3.3.1.4. Teor de fruto-oligossacarídeos

A análise cromatográfica conduzida para o Yacon *in natura* e a farinha de Yacon revelou a composição de açúcares apresentada na Tabela 3.7.

Tabela 3.7. Perfil de carboidratos presentes no Yacon *in natura* e na farinha de Yacon com diluição igual a 1/50.

Carboidratos	Yacon in natura (mg/L)	Farinha de Yacon (mg/L)
Glicose	294,34	-
Frutose	629,72	-
Sacarose	107,84	160,36
GF2 (kestose)	70,47	104,80
GF3 (nistose)	48,72	72,45
GF4 (frutofuranosilnistose)	132,80	197,45

Observa-se que as concentrações dos FOS não obedecem a um padrão específico, pois as mesmas estão sujeitas à diversos fatores que advém de maturação, solo e clima de cultivo. Porém, pode-se notar que a frutose tende a ser o carboidrato mais abundante no Yacon *in natura*. Além disso, neste trabalho a fração GF4 foi encontrada em quantidade superior a das frações GF2 e GF3, tanto na farinha quanto no Yacon *in natura*, sendo que normalmente os relatos científicos demonstram a ocorrência do inverso, como estudos de TORRES-QUINTEROS (2000) e GOTO *et al.*, (1995).

Analisando-se a composição de carboidratos encontrada no Yacon por TORRES-QUINTEROS (2000), tem-se 4,99% de frutose; 2,96% de glicose; 1,52% de sacarose;

1,90% de kestose; 2,07% de nistose e 1,24% de frutofuranosilnístose. Para a farinha de Yacon, o trabalho de MOSCATTO et al. (2006) apresenta a seguinte composição média: 5,67% de frutose, 2,03% de glicose, 2,30%, de sacarose, 3,92% de GF2, 2,66% de GF3 e 1,99% de GF4.

A análise cromatográfica conduzida neste trabalho não detectou as frações glicose e frutose na farinha de Yacon produzida. Provavelmente, isso deve-se à ocorrência de reação de Maillard durante a secagem da farinha destruindo as frações glicose e frutose, porém esta reação pode ter sido de baixa intensidade, uma vez que não afetou a cor da farinha, como se vê no item 3.3.2.2. O aumento nos teores de frutanos GF2, GF3 e GF4 nas farinhas, quando comparado aos valores do Yacon *in natura*, pode ser consequência da hidrólise de frutanos de cadeias mais longas (superiores a GF5) em oligossacarídeos menores. As frações iguais ou superiores a GF5 não tiveram condições de serem detectadas, uma vez que o laboratório não possui padrão para açúcares de cadeia longa.

3.3.2. Análises físicas dos biscoitos

3.3.2.1. Densidade específica da massa e volume específico

Os resultados das análises de densidade específica da massa e do volume específico do biscoito estão apresentados na Tabela 3.8.

Tabela 3.8. Densidade específica da massa e volume específico do biscoito.

Ensaio	Densidade (g/mL) ¹	Volume específico (mL/g) ¹
1	0,99 ± 0,06 ^a	1,92 ± 0,11 ^a
2	0,94 ± 0,02 ^a	1,85 ± 0,11 ^{ab}
3	0,94 ± 0,01 ^a	1,80 ± 0,09 ^{ab}
4	0,92 ± 0,00 ^a	1,93 ± 0,07 ^a
5	0,95 ± 0,01 ^a	1,78 ± 0,17 ^{ab}
6	0,97 ± 0,05 ^a	1,58 ± 0,07 ^{bc}
7	0,93 ± 0,07 ^a	1,70 ± 0,02 ^{ab}
8	0,96 ± 0,11 ^a	1,58 ± 0,10 ^{bc}
9	0,97 ± 0,06 ^a	1,60 ± 0,08 ^{bc}
10	0,95 ± 0,01 ^a	1,68 ± 0,10 ^{ab}
11	0,96 ± 0,05 ^a	1,39 ± 0,05 ^c

¹ Médias na mesma coluna, seguidas de letras idênticas não diferem significativamente entre si (p<0,05).

Os 11 ensaios não diferiram significativamente entre si quanto à densidade da massa (Tabela 3.8). Em seu estudo, CHARUN *et al.* (2000) obtiveram *cookies* semi-doces com densidades variando de 0,39 a 0,46 g/mL, ou seja, aproximadamente 2 a 3 vezes menores que as densidades obtidas neste trabalho.

Em se tratando do volume específico do biscoito, observou-se que os ensaios 1 e 4 apresentaram diferença significativa com relação aos ensaios 6, 8, 9 e 11, sendo que os primeiros apresentaram volume de 1,92 e 1,93 mL/g, respectivamente. Nos demais ensaios, os biscoitos apresentaram um volume variando entre 1,39 a 1,60 mL/g. Nos ensaios onde os níveis de concentrações de farinha de Yacon e de aveia foram iguais (ensaios 1 e 4), foram obtidos os biscoitos com maior volume específico, 1,92 mL/g e 1,93 mL/g, respectivamente. LARREA *et al.* (2005) estudaram a adição de fibra de laranja extrudada em biscoitos tipo *cookie* e o volume específico da formulação controle foi de 1,55 mL/g, enquanto que as formulações adicionadas de fibra apresentaram valores entre 1,23 e 1,35 mL/g.

Os dados da Tabela 3.8 foram analisados estatisticamente para a obtenção de um modelo matemático para as variáveis dependentes, densidade da massa e volume específico. Para a densidade específica, não houve validação pelo teste F ($F_{\text{calculado}}$ foi igual a 0,26, enquanto que o F_{tabelado} foi de 5,05). Considerando o volume específico, houve validação pelo teste F, entretanto, o coeficiente de regressão (R^2) obtido foi de apenas 0,45, o que significa que há uma falta de ajuste do modelo. Considerando os

resultados obtidos para o volume específico, verifica-se que apesar do ensaio 11 ser um ponto central, ele se apresentou de forma distinta dos outros dois pontos centrais, o que influenciou na falta de ajuste do modelo.

3.3.2.2. Análise de cor

Os valores obtidos a partir da análise de cor são apresentados na Tabela 3.9. A princípio, as formulações que continham maiores teores de farinha de Yacon apresentaram os menores valores de luminosidade (parâmetro L^{*}). O mesmo ocorreu com parâmetro h^{*} (tonalidade) e o parâmetro C^{*} (saturação). A incorporação da aveia pareceu não influenciar os parâmetros de cor.

Tabela 3.9. Parâmetros de cor dos biscoitos.

Ensaio	L [*] ¹	C [*] ¹	h [*] ¹
1	75,75 ^a	30,64 ^{ab}	80,75 ^{ab}
2	76,93 ^a	29,88 ^{ab}	80,93 ^{ab}
3	74,19 ^{ab}	29,10 ^{ab}	79,90 ^{ab}
4	73,39 ^b	28,90 ^{ab}	79,39 ^{ab}
5	76,86 ^a	31,32 ^a	81,23 ^a
6	73,68 ^{ab}	28,11 ^{ab}	79,29 ^{ab}
7	74,02 ^{ab}	29,62 ^{ab}	80,36 ^{ab}
8	74,00 ^{ab}	29,74 ^{ab}	79,63 ^{ab}
9	74,82 ^{ab}	28,44 ^{ab}	80,70 ^{ab}
10	73,83 ^{ab}	30,02 ^{ab}	78,75 ^b
11	72,80 ^b	27,46 ^b	79,92 ^{ab}

¹ Médias na mesma coluna, seguidas de letras idênticas não diferem significativamente entre si (p<0,05).

Quanto ao parâmetro luminosidade (L^{*}), nota-se que os ensaios 1 (L^{*}= 75,75), 2 (L^{*}=76,93) e 5 (L^{*}=76,86) diferiram significativamente dos ensaios 4 e 11 (73,39 e 72,80, respectivamente), ou seja, menores concentrações de farinha de Yacon, correspondem a maiores valores de L^{*}, resultando em biscoitos mais claros. Para o parâmetro C^{*} (saturação), novamente o ensaio 5 difere do ensaio 11, tendo este último apresentado o menor valor (27,46), o que denota um biscoito com coloração mais escura. Por fim, para a pureza (parâmetro h^{*}), o ensaio 5 (h^{*}=81,23) diferiu significativamente do ensaio 10 (ponto central), o que indica que os biscoitos produzidos nas condições daquele ensaio apresentaram coloração mais amarelada. No estudo de CONFORTI *et al.* (1997), os biscoitos obtidos apresentaram para a coloração da crosta os parâmetros de luminosidade igual a 72,6 e o valor de b^{*} igual a 37,9. Comparando-se estes valores com os valores dos parâmetros h^{*} obtidos neste presente trabalho e fazendo-se a devida

conversão para o espaço $L^*a^*b^*$, chega-se a um valor médio de $b^*=28,95$. Valores de luminosidade (L^*) também foram apresentados por SCHOBER *et al.* (2003), os quais variaram de 70,3 a 75,2 em biscoitos isentos de glúten.

No estudo de GALLAGHER *et al.* (2003), os valores de L^* diminuíram conforme se aumentou a substituição de açúcar por Raftilose (oligossacarídeo que com sucesso tem sido utilizado como substituinte do açúcar em diversos produtos). As mudanças de cor devem-se a várias razões. Nas reações de Maillard, ocorre escurecimento não-enzimático, o qual envolve a interação de açúcares redutores com proteínas, produzindo tonalidades marrom-avermelhadas. O desenvolvimento da cor também pode estar associado com a dextrinização do amido e caramelização dos açúcares (CHEVALLIER *et al.*, 2000).

Os dados de parâmetros de cor foram analisados estatisticamente para a obtenção de um modelo matemático. Apenas para a luminosidade (parâmetro L^*), o modelo matemático foi validado pelo teste F ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$), e o coeficiente de regressão (R^2) obtido foi de 0,87. A equação está mostrada na Tabela 3.10.

Tabela 3.10. Modelo matemático para a luminosidade (parâmetro L^*).

Modelo codificado	Nível de significância	R^2	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}
$y = -1,20 \cdot x_1 + 0,84 \cdot x_1^2 + 0,04 \cdot x_2 + 0,20 \cdot x_2^2 - 0,50 \cdot x_1 x_2 + 73,82$	95% ($p < 0,05$)	0,87	6,71	5,05

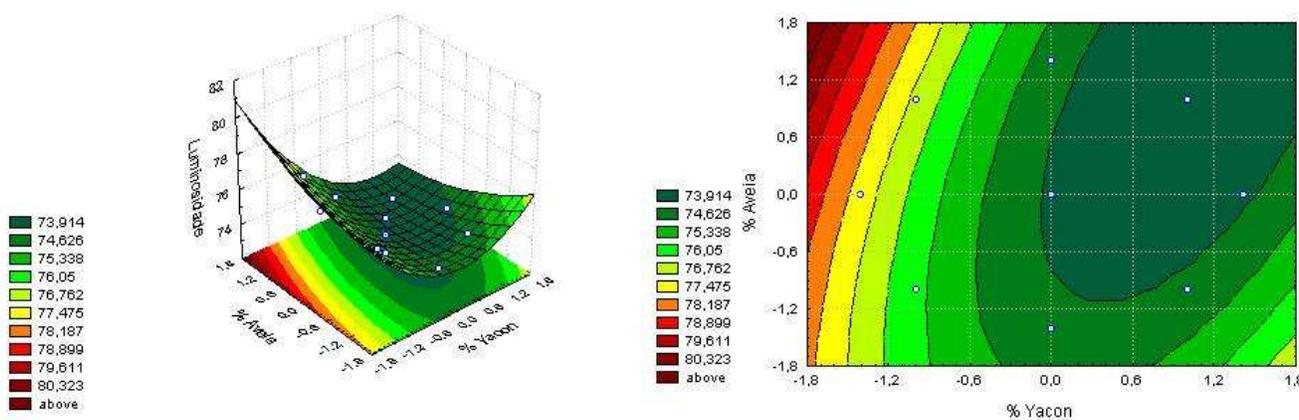


Figura 3.2. Superfície de resposta para a luminosidade (parâmetro L^*): teor de farinha de Yacon versus teor de aveia em flocos.

Observando-se a superfície de resposta obtida (Figura 3.2), nota-se mais claramente o efeito de cada uma das variáveis sobre a luminosidade. Nota-se que uma maior luminosidade (valor superior a 75,75) ocorreu para os ensaios cujos teores de farinha de Yacon estiveram nos níveis mais baixos (inferior a 1,0%) e a concentração de aveia situando-se acima de 6,0%, o que está em concordância com o exposto na Tabela 3.9, onde o ensaio de maior valor de L* (ensaio 2) apresenta concentração de aveia em flocos nesta faixa.

3.3.2.3. Análise do teor de umidade durante a estocagem

Os resultados para as determinações de umidade ao longo do período de estocagem (6 dias a temperatura ambiente, embalados em filme de polietileno) estão apresentados na Tabela 3.11.

Tabela 3.11. Teor de umidade dos biscoitos no 2º, 4º e 6º dias após o processamento.

Ensaio	Dia 02 ¹	Dia 04 ¹	Dia 06 ¹
1	10,26 ^a	9,35 ^a	11,04 ^a
2	12,62 ^a	10,64 ^b	12,42 ^a
3	12,33 ^a	8,09 ^b	8,67 ^b
4	7,84 ^a	7,95 ^a	8,31 ^a
5	8,94 ^a	8,30 ^a	9,36 ^a
6	6,50 ^b	7,43 ^a	8,17 ^a
7	10,39 ^a	8,66 ^b	10,30 ^a
8	9,39 ^{ab}	8,85 ^b	10,38 ^a
9	15,89 ^a	13,26 ^b	14,11 ^b
10	9,61 ^a	8,72 ^a	11,96 ^a
11	15,72 ^{ab}	14,51 ^b	17,22 ^a

¹Médias na mesma linha, seguidas de letras idênticas não diferem significativamente entre si (p<0,05).

Comparando-se as médias de cada ensaio ao longo do período de estocagem, pode-se observar o perfil de comportamento das amostras com relação à variação de umidade. De modo geral, nota-se que os biscoitos perderam umidade do segundo para o quarto dia, e ao invés de manter essa tendência, acabaram por readquirir umidade, exceção para os ensaios 4 e 6, que só ganharam umidade ao longo do tempo. No entanto, estatisticamente, para uma boa parte das amostras, não houve diferença significativa entre os dias. O trabalho de GIAMI *et al.* (2005) mostra que *cookies* com farinha de abóbora incorporada apresentaram teores de umidade entre 8,2 e 8,8%, porém o tempo de estocagem foi de no máximo 20 horas.

Os dados da Tabela 3.11 foram analisados estatisticamente para a obtenção de um modelo matemático para a variável dependente umidade para cada um dos dias mencionados. No entanto, não houve validação pelo teste F ($F_{\text{calculado}}$ foi menor que o F_{tabelado} em todos os casos).

3.3.2.4. Determinação de fruto-oligossacarídeos

A análise cromatográfica conduzida para o biscoito tipo “Champurrada” adicionado de farinha de Yacon e aveia revelou a composição de açúcares apresentada na Tabela 3.12.

Tabela 3.12. Perfil de carboidratos presentes no biscoito tipo “Champurrada” com diluição igual a 1/50.

Ensaio	Carboidratos (mg/g)				
	Glicose	Frutose	GF2	GF3	GF4
1	10,469	15,309	15,710	0,335	3,432
2	11,421	14,769	12,913	6,793	2,608
3	36,540	63,902	42,276	27,658	16,228
4	32,284	6,408	40,082	26,115	20,365
5	5,529	4,507	1,524	8,709	0
6	30,956	5,318	40,571	39,441	15,720
7	21,778	37,232	29,983	17,091	8,855
8	18,912	33,926	27,299	14,639	10,708
9	20,430	33,743	25,749	14,271	6,632
10	17,405	29,474	24,684	13,615	8,722
11	24,411	38,399	31,044	18,015	9,062

Observa-se na tabela anterior que a fração sacarose não foi detectada nos biscoitos. Nota-se também que as maiores concentrações dos carboidratos estão presentes nos ensaios cujas formulações incorporaram mais farinha de Yacon, como era de se esperar. De um modo geral, o fornecimento não implicou em significativas perdas dos FOS presentes nos biscoitos, porém ocasionou aumento na fração de frutose, que não foi detectada na farinha.

3.3.2.5. Análise de textura

Os biscoitos foram submetidos à análise de textura – parâmetro dureza - em três dias distintos, no 2º, 4º e 6º dias após o processamento dos mesmos, com a intenção de se observar o comportamento e possíveis alterações da textura. Os resultados das análises estão apresentados na Tabela 3.13.

Tabela 3.13. Textura dos biscoitos no segundo, quarto e sexto dias após processamento.

Ensaio	Dureza (g)		
	Dia 02	Dia 04	Dia 06
1	3.582,33 ^a	3.440,07 ^a	3.744,90 ^a
2	3.306,70 ^a	3.329,93 ^a	3.791,56 ^a
3	6.610,81 ^a	6.618,35 ^a	6.892,74 ^a
4	8.526,04 ^a	7.924,28 ^a	7.272,99 ^a
5	4.987,52 ^a	5.227,27 ^a	4.490,96 ^a
6	10.783,06 ^a	10.285,19 ^a	7.245,75 ^b
7	4.518,40 ^a	5.501,21 ^a	5.130,44 ^a
8	4.680,47 ^a	4.897,95 ^a	5.727,51 ^a
9	2.112,26 ^a	2.814,51 ^b	3.301,24 ^b
10	6.274,71 ^a	5.898,24 ^a	6.155,29 ^a
11	2.965,96 ^a	4.096,94 ^b	4.846,62 ^b

^aMédias na mesma linha, seguidas de letras idênticas não diferem significativamente entre si (p<0,05).

Observando-se os dados apresentados, nota-se que não houve diferença significativa entre os dias, para a maior parte dos ensaios, o que indica que não houve grandes variações com relação à dureza durante o armazenamento. As amostras de menor dureza (Tabela 3.13) são as que possuem menores teores de umidade (Tabela 3.11), o que está de acordo com o esperado (mais crocância). Também é válido ressaltar que os ensaios com concentrações mais elevadas de farinha de Yacon (5,90% ou mais) foram os que apresentaram maiores valores para a dureza. A formulação otimizada para um biscoito funcional – com teores reduzidos de gordura e açúcar - obtida por GALLAGHER *et al.* (2003), resultou em biscoitos com um valor médio de dureza de 4.411 g, sendo que a formulação controle apresentou uma dureza de 3.530 g.

Para esta variável de textura, não foi possível a obtenção de um modelo matemático em nenhum dos dias, pois não houve validação pelo teste F ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$).

3.3.2.6. Análise sensorial

Os valores médios para cada atributo avaliado pelos provadores estão apresentados na Tabela 3.14.

Tabela 3.14. Valores médios dos atributos: aparência, sabor, textura e intenção de compra dos biscoitos.

Ensaio	Aparência Global	Sabor	Textura	Intenção de compra
1	5,36 ^{ab}	5,69 ^a	4,92 ^a	3,69 ^{ab}
2	5,44 ^{ab}	5,56 ^{ab}	4,67 ^{ab}	3,58 ^{abc}
3	5,36 ^{ab}	5,17 ^{ab}	5,03 ^a	3,28 ^{abc}
4	4,86 ^{ab}	5,39 ^{ab}	5,47 ^a	3,69 ^{ab}
5	5,42 ^{ab}	5,47 ^{ab}	5,22 ^a	3,64 ^{abc}
6	4,64 ^b	4,81 ^{bc}	4,83 ^{ab}	3,08 ^{bcd}
7	5,61 ^a	5,67 ^{ab}	5,50 ^a	3,89 ^a
8	5,61 ^a	5,67 ^{ab}	5,50 ^a	3,92 ^a
9	4,78 ^{ab}	4,86 ^{abc}	3,83 ^{bc}	2,94 ^{cd}
10	5,11 ^{ab}	5,11 ^{ab}	5,08 ^a	3,56 ^{abc}
11	4,67 ^{ab}	4,03 ^c	3,53 ^c	2,47 ^d

Médias na mesma coluna seguidas de letras idênticas não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

Analisando-se os dados da Tabela 3.14, nota-se que para o atributo aparência global, os ensaios 7 e 8 diferiram significativamente do ensaio 6, tendo este apresentado a menor avaliação. Diante disso, pode-se concluir que a concentração de aveia em flocos não apresentou nenhuma influência sobre a aparência dos biscoitos; considerando que os ensaios 7 e 8 englobam as concentrações mínimas e máximas, respectivamente. Por outro lado, uma alta concentração de farinha de Yacon (6,90%) mostrou-se prejudicial à aparência do biscoito, dado que alguns provadores observaram menor volume, coloração mais escura - associando ao queimado – além de textura mais seca que as dos demais e sabor doce excessivo. Estes resultados estão em concordância com os obtidos por métodos objetivos de análise de volume específico e dureza.

Para o atributo sabor, a amostra melhor avaliada foi justamente a do ensaio 1, no qual as concentrações de farinha de Yacon e de aveia foram de 1,0 e 2,0%, respectivamente.

A avaliação sensorial de textura não apresentou valores muito coerentes, pois as diversas combinações das concentrações de farinha de Yacon e aveia em flocos não apresentaram notas diferentes estatisticamente entre si. O ensaio 11, cuja nota foi a menor, difere significativamente do ensaio 10, cuja concentração é a mesma, o que torna inconsistente qualquer afirmação sobre a textura sensorial.

Quanto à intenção de compra, nota-se que os ensaios 7 e 8, os quais tiveram maiores notas, diferiram significativamente dos ensaios 6, 9 e 11 (menores notas), seguindo a mesma tendência apresentada na avaliação da aparência, revelando que as amostras mais aceitas foram as que tinham teores de farinha de Yacon incorporada na faixa de 3,45%, independente da concentração de aveia.

A superfície de resposta (Figura 3.3) foi gerada apenas para o atributo aparência global, uma vez que apenas este atributo apresentou modelo matemático validado pelo teste F ($F_{cal} > F_{tab}$). A equação matemática para este atributo, bem como seu respectivo coeficiente de regressão estão apresentados na Tabela 3.15.

Tabela 3.15. Modelo matemático para o atributo aparência global.

Atributo sensorial	Modelo codificado	Nível de significância	R²	F_{calculado}	F_{tabelado}
Aparência global	$y = -0,21.x_1 - 0,07.x_1^2 - 0,05.x_2 + 0,34.x_2^2 - 0,15.x_1x_2 + 4,85$	95% ($p < 0,05$)	0,88	7,12	5,05

Nota-se, da observação da Figura 3.3, que as amostras que tiveram as maiores notas de avaliação do atributo aparência foram as que possuíam teores de farinha de Yacon na faixa de 3,45% ou menos. A concentração de aveia em flocos, conforme discutido previamente, é confirmada pelo gráfico de superfície de resposta, ou seja, a maior e a menor concentração de aveia resultaram em amostras melhor avaliada, dentro da faixa de valores estudada.

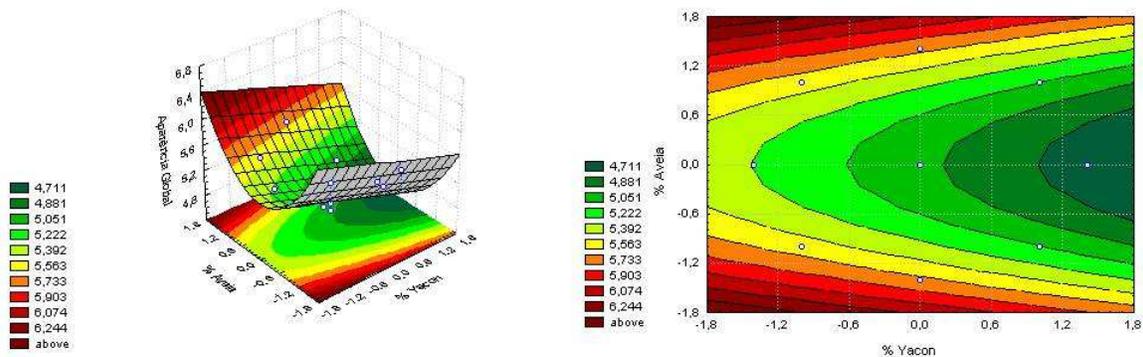


Figura 5.3. Superfícies de resposta para o atributo aparência global: teor de farinha de Yacon versus teor de aveia em flocos.

3.4. Conclusão

Tanto a incorporação da farinha obtida a partir de raízes de Yacon como a de aveia em flocos mostrou-se viável em biscoitos do tipo “Champurrada”. A incorporação da farinha de Yacon e da aveia em flocos em concentrações semelhantes (6,0%) provocou o aumento do volume específico do biscoito. As formulações que contêm maiores teores de farinha de Yacon apresentam menores valores de luminosidade, tonalidade e saturação. A incorporação da aveia em flocos pareceu não influenciar os parâmetros de cor.

A avaliação da dureza mostrou que as amostras de menor dureza são com concentrações de farinha de Yacon inferiores a 5,90%.

Quanto à análise sensorial, para a intenção de compra e aparência global observou-se que as amostras melhor avaliadas foram as que apresentavam concentração de farinha de Yacon em torno de 3,45%, sendo que para este valor, a concentração de aveia foi indiferente.

De um modo geral, pode-se concluir que o biscoito funcional tipo “Champurrada”, adicionado de farinha de Yacon e de aveia em flocos, apresentou as características físicas adequadas e boa aceitação junto aos consumidores. Uma formulação adequada, dentre as estudadas, aponta para uma concentração de farinha de Yacon igual a 3,45%, enquanto que a de aveia pode ser de 6,82%.

3.5.Referências Bibliográficas

- A.A.C.C. – American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 9^a ed.. St. Paul: Approved Methods Committee, 1995. v. 1 e 2.
- A.O.A.C - Association Of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 16^a ed., Arlington, 1995.
- AYBAR, M. J.; RIERA, A. N. S.; GRAU, A.; SÁNCHEZ, S. S.; Hypoglycemic effect of the water extract of *Smallantus sonchifolius* (Yacon) leaves in normal and diabetic rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 74, p. 125-132, 2001.
- BOX, G. E. P.; DRAPER, N. R. **Empirical model-building and response surface**. New York, John Wiley & Sons. 1978. 669p.
- BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G; HUNTER, J.S. **Estatistics for experiments. An introduction to designanalysis and model building**. New York, John Wiley & Sons. 1978.
- CHARUN, E.; ABECASSIS, J.; CONTAMINE, A.S.; ROULLAND, T.M.; VERGNES, B.; MOREL, M.H.; Effects of temperature and mechanical input on semisweet biscuit (cookie) quality and dough characteristics. **Cereal Chemistry**, v. 77, n. 3, p. 265-271-1439, 2000.
- CHEVALLIER, S.; COLONNA, P.; BULE'ON, A.; DELLA VALLE, G. Physicochemical behaviors of sugars, lipids, ad gluten in short dough and biscuit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 1322-1326, 2000.
- CHUDA, Y.; SUZUKI, M.; NAGATA, T.; TSUSHIDA, T. Contents and cooking loss of three quinic acid derivatives from garland (*Chrysanthemum coronarium L.*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 1437-1439, 1998.
- CONFORTI, F.D.; CHARLES., S.A; DUNCAN, S.E.; Evaluation of a carbohydrate-based fat replacer in a fat-reduced baking powder biscuit. **Journal of Food Quality**, v. 20, p. 247-256, 1997.
- GALLAGHER, E.; O'BRIEN, C.M.; SCANNELL, A.G.M.; ARENDT,E.K.; Use of response surface methodology to produce functional short dough biscuits. **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 269-271, 2003.
- GIAMI, S.Y.; ACHINEWHUL, C.A.; IBAAKEE,C.; The quality and sensory attributes of cookies supplemented with fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis* Hook) seed flour. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 40, p. 613-620, 2005.
- GOTO, K.; FUKAI, K.; HIKIDA, J.; NANJI, F.; HARA, Y. Isolation and structural analysis f oligosaccharides from Yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Bioscience, Biotechnology, Biochemistry**, v. 59, p. 2346-2347, 1995.
- GRISWOLD, R.M.; **Estudo experimental dos alimentos**. São Paulo, Ed. Universidade de São Paulo. 1972. 469p
- HATCHER, D.W.; ANDERSON, M.J.; DESJARDINS, R.G.; EDWARDS, N.M.; DEXTER, J.E.; Effects of flour particle size and starch damage on processing and quality of white sated noodles. **Cereal Chemistry**, v. 79, p. 64-71, 2002.
- HENDERSON, S. M; PERRY, M. E. **Agricultural process engineering**. The AVI Publ. Com.; Chapter 6, 1976. Size reduction.
- HILLIAM, M.; Functional food – How big is the market? **The World of Food Ingredients**, v. 12, p. 50-52, 2000.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 2^a ed., São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, v.1, 1976.
- KERCKHOFFS, D.A.J.M.; HORNSTRA, G.; MENSINK, R.P. Cholesterol-lowering effect of β -glucan from oat bran in mildly hypercholesterolemic subjects may decrease when β -glucan is

- incorporated into bread and cookies. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 78, p. 221-227, 2003.
- LARREA, M.A.; CHANG, Y.K.; MARTINEZ-BUSTOS, F.; Some functional properties of extruded orange pulp and its effect on the quality of cookies. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 38, p. 213-220, 2005.
- MACFIE, H. J.; BRATCHELL, N. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. **Journal of Sensory Studies**, v. 4, p. 129-148, 1989.
- MARTINEZ-BUSTOS, F.; DELGADO, L.L.; VICTORIO, M.G.; Characterization of brown and milled yellow rice and development of an expanded snack. **Journal of Science Food and Agriculture**, v. 72, p. 148-154, 1996.
- MARUTA, Y.; KAWABATA, J.; NIKI, R. Antioxidative caffeoylquinic acid derivatives in the roots of burdock (*Arctium lappa* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 43, p. 2592-2595, 1995.
- MATHEW, J.M.; HOSENEY, R.C.; FAUBION, J.M.; Effects of corn sample, mill type, and particle size on corn curl and pet food extrudates. **Cereal Chemistry**, v. 76, p. 621-624, 1999
- MATSUO, R.R.; DEXTER, J.E.; Comparison of experimentally milled durum wheat of semolina produced by same Canadian commercial mills. **Cereal Chemistry**, v. 57, p. 117-122, 1980.
- MENRAD, K.; Market and marketing of functional food in Europe. **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 181-188, 2003.
- MOSCATTO, J.A.; BORSATO, D.; BONA, E.; OLIVEIRA, A.S.; HAULY, M.C.O.; The optimization of the formulation for a chocolate cake containing inulin and yacon meal. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, p. 181-188, 2006.
- NIETO, C.C.; Estudios agronómicos y bromatológicos en jicama (*Polymnia sonchifolia* Poep et Endl.). **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 41, n. 2, p. 213-221, 1991.
- PEDRESCHI, R.; CAMPOS, D.; NORATTO, G.; CHIRINOS, R.; ZEVALLOS, L.C.; Andean Yacon root (*Smallantus sonchifolius* Poepp. Endl) fructooligosaccharides as a potential novel source of prebiotics. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 5278-5284, 2003.
- REDDY, B. S.; Prevention of colon cancer by pre- and probiotics: evidence from laboratory studies. **British Journal of Nutrition**, v. 80, suppl. 2, p. S219-S223, 1998.
- SCHOBER, T.J.; O'BRIEN, C.M.; McCARTHY, D.; DARNEDDE, A.; ARENDT, E.K.; Influence of gluten-free flour mixes and fat powders on the quality of gluten-free biscuits. **European Food Research and Technology**, v. 216, p. 369-376, 2003.
- TORRES-QUINTEROS, E.T. **Produção com tratamento enzimático e avaliação do suco de Yacon**. 2000. 148 p. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- VENTURA, F.; **Desenvolvimento de doce de fruta em massa funcional de valor calórico reduzido, pela combinação de goiaba vermelha e Yacon desidratados osmoticamente e acerola**. Campinas, 2004. 231p. Tese (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Capítulo 4. *Snacks* extrudados à base de farinha de arroz e farinha de Yacon (*Polymnia sonchifolia*)

Resumo

No presente trabalho, farinhas de arroz e de Yacon foram extrudadas para a produção de *snacks* em uma extrusora piloto do tipo mono-rosca INBRAMAQ (São Paulo, Brasil), modelo Labor PQ-30. As raízes utilizadas para a produção da farinha continham a seguinte composição química: 88,38% de umidade, 0,14% de proteína, 0,06% de lipídios, 0,33% de cinzas e 11,09% de carboidratos. Por sua vez, a farinha de Yacon obtida apresentou 5,94% de umidade, 2,02% de proteína, 0,11% de lipídios, 4,12% de cinzas e 87,81% de carboidratos. Um delineamento estatístico do tipo composto central rotacional 2^3 foi aplicado (sendo 18 ensaios, incluindo 6 pontos axiais e 4 centrais). As variáveis independentes escolhidas, com seus cinco níveis de variação foram: concentração da farinha de Yacon (12, 15, 20, 25 e 28%), teor de umidade da farinha de alimentação (17, 18, 20, 22 e 23%), e temperatura da 4ª e 5ª zonas de aquecimento do extrusor (103, 110, 120, 130 e 137°C). As variáveis dependentes foram as propriedades físico-químicas (textura e cor instrumental, umidade, índice de absorção de água e de solubilidade em água, e índice de expansão) e sensoriais (aparência, textura, sabor e intenção de compra). Os *snacks* produzidos com maiores índices de expansão ($R^2=0,70$) foram obtidos a 120°C, com teor de umidade da farinha igual a 17% e teor de farinha de Yacon igual a 12%. Para os atributos sensoriais textura e intenção de compra, os R^2 dos modelos matemáticos foram 0,87 e 0,72, respectivamente. As superfícies geradas mostraram que o valor máximo para estes dois atributos ocorreram para as mesmas condições de temperatura, umidade da farinha de alimentação e teor de farinha de Yacon, bem como para o índice de expansão. A farinha de Yacon, entretanto, não teve influência significativa ($p<0,05$) sobre a intenção de compra.

4.1. Introdução

Neste último século, novos desafios despontaram no campo da nutrição e da indústria de alimentos: custos exponencialmente crescentes relacionados aos cuidados com a saúde, aumento da expectativa de vida, melhoramentos no campo do conhecimento científico e o desenvolvimento de novas tecnologias. Diante destes fatores, a Nutrição, enquanto ciência, teve de se adaptar através do desenvolvimento de novos conceitos. Segundo MILNER (2000), a nutrição otimizada é um tipo deste novo conceito. Ela propõe a maximização fisiológica tanto quanto a psicológica de cada indivíduo através da nutrição, de modo a assegurar o bem-estar e saúde, mas ao mesmo tempo, minimizando os riscos de uma doença ao longo da vida. É neste contexto que o alimento funcional tem sido proposto como uma prática que visa melhorar uma dieta (ROBERFROID, 2002).

Em consideração ao exposto acima, o Yacon (*Polymnia sonchifolia*), uma espécie da família Asteraceae, originária dos Andes, devido ao seu alto teor de fruto-oligossacarídeos (FOS) e de compostos fenólicos, os quais demonstram atividade antioxidativa, de acordo com MARUTA et al. (1995) e CHUDA et al. (1998), pode ser considerado um alimento funcional. Além disso, AYBAR et al. (2001) comprovaram a ação hipoglicêmica do chá de Yacon e REDDY (1998) observou a ação inibitória da oligofrutose sobre o câncer de cólon.

De modo geral, os FOS podem contribuir para a diminuição dos níveis de glicose no sangue e também podem atuar como pré-bióticos, por melhorarem o balanço da microflora intestinal e por promoverem o crescimento de organismos pró-bióticos (PEDRESCHI et al., 2003).

Atualmente, as indústrias de alimentos se deparam com o desafio permanente de se desenvolver produtos de conveniência como cereais matinais ou *snacks* de alto valor nutricional, os quais poderão suprir de forma adequada as necessidades nutricionais da população, sobretudo a economicamente ativa. Uma tecnologia versátil e eficiente que encontra grande aplicação na indústria de alimentos processados é o processo de extrusão termoplástica. Esta tecnologia constitui-se em um processo contínuo que utiliza altas temperaturas e um curto período de tempo, de modo que modifica fisicamente um material amiláceo expansível e umidificado, através de uma combinação única de alta temperatura, pressão e força de cisalhamento (FRAME, 1994 citado por ASARE et al., 2004).

O aumento da importância de alimentos extrudados nos hábitos alimentares de hoje significa que estes produtos podem muito bem servir como um veículo para importantes nutrientes enquanto são prontamente aceitos pela população (AHMED, 1999). Produtos extrudados à base de arroz têm sido vistos com atenção. O arroz é um importante cereal, com seus atributos únicos, tais como: sabor suave, cor branca neutra e fácil digestão. A farinha de arroz tem se tornado um ingrediente atrativo na produção de novos alimentos à base de cereais (KADAN et al., 2003).

O objetivo do presente trabalho foi o desenvolvimento de um produto extrudado de característica funcional à base farinha de arroz e farinha de Yacon. A metodologia de análise de superfície de resposta foi utilizada para avaliar o efeito da incorporação de farinha de Yacon e otimizar as variáveis de processo de extrusão termoplástica para a produção deste *snack*.

4.2. Material e métodos

4.2.1. Matérias-primas

Na produção dos *snacks* extrudados funcionais foram utilizadas as seguintes matérias-primas: (i) raízes de Yacon (*Polymnia sonchifolia*), obtidas na Central de Abastecimento de Campinas S.A. (Ceasa, Campinas-SP); (ii) quirera de arroz (marca Totó), adquirida no mercado local; (iii) metabissulfito de sódio (marca Ecibra), utilizado para inibir o escurecimento enzimático do Yacon.

4.2.2. Métodos

4.2.2.1. Produção da farinha de Yacon

A farinha de Yacon foi obtida de acordo com método descrito no item 2.2.2.1.

4.2.2.2. Obtenção da farinha de arroz

Para a obtenção da farinha de arroz, 25 kg de quirera de arroz foram moídos em Moinho Brabender Quadrumat Sênior (Brabender AG, Duisburg, Alemanha), sendo a farinha obtida, posteriormente, acondicionada em sacos plásticos selados em soldadora de plásticos Proels, modelo P601 (PROELS LTDA, Marília, Brasil) e armazenada em local seco e sob temperatura ambiente.

4.2.2.3. Análises das matérias-primas e farinha de Yacon

O Yacon *in natura* e as farinhas de Yacon e de arroz obtidas foram caracterizados quanto à composição química, cujas principais análises efetuadas foram: umidade, proteína, fibra bruta, lipídios, cinzas e carboidratos. Todas as análises foram executadas em triplicata. Adicionalmente, o Yacon *in natura* e a farinha de Yacon também foram submetidos à determinação do teor de FOS e análise de cor, e as farinhas de arroz e de Yacon caracterizadas quanto às suas distribuições granulométricas.

4.2.2.3.1. Umidade

O teor de umidade do Yacon *in natura* e da farinha de Yacon foi determinado de acordo com item 2.2.2.4.1.

4.2.2.3.2. *Proteínas*

A determinação do conteúdo de proteína foi realizada segundo método descrito em 2.2.2.4.2.

4.2.2.3.3. *Lipídios*

O teor de lipídios totais do Yacon *in natura* e da farinha foi analisado conforme descrito no item 2.2.2.4.3.

4.2.2.3.4. *Cinzas*

O teor de cinzas foi determinado segundo metodologia descrita no item 2.2.2.4.4.

4.2.2.3.5. *Fibra bruta*

A quantidade de fibra bruta foi determinada para o Yacon *in natura* e a farinha de Yacon, segundo o método descrito no item 2.2.2.4.5.

4.2.2.3.6. *Carboidratos*

Determinado segundo método citado no item 2.2.2.4.6.

4.2.2.3.7. *pH*

A determinação do pH foi conduzida segundo método descrito no item 2.2.2.4.7.

4.2.2.4. **Características físicas e químicas**

4.2.2.4.1. *Teor de fruto-oligossacarídeos*

A determinação do teor de fruto-oligossacarídeos das amostras de Yacon *in natura* e farinha de Yacon foi conduzida conforme metodologia descrita no item 3.2.2.2.5.3.

4.2.2.4.2. *Análise de cor*

A cor do Yacon *in natura* e da farinha de Yacon foi determinada pelo espectrofotômetro Hunterlab, modelo Color Quest II (Reston, EUA) segundo o sistema Cielab, utilizando-se do espaço de cor ($L^*C^*h^*$), o qual possui o mesmo diagrama das coordenadas $L^*a^*b^*$, porém utiliza coordenadas cilíndricas ao invés de retangulares. Basicamente, os parâmetros têm os seguintes significados: L, medida da luminosidade de um material e varia de zero (para preto) até 100 (branco); C, medida da saturação (sendo

zero no centro do sólido e aumentando conforme se aumenta a distância partindo do centro) e h^* , medida do ângulo da tonalidade, começando no eixo $+a^*$ e expresso em graus, 0° seria $+a^*$ (vermelho), 90° seria $+b^*$ (amar elo), 180° corresponde a $-a^*$ (verde) e 270° a $-b^*$ (azul).

O Yacon *in natura* foi cortado em rodela de aproximadamente 1 cm de espessura e imediatamente imerso em solução de metabissulfito 2%, para evitar escurecimento e alteração da cor. A leitura da cor da farinha foi realizada diretamente.

4.2.2.4.3. Granulometria

A granulometria das farinhas de Yacon e de arroz foram determinadas de acordo com metodologia descrita no 2.2.2.5.2.

4.2.2.5. Delineamento experimental

No processo de elaboração dos *snacks* extrudados, as variáveis independentes escolhidas foram: (i) conteúdo de farinha de Yacon (%); (ii) teor de umidade da farinha de alimentação (%) e (iii) temperatura das 4^a e 5^a zonas de aquecimento do extrusor monorosca INBRAMAQ, modelo Labor PQ-30 (INBRAMAQ, Ribeirão Preto, Brasil); cujos níveis – estabelecidos com base em testes preliminares - são apresentados na Tabela 4.1. A farinha de arroz foi substituída em parte pela farinha de Yacon.

Tabela 4.1. Níveis das variáveis independentes do planejamento fatorial completo 2^3 .

Variáveis		Níveis				
Codificado	Real	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
X_1	Umidade inicial da farinha (%)	16,6	18	20	22	23,4
X_2	Temperaturas 4 ^a /5 ^a zonas do extrusor (°C)	103,2	110	120	130	137
X_3	Farinha Yacon incorporada (%)	11,6	15	20	25	28,4

$\pm |\alpha| = \pm 1,681$.

Os parâmetros operacionais fixos, definidos com base em testes preliminares foram: (i) velocidade de rotação da rosca (260 rpm); (ii) taxa de compressão da rosca (1:3); (iii) vazão de alimentação das matérias-primas (738 g/min); (iv) submatriz com 40 orifícios de 3,7 mm; (v) diâmetro da matriz (3,5 mm); (vi) temperaturas na 1^a zona (20°C), na 2^a zona (50°C) e na 3^a zona (80°C).

A análise do efeito combinado dessas variáveis nas características físicas e sensoriais dos *snacks* processados foi realizada utilizando-se um delineamento estatístico em metodologia de superfície de resposta do tipo composto central rotacional de 2^3 (BOX et al.,1978). Foram realizados 18 ensaios, conforme matriz de planejamento apresentada na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Delineamento estatístico composto central 2^3 .

Ensaio	Codificado			Real		
	x_1	x_2	x_3	X_1	X_2	X_3
1	-1	-1	-1	18	110	15
2	-1	-1	+1	18	110	25
3	-1	+1	-1	18	130	15
4	+1	-1	-1	22	130	15
5	-1	+1	+1	18	110	25
6	+1	-1	+1	22	110	25
7	+1	+1	-1	22	130	15
8	+1	+1	+1	22	130	25
9	0	0	$-\alpha$	20	120	11,6
10	0	0	$+\alpha$	20	120	28,4
11	0	$-\alpha$	0	20	103	20
12	0	$+\alpha$	0	20	137	20
13	$-\alpha$	0	0	16,6	120	20
14	$+\alpha$	0	0	23,4	120	20
15	0	0	0	20	120	20
16	0	0	0	20	120	20
17	0	0	0	20	120	20
18	0	0	0	20	120	20

$\alpha = 1,681$; x_1, x_2, x_3 = variáveis independentes: umidade da farinha de alimentação, temperatura na 4ª e 5ª zonas do canhão e concentração da farinha de Yacon do modelo codificado, respectivamente; X_1 = teor de umidade da matéria-prima (%); X_2 = temperatura na 4ª e 5ª zona do extrusor (°C); X_3 = teor de farinha de Yacon na formulação (%).

A metodologia descreve o comportamento de um sistema no qual estão combinadas as variáveis independentes (X_k) e as variáveis dependentes ou respostas (Y_i). A resposta é uma função dos níveis nos quais estes fatores foram combinados e definidos conforme BOX & DRAPER (1987).

Pela análise de regressão, é possível obter um polinômio de segunda ordem com variáveis independentes (X_k). Os dados (respostas) obtidos foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA), utilizando-se o pacote estatístico Statistica versão 5.5 (StatSoft, Inc, EUA). A partir das equações de regressão, foi possível obter os gráficos de superfície de resposta, bem como suas respectivas curvas de nível.

4.2.2.6. Processo pré e pós-extrusão das farinhas

Inicialmente, as amostras de cada ensaio do delineamento experimental foram preparadas fazendo-se a homogeneização das farinhas de Yacon e de farinha de arroz nas diferentes proporções (Tabela 4.2). Posteriormente, as amostras foram pré-condicionadas com água destilada sob agitação para se atingir a umidade final desejada em cada ensaio. As amostras permaneceram 24 horas sob refrigeração para uniformização da umidade, sendo que uma nova determinação do conteúdo de umidade foi efetuada após esse período, sendo a mesma novamente ajustada quando necessário.

Os *snacks* produzidos foram secos em estufa de circulação de ar a 60°C por 1 hora logo após terem sido extrudados até atingirem 12% de umidade ou menos.

4.2.2.7. Análise dos snacks extrudados

4.2.2.7.1. Índice de Expansão (IE)

O índice de expansão (IE) dos *snacks* extrudados foi determinado 30 minutos após a produção dos mesmos, antes da secagem, de acordo com a metodologia proposta por BATISTUTI et al. (1991). Este índice representa a relação entre o diâmetro do produto extrudado e o diâmetro do orifício da matriz do extrusor. No cálculo do IE, considerou-se a média aritmética de 10 medidas de diâmetro em diferentes partes da amostra para cada ensaio do planejamento experimental.

4.2.2.7.2. Índice de Absorção de Água (IAA)

O IAA do material extrudado foi avaliado de acordo com a metodologia proposta por ANDERSON et al. (1969). A análise foi realizada em duplicata e consistiu na introdução de cerca de 2,5 g de amostra em tubo de centrífuga previamente tarado, seguido da adição de 30 mL de água destilada a 30°C. O tubo foi mantido sob agitação

constante em um agitador horizontal de tubos (TECNAL, modelo não especificado, Piracicaba, Brasil) durante 30 minutos; sendo, posteriormente, centrifugado (Centrífuga FANEM, modelo 204NR, São Paulo, Brasil) a 3.000 x g por 10 minutos. O sobrenadante (10 mL) foi colocado em placa de Petri previamente tarada, sendo seco em estufa de circulação e renovação de ar a 105°C até massa constante. O tubo com o resíduo (sedimento) também foi pesado. A Equação 4.1 foi utilizada para a determinação do IAA.

$$IAA = \frac{M_{RC}}{M_{amostra} - M_{RE}} \quad \text{(Equação 4.1)}$$

onde:

IAA = índice de absorção de água;

M_{RC} = massa do resíduo de centrifugação (g);

$M_{amostra}$ = massa da amostra (base seca) (g);

M_{RE} = massa do resíduo de evaporação do sobrenadante (g).

4.2.2.7.3. Índice de Solubilidade em Água (ISA)

A determinação do ISA foi realizada segundo metodologia proposta por ANDERSON et al. (1969), em continuidade aos passos descritos para a determinação do IAA. O ISA representa a relação entre a massa do resíduo de evaporação e a massa da amostra em base seca, conforme descrito pela Equação 4.2.

$$ISA = \frac{M_{RE} \times 100}{M_{amostra}} \quad \text{(Equação 4.2)}$$

onde:

ISA = índice de solubilidade em água;

M_{RE} = massa do resíduo de evaporação (g);

$M_{amostra}$ = massa da amostra (base seca) (g).

4.2.2.7.4. *Análise de cor*

Os *snacks* extrudados foram triturados em moinho laboratorial Quadrumat Sênior (Brabender AG, Duisburg, Alemanha) para a obtenção de uma amostra homogênea de cada ensaio. Posteriormente, a cor foi determinada pelo espectrofotômetro Hunterlab, modelo Color Quest II, Reston, EUA) segundo o sistema Cielab, utilizando-se do espaço de cor ($L^*a^*b^*$). Basicamente, os parâmetros têm os seguintes significados: L^* , medida da luminosidade de um material e varia de zero (para preto) até 100 (branco); a^* e b^* indicam a direção de cores, sendo $+a^*$ (direção do vermelho), $-a^*$ (direção do verde), $+b^*$ (direção do amarelo) e $-b^*$ (direção do azul).

4.2.2.7.5. *Determinação do teor de fruto-oligossacarídeos*

Essa análise foi conduzida para os *snacks* produzidos conforme metodologia descrita no item 3.2.2.5.3, na diluição de 1/10.

4.2.2.7.6. *Análise de textura*

A análise de textura foi determinada 2 dias após o processamento dos *snacks* extrudados. A determinação de dureza (parâmetro de textura) foi realizada utilizando-se um texturômetro Stable Micro Systems Texture Analyser TAXT2 (Texture Technologies Corp, Inglaterra). As amostras foram dispostas horizontalmente sobre um suporte com uma abertura. Esta abertura permitiu a passagem do probe Warner Bratzler de 12 x 7 cm (HDP/BS), carga máxima de 50Kg, que rompeu a amostra sobre o suporte, atuando como uma guilhotina. Os resultados foram expressos em g (grama) e representaram a média aritmética de 12 determinações de força de ruptura para amostras provenientes de uma mesma condição de extrusão. Os parâmetros utilizados nos testes foram: (i) velocidade pré-teste = 2,0 m/s; (ii) velocidade de teste = 2,0 m/s; (iii) velocidade de pós-teste = 2,0 m/s; (iv) força = 0,20 N; (v) ciclo de contagem = 5 segundos; (vi) sensibilidade do aparelho = 20 g; (vii) medida de força em compressão.

4.2.2.7.7. *Análise sensorial*

Os *snacks* formulados com a farinha de Yacon foram submetidos à análise sensorial de aceitação, a qual foi realizada por 37 provadores, segundo metodologia descrita no item 2.2.2.6.7. No entanto, nesta análise a idade média dos provadores foi de 23 anos. Utilizou-se a escala hedônica de sete pontos, ancorada em seus extremos com os termos “gostei muito” e “desgostei muito” e escala de intenção de compra

(1=certamente não compraria; 5=certamente compraria). Os atributos avaliados foram: aparência global, textura, sabor e aceitação global.

4.3. Resultados e discussão

4.3.1. Análise das matérias-primas e da farinha de Yacon

4.3.1.1. Composição centesimal e pH

Os resultados das análises de composição centesimal e pH das matérias-primas são apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Composição centesimal do Yacon *in natura* e das farinhas de Yacon e de arroz.

Componentes	Yacon <i>in natura</i> (g/100g)	Farinha de Yacon (g/100g)	Farinha de arroz (g/100g)
Umidade	88,38 ± 0,11	5,94 ± 0,13	12,21 ± 0,08
Proteína	0,14 ± 0,17	2,02 ± 0,20	4,59 ± 0,94
Lipídios	0,06 ± 0,05	0,11 ± 0,03	0,65 ± 0,04
Cinzas	0,33 ± 0,05	4,12 ± 0,14	0,53 ± 0,01
Fibras	2,67 ± 0,14	3,94 ± 0,28	-
Carboidratos	11,09	87,81	82,02

Nota-se, pela Tabela 4.3, que para o Yacon *in natura* e para a farinha de Yacon, a proporção determinada dos componentes foi coerente com a redução de umidade. Pode-se observar que os carboidratos totais são os componentes majoritários, como era esperado (11,09 % para o Yacon *in natura*, 87,81% para a farinha de Yacon e 82,02% para farinha de arroz).

Considerando que a matéria-prima (Yacon) e a farinha utilizadas neste experimento são as mesmas das utilizadas no Capítulo 3, as considerações feita no ítem 3.3.1.1 também são válidas aqui.

4.3.1.2. Teor de fruto-oligossacarídeos

A análise cromatográfica conduzida para o Yacon *in natura* e a farinha de Yacon revelou a composição de açúcares apresentada na Tabela 3.7, no item 3.3.1.4.

Como já foi dito, a matéria-prima e a farinha são as mesmas utilizadas no Capítulo 3, logo, as considerações acerca da composição de FOS feitas no item 3.3.1.4, cabem aqui.

4.3.1.3. Cor

Os resultados (Tabela 3.5) e as considerações sobre a análise de cor podem ser vistos no item 3.3.1.2.

4.3.1.4. Granulometria

A análise granulométrica conduzida tanto para a farinha de Yacon quanto para a farinha de arroz, cujos resultados são mostrados na Tabela 4.6. Segundo a metodologia proposta por HENDERSON & PERRY (1976), foi calculado o diâmetro médio da partícula de cada uma das farinhas, obtendo-se então os valores para a farinha de Yacon e de arroz de 0,55 mm e 0,23 mm, respectivamente.

Com relação à granulometria da farinha de Yacon, considere-se os comentários efetuados no item 3.3.1.3.

Tabela 4.6. Perfil granulométrico para a farinha de Yacon e farinha de arroz.

Mesh	Granulometria (% retida em cada peneira)	
	Farinha de Yacon	Farinha de arroz
18 (1,00mm)	22,15 ± 1,40	0,03 ± 0,01
20 (0,85mm)	11,22 ± 0,35	0,18 ± 0,06
30 (0,60mm)	15,28 ± 0,56	1,02 ± 0,09
35 (0,50mm)	6,73 ± 0,18	0,60 ± 0,03
80 (0,18mm)	29,28 ± 0,49	66,73 ± 1,54
270 (0,053mm)	15,12 ± 1,19	31,05 ± 1,43
Fundo (<0,053mm)	0,47 ± 0,64	0,19 ± 0,16

Com relação à granulometria da farinha de arroz, ORMENESE & CHANG (2003), observaram que 75,63% da farinha analisada em seu trabalho apresentou tamanho de partícula entre 0,062 e 0,088 mm. Cabe ressaltar que essa farinha era comercial, ou seja,

foi obtida em moinho industrial, enquanto que a deste presente estudo foi obtida mediante moagem laboratorial.

Verifica-se, portanto, que a farinha de Yacon apresenta uma granulometria maior e distribuída de forma menos homogênea, quando comparada à da farinha de arroz.

4.3.2. Análise dos *snacks* extrudados

4.3.2.1. Teor de fruto-oligossacarídeos

A análise cromatográfica conduzida para o *snack* extrudado de arroz adicionado de farinha de Yacon revelou a composição de açúcares apresentada na Tabela 4.7. Observa-se nesta tabela, que de modo geral, a frutose é o açúcar em maior quantidade em todas as amostras, seguindo a mesma tendência já observada para o Yacon *in natura* e relatada no item 4.3.1.2. Nota-se também que as maiores concentrações dos carboidratos estão presentes nos ensaios cujas formulações incorporaram mais farinha de Yacon, como era de se esperar, exceção feita ao ensaio 8, que por ter sido processado na condição de maior temperatura, pode ter conduzido à degradação de parte destes açúcares.

A composição média dos *snacks* revelou que a frutose e a sacarose são os açúcares mais presentes (27,95% e 20,27%, respectivamente). Ao constatar esses dados com a composição obtida para o Yacon *in natura* e a farinha dele obtida, observa-se que na matéria-prima a frutose corresponde a 49% dos açúcares detectados, ao passo que na farinha, as porcentagens das outras frações GF2, GF3 e GF4, aumentou consideravelmente, chegando à 19,6%, 13,5% e 36,9%, respectivamente, sendo que não foram detectadas as frações glicose e frutose.

Durante a secagem para obtenção da farinha pode ter havido reação de Maillard, o que colaborou com a degradação da glicose e frutose formando novas frações. Porém, durante a extrusão dos *snacks*, as condições de processo podem ter levado à hidrólise das frações GF2 e superiores, colaborando para a diminuição da presença destes e de uma recomposição da frutose e glicose.

Tabela 4.7. Perfil de carboidratos presentes no *snack* de arroz e farinha de Yacon com diluição igual a 1/50.

Ensaio	Carboidratos (mg/g)					
	Glicose	Frutose	Sacarose	GF2	GF3	GF4
1	85,040	158,031	124,826	76,985	102,012	47,810
2	67,966	110,087	75,536	45,007	27,408	46,247
3	55,836	89,425	67,774	42,027	25,507	58,281
4	75,811	79,536	58,203	35,170	22,251	42,086
5	59,796	107,378	79,655	47,717	29,438	47,582
6	67,723	100,660	69,585	41,947	26,181	43,781
7	44,507	69,287	56,342	34,623	22,196	44,644
8	43,405	69,446	54,676	33,913	21,656	35,750
9	49,176	77,544	60,091	37,462	23,630	42,116
10	66,145	102,627	71,342	44,736	26,673	46,472
11	59,723	95,273	66,217	39,908	25,210	41,475
12	55,332	85,012	64,800	41,117	25,304	38,995
13	52,450	83,881	65,146	41,136	24,859	34,047
14	57,358	90,745	63,612	40,341	24,559	38,117
15	58,520	94,837	64,534	40,364	24,984	43,111
16	64,029	96,799	67,258	41,566	25,615	44,088
17	81,702	127,738	84,477	55,241	30,445	55,046
18	65,268	102,589	66,417	41,820	24,856	44,166

A análise estatística dos dados revelou que não foi possível a obtenção de um modelo matemático para a variável concentração de FOS, uma vez que não houve validação pelo teste F ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$).

4.3.2.2. Índice de Expansão (IE)

Os resultados da análise do índice de expansão (IE) estão apresentados na Tabela 4.8. Com base nesta tabela, nota-se que os *snacks* que apresentaram maiores índices de expansão foram os do ensaio 1 e 3, justamente os que continham menores teores de umidade e de farinha de Yacon incorporada. Já o *snack* de menor expansão corresponde ao do ensaio 6, por possuir alta umidade e alta concentração de farinha de Yacon.

Foram analisados estatisticamente os dados para a obtenção de um modelo matemático para a variável índice de expansão, tendo sido o modelo validado pelo teste F ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$), e o coeficiente de regressão (R^2) obtido foi de 0,70. A equação está mostrada na Tabela 4.9.

Tabela 4.8. Índice de expansão dos *snacks* extrudados, segundo delineamento experimental.

Ensaio	Diâmetro médio dos “snacks” (mm)	Desvio padrão	Índice de expansão (IE)
1	10,01	0,35	2,86 ^a
2	8,55	0,20	2,44 ^{efgh}
3	9,76	0,93	2,79 ^a
4	9,54	0,33	2,73 ^{abcd}
5	8,70	0,44	2,48 ^{defg}
6	6,97	0,64	1,99 ^{ij}
7	9,43	1,01	2,69 ^{abcde}
8	8,17	0,95	2,33 ^{fgh}
9	9,66	0,37	2,76 ^{abc}
10	7,77	0,43	2,22 ^{hi}
11	8,88	0,51	2,54 ^{bcdef}
12	6,49	0,82	1,85 ^j
13	9,54	0,65	2,72 ^{abcd}
14	7,95	0,36	2,27 ^{gh}
15	8,51	0,62	2,43 ^{fgh}
16	9,05	0,36	2,58 ^{bcdef}
17	8,77	0,41	2,50 ^{cdefg}
18	8,95	0,49	2,56 ^{bcdef}

Médias na mesma coluna seguidas de letras idênticas não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$). Diâmetro da matriz=3,5mm.

Tabela 4.9. Modelo matemático para o índice de expansão dos *snacks* extrudados.

Modelo codificado	Nível de significância	R ²	F _{calculado}	F _{tabelado}
$y = -0,12.x_1 - 0,06.x_2 - 0,09.x_2^2 - 0,20.x_3 + 2,55$	95% ($p < 0,05$)	0,70	7,67	3,18

Observando-se a superfície de resposta obtida (Figura 4.1), nota-se mais claramente o efeito de cada uma das variáveis sobre o índice de expansão. Uma maior expansão (IE superior a 2,70) ocorreu nos ensaios cujos teores de umidade estiveram nos níveis mais baixos (inferior a 18%) e temperatura ao redor de 120°C (Figura 4.1a). Isto está em concordância com o relatado por ASARE et al. (2004), de que a expansão é dependente das propriedades visco-elásticas da massa fundida. O aumento do teor de umidade resulta em menor grau de gelatinização do amido. Esse aumento da umidade poderia diminuir a temperatura da massa devido a uma menor fricção entre a massa e a rosca/camisa do extrusor, e ter um impacto negativo na gelatinização do amido, reduzindo-se então a expansão do produto. Os estudos de DING et al. (2005), avaliando parâmetros de extrusão de *snack* de arroz, e ÔZER et al. (2004), os quais estudaram as características de expansão de *snacks* formulados com farinhas de grão-de-bico, milho,

aveia e cenoura em pó, mostraram que o teor de umidade influencia de modo significativo a expansão destes produtos extrudados.

Com relação à concentração de farinha de Yacon (Figuras 4.1b e 4.1c), os ensaios com maior expansão foram os que incorporaram menores teores de farinha de Yacon (abaixo de 15%), o que é coerente, uma vez que quanto mais farinha de Yacon é incorporada, menor é a concentração de arroz, o que conseqüentemente diminui o teor de amido que será gelatinizado, contribuindo para uma menor expansão do produto final.

Em se tratando da temperatura, pode ser observado através das Figuras 4.1a| e 4.1c, que os maiores índices de expansão situam-se em torno da faixa central (120°C) e a concentração de farinha de Yacon situando-se em 15% ou menos. Temperaturas mais baixas podem não ser suficientes para gelatinizar o amido de modo satisfatório, enquanto que níveis mais altos podem acarretar a degradação do amido (dextrinização) e da rede protéica da massa. Os resultados aqui obtidos para a temperatura condizem com os do estudo de CHÁVEZ-JÁUREGUI et al. (2000), no qual os efeitos, linear e de segunda ordem, do teor de umidade e da temperatura foram significativos para a expansão dos *snacks*.

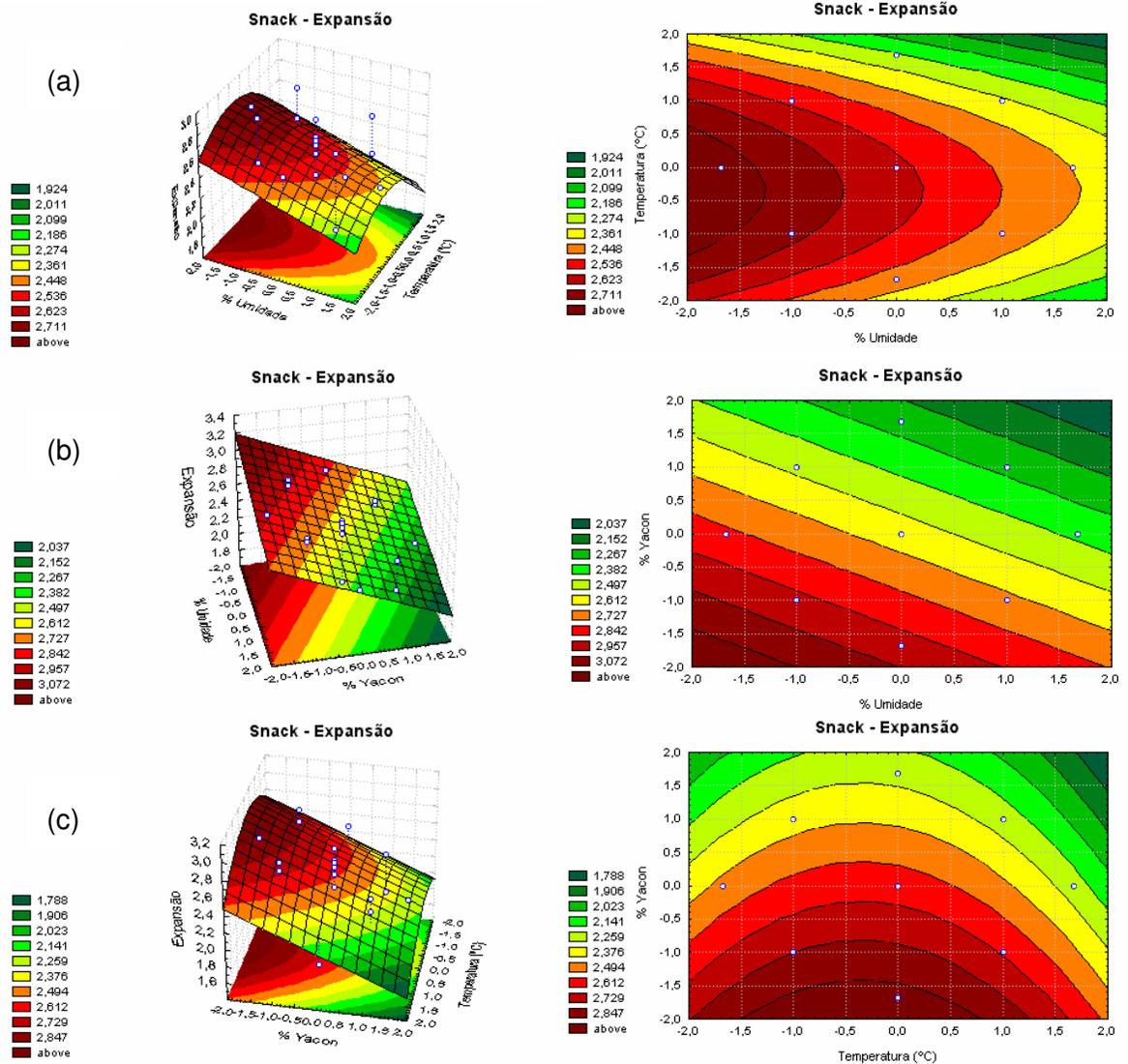


Figura 4.1. Superfícies de resposta para o índice de expansão: (a) temperatura versus umidade; (b) teor de farinha de Yacon versus umidade e (c) teor de farinha de Yacon versus temperatura.

4.3.2.3. Índices de absorção de água e de solubilidade em água

Os resultados para os índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA) estão apresentados na Tabela 4.10.

Tabela 4.10. IAA e ISA dos *snacks* extrudados obtidos segundo delineamento experimental.

Ensaio	IAA (g/g)	ISA (%)
1	6,66 ± 0,09 ^{abcd}	22,01 ± 0,06 ^a
2	6,20 ± 0,10 ^{abcdef}	27,32 ± 0,63 ^a
3	6,99 ± 0,22 ^{ab}	23,16 ± 1,11 ^a
4	7,65 ± 0,05 ^a	19,09 ± 0,70 ^a
5	5,47 ± 0,01 ^{cdefgh}	28,41 ± 3,32 ^a
6	5,64 ± 0,09 ^{bcdefgh}	25,21 ± 0,64 ^a
7	6,46 ± 0,38 ^{abcdef}	35,31 ± 2,56 ^a
8	5,99 ± 0,16 ^{bcdefgh}	41,16 ± 1,52 ^a
9	6,06 ± 0,48 ^{bcdefgh}	22,18 ± 1,25 ^a
10	4,63 ± 0,50 ^{bcdefg}	34,61 ± 9,31 ^a
11	4,97 ± 0,03 ^{fgh}	29,92 ± 0,64 ^a
12	4,60 ± 0,35 ^{bcdefg}	26,01 ± 1,27 ^a
13	5,18 ± 0,16 ^{defgh}	29,08 ± 0,71 ^a
14	6,73 ± 0,01 ^{abc}	25,97 ± 0,52 ^a
15	6,58 ± 0,13 ^{abcde}	26,85 ± 0,83 ^a
16	6,13 ± 1,01 ^{bcdefg}	27,22 ± 0,13 ^a
17	5,87 ± 0,97 ^{bcdefgh}	27,76 ± 0,48 ^a
18	5,08 ± 0,06 ^{efgh}	28,14 ± 0,70 ^a

Médias na mesma coluna seguidas de letras idênticas não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

O IAA mede o volume ocupado pelo amido após o intumescimento em excesso de água, o qual mantém a integridade do amido em uma dispersão aquosa (MASON & HOSENEY, 1986). Por sua vez, o ISA mede o grau de conversão do amido durante a extrusão, que corresponde à quantidade de polissacarídeo solúvel liberado a partir do amido após a extrusão (KIRBY et al., 1988).

Pela Tabela 4.10, nota-se que com relação ao ISA, as amostras não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si ao nível de 95%. Já para o IAA, percebe-se que os ensaios com as menores concentrações de farinha de Yacon (15%) – vide ensaios 1, 3 e 4 - foram os que apresentaram os índices de absorção acima de 6,60 g/g, excetuando-se o ensaio 14.

Os índices de IAA obtidos no trabalho de AHMED (1999), para *snacks* à base de arroz e linhaça fora em média 7,72 g/g, enquanto que os valor médio para o ISA foi de 14,62 g/g. Conforme aumentava-se a substituição do arroz por linhaça, havia um decréscimo nos valores desses índices, o que vai e concordância com as observções feitas neste trabalho. KADAN et al. (2003) obtiveram para *snacks* produzidos a partir de farinha de arroz de grãos longos e curtos os valores médios de 5,03 g/g e 12,3 g/g, para IAA e ISA, respectivamente.

DING et al. (2005) encontraram que o aumento do teor de umidade acarretou em aumento do IAA de um produto extrudado à base de arroz, enquanto que o aumento na temperatura do canhão levou a um decréscimo significativo do mesmo índice.

Com relação ao ISA, um aumento do teor de umidade da matéria-prima provocou uma diminuição perceptível do seu valor. Entretanto, ao aumentar a temperatura do canhão, ocorreu um considerável aumento do ISA do produto extrudado, como pode ser também observado através da Tabela 4.10.

No estudo de SACCHETTI et al. (2004), observou-se que quanto mais farinha de castanha (*Castanea sativa M.*) – não especificada, típica da Itália - havia sido incorporada ao *snack* extrudado à base de arroz, menor foi o valor do IAA. Os autores sustentam que a sacarose contida na farinha de castanha pode ter provocado um efeito restritivo no processo de gelatinização do amido. Isto se deve à vários fatores, incluindo a competição entre amido e a sacarose pela água disponível, inibição da hidratação do amido granular pela sacarose e interação sacarose-amido, conforme aponta LUND (1984). Esta hipótese pode explicar a influência que a farinha de Yacon incorporada à farinha de arroz exerce na capacidade de absorção de água do produto extrudado final. A farinha de castanha utilizada por SACCHETTI et al. (2004) apresentava 32% de açúcares em base seca, enquanto que a farinha de Yacon utilizada neste trabalho contém 160 mg/g de sacarose.

A análise estatística dos dados revelou que não foi possível a obtenção de um modelo matemático para as variáveis IAA e ISA, uma vez que não houve validação pelo teste F ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$) para IAA, enquanto que para ISA o coeficiente de regressão (R^2) obtido foi de 0,54, o que denota uma ausência de ajuste do modelo.

4.3.2.4. Cor

Os resultados da análise dos parâmetros de cor dos *snacks* extrudados são mostrados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11. Parâmetros de cor dos *snacks* extrudados obtidos segundo delineamento experimental.

Ensaio	L*	a*	b*
1	76,53 ^{igh}	5,59 ^{cd}	22,75 ^{bcde}
2	76,41 ^{gh}	5,51 ^{cde}	24,44 ^a
3	75,72 ^h	5,70 ^c	22,71 ^{bcdefg}
4	78,91 ^{ab}	3,74 ^{jk}	21,32 ^h
5	71,87 ⁱ	7,42 ^a	23,55 ^b
6	78,22 ^{bcd}	3,54 ^k	20,81 ^{ghi}
7	77,01 ^{efg}	4,73 ^g	22,10 ^{def}
8	77,79 ^{cde}	4,60 ^g	22,00 ^{ef}
9	78,29 ^{bcg}	3,77 ^{jk}	21,51 ^{fg}
10	77,18 ^{ef}	5,17 ^f	23,17 ^{bc}
11	77,88 ^{cde}	4,25 ^h	21,96 ^{ef}
12	77,70 ^{cde}	4,13 ^{hi}	20,20 ⁱ
13	72,49 ⁱ	6,89 ^b	22,65 ^{cde}
14	79,38 ^a	3,00 ^l	20,52 ^{hi}
15	78,97 ^{ab}	3,90 ^{ij}	21,65 ^{fg}
16	77,19 ^{efg}	5,14 ^f	23,20 ^{bc}
17	76,49 ^{fgh}	5,36 ^{def}	23,41 ^{bc}
18	77,35 ^{def}	5,25 ^{ef}	22,87 ^{bcd}

Médias na mesma coluna seguidas de letras idênticas não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

Analisando-se as amostras 4 e 14, que apresentam os maiores valores de L*, percebe-se que são as que possuem teor de umidade nos níveis mais altos (20% ou mais) e concentrações de farinha de Yacon em níveis centrais ou inferiores. Para o parâmetro a*, as amostras 5 e 13 diferem significativamente entre si e das demais e apresentam os dois maiores valores para este parâmetro, enquanto a amostra 14 tem o menor valor de a* entre todas amostras. Com relação ao parâmetro b*, o ensaio 2 tem o maior valor para este parâmetro, enquanto as amostras 12 e 14 tem os menores.

A Tabela 4.11 aponta que as amostras de maior valor de L* (mais claras) são as amostras 4, 9, 14 e 15, ou seja, as que incorporam farinha de Yacon em quantidade não superior a 20%. A amostra 13, apesar de conter 20% de farinha de Yacon, apresentou valor de L* próximo ao obtido para amostra 5 (com 25% de farinha de Yacon) e, provavelmente, a menor umidade da primeira amostra (17%) pode ter conferido uma cor mais clara do *snack* final. A análise do parâmetro a* segue a mesma tendência.

Com relação ao parâmetro b* - o qual aponta o quão a amostra tende ao amarelo - as amostras que mais apresentam essa tendência (maior valor de b*), são as referentes aos ensaios 2, 5 e 10, justamente amostras com alta concentração de farinha de Yacon. A farinha de Yacon certamente provoca uma cor mais saturada (tendendo ao amarelo) a estas amostras se comparadas às demais.

A análise estatística dos dados revelou que não foi possível a obtenção de um modelo matemático para as variáveis referentes aos parâmetros de cor luminosidade (L^*), a^* e b^* , que apesar da validação pelo teste F ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$), os valores dos coeficientes de regressão (R^2) obtidos para estas três variáveis foram muito baixos (0,57, 0,47 e 0,64 para as variáveis L^* , a^* e b^* , respectivamente), o que configura uma falta de ajuste do modelo matemático.

4.3.2.5. Textura

A análise instrumental de textura avaliou o atributo dureza os *snacks* extrudados de arroz e Yacon, e os resultados estão dispostos na Tabela 4.12.

Tabela 4.12. Textura dos *snacks* extrudados obtidos segundo delineamento experimental.

Ensaio	Dureza (g)
1	621,74 ^h
2	2601,50 ^{bcd}
3	940,38 ^{gh}
4	895,02 ^h
5	1811,10 ^{ef}
6	4102,09 ^a
7	438,02 ⁱ
8	4144,59 ^a
9	3154,09 ^b
10	2788,45 ^{bcd}
11	2323,12 ^{def}
12	2828,84 ^{bcd}
13	759,01 ^h
14	3054,36 ^{bc}
15	1636,31 ^{fg}
16	1688,62 ^f
17	2433,45 ^{cde}
18	1765,92 ^{ef}

Médias na mesma coluna seguidas de letras idênticas não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

Pode-se observar, pelos valores da Tabela 4.12 que as amostras de maior dureza são as que tiveram alta quantidade de farinha de Yacon adicionada e alta umidade na farinha de alimentação (ensaios 6 e 8), enquanto as de menor dureza são as que possuem menores teores de umidade (ensaios 1 e 13). DING et al. (2005) também constataram que a umidade da farinha de alimentação exerce efeito significativo sobre a dureza de *snacks*. Estes autores observaram que aumentando-se o teor de umidade,

aumentou a dureza do *snack* à base de farinha de arroz. Isto pode estar relacionado à reduzida expansão causada pelo aumento no teor de umidade do produto (LIU et al., 2000). O mesmo foi observado neste estudo, *snacks* que apresentaram maiores índices de expansão foram os produzidos a partir de farinha com baixa umidade e com baixo teor de farinha de Yacon incorporado (ensaios 1 e 3), dentro da faixa de valores estudada. Já o *snack* de menor expansão corresponde ao do ensaio 6, por possuir alta umidade e alta concentração de farinha de Yacon, resultados estes que explicam a dureza em produtos pouco expandidos.

Para a variável dureza, não foi possível a obtenção de um modelo matemático embora houvesse a validação pelo teste F ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$). O valor do coeficiente de regressão (R^2) obtido foi muito baixo (0,54), mais uma vez indicando uma falta de ajuste adequada do modelo matemático.

4.3.2.6. Análise sensorial

A análise sensorial foi conduzida por um painel de 37 provadores e as médias para cada atributo avaliado estão apresentadas na Tabela 4.13.

Tabela 4.13. Valores médios atribuídos na análise sensorial dos *snacks* extrudados obtidos segundo o delineamento experimental.

Ensaio	Aparência	Sabor	Textura	Intenção de compra
1	5,27 ^{abc}	4,27 ^a	4,86 ^{ab}	2,97 ^{abc}
2	5,68 ^a	4,81 ^a	4,35 ^{abcde}	3,19 ^a
3	5,24 ^{abc}	4,51 ^a	4,95 ^a	3,13 ^{ab}
4	4,81 ^{abcd}	4,08 ^a	4,19 ^{abcde}	2,49 ^{abcd}
5	4,97 ^{abcd}	4,70 ^a	4,70 ^{abc}	3,11 ^{ab}
6	4,46 ^{bcd}	3,73 ^a	2,40 ^f	1,95 ^d
7	4,57 ^{bcd}	4,05 ^a	4,05 ^{abcde}	2,54 ^{abcd}
8	4,54 ^{bcd}	4,13 ^a	3,16 ^e	2,35 ^{cd}
9	5,49 ^{ab}	4,19 ^a	4,81 ^{abc}	2,67 ^{abcd}
10	4,32 ^{cd}	4,41 ^a	3,65 ^{bcde}	2,68 ^{abcd}
11	4,11 ^{dcd}	4,35 ^a	3,59 ^{cde}	2,49 ^{abcd}
12	4,46 ^{bcd}	4,19 ^a	2,59 ^f	2,24 ^{cd}
13	4,51 ^{bcd}	4,40 ^a	4,95 ^a	3,10 ^{ab}
14	4,16 ^d	3,84 ^a	3,43 ^{de}	2,35 ^{bcd}
15	5,08 ^{abcd}	4,35 ^a	4,35 ^{abcde}	2,84 ^{abc}
16	5,46 ^{ab}	4,57 ^a	4,73 ^{abc}	3,22 ^a
17	5,25 ^{abc}	4,65 ^a	4,49 ^{abcd}	3,02 ^{ab}
18	5,41 ^{ab}	4,65 ^a	4,65 ^{abcd}	3,03 ^{abc}

Médias na mesma coluna seguidas de letras idênticas não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

Da observação da tabela acima, constata-se que, com relação ao atributo aparência, as amostras melhor avaliadas foram, de um modo geral, as que possuíam baixos teores de farinha de Yacon incorporada (ensaios 1, 3 e 9), justamente as de maior índice de expansão. A amostra 2 obteve o maior valor atribuído, porém contém 25% de farinha de Yacon. Provavelmente, a combinação de baixa umidade e baixa temperatura favoreceu uma boa aparência à essa amostra. Para o atributo textura, novamente a mesma tendência do atributo aparência se repetiu, porém, de modo menos acentuado. Deve-se ressaltar que a amostra com a pior avaliação para este atributo foi a do ensaio 6, onde há a combinação de alta umidade da farinha de alimentação (22%) e alta concentração de farinha de Yacon (25%).

Para o atributo sabor, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas, e a aceitação das amostras, dada pela intenção de compra, mostra que as amostras 2 e 3 foram as de maior aceitação, sendo estas idênticas apenas com relação ao teor de umidade. A textura parece ser um atributo importante que guia a preferência do consumidor, uma vez que a amostra 6 (pior avaliação deste atributo) foi a de menor aceitação.

As superfícies de resposta foram geradas para os atributos textura e intenção de compra, uma vez que apenas estes dois apresentaram bons ajustes do modelo, considerando-se o valor de R^2 . As equações matemáticas para estes atributos, bem como seus respectivos coeficientes de regressão, são apresentados na Tabela 4.14.

Tabela 4.14. Modelos matemáticos para os atributos textura e intenção de compra.

Atributo sensorial	Modelo codificado	Nível de significância	R²	F_{calculado}	F_{tabelado}
Textura	$y = 0,22.x_1 + 0,24.x_1^2 - 0,14.x_2 - 0,17.x_2^2 - 0,50.x_3 + 0,03.x_3^2 - 0,06.x_1x_2 - 0,06.x_1x_3 + 0,06.x_2.x_3 + 5,86$	95% (p<0,05)	0,87	22,10	3,18
Intenção de compra	$y = 3,18.x_3 + 3,74.x_1x_2 + 27,75$	95% (p<0,05)	0,72	19,06	3,68

Nota-se, pela observação das Figuras 4.2a e 4.2b, que as amostras que tiveram as maiores notas de avaliação do atributo textura foram as que possuíam teores de umidade abaixo de 18%. A Figura 4.2b também mostra que as avaliações mais altas recaíram para amostras produzidas a partir de farinha de baixa umidade (18%).

Reduzindo-se o teor de farinha de Yacon no produto e situando-se a temperatura na faixa central (120°C) foram obtidas novamente as melhores avaliações para a textura dos *snacks* extrudados, como se vê na Figura 4.2c.

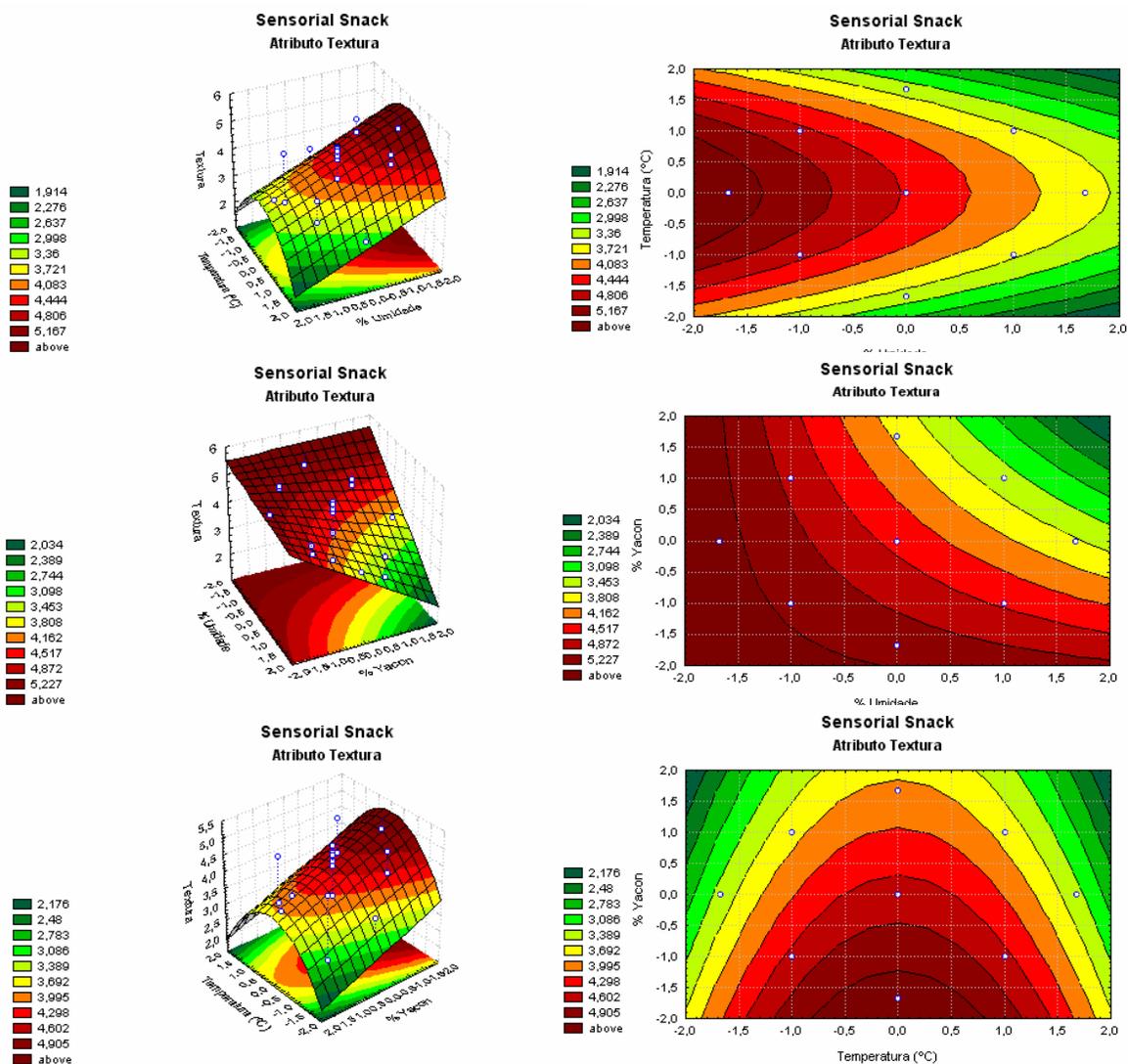


Figura 4.2. Superfícies de resposta para o atributo textura: (a) temperatura versus umidade; (b) teor de farinha de Yacon versus umidade e (c) teor de farinha de Yacon versus temperatura.

Com relação ao atributo intenção de compra, a Figura 4.3a mostra que as amostras de maior aceitação foram as processadas com um teor de umidade na faixa de 18%, enquanto que a temperatura se situou num intervalo ao redor de 120°C (ponto central). A Figura 4.3b mostra claramente a influência da umidade. As amostras de maior aceitação foram novamente as que possuíam teores mínimos desta variável (abaixo de 18%), e a Figura 4.3c evidencia que temperatura próxima a 120°C, resultou em *snacks* extrudados com maior aceitação. Para ambos os casos, verifica-se que a concentração de farinha de Yacon não influencia na intenção de compra, apesar de ter influenciado na textura.

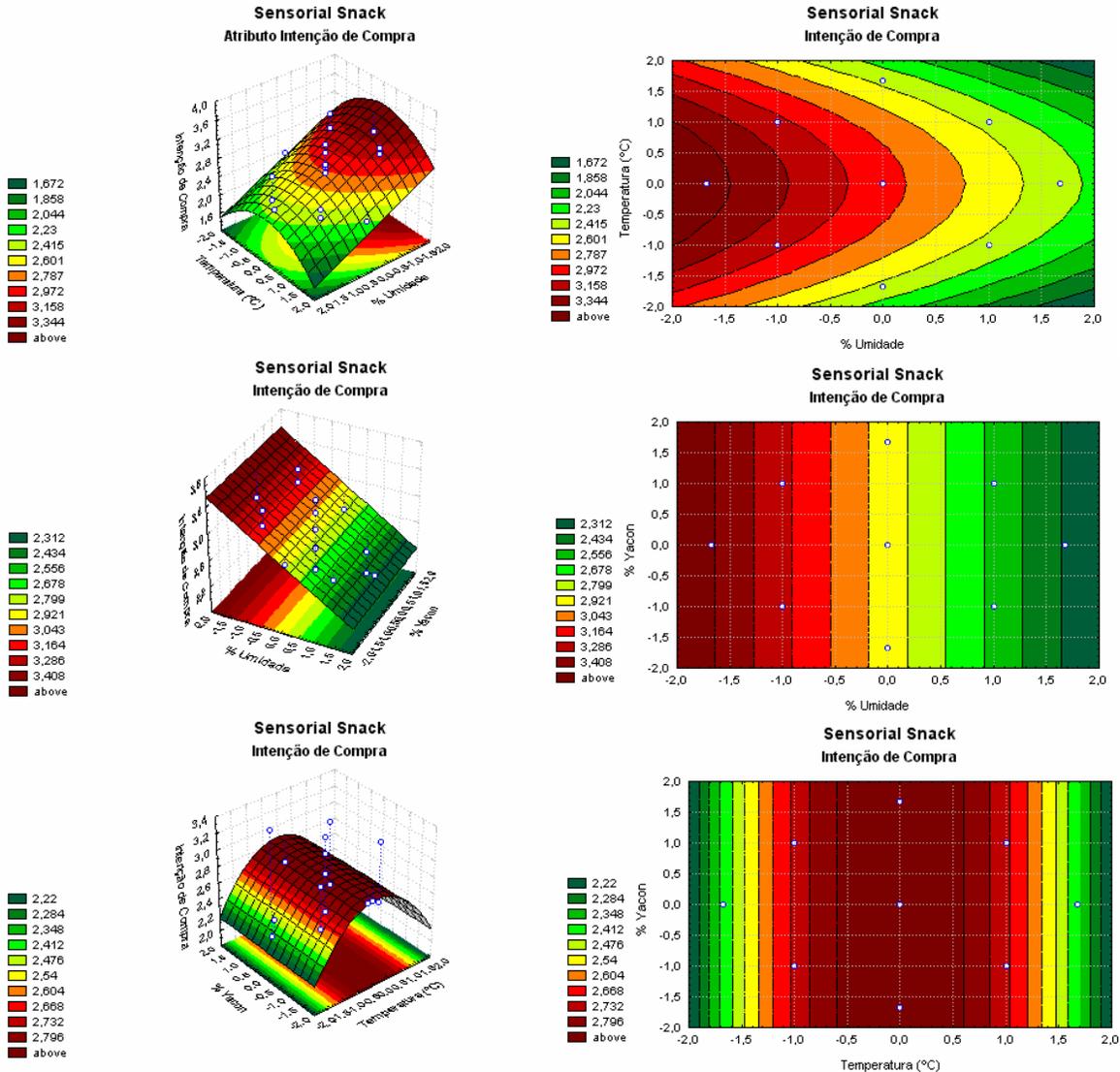


Figura 4.3. Superfícies de resposta para o atributo intenção de compra: (a) temperatura versus umidade; (b) teor de farinha de Yacon versus umidade e (c) teor de farinha de Yacon versus temperatura.

4.4. Conclusão

O processo de extrusão termoplástica permitiu a obtenção de *snacks* funcionais à base de farinha de arroz com incorporação de farinha obtida a partir de raízes de Yacon.

Os produtos apresentaram um índice de expansão satisfatório, tendo em vista que a farinha de Yacon influenciou de modo a diminuir esta propriedade. A utilização da metodologia de superfície de resposta permitiu definir que a faixa de umidade favorável à

expansão está abaixo de 18%, enquanto que a concentração de farinha de Yacon também deve se situar em níveis mínimos (inferior a 15%). A temperatura gerou melhores resultados para esta propriedade (IE superior a 2,70) quando se situou ao redor do ponto central (120°C).

Apesar de não terem sido obtidos modelos matemáticos válidos para o IAA e o ISA, foi possível notar que uma maior umidade da matéria-prima conduziu à obtenção de *snacks* com maior valor de IAA, enquanto que o aumento de temperatura gerou decréscimo deste índice. Em relação ao ISA, notou-se que este diminuiu com aumento da umidade e aumentou conforme ocorreu a elevação da temperatura.

Com relação à cor das amostras, obteve-se coloração mais saturada (tendendo ao amarelo) quando maior teor de farinha de Yacon foi incorporada. Em relação à luminosidade as amostras mais claras foram as que tiveram valores intermediários ou mínimos de farinha de Yacon incorporados e alta umidade da farinha de alimentação, e, para o parâmetro a^* , não há uma tendência definida com relação a qualquer uma das variáveis independentes.

A dureza dos *snacks* foi afetada diretamente pelo teor de umidade da matéria-prima. As amostras extrudadas com farinha de umidade mais elevada (22%) tenderam a ser mais duras. Isso se confirma e se correlaciona com os resultados de índice de expansão, sendo que estas mesmas amostras foram as que expandiram menos, justamente por apresentarem elevado teor de umidade. Para a variável dureza, não foi possível obtenção de superfície de resposta.

A análise sensorial vem a confirmar algumas observações efetuadas anteriormente. A avaliação do atributo textura mostra que os provadores consideraram melhores as amostras com umidade igual a 18% ou menos, teor de farinha de Yacon incorporada inferior a 20% e processadas com temperatura de 120°C. A aceitação (intenção de compra) também foi maior (avaliações superiores a 3,34) para os *snacks* de menor umidade (18% ou menos) e temperatura de 120°C. A concentração de farinha de Yacon não teve influência sobre este atributo.

Considerando-se as análises efetuadas, foi possível chegar a uma condição otimizada para o processo de extrusão estudado. O teor de umidade da matéria-prima deve ser de 18% ou menos, a quantidade de farinha de Yacon incorporada não deve ultrapassar o nível de 15%, e, por fim, a temperatura que gerou melhores resultados dentro da faixa estudada, foi a de 120°C.

Pelo presente trabalho, foi possível o desenvolvimento de um produto de conveniência (*snacks*) e adicionado de um caráter de funcionalidade fisiológica pela incorporação da farinha de Yacon. Os modelos matemáticos estatisticamente significativos ($p < 0,05$) apresentados foram capazes de descrever o comportamento dos parâmetros de processo, sendo possível direcionar este processo de modo a se obter produtos com características desejadas.

4.5. Referências bibliográficas

- A.A.C.C. – American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 9ª ed.. St. Paul: Approved Methods Committee, 1995. v. 1 e 2.
- A.O.A.C - Association Of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 16ª ed., Arlington, 1995.
- AHMED, Z. Physico-chemical, structural and sensory quality of corn based flax-snack. **Nahrung**, v.43, n.4, p. 253-258, 1999.
- ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V.F.; GRIFFIN JUNIOR, L. Gelatinization of corn grits by roll-and-extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, v. 14, n.1, p. 4-11, 1969.
- ASARE, E.K.; SEFA-DEDEH, S.; SAKYI-DAWSON, E.; AFOAKWA, E.O. Application of response surface methodology for studying the product characteristics of extruded rice-cowpea-groundnut blends. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 55, n.5, p. 431-439, 2004.
- AYBAR, M. J.; RIERA, A. N. S.; GRAU, A.; SÁNCHEZ, S. S.; Hypoglycemic effect of the water extract of *Smallantus sonchifolius* (Yacon) leaves in normal and diabetic rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 74, p. 125-132, 2001.
- BATISTUTI, J.P.; BARROS, R.M.; ARÉAS, J.A.G.; Optimization of extrusion cooking process for chickpea (*Cicer arietinum*, L.) defatted flour by response surface methodology. **Journal of Food Science**, v.56, p. 1695-1698, 1991.
- BOX, G. E. P.; DRAPER, N. R. **Empirical model-building and response surface**. New York, John Wiley & Sons. 1978. 669p.
- BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G; HUNTER, J.S. **Statistics for experiments. An introduction to designanalysis and model building**. New York, John Wiley & Sons. 1978.
- CHAVEZ-JÁUREGUI, R.N.; SILVA, M.E.M.P.; ARÉAS, J.A.G. Extrusion cooking process for Amaranth (*Amaranthus caudatus* L.). **J. Food engineering and Physical Properties**, v. 65, n.6, p. 1009-1015, 2000.
- CHUDA, Y.; SUZUKI, M.; NAGATA, T.; TSUSHIDA, T. Contents and cooking loss of three quinic acid derivatives from garland (*Chrysanthemum coronarium* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 1437-1439, 1998.
- DING, Q.B.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 283-289, 2005.

- HATCHER, D.W.; ANDERSON, M.J.; DESJARDINS, R.G.; EDWARDS, N.M.; DEXTER, J.E.; Effects of flour particle size and starch damage on processing and quality of white sated noodles. **Cereal Chemistry**, v.79, p.64-71, 2002.
- HENDERSON, S. M; PERRY, M. E. **Agricultural process engineering**. The AVI Publ. Com.; Chapter 6, 1976. Size reduction.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 2ª ed., São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, v.1, 1976.
- KADAN, R.S.; BRYANT, R.J.; PEPPERMAN, A.B. Functional properties of extruded rice flours. **Journal of Food Science**, v.68, n.5, 2003.
- KIRBY, A.R.; OLLET, A.L.; PARKER, R.; SMITH, A.C. An experimental study of screw configuration effects in the twin-screw extrusion-cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, v.8, p. 247-272, 1988.
- LIU, Y.; HSIEH, F.; HEYMANN, H.; HUFF, H.E. Effect of process conditions on the physical and sensory properties of extruded oat-corn puff. **Journal of Food Science**, v.65, p. 1253-1259, 2000.
- LUND, D.; Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v.20, n.4, p. 249-273, 1984.
- MACFIE, H. J.; BRATCHELL, N. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. **Journal of Sensory Studies**, v.4, p. 129-148, 1989.
- MARTINEZ-BUSTOS, F.; DELGADO, L.L.; VICTORIO, M.G.; Characterization of brown and milled yellow rice and development of an expanded snack. **Journal of Science Food and Agriculture**, v. 72, p. 148-154, 1996.
- MARUTA, Y.; KAWABATA, J.; NIKI, R. Antioxidative caffeoylquinic acid derivatives in the roots of burdock (*Arctium lappa* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 43, p. 2592-2595, 1995.
- MASON, W.R.; HOSENEY, R.C. Factors affecting the viscosity of extrusion-cooked wheat starch. **Cereal Chemistry**, v.63, p. 436-441, 1986.
- MATHEW, J.M.; HOSENEY, R.C.; FAUBION, J.M.; Effects of corn sample, mill type, and particle size on corn curl and pet food extrudates. **Cereal Chemistry**, v.76, p.621-624, 1999.
- MATSUO, R.R.; DEXTER, J.E.; Comparison of experimentally milled durum wheat of semolina produced by same Canadian commercial mills. **Cereal Chemistry**, v.57, p.117-122, 1980.
- MILNER, J.; Functional foods and nutraceuticals: the US perspective, 17th Ross Conference on Medical Issues. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.71, suppl. p.32-40, 2000.
- MOSCATTO, J.A.; BORSATO, D.; BONA, E.; OLIVEIRA, A.S.; HAULY, M.C.O.; The optimization of the formulation for a chocolate cake containing inulin and yacon meal. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, p. 181-188, 2006.
- NIETO, C.C.; Estudios agronómicos y bromatológicos en jicama (*Polymnia sonchifolia* Poep et Endl.). **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 41, n.2, p.213-221, 1991.
- OOMAH, B. D; MAZZA, G. Health benefits of phytochemicals from selected Canadian crops. **Trends in Food Science & Technology**, v.10, p. 193-198, 1999.
- ORMENESE, R.C.S.C.; CHANG, Y.K.; Macarrão de arroz: características de cozimento e textura em comparação com o macarrão convencional e aceitação pelo consumidor. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.6, p. 91-97, 2003.
- ÖZER, E.A.; IBANOGLU, S.; AINSWORTH, P. Expansion characteristics of a nutritious extruded snack food using response surface methodology. **European Food Research Technology**, v.218, p. 474-479, 2004.

- PEDRESCHI, R.; CAMPOS, D.; NORATTO, G.; CHIRINOS, R.; ZEVALLOS, L.C.; Andean Yacon root (*Smallantus sonchifolius* Poepp.) Endl) fructooligosaccharides as a potential novel source of prebiotics. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 5278-5284, 2003.
- REDDY, B.S.; Prevention of colon cancer by pre- and probiotics: evidence from laboratory studies. **British Journal of Nutrition**, v. 80, supl. 2, p. S219-S223, 1998.
- ROBERFROID, M. B.; Functional foods: concepts and application to inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, v.87, supl. 2, pS139-S143, 2002.
- SACCHETTI, G.; PINNAVAIA, G.G.; GUIDOLIN, E.; DALLA ROSA, M. Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour-based snack-like products. **Food Research International**, v.37, p. 527-534, 2004.
- SINGH, J.; SINGH, N.; SHARMA, T.R.; SAXENA, S.K; Physicochemical, rheological and cooking properties of corn and potato flours. **Food Chemistry**, v. 83, p. 387-393, 2003.
- TORRES-QUINTEROS, E.T. **Produção com tratamento enzimático e avaliação do suco de Yacon**. 2000. 148 p. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- VENTURA, F.; **Desenvolvimento de doce de fruta em massa funcional de valor calórico reduzido, pela combinação de goiaba vermelha e Yacon desidratados osmoticamente e acerola**. Campinas, 2004. 231p. Tese (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Conclusões

A utilização da farinha de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) como um ingrediente funcional em produtos panificados (bolo e biscoito) e extrudados (*snacks* de arroz) mostrou-se viável. Os fruto-oligossacarídeos (FOS), objeto central no desenvolvimento de um produto funcional, foram conservados no processamento do Yacon até a obtenção da farinha e permaneceram em concentrações satisfatórias, de modo a suprir a ingestão nutricional recomendada de acordo com padrões difundidos na literatura.

Com relação ao desenvolvimento de bolo inglês adicionado de farinha de Yacon e de linhaça, a análise das superfícies de resposta obtidas permite observar que a concentração de farinha de Yacon não apresentou nenhum efeito sobre a densidade da massa, enquanto que concentrações de linhaça nos níveis intermediários (3,45% de farinha de Yacon e 6,0% de farinha de linhaça) garantiram menor valor desta propriedade. As superfícies obtidas para os parâmetros de cor mostraram que bolos mais claros e com coloração tendendo ao amarelo foram justamente os que apresentaram menores concentrações das farinhas estudadas, e os bolos mais macios (de menor dureza) foram os que apresentaram teores de farinha de Yacon nas concentrações mais baixas (1,0%) e quantidade de farinha de linhaça no valor intermediário, dentro da faixa de valores estudada. A utilização de concentração de farinha de Yacon igual a 3,45%, e de linhaça igual a 6,0% é a melhor combinação, de modo a se garantir a obtenção de um bolo com características físicas adequadas e adicionado de funcionalidade.

Em se tratando do biscoito tipo “Champurrada”, as formulações que continham maiores teores de farinha de Yacon apresentaram menores valores de luminosidade (para este parâmetro, obteve-se o modelo matemático), tonalidade e saturação. A aveia não teve influência sobre os parâmetros de cor. Quanto à textura dos biscoitos, as amostras com teores de farinha Yacon inferiores a 5,90% foram as de menor dureza. Já, a análise sensorial, para a intenção de compra e aparência global, revelou que as amostras melhor avaliadas foram as que apresentaram concentração de farinha de Yacon igual a 3,45%, sendo que a concentração de aveia não mostrou efeito significativo. Uma formulação adequada para obtenção de um biscoito funcional seria portanto a utilização de 3,45% de farinha de Yacon e de 6,82% de aveia, dentro da faixa de valores considerada.

Os *snacks* de arroz apresentaram índice de expansão satisfatório. A utilização da metodologia de superfície de resposta permitiu conhecer que a umidade da farinha de

alimentação e teor de farinha de Yacon abaixo de 18% e 15%, respectivamente, e temperatura de processo ao redor de 120°C, propicia ram os maiores índices de expansão ($IE > 2,70$).

Observou-se, para o IAA e o ISA, que uma maior umidade da matéria-prima conduziu à obtenção de *snacks* com maior IAA, enquanto que o aumento de temperatura gerou decréscimo deste índice. Em relação ao ISA, notou-se que este diminuiu com aumento da umidade e aumentou conforme ocorreu a elevação da temperatura.

Os *snacks* de coloração mais saturada (tendendo ao amarelo) foram os que tiveram maior teor de farinha de Yacon incorporada. Em relação à luminosidade, as amostras mais claras foram as que tiveram valores inferiores a 20% de farinha de Yacon incorporados e alta umidade (22%). A dureza dos *snacks* foi afetada diretamente pelo teor de umidade da matéria-prima. As amostras extrudadas com farinha de umidade mais elevada tenderam a serem mais duras. Isso se correlaciona com o índice de expansão, uma vez que as amostras produzidas a partir de farinha com alta umidade foram as que se menos expandiram, contribuindo para o aumento de dureza.

A avaliação sensorial do atributo textura mostrou que os provadores consideraram melhores as amostras com umidade inferior a 18%, teor de farinha de Yacon incorporada inferior a 20% e processadas com temperatura de 120°C. A aceitação (intenção de compra) também foi maior para os *snacks* de menor umidade (18% ou menos) e temperatura de 120°C. A concentração de farinha de Yacon não teve influência sobre este atributo.

Considerando-se as análises efetuadas, foi possível chegar a uma condição otimizada para o processo de extrusão avaliado. O teor de umidade da matéria-prima deve ser de 18% ou menos, a quantidade de farinha de Yacon incorporada não deve ultrapassar o nível de 12%, e por fim, a temperatura que gerou melhores resultados dentro da faixa estudada, foi a de 120°C.

Os modelos matemáticos estatisticamente significativos ($p < 0,05$) apresentados neste presente trabalho foram capazes de descrever o comportamento dos parâmetros de processo, sendo possível a escolha adequada de seus valores para a obtenção de produtos com características desejadas, mantendo um caráter de funcionalidade. Deve-se ater aos níveis de farinha de Yacon incorporados, uma vez que em excesso, esta farinha pode comprometer cor, textura e especificamente a expansão de produtos extrudados.