

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**FARINHA DE FOLHAS E AMIDO DE MANDIOCA COMO
MATÉRIAS-PRIMAS PARA MISTURAS E MASSA ALIMENTÍCIA
EXTRUSADAS**

FERNANDA ROSSI MORETTI TROMBINI

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

Setembro – 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**FARINHA DE FOLHAS E AMIDO DE MANDIOCA COMO
MATÉRIAS-PRIMAS PARA MISTURAS E MASSA ALIMENTÍCIA
EXTRUSADAS**

FERNANDA ROSSI MORETTI TROMBINI

Orientadora: Profa. Dra. Magali Leonel

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP

Setembro – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

T849f Trombini, Fernanda Rossi Moretti, 1978-
Farinha de folhas e amido de mandioca como matérias-primas para misturas e massa alimentícia extrusadas / Fernanda Rossi Moretti Trombini. - Botucatu : [s.n.], 2013
iv, 94 f. : il. color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013
Orientador: Magali Leonel
Inclui bibliografia

1. Farinha de mandioca. 2. Mandioca - Análise foliar. 3. Proteínas na nutrição humana. 4. Fibras na nutrição humana. 5. Viscosidade I. Leonel, Magali. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu) Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

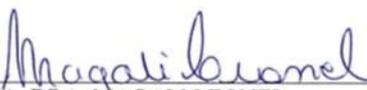
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "FARINHA DE FOLHAS E AMIDO DE MANDIOCA COMO MATÉRIAS-PRIMAS PARA MISTURAS E MASSA ALIMENTÍCIA EXTRUSADAS"

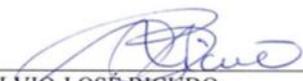
ALUNA: FERNANDA ROSSI MORETTI TROMBINI

ORIENTADORA: PROFA. DRA. MAGALI LEONEL

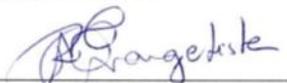
Aprovado pela Comissão Examinadora



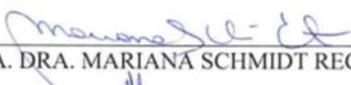
PROFA. DRA. MAGALI LEONEL



PROF. DR. SILVIO JOSÉ BICUDO



PROFA. DRA. REGINA MARTA EVANGELISTA



PROFA. DRA. MARIANA SCHMIDT RECHSTEINER



PROFA. DRA. SILENE BRUDER SILVEIRA SARMENTO

Data da Realização: 03 de setembro de 2013.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me conduziu durante esse curso nos momentos de dificuldades e permitiu que esse trabalho fosse realizado.

Ao meu esposo agradeço e dedico, pelo amor, compreensão, paciência e apoio por mais uma etapa vencida em minha carreira profissional.

À minha mãe agradeço e dedico em especial, pelo seu amor, apoio e credibilidade incondicional em todos os momentos.

À minha irmã pelo carinho e apoio nos momentos difíceis, ao cunhado pelo incentivo desse título e, meu sobrinho que trouxe luz e alegria para nossa família.

À minha orientadora Profa. Dra. Magali Leonel, que sempre esteve presente com sua dedicação e compromisso contribuindo para o meu crescimento profissional.

À Profa. Martha Maria Mischan pela análise estatística dos dados.

À banca examinadora, pela contribuição nesse projeto.

Aos técnicos do Laboratório de Análise do CERAT, Luiz Henrique e Juliana, os quais me deram suporte técnico no decorrer desse trabalho.

Aos secretários do CERAT, Alessandra Luiza e Danilo, pela atenção e prestatividade.

Aos funcionários da biblioteca da FCA, pelo auxílio, atenção e amizade, durante a elaboração desse trabalho.

Ao CNPq pela concessão de bolsa de Doutorado.

Deus, o fiel guarda dos homens

Elevo os olhos para os montes: de onde virá meu socorro?

O meu socorro vem do Senhor, que fez o céu e a terra.

Ele não permitirá que os teus pés vacilem, não dormitará aquele que te guarda. É certo que não dormita, nem dorme o guarda de Israel.

O Senhor é quem te guarda, o Senhor é tua sombra à tua direita.

De dia não te molestará o sol, nem de noite a lua.

O Senhor te guardará de todo o mal; guardará a tua alma.

O Senhor guardará a tua saída e a tua entrada, desde agora e para sempre.

*“Sonhe com aquilo que você quiser, seja o que você quer ser,
porque você possui uma vida,
e nela só se tem uma chance.
de fazer aquilo que quer.
Tenha felicidade bastante para fazê-la doce,
dificuldades para fazê-la forte,
tristeza para fazê-la humana,
E esperança suficiente para fazê-la feliz”.*

Clarice Lispector

SUMÁRIO

| | Página |
|--|---------------|
| LISTA DE TABELAS..... | III |
| LISTA DE FIGURAS..... | IV |
| RESUMO..... | 01 |
| SUMMARY..... | 03 |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 05 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 08 |
| 2.1 Matérias-primas..... | 08 |
| 2.1.1 Amido de mandioca..... | 08 |
| 2.2 Folhas de mandioca..... | 11 |
| 2.2.1 Toxicidade das folhas de mandioca..... | 13 |
| 2.3 Extrusão termoplástica..... | 14 |
| 2.4 Massas alimentícias..... | 20 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 24 |
| 3.1 EXPERIMENTO I..... | 24 |
| 3.1.1 Preparação da farinha de folhas de mandioca..... | 24 |
| 3.1.2 Análises das matérias-primas..... | 25 |
| 3.1.2.1 Umidade..... | 25 |
| 3.1.2.2 Proteína bruta..... | 26 |
| 3.1.2.3 Matéria graxa..... | 26 |
| 3.1.2.4 Cinzas..... | 26 |
| 3.1.2.5 Fibras..... | 26 |
| 3.1.2.6 Carboidratos totais..... | 26 |
| 3.1.2.7 Cianeto total..... | 26 |
| 3.1.2.8 Análise de β -caroteno..... | 29 |
| 3.1.2.9 Análise de vitamina C..... | 29 |
| 3.1.2.10 pH..... | 29 |
| 3.1.2.11 Acidez titulável..... | 29 |
| 3.1.2.12 Análise de cor..... | 30 |
| 3.1.2.13 Índice de absorção em água (IAA)..... | 30 |
| 3.1.2.14 Índice de solubilidade em água (ISA)..... | 31 |
| 3.1.2.15 Propriedade de pasta..... | 31 |
| 3.2 EXPERIMENTO II..... | 31 |
| 3.2.1 Preparo das misturas..... | 32 |
| 3.2.1.1 Análise das misturas..... | 32 |
| 3.2.1.2 Condicionamento das misturas..... | 32 |
| 3.2.2 Processo de extrusão..... | 33 |
| 3.2.3 Análise das misturas extrusadas..... | 34 |
| 3.2.4 Análise dos dados..... | 35 |
| 3.3 EXPERIMENTO III..... | 35 |
| 3.3.1 Preparo das misturas..... | 35 |

| | | |
|---------|---|----|
| 3.3.2 | Processo de extrusão..... | 36 |
| 3.3.3 | Análises das massas alimentícias secas..... | 36 |
| 3.3.3.1 | Determinação de volume..... | 36 |
| 3.3.3.2 | Determinação de volume específico..... | 37 |
| 3.3.3.3 | Determinação da densidade ou peso específico..... | 37 |
| 3.3.4 | Análises das massas instantâneas após o cozimento..... | 37 |
| 3.3.4.1 | Determinação de aumento de volume..... | 37 |
| 3.3.4.2 | Determinação de rendimento..... | 38 |
| 3.3.4.3 | Determinação de perda de sólidos solúveis..... | 38 |
| 3.3.5 | Análise dos dados..... | 38 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 39 |
| 4.1 | EXPERIMENTO I..... | 39 |
| 4.1.1 | Caracterização das matérias-primas..... | 39 |
| 4.2 | EXPERIMENTO II..... | 45 |
| 4.2.1 | Análises das misturas antes da extrusão..... | 45 |
| 4.2.1.1 | Cor..... | 45 |
| 4.2.1.2 | Índice de absorção e solubilidade em água das misturas..... | 46 |
| 4.2.1.3 | Propriedades de pasta das misturas..... | 47 |
| 4.2.2 | Análises das misturas extrusadas..... | 49 |
| 4.2.3 | Cor das misturas extrusadas..... | 49 |
| 4.2.4 | Índice de absorção e solubilidade em água em misturas extrusadas..... | 55 |
| 4.2.5 | Propriedades de pasta das misturas extrusadas..... | 59 |
| 4.3 | EXPERIMENTO II..... | 66 |
| 4.3.1 | Aspecto visual das massas alimentícias extrusadas..... | 66 |
| 4.3.2 | Caracterização das massas secas..... | 68 |
| 4.4 | Análises das massas extrusadas após o processo de cocção..... | 70 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 76 |
| 6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 78 |

LISTA DE TABELAS**Página**

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Parâmetros variáveis do processo de extrusão..... | 32 |
| Tabela 2. Misturas utilizadas para o processo de obtenção das massas alimentícias... | 36 |
| Tabela 3. Média e desvio padrão das análises de caracterização do amido e farinha de folhas de mandioca..... | 40 |
| Tabela 4. Resultados das análises de cor, índice de absorção e solubilidade em água das misturas cruas..... | 46 |
| Tabela 5. Propriedades de pasta das misturas antes do processo de extrusão..... | 48 |
| Tabela 6. Coeficientes de regressão dos modelos ajustados para a cor das misturas extrusadas..... | 51 |
| Tabela 7. Coeficientes de regressão dos modelos ajustados para o índice de absorção e solubilidade em água..... | 57 |
| Tabela 8. Coeficientes de regressão dos modelos ajustados para as propriedades de pasta das misturas extrusadas..... | 61 |
| Tabela 9. Coeficientes de regressão dos modelos ajustados para as massas secas..... | 69 |
| Tabela 10. Coeficientes de regressão dos modelos ajustados para as análises das massas extrusadas após o processo de cocção..... | 71 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|---|---------------|
| Figura 1. Mercado consumidor de amido de mandioca em 2009..... | 09 |
| Figura 2. Processo de liberação do cianeto por enzimas autóctones..... | 13 |
| Figura 3. Esquema básico de uma extrusora mono-roasca..... | 15 |
| Figura 4. Etapas de processamento das folhas de mandioca até a obtenção da farinha | 25 |
| Figura 5. Perfil de viscosidade analisado em RVA da farinha de folhas de mandioca. | 44 |
| Figura 6. Perfil de viscosidade analisado em RVA do amido de mandioca..... | 45 |
| Figura 7. Efeito das condições de extrusão sobre o a^* das misturas extrusadas..... | 53 |
| Figura 8. Efeito das condições de extrusão sobre o b^* das misturas extrusadas..... | 54 |
| Figura 9. Efeitos das condições de extrusão sobre o índice de absorção de água das misturas extrusadas..... | 58 |
| Figura 10. Efeito da rotação da rosca sobre o índice de solubilidade das misturas extrusadas..... | 59 |
| Figura 11. Efeitos das condições de extrusão sobre a viscosidade inicial das misturas extrusadas..... | 62 |
| Figura 12. Efeitos da rotação da rosca e da temperatura de extrusão sobre o pico de viscosidade das misturas extrusadas..... | 63 |
| Figura 13. Efeitos da umidade e da rotação da rosca sobre a quebra de viscosidade das misturas extrusadas..... | 64 |
| Figura 14. Efeito da rotação da rosca e da temperatura de extrusão sobre a viscosidade final das misturas extrusadas..... | 65 |
| Figura 15. Aspecto visual das massas alimentícias extrusadas obtidas nas diferentes condições experimentais..... | 67 |
| Figura 16. Efeito da temperatura de extrusão e percentagem de farinha de folhas sobre o volume específico das massas secas..... | 70 |
| Figura 17. Efeito da temperatura de extrusão e percentagem da farinha de folhas sobre a densidade de massas secas..... | 70 |
| Figura 18. Efeito da rotação da rosca e da temperatura de extrusão sobre o aumento de volume das massas cozidas..... | 73 |
| Figura 19. Efeito da rotação da rosca e da temperatura de extrusão sobre o rendimento das massas cozidas..... | 74 |

RESUMO

As folhas de mandioca constituem boa fonte de nutrientes o que possibilita sua aplicação como ingrediente para as indústrias alimentícias. Apesar dos elevados teores de proteína, fibras, minerais e vitaminas, as folhas de mandioca contêm cianeto, substância tóxica que impede o seu consumo na forma *in natura*. No Brasil, as folhas de mandioca têm sido pouco exploradas para fins alimentícios, principalmente pela falta de conhecimento de seus aspectos nutricionais e da viabilidade econômica de sua exploração comercial. No processamento das folhas de mandioca para a obtenção da farinha, produto com ampla potencialidade de utilização como insumo para as indústrias alimentícias, é necessário observar não somente a redução do teor de cianeto, mas também, os aspectos nutricionais e reológicos desta. A extrusão termoplástica vem sendo explorada nos últimos anos no desenvolvimento de diversos produtos alimentícios. O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a utilização das folhas de mandioca visando sua possível valorização, como matéria-prima para produtos alimentícios extrusados. O experimento foi conduzido em 3 fases complementares, de acordo com os seguintes objetivos específicos: Experimento I: produzir e caracterizar a farinha de folhas de mandioca quanto à composição química e propriedades de pasta. Experimento II: avaliar

os efeitos de parâmetros de extrusão e porcentagem de farinha de folhas de mandioca sobre as propriedades físicas, reológicas e térmicas de farinhas instantâneas. Experimento III: avaliar os efeitos dos parâmetros variáveis do processo de extrusão e composição da matéria-prima sobre a qualidade de massas alimentícias instantâneas. O processo de extrusão dos Experimentos II e III foi realizado em extrusor mono-rosca, em delineamento central composto rotacional para quatro fatores: porcentagem de farinha de folhas em mistura com o amido de mandioca; umidade das misturas, temperatura de extrusão e rotação da rosca. Os resultados obtidos na caracterização da farinha de folhas de mandioca mostraram a presença de 23,00 g.100g⁻¹ de proteínas, 30,68 g.100g⁻¹ de fibras, 10,23 g.100g⁻¹ de minerais, 56,6 mg.100g⁻¹ de vitamina C, 38,00 mg.100g⁻¹ de β -caroteno e 0,30 mg.100g⁻¹ de cianeto total. Nas análises das misturas extrusadas de fécula e farinha de folhas de mandioca os resultados obtidos mostraram efeitos significativos dos parâmetros de extrusão para as variáveis analisadas. As misturas extrusadas apresentaram características desejadas para aplicações em produtos instantâneos. As massas alimentícias cozidas foram consideradas de boa qualidade quando comparadas às massas tradicionais a base de trigo. A farinha de folhas de mandioca representa boa fonte nutricional, baixo teores de cianeto, o que permite sua aplicação juntamente como o amido na elaboração de farinhas e massas alimentícias instantâneas.

Palavras-chave: proteínas, fibras, mandioca, folhas, viscosidade, extrusão, celíacos.

FLOUR AND STARCH FLOUR LEAVES AS RAW MATERIALS FOR MIXTURES AND PASTA EXTRUDED. Botucatu, 2013. 94 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FERNANDA ROSSI MORETTI TROMBINI

Adviser: MAGALI LEONEL

SUMMARY

Cassava leaves are good source of nutrients which enables its application as an ingredient for the food. Despite high levels of protein, fiber, minerals and vitamins, cassava leaves contain cyanide, a toxic substance that prevents their consumption in natura. In Brazil, cassava leaves have yet been little exploited for food, especially the lack of knowledge of their nutritional value and also the economic viability of commercial exploitation. Processing of cassava leaves to obtain the flour, a product with broad potential for use as raw material for the food, it is necessary to observe not only the reduction of cyanide content, but also the nutritional and rheological aspects of this. The thermoplastic extrusion has been explored in recent years in the development of

various food products. Aiming at the enhancement of cassava leaves as raw material for food products, this study was conducted in three complementary experiments which had the following objectives: to produce and characterize cassava leaves flour for chemical composition and total cyanide content (Experiment I); evaluate the effects of extrusion parameters, as well as, the percentage of cassava leaves flour on the physical, rheological and thermal properties of instant flour (Experiment II); evaluate the effects of extrusion process variables and the composition of the raw material on the quality of instant pasta (Experiment III). The extrusion process of the Experiments II and III was performed in single-screw extruder in central composite design for four factors: percentage of cassava leaves flour mixed with cassava starch, moisture of mixtures, extrusion temperature and screw speed. The results obtained in the characterization of cassava leaves flour showed the presence of 23.00 g.100g⁻¹ protein, 30.68 g.100g⁻¹ fiber, 10.23 g.100g⁻¹ ash, 56.6 mg.100g⁻¹ vitamin C, 38.00 mg.100g⁻¹ β-caroten and 0.30 mg.100g⁻¹ total cyanide. In the analysis of instantaneous mixtures of starch and cassava leaves flour the results showed significant effects of extrusion parameters for the analyzed variables. The extruded mixture had the desired characteristics for application as instant products. The cooked pasta was considered as the good quality when compared to the traditional pasta based on wheat. The cassava leaves flour is good source of nutrition and can be used together cassava starch in the preparation of instant flour and pasta.

Keywords: protein, fiber, cassava leaves, viscosity, extrusion, celiacs.

1 INTRODUÇÃO

As diferentes partes constituintes dos vegetais que não fazem parte do consumo habitual são desprezadas por falta de conhecimento das composições nutricionais. O descarte de folhas e talos, entretanto, representa muitas vezes o desperdício de proteínas, fibras e vitaminas, que poderiam ser utilizadas por meio de uma culinária sofisticada ou como ingrediente de produtos caseiros e/ou industrializados.

No Brasil, em algumas regiões como o Norte e Nordeste podem ser encontrados pratos típicos como a maniçoba, que utilizam como ingrediente as folhas de mandioca trituradas e fervidas com água por vários dias, para redução do teor de cianeto, substância tóxica que impede o consumo *in natura* das folhas (CÂMARA; MADRUGA, 2001).

A folha de mandioca quando desidratada e triturada constitui uma farinha com consideráveis teores de proteínas, vitaminas, minerais e fibras (WOBETO et al., 2006) como algumas hortaliças folhosas convencionais, podendo ser utilizada para enriquecer preparações como sopas, bolos, massas e farinhas instantâneas (VIZEU et al., 2005 apud HELBIG et al., 2008).

A elaboração de produtos que contenham a farinha de folhas de mandioca como ingrediente pode ser feita através de aplicações tecnológicas inovadoras, rápidas e versáteis, como é o caso da extrusão termoplástica, que oferece produtos diferenciados, prontos para o consumo ou de rápido preparo.

Farinhas e amidos pré-gelatinizados podem ser usados para obter espessamento ou retenção de água sem emprego do calor, por exemplo, em pudins, misturas lácteas instantâneas e alimentos para desjejum; para preparar misturas prontas panificáveis, onde o aumento da absorção e retenção de água melhora a qualidade do produto (CLERICI; EL-DASH, 2008).

A pré-gelatinização de farinhas pode ser obtida em escala industrial por utilização de atomizadores, secagem em rolos e por extrusão. O processo de extrusão apresenta-se como um dos mais vantajosos para substituir o processo convencional na produção de farinhas pré-gelatinizadas, porque apresenta controle mais rigoroso do grau de gelatinização, onde pequenas modificações no equipamento e/ou na matéria-prima podem levar a diferentes resultados finais na qualidade do produto (EL-DASH, 1982; CLERICI; EL-DASH, 2008).

Por meio desse processo, alguns pesquisadores também têm obtido massas alimentícias instantâneas (NABESHIMA et al., 2003, BORGES et al., 2003) Além das características de redução de tempo no preparo, outro aspecto relevante é o uso de ingredientes não convencionais que sejam isentos do glúten. No entanto, essa substituição exige estudos adicionais quanto à qualidade final do produto, envolvendo tratamentos especiais da matéria-prima e o uso de aditivos adequados.

A questão da intolerância ao glúten conduz a novas pesquisas no que diz respeito à elaboração e aquisição de alimentos livres dessas proteínas. Alguns trabalhos têm demonstrado a possibilidade de substituição da farinha de trigo, que é a matéria-prima mais empregada na panificação, por alimentos que contenham na sua formulação outras matérias-primas, como por exemplo, o desenvolvimento de macarrão de farinha de arroz (ORMENESE, 2002; NABESHIMA, 2007), macarrão extrusado de farinha de quinoa e arroz (BORGES et al., 2003), *cookies* sem glúten elaborados com a farinha de sorgo (FERREIRA et al., 2009), *muffins* à base de misturas de farinhas de arroz, milho e mandioca (SHAMME et al., 2010), bolo de cenoura sem glúten (2012) e, pão de cachorro quente com misturas de farinha de arroz, amido de batata e amido de mandioca (MAGNAN, 2012).

No Brasil estima-se que existem 300 mil portadores da doença celíaca, causada pela intolerância à proteína presente nos derivados de trigo, centeio, cevada e aveia (SERENO, 2004). A doença celíaca é uma intolerância permanente ao glúten, caracterizada por atrofia total ou subtotal da mucosa do intestino delgado proximal e conseqüente má absorção de nutrientes, fluídos e eletrólitos, em indivíduos geneticamente susceptíveis (SAPORITI; SAPORITI, 2011).

Os portadores dessa doença necessitam de uma dieta rigorosa por toda a vida, o que restringe muito o poder de escolha desses consumidores excluindo de sua alimentação produtos comuns como macarrão, pães, bolos, bolachas, cervejas, entre outros. O glúten não é transformado quando os alimentos são assados ou cozidos, por isso, os produtos que contêm essa proteína devem ser substituídos por outras opções como a farinha de arroz, amido de milho, farinha de milho, fubá, farinha de mandioca, polvilho doce, polvilho azedo e amido de batata (CESAR, et al., 2006).

O amido de mandioca e a farinha de folhas de mandioca podem se tornar matérias-primas de alta qualidade na fabricação de macarrão instantâneo extrusado e farinhas instantâneas sem glúten, sendo o amido de mandioca um substituto potencial do trigo, enquanto que, as folhas dessa tuberosa adicionariam valores nutricionais ao produto.

Com base nos aspectos abordados, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar a utilização das folhas de mandioca visando sua possível valorização, como matéria-prima para produtos alimentícios extrusados. O experimento foi conduzido em 3 fases complementares, de acordo com os seguintes objetivos específicos: Experimento I: produzir e caracterizar a farinha de folhas de mandioca quanto à sua composição química, física e reológica. Experimento II: avaliar os efeitos dos parâmetros de extrusão e porcentagens de farinha de folhas de mandioca sobre as propriedades físicas, reológicas e térmicas de misturas extrusadas. Experimento III: avaliar os efeitos dos parâmetros do processo de extrusão sobre os parâmetros físicos e tecnológicos das massas alimentícias.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Matérias-primas

2.1.1 Amido de mandioca

De acordo com a legislação brasileira, amidos são os produtos amiláceos extraídos de partes comestíveis de cereais, tubérculos, raízes ou rizomas (BRASIL, 2005).

Segundo os dados da Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca (ABAM, 2013), o amido de mandioca é um produto de mercado mundial crescente, sendo que, a produção brasileira em 2009 foi de 584 mil toneladas. Dentre os Estados produtores de amido, o Paraná tem se destacado representando 71 % da produção de amido (413 mil toneladas), seguido pelo Mato Grosso do Sul com 14 % (82 mil toneladas), São Paulo com 13 % (76 mil toneladas), Santa Catarina 1 % (7 mil toneladas) e Goiás 1 % (5 mil toneladas). Além disso, o Brasil exportou no mesmo ano, aproximadamente 10 milhões de kg de amido de mandioca não modificado. A

importância e a preferência de aplicação se devem as características, físicas, químicas e funcionais do grânulo de amido de mandioca (Figura 1).

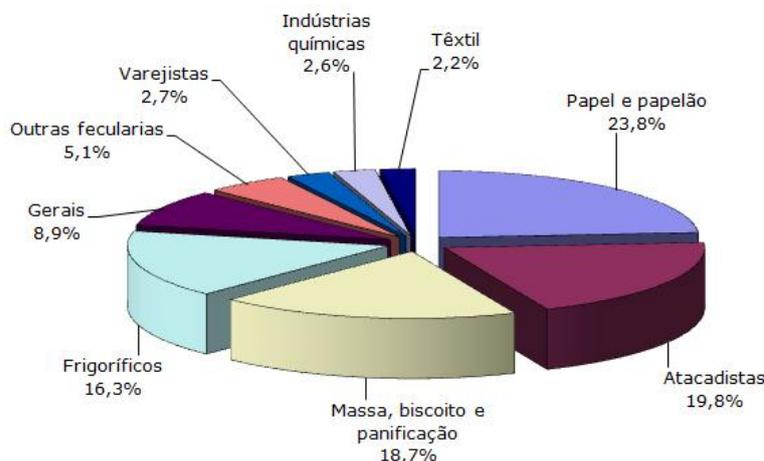


Figura 1- Mercado consumidor de amido de mandioca em 2009.

Fonte: CEPEA/ABAM (2010).

Segundo Saito (2005) a extração do amido é essencialmente um processo físico de separação onde as raízes são lavadas e descascadas, sendo a seguir trituradas em pequenos pedaços, os quais são moídos para que as paredes das células vegetais possam liberar o amido. Nessa operação são utilizadas cevadeiras que reduzem a polpa com granulometria entre 550 a 350 μm e, deste modo, a massa é bombeada para peneiras rotativas chamadas GLs que retiram o amido liberado, lixiviando com água através de telas com malhas de 100 μm . O leite de amido é lavado novamente com água e separado em centrífugas, que o disponibiliza para concentração e secagem final em secadores tipo *Flash dryer*.

Os grânulos de amido apresentam diferentes formas e tamanhos conforme a fonte botânica, sendo compostos basicamente por duas macromoléculas, amilose e amilopectina, que se apresentam em proporções relativamente constantes de 20:80 (BULÉON et al., 1998). Características relacionadas à estrutura dos grânulos de amidos tais como teor de amilose (polímero de glicose em ligação α -1,4, cadeia linear, solúvel) e amilopectina (com polímero de glicose em ligação α -1,4 e α -1,6 o que torna sua cadeia ramificada, insolúvel), distribuição de comprimento de cadeias ramificadas da amilopectina (FRANCO et al., 2002b), teores de monoesterfosfato, fosfolipídeos e lipídeos, entre outros, afetam profundamente as propriedades funcionais de amidos. A

capacidade de gelatinização dos amidos depende da proporção de amilopectina presente no mesmo. Quanto maior a quantidade de amilopectina, maior a capacidade de formação de gel na presença de água ou vapor.

Grânulos de amido são insolúveis em água fria, mas quando aquecidos, ocorre um inchamento irreversível dos grânulos, produzindo uma pasta viscosa (WHISTLER; BEMILLER, 1997). Este fenômeno é conhecido como gelatinização do amido e depende de vários fatores como a fonte do amido, concentração deste e temperatura durante o aquecimento (MORIKAWA; NISHINARI, 2000). No caso do grânulo de amido de mandioca, a temperatura de gelatinização ocorre em torno de 60 °C (HOOVER, 2001).

A gelatinização é definida como o colapso, ruptura da ordem molecular dentro do grânulo de amido, manifestada em mudanças irreversíveis nas propriedades, tais como: aumento de tamanho granular, fusão de cristais, perda da birrefringência e solubilização do amido (THOMAS; ATWELL, 1999). Ocorre acima de uma determinada temperatura, com grânulos maiores gelificando primeiro e os menores, depois.

O estudo do comportamento térmico de amidos, incluindo temperaturas de gelatinização, retrogradação, temperatura de transição vítrea e cristalização foram nos últimos vinte anos muito estudados utilizando-se o Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC) (YU; CHRISTIE, 2001), o qual mede a quebra de ligações (principalmente ligações de hidrogênio que estabilizam as duplas hélices) dentro dos grânulos de amido quando eles são aquecidos em água e quantificando a temperatura e energia envolvida (entalpia) na transição de um grânulo semicristalino para um gel amorfo.

Alterações nas propriedades tecnológicas dos amidos podem ser obtidas por processos físicos e químicos, utilizando tratamento térmico, radiações e processos enzimáticos. As razões que levam à modificação são: alterar as características de cozimento; diminuir a retrogradação e a tendência das pastas em formarem géis; aumentar a estabilidade das pastas ao resfriamento e descongelamento, a transparência das pastas ou géis, adesividade; textura das pastas ou géis, formação de filmes; adicionar grupamentos hidrofóbicos e introduzir poder emulsificante (BEMILLER, 1997).

2.2 Folhas de mandioca

A produção brasileira de mandioca em 2012 foi de 24,3 milhões de toneladas com um rendimento médio de 13,3 t/ha em uma área de 1,8 milhões de hectares. O Brasil é o segundo maior produtor mundial perdendo somente para a Nigéria com uma produção de 52 milhões de toneladas (FAO, 2013; IBGE, 2013).

Durante a colheita das raízes são deixados no campo a parte aérea da mandioca. Ela é composta de hastes e folhas (limbo e pecíolo). A porcentagem desse constituinte é em função do crescimento vegetativo, época do ano, variedade, correspondendo aproximadamente a 50 % do peso da planta colhida aos 18 meses. A produção de raízes pode atingir 30 toneladas/hectares e da parte aérea 25 toneladas/hectares de massa fresca (ALMEIDA, et al., 1990).

As folhas de mandioca podem ser consideradas subprodutos da industrialização das raízes ou mesmo produto da cultura, visto que, em alguns países da África (Zaire, Camarão, Guiné, Serra Leoa, Tanzânia e Gabão) as folhas de mandioca constituem uma parte significativa da dieta. Em vários locais são muito utilizadas na preparação de pratos regionais brasileiros, como a maniçoba, mais conhecida como feijoada Paraense (GIDAMIS et al., 1993).

A importância desse subproduto da mandioca está relacionada com os componentes nutricionais, os quais ainda são poucos explorados para elaboração ou incorporação em produtos alimentícios para consumo humano.

O conteúdo protéico nas folhas e na parte superior da planta (folhas e talos) é significativamente mais alto que o conteúdo protéico do caule (maniva), mesmo quando considerada a parte superior mais tenra e verde (CHAVES, 1987).

As folhas de mandioca são ricas em proteínas, vitaminas, minerais e fibras. Os teores elevados de proteínas das folhas de mandioca têm sido observados em vários trabalhos, com uma faixa variando de 20,77 a 37,94 g 100.g⁻¹ de matéria seca (ORTEGA-FLORES et al. 2003; WOBETO et al. 2006; CORRÊA et al. 2004; MELO, 2005). Esse teor de proteínas pode ser comparado ao de hortaliças convencionais, como a couve (30,84 g 100.g⁻¹ massa seca) (FONSECA et al., 2002).

Sagrilo et al. (2003), trabalhando com folhas de cinco cultivares de mandioca, secas a 45 °C, observaram um decréscimo do teor de proteínas com a idade das plantas, ao determinar esse teor entre 12 e 21 meses.

A deficiência dos aminoácidos sulfurados nas folhas de mandioca tem sido relatada (RAVINDRAN; RAVINDRAN, 1988), porém, Ortega-Flores et al. (2003) mostraram que as folhas de mandioca não são deficientes em nenhum dos aminoácidos essenciais, sendo também relatado por estes autores, altos teores de lisina, o que possibilita, que as folhas atuem como suplementos para a obtenção de uma melhor qualidade protéica em dietas (CARVALHO; KATO, 1987).

As proteínas desempenham várias funções nos processos biológicos atuando, principalmente, na formação e renovação de tecidos; por isso, sua deficiência pode causar sérios danos à saúde, especialmente em crianças. Do ponto de vista nutricional, embora as proteínas foliares não se equiparem as proteínas animais, são melhores do que a maioria das proteínas de sementes, cereais e leguminosas. Gomez e Noma (1986) demonstraram que as proteínas das folhas apresentam balanço de aminoácidos adequados com referência ao padrão da FAO.

Os teores de extrato etéreo e cinzas das folhas de mandioca variam entre cultivares. São encontrados, na literatura, teores na faixa de 3,30 a 16,00 g \cdot 100⁻¹ de extrato etéreo de massa seca (MELO, 2005; ORTEGA-FLORES et al. 2003) e uma variação de 4,62 a 8,30 g de cinzas 100.g⁻¹ massa seca (MADRUGA; CÂMARA, 2000; MELO, 2005; ORTEGA-FLORES et al. 2003; WOBETO, 2003).

Os minerais desempenham importantes funções nos organismos vivos, como o equilíbrio de íons nos líquidos extracelulares, eletrólitos que participam do controle osmótico do metabolismo, catalizadores de certos sistemas enzimáticos e alguns ainda se encontram na dependência de vários sistemas (FRANCO, 2000).

As folhas de mandioca são ricas em minerais, especialmente teores de magnésio, variando de 0,16 a 0,35 g 100.g⁻¹ massa seca e de ferro com variação de 105,77 a 225,60 mg kg⁻¹ massa seca. Já o manganês apresenta teores de 50,30 a 333,69 mg kg⁻¹ matéria seca e o zinco de 4,05 a 91,89 mg kg⁻¹ massa seca (MELO, 2005; WOBETO, 2003).

Foram relatados, em folhas de mandioca, teores de vitamina C de 43,64 a 257,64 mg 100.g⁻¹ massa seca e de β -caroteno de 14,09 a 137,38 mg 100.g⁻¹ massa seca, portanto, elas são consideradas fontes dessas vitaminas (CORRÊA et al., 2004; MELO, 2005; WOBETO et al., 2006). Os carotenóides, além de sua função corante, tem funções e ações biológicas com a atividade pró-vitáminica A (NASCIMENTO, 2006).

As folhas de mandioca apresentam um elevado teor de fibras, 26,50 a 35,40 g 100.g⁻¹ massa seca (CORRÊA et al., 2004; MELO, 2005). O alto teor de fibras na farinha de folhas de mandioca torna sua digestibilidade baixa. Em ensaio biológico com ratos realizado por Vilas-Bôas (1979) empregando dietas contendo a parte aérea de mandioca como fonte de fibras, nas proporções de 5, 10 e 15 % foi concluído que ratos alimentados com as dietas contendo fibras apresentaram crescimento menor e diminuição da eficiência alimentar em relação ao grupo controle. Houve também diminuição da digestibilidade protéica *in vivo*, sendo inversamente proporcional aos níveis de fibras da dieta.

2.2.1.1 Toxicidade das folhas de mandioca

O uso potencial das folhas de mandioca na sua forma *in natura* sofre restrições devido à presença de substâncias tóxicas, como o cianeto. As folhas de mandioca apresentam elevado teor de linamarina, um β-glicosídeo cianogênico e tóxico, juntamente com pequena quantidade de seu derivado metilado a lotaustralina (CARVALHO, 1987; LANCASTER; BROOKS, 1983). Estes glicosídeos são capazes de gerar ácido cianídrico após hidrólise enzimática, levada a efeito pela enzima linamarinase autóctone ou exógena. Entretanto, o glicosídeo da mandioca é termolábil e solúvel em água.

Quando o tecido é dilacerado, a linamarina é hidrolisada enzimaticamente por β-glicosidase (linamarase), a qual é separada do glicosídeo no tecido intacto, por ser localizada em lugar distinto da célula (WHITE et al., 1998). A clivagem produz glicose e α-hidroxinitrilas. Esta última, quando catalisada por uma hidroxinitrila liase, transforma-se espontaneamente em HCN (ácido cianídrico) e nas cetonas correspondentes. Esse processo é chamado de cianogênese e é apresentado na Figura 2.

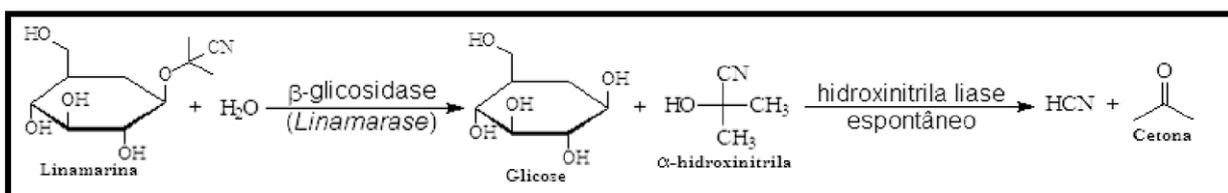


Figura 2. Processo de liberação do cianeto por enzimas autóctones.

Fonte: Cagnon et al., (2002).

Algumas pesquisas realizadas com folha de mandioca constataram que a melhor forma de seu manuseio, com vistas a obter uma redução do teor de ácido cianídrico, é a técnica de amassar e rasgar as folhas antes de colocá-las para o processo de secagem. Foi observado que o processo de secagem das folhas de mandioca foi eficiente para promover a redução dos teores de ácido cianídrico entre 70 a 75 % (CÂMARA; MADRUGA, 2001). Segundo os pesquisadores, essa medida promove o contato da enzima linamarase (presente na própria folha, mas em compartimentos separados) com os glicosídeos cianogênicos, linamarina e lotaustralina, decompondo-os a cianohidrininas até ácido cianídrico. Por se tratar de um gás, o ácido cianídrico presente na folha facilmente se dissipa no ar ocorrendo, assim, uma expressiva saída dessa substância tóxica da folha de mandioca que recebeu esse tratamento prévio (CORRÊA et al., 2002).

Ravindran e Ravindran (1988) encontraram um teor de 780 mg 100 g^{-1} massa seca em folhas maduras de mandioca quando secas inicialmente ao sol, e em seguida, colocadas à temperatura de 60 °C em estufa por 24 horas. Todavia, vários autores conseguiram uma redução do cianeto das folhas de mandioca mais eficiente com o processo de secagem à sombra (CORRÊA et al. 2002; MADRUGA; CÂMARA, 2000). Wobeto (2003) encontrou um percentual de perdas de cianeto que variou de 62,09 % a 80,16 %, em folhas de mandioca secas à sombra, para várias cultivares.

2.3 Extrusão termoplástica

A extrusão termoplástica tem sido cada vez mais utilizada para a elaboração dos mais diversos tipos de produtos devido a sua versatilidade e flexibilidade. O custo do equipamento é consideravelmente alto, porém a alta produtividade permite que o investimento seja recuperado em um curto espaço de tempo (EMBRAPA, 2011).

A extrusão é um método de processamento que combina várias unidades operacionais responsáveis pelo cozimento, homogeneização, texturização, esterilização, expansão e modelagem do alimento. A operação sob alta temperatura, pressão e esmagamento com alto teor de umidade é o que distingue o cozimento por extrusão de outros processos alternativos oferecendo condições para reações entre os nutrientes dos alimentos originais (O'CONNOR, 1987).

No processo de extrusão a matéria-prima previamente hidratada é colocada no funil de alimentação de uma extrusora e transportada ao longo do canhão em

uma mesma direção e sentido. Ao longo desse caminho, o material é trabalhado pela rosca e é também exposto a temperaturas, com a variação da configuração do equipamento e parâmetros operacionais em acordo com os produtos desejados (FELLOWS, 2000; RIAZ, 2002). A Figura 3 exemplifica um modelo de extrusor mono-rosca com a passagem da matéria-prima.

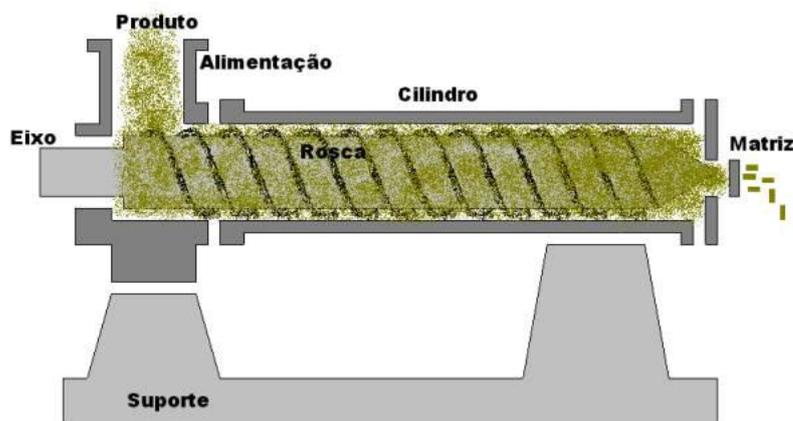


Figura 3- Esquema básico de uma extrusora mono-rosca.

Fonte: Carreiro et al., (2008).

O processo de extrusão tem muitas vantagens tais como: uma grande variedade de produtos produzidos com uma capacidade de produção maior que outros sistemas de cozimento, menor espaço por unidade de produção, formas diversificadas de produtos, (STANLEY, 1986; GUY, 2001), versatilidade, custos baixos, produtos de boa qualidade e ausência de efluentes. Além disso, a alta temperatura e o curto tempo do processo minimizam a degradação dos nutrientes ao mesmo tempo em que destrói microrganismos.

Uma série de mudanças ocorre na matéria-prima durante o processo de extrusão, como: hidratação de amidos e proteínas, homogeneização, gelatinização do amido, desnaturação protéica, destruição de fatores antinutricionais e redução da carga microbiana (FELLOWS, 2006; VERNAZA; CHANG; STEEL 2009).

Entre as características do produto extrudado encontram-se o conteúdo de umidade final (que afeta a vida de prateleira e estabilidade), expansão (que afeta volume, tamanho e forma), solubilidade (influenciada pela aderência e coesão), absorção (de água, leite, gordura), cor (claridade), sabor (forte, suave, rançoso) (HUBER, 1991), densidade (razão da massa pelo volume), textura (sensação na boca, estrutura da

célula, e a combinação de propriedades como fraturabilidade, dureza, coesividade, adesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade) (HARPER, 1981).

Segundo Gutkoski (2000) dentre as aplicações da extrusão em alimentos, pode-se citar a produção de cereais matinais e expandidos, farinhas e amido pré-gelatinizados, produtos texturizados, produtos de confeitaria, bebidas, alimentos ricos em fibras. O processo pode também promover a inativação de fatores antinutricionais e enzimáticos. Além disso, a brevidade do tratamento térmico reduz o dano a nutrientes termo-sensíveis como certos aminoácidos e vitaminas (HARPER, 1979).

A utilização de extrusores de alta temperatura e alta pressão seria benéfica na indústria de massas pela simplificação das etapas de produção (amassamento, pré-cozimento e moldagem) numa operação unitária. Muitas etapas do processo (misturar, amassar, dispersar, plasticizar, gelatinizar, texturizar, dissolver, cozinhar, derreter, torrar, caramelizar, esterilizar, secar, cristalizar, reagir e dar forma) podem ser combinadas através da escolha adequada dos parâmetros e desenho do extrusor para produção de massas alimentícias instantâneas (YEH; SHIAU, 1999).

As características do produto extrusado são dependentes da composição química, propriedades reológicas, estado físico da matéria-prima, bem como, do tipo de extrusor e condições de operação.

Os componentes dos alimentos são muito importantes para a qualidade tecnológica dos produtos extrusados. As proteínas são importantes para a elasticidade, retenção de gás e estrutura celular, adesividade, extensibilidade, absorção de água, ligação e mesmo expansão. Os amidos são importantes principalmente para adesão, coesão e expansão. Os lipídios são críticos para densidade volumétrica e expansão. A fibra é usada para controle da densidade e da textura em adição ao seu especial valor funcional (SHUKLA, 1998).

O amido é o principal ingrediente empregado no processo de extrusão. Os grânulos de amido são gelatinizados e/ou retrogradados e tem grande efeito na qualidade, especialmente, na textura. As variáveis independentes do processo e a composição química do amido utilizado favorecem a gelatinização e fusão, por ação do calor e umidade. Sob condições de excesso da água, as pontes de hidrogênio nas regiões amorfas do grânulo, menos ordenadas, são rompidas permitindo que a água se associe com grupos hidroxila livres. A água leva ao intumescimento e a aberturas adicionais da estrutura do grânulo. O colapso final do grânulo é notado pela liberação dos conteúdos

gelatinizados dentro do meio de cozimento. A viscosidade do meio aumenta rapidamente até que a maioria dos grânulos esteja desmanchada, resultando em um produto opaco (CAMIRE et al., 1990).

Segundo Thomas et al. (1998) o vapor é o principal fator que contribui com as alterações do amido, caracterizada pela gelatinização. Quanto maior a pressão de vapor, maior será o grau de gelatinização do amido. Outro fator importante é a velocidade da rosca da extrusora, pois quanto menor a velocidade e maior o tempo de permanência da mistura no canhão, melhor será a absorção de água e maior o grau de gelatinização.

Essas características do amido após a extrusão refletem diretamente no índice de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA) do produto extrusado. Segundo Carvalho (2000), estes índices podem ser explicados pelas interações amido-água sendo características importantes na avaliação da adequabilidade do uso de produtos amiláceos extrusados em suspensões ou em soluções. Assim, as alterações do amido no extrusor dependem dos parâmetros do processo tais como velocidade e configuração do parafuso, temperatura, taxa do material, configuração da matriz e das proporções de amilose/amilopectina, teor de umidade, granulometria e tipo de grânulos.

A amilose é a fração do amido que se representa mais viscosa, é solúvel em água e facilita a formação de géis em função da sua estrutura devido a sua forma helicoidal. A amilopectina se apresenta menos solúvel, e não contribui para a formação de géis (ARAÚJO, et al. 2007).

Os índices de absorção (IAA) e solubilidade em água (ISA) podem ser usados para estimar a conveniência de se usarem ou não produtos extrusados de amido em suspensões ou soluções (CARVALHO, 2000). Dessa forma, o ISA está relacionado à quantidade de sólidos solúveis em uma amostra seca permitindo verificar o grau de severidade do tratamento, em função da degradação, gelatinização, dextrinização e conseqüentemente, solubilização do amido (CARVALHO, et al. 2002).

Trombini e Leonel (2013) avaliaram diferentes parâmetros do processo de extrusão em produtos a base de amido, farelo de mandioca e farinha de soja e concluíram que os parâmetros com efeitos significativos nas análises de IAA e ISA foram a temperatura e as porcentagens de farelo de mandioca e farinha de soja. O IAA diminuiu com o aumento de farinha de soja e diminuição da temperatura de extrusão. Já, o ISA

diminuiu nas condições centrais do delineamento experimental para temperatura de extrusão (75 °C) e porcentagem de farelo de mandioca (20 %).

As proteínas exercem efeito significativo na qualidade tecnológica do produto extrusado, pois durante o processo de extrusão ocorrem mudanças, como a desnaturação, associação, ruptura das associações pelo calor e cisalhamento, para formar uma solução concentrada ou fase fundida; possível formação de algumas ligações covalentes a altas temperaturas, formação de ligações não-covalentes e pontes dissulfeto sobre resfriamento e, transição de regiões amorfas para o estado vítreo se o conteúdo de umidade for suficientemente baixo. Entretanto, há melhora na digestibilidade protéica devido à desnaturação que é a principal modificação físico-química, e a diminuição da disponibilidade de lisina devido a reações de Maillard (CHEFTEL, 1986; MITCHELL e AREAS, 1992).

A cor é um dos atributos mais importantes de produtos alimentícios, desde a sua indicação no grau do cozimento, a aparência e a diminuição do frescor dos alimentos, bem como, a concentração de corantes. A cor tem sido avaliada pelo tempo de permanência da matéria-prima no extrusor (APRUZZESE, et al., 2003) e no escurecimento não-enzimáticos durante o cozimento, (BATES et al., 1998; ILO; BERGHOFER, 1999); mecanismos de reação (AMES, 1998); e modelo no controle de processos (IWE et al., 2000).

Stanley (1989) observou que a reação de Maillard pode ocorrer durante a extrusão da proteína se houver quantidade de açúcar redutor suficiente e condições de processamento. O aumento do calor e a redução da atividade da água aumentam a taxa de formação de complexos estruturais de moléculas com alto peso molecular. Isso pode ocorrer como resultado da interação com os produtos da reação de Maillard, acreditando ser este um dos fatores de perda do valor nutricional da proteína (perda de 40 % de lisina).

A não ligação das moléculas de proteína entre si, durante a desnaturação, resulta na maior susceptibilidade da digestão por enzimas proteolíticas, inativação dos inibidores de proteases, tripsina e outros compostos protéicos melhorando em 5 % a digestibilidade total da proteína extrusada (CAMIRE, 1991). De acordo com o mesmo autor, a intensidade da desnaturação da proteína é estimada pela medida de mudanças na solubilidade do nitrogênio. Por exemplo, condições de baixa temperatura do canhão (menor que 80 °C), baixa velocidade da rosca e baixo teor de umidade aumentam

a desnaturação da proteína, quando se compara às condições de alta temperatura, umidade e velocidade da rosca. Menor velocidade da rosca provoca aumento da permanência da mistura no canhão e em combinação com o baixo teor de água do alimento ou no canhão pode aumentar o prejuízo térmico.

As alterações do conteúdo, composição e efeito biológico das fibras atribuídas ao processo de extrusão podem ser devidas a alteração do amido formando uma fração resistente à ação da enzima, a degradação macromolecular de polissacarídeos ou de seus complexos com outros polímeros, que podem mudar a solubilidade da fibra e a degradação de fragmentos de baixo peso molecular, diminuindo o conteúdo de fibra dietética (ASP; BJÖRCK, 1989).

Com o processo de extrusão, os lipídios também podem ser alterados, como resultado da oxidação, hidrogenação, isomerização ou polimerização. Com o aumento da temperatura e em condições de baixo teor de umidade, há uma diminuição na disponibilidade dos lipídios (HO; IZZO, 1992).

O teor de vitaminas dos alimentos é bastante variado, dependendo, no caso de vegetais, da espécie, do estágio de maturação na época da colheita, de variações genéticas, do manuseio pós-colheita, das condições de estocagem, do processamento e do tipo de preparação. As vitaminas são compostos bastante sensíveis podendo ser degradadas por vários fatores, como temperatura, presença de oxigênio, luz, umidade, pH, duração do tratamento a que foi submetido o alimento, entre outros (CORREIA et al., 2008).

Na extrusão estão envolvidos vários processos termomecânicos e termoquímicos, incluindo além do cisalhamento, reações de *Maillard*, desnaturação de proteínas e hidrólise, que produzem modificações físicas, químicas e nutricionais nos constituintes alimentares. Dependendo de sua estrutura química, as vitaminas apresentam estabilidade diferente frente à extrusão. De acordo com Athar et al. (2006) diferenças na composição dos produtos extrusados podem influenciar a retenção de vitaminas nos mesmos, já que a energia mecânica específica utilizada no processo será alterada.

A tiamina é uma vitamina sensível a altas temperaturas, sendo utilizada como indicador em pesquisas que avaliam a intensidade do efeito térmico no processo de extrusão. Ilo e Berghofer (1998) avaliaram as perdas de tiamina em flocos de milho de baixa umidade, extrusados entre 140 a 200 °C, e observaram perdas que variaram de 67 a 100 %.

2.4 Massas alimentícias

De acordo com a Resolução – RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2013) massas alimentícias são os produtos obtidos da farinha de trigo (*Triticum aestivum* L. e ou de outras espécies do gênero *Triticum*) e ou derivados de trigo durum (*Triticum durum* L.) e ou derivados de outros cereais, leguminosas, raízes e ou tubérculos, resultantes do processo de empasto e amassamento mecânico, sem fermentação.

O consumo de macarrão no Brasil em 2012 foi de 6,1 kg/habitantes/ano. Esse mesmo setor, no mesmo ano obteve um faturamento acima de 5,6 milhões de reais, com uma produção mundial de 1,3 milhões de toneladas/ano. O Brasil ocupa o terceiro lugar na produção mundial de macarrão, atrás somente da Itália e dos Estados Unidos. Dessa forma, o Brasil mostra um grande potencial competitivo para esse tipo de mercado (ABIMA, 2013).

De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias o consumo de massas frescas subiu 84 % entre 2008 e 2012, enquanto o de instantâneas teve aumento de 46 % no mesmo período. Dentre os compradores de massas tradicionais, 91 % consomem massas instantâneas e 30 % também compram massa fresca. Em 2012, o total do mercado de massas alimentícias em volume foi composto por 16 % de participação das massas instantâneas, 3 % de massas frescas e 81 % das massas tradicionais (ABIMA, 2013).

Atualmente existe uma grande demanda por massas alimentícias instantâneas (GASQUEZ, 2006). Isto ocorre devido à conveniência inerente ao produto, como o tempo de cozimento reduzido ou desnecessário, além de serem de fácil e rápido preparo ou prontas para o consumo, através da hidratação a frio ou a quente, e da possibilidade de serem acondicionados em embalagens próprias para a hidratação, facilitando ainda mais o seu preparo. Além disso, pode-se destacar o valor nutricional, a difusão de tecnologia, a possibilidade de serem enriquecidas e a diversidade de formatos, tamanhos e sabores (CUBADDA, 1994).

De acordo com a Legislação Brasileira da ANVISA (BRASIL, 2013) macarrão instantâneo ou massa alimentícia instantânea tem a mesma definição de massa alimentícia ou macarrão, mas se diferencia no seu modo de preparo, na qual o

produto é reidratado a frio ou a quente e o tempo de cozimento é reduzido ou desnecessário.

De acordo com a Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2013), o processo de instantaneizar deve envolver etapas adicionais de pré-cozimento e desidratação por fritura ou outros meios. O emprego da secagem por fritura requer que o produto final possua teor máximo de umidade de 10 %. No caso de secagem por ar quente ou outros meios (exceto por fritura), requer teor de umidade inferior a 14,5 %.

Várias técnicas de produção de massas instantâneas estão sendo estudadas. O processo de instantaneização pode ocorrer através do processo de fritura (KOHLWEY et al., 1995) ou da exposição da massa em água fervente (DUTKOSKY, 1996), do vapor (KOHLWEY et al., 1995) ou de extrusores termoplásticos (BORGES et al., 2003; NABESHIMA et al., 2003). Outros pesquisadores também relatam o uso de energia de microondas antes da desidratação ou fritura (PAGANI, 1986; PAPOTTO; ZORN, 1986; QUAGLIA, 1988).

O processo de extrusão vem sendo utilizado para a obtenção de massas alimentícias sem glúten. Silva (2007) produziu macarrões pré-cozidos à base de farinha de arroz integral e farinha de milho por extrusão e os resultados descritos evidenciam a possibilidade do desenvolvimento de massas com boas qualidades de cozimento e textura e com aspectos sensoriais satisfatórios.

Matérias-primas alternativas estão sendo estudadas visando sua aplicação em massas sem glúten (MESTRES et al., 1993; KIM; WIESENBORN, 1996; CAPERUTO, 1999; ORMENESE, 2002; BORGES et al., 2003; NABESHIMA et al., 2003; SHMIELE et al., 2013). No entanto, essa substituição exige estudos adicionais quanto à qualidade final do produto, envolvendo tratamentos especiais na matéria-prima (gelatinização) e uso de aditivos adequados (FUGMANN; BUENO, 1985).

O glúten, presente nos cereais de trigo, centeio, cevada e aveia, deve ser substituído pelo milho, arroz, batata e mandioca, sendo considerados alimentos permitidos os grãos, óleos e azeites, leguminosas, hortaliças, frutas, ovos, carnes e leite, lembrando sempre que a dieta deverá atender às necessidades nutricionais de acordo com a idade do indivíduo (MORAIS; SDEPANIAN; FAGUNDES NETO, 2001; PETER; BEYER, 2005).

Segundo Pagani (1986), é possível obter uma massa sem glúten de boa qualidade se forem acrescentadas à formulação, substâncias protéicas capazes de formar uma rede durante o cozimento e mesmo durante o processo.

A legislação brasileira (BRASIL, 2007), permite a adição de aromatizantes, corantes, estabilizantes, conservadores, realçadores de sabor, antioxidantes, reguladores de acidez e emulsificantes nas massas, desde que sejam respeitadas as quantidades estabelecidas.

Um dos aditivos geralmente usados nas massas alimentícias são os emulsificantes. De natureza lipídica, são compostos que apresentam extremidades hidrofílicas e hidrofóbicas na mesma molécula, permitindo que eles atuem como lubrificantes no processo de extrusão, resultando em diminuição do desgaste do equipamento e facilitando, portanto, a produção (RYU; WALKER, 1993). Geralmente a parte hidrofóbica ou lipofílica da molécula é representada por um ácido graxo, enquanto que a parte hidrofílica é formada, por exemplo, por glicerol, possivelmente esterificado com ácido acético, láctico, tartárico ou cítrico (DANISCO, 2003).

Alguns emulsificantes também garantem uma consistência mais firme ao produto, diminuindo a pegajosidade e melhorando as propriedades de retenção do amido durante o cozimento. A formação dos complexos emulsificante-amilose resulta em alteração do transporte de água para o interior do grânulo de amido. Se esses complexos são formados na superfície do grânulo, origina-se um filme insolúvel, que retardaria a gelatinização do amido durante o cozimento (LAI, 2001).

Mercier et al. (1980), verificaram que a formação do complexo amilose-lipídio diminuiu a susceptibilidade de amidos em relação a enzima α -amilase. Hoover e Hadziyev (1981) afirmaram que o complexo formado entre amilose e monoglicérides previne a lixiviação das moléculas de amilose durante a gelatinização. Portanto, tende a diminuir a perda de sólidos na água de cozimento de pastas.

A utilização de amido de mandioca na confecção de macarrões tem se mostrado, através de experimentos, muito vantajosa no que diz respeito ao aspecto do produto, diminuição do tempo de cocção, e outros. Segundo dados a Associação Brasileira dos Produtos Brasileiro de Mandioca (ABAM, 2013) a substituição da farinha de trigo pelo amido se dá na faixa de 25 % a 50 %, resultando em maiores rendimentos industriais, em razão do amido reter mais água, e, por isso, manter seu peso, depois de seco, melhor que o produto tradicional. A massa feita com amido apresenta coloração

mais clara, com aspecto mais próximo ao dos macarrões caseiros. O macarrão com 50 % de amido é mais adequado para sopas, pois apresenta certa pegajosidade quando cozido, enquanto que com 25 % não apresenta grandes diferenças em relação ao padrão (ABAM, 2013).

Outra vantagem pode ser ressaltada, pois o amido apresenta a característica de digestão muito fácil em relação ao macarrão tradicional. As massas com amido são indicadas para pessoas idosas e crianças. A adição de amido permite também diminuir o tempo de cozimento, propriedade apreciada na produção de macarrões instantâneos (ABAM, 2013).

Matérias-primas de uso não convencional e que não possuem o glúten na sua composição, não estão envolvidos somente, como as características tecnológicas de massas, e alimentos em geral, mas com os consumidores portadores da doença celíaca.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 EXPERIMENTO I

Neste experimento foi produzida a farinha de folhas de mandioca e caracterizada juntamente com o amido, quanto à composição química, física e funcional.

O amido de mandioca utilizado como matéria-prima nos experimentos II e III foi fornecido pela Halotek-Fadel S/A, empresa localizada na cidade de Palmital – SP.

3.1.1 Preparação da farinha de folhas de mandioca

As folhas de mandioca (*Manihot esculent* Crantz) da variedade IAC-13, cultivada na região de Santa Maria da Serra – SP, foram coletadas após 12 meses do plantio, no período da manhã, higienizadas com hipoclorito de sódio a 1 %, lavadas e distribuídas sobre lona em galpão coberto por 7 dias, sendo revolvidas duas vezes ao dia para evitar degradação. Decorrido este período, as folhas com os pecíolos foram levadas para estufa de circulação de ar a 40 °C permanecendo por 24 horas para completar a

secagem. Foram moídas em moinho de facas para obtenção da farinha de folhas (Figura 4).



Figura 4- Etapas de processamento das folhas de mandioca até a obtenção da farinha.

3.1.2 Análises das matérias primas

3.1.2.1 Umidade

O teor de umidade foi determinado em triplicata de acordo com o método 44-15A (AACC, 2003).

3.1.2.2 Proteína bruta

A proteína bruta foi determinada em triplicata de acordo com o método 46-10 (AACC, 2003).

3.1.2.3 Matéria graxa

A matéria graxa foi determinada em triplicata de acordo com o método 31.1.14 (AACC, 2003).

3.1.2.4 Cinzas

As cinzas totais foram determinadas em triplicata de acordo com o método 08-17 (AACC, 2003).

3.1.2.5 Fibras

A fibra bruta foi determinada em triplicata de acordo com o método 32-10 (AACC, 2003).

3.1.2.6 Carboidratos totais

Os carboidratos totais foram calculados por diferença (100 g menos as gramas totais de umidade, cinzas, proteína, fibras e matéria graxa).

3.1.2.7 Cianeto total

Preparo do extrato para cianeto

Foram pesados cerca de 5 g de farinha de folhas de mandioca, colocados em frascos de vidro, homogeneizados com um Mixer. Adicionado cerca de 50 a 70 mL da solução extratora para cianeto. A amostra foi triturada por 1 minuto em um béquer,

deixada em repouso por 1 minuto e novamente triturado por 1 minuto. Filtrada sob vácuo, usando um filtro de papel qualitativo com micro fibra de vidro. O volume final do filtrado foi medido em uma proveta. A amostra filtrada foi pesado e calculado a diferença entre o volume final e inicial (ESSERS, 1993).

Determinação do teor de cianeto total

Para cada tubo de ensaio foi pipetado 0,4 mL da solução tampão fosfato de pH = 7,0. Em seguida, pipetado 0,1 mL do extrato. Acrescentou-se 0,1 mL da enzima Linamarase e deixado durante 15 minutos a 30 °C. Em seguida foi acrescentado 0,6 mL da solução de NaOH a 0,2 M. Após 5 minutos em repouso, foram adicionados 2,8 mL de solução tampão fosfato de pH = 6,0 e 0,1mL de solução de cloramina T a 2 %, agitado e deixado em um banho de água com gelo durante 5 minutos. Acrescentou-se 0,6 mL do reagente cromogênico, agitado e deixado em repouso durante 10 minutos (no máximo 30 minutos). Efetuada a leitura da absorbância em espectrofotômetro com comprimento de onda de 605 nm, zerando o aparelho com a prova em branco.

$$\text{p.p.m. de cianeto total} = \frac{\% A \cdot K \cdot V}{0,1 \cdot m}$$

Onde:

% A = absorbância medida no espectrofotômetro a 605 nm;

K = constante da curva padrão de cianeto;

V = volume para o qual a amostra foi diluída com solução extratora;

m = massa da amostra em gramas;

Curva padrão

Em béquer de 100 mL foi pesado 0,326 g de KCN (seco por 1 a 2 horas em estufa entre 104 a 106 °C e resfriado em dessecador por no mínimo 20 minutos. Dissolvido cerca de 70 mL de solução de NaOH 0,2 M com ajuda de um bastão de vidro. Transferido para balão volumétrico de 1000 mL, lavando as paredes do béquer com água

destilada ou deionizada, com a ajuda de piceta, bastão e funil de vidro. A solução foi completada para 1 litro com NaOH 0,2 M e homogeneizada (sendo esta, a solução estoque). Pipetar 2 mL da solução estoque e transferi-la para balão volumétrico de 100 mL. Completado o volume com a solução de ácido orto-fosfórico a 0,1 M e homogeneizado. Dessa diluição, pipetado 0,1 mL para um tubo de ensaio. Este volume corresponde a 0,2708 μg HCN. Pipetar 3 mL da solução estoque para balão volumétrico de 100 mL. Completado o volume com a solução de ácido orto-fosfórico a 0,1 M. Dessa diluição, pipetou-se 0,1 mL em tubo de ensaio o que corresponde a 0,4062 μg HCN. Pipetado 5 mL da solução estoque para balão volumétrico de 100 mL. Completou-se o volume com a solução ácido orto-fosfórico a 0,1 M, correspondente a 0,6770 μg . Pipetado 7 mL da solução estoque para balão volumétrico de 100 mL. Completado o volume com a solução ácido orto-fosfórico a 0,1 M correspondente a 0,6770 μg . Dessa diluição pipetado 0,1 mL o que corresponde 0,9479 μg de HCN. Pipetado 10 mL da solução estoque para balão volumétrico de 100 mL. Completado o volume com a solução ácido orto-fosfórico a 0,1M o que corresponde a 1,3541 μg de HCN. Em cada tubo de ensaio identificado, para onde foi pipetado 0,1 ml de cada solução padrão de KCN, acrescentou-se 0,5 mL de solução de ácido orto-fosfórico a 0,1 M. Adicionou-se 3,4 mL da solução tampão fosfato pH = 6,0. Acrescentado 0,1 mL da solução de Cloramina T a 2% e levado à um banho de gelo durante 5 minutos. Adicionado 0,6 mL do reagente cromogênico, agitado e deixado em repouso durante 10 minutos (no máximo 30 minutos). Efetuado a leitura da absorbância em espectrofotômetro com comprimento de onda de 605 nm, zerando o aparelho com a prova em branco.

Prova em branco

Para um tubo de ensaio, pipetou-se 0,5 mL de ácido orto-fosfórico a 0,1 M. Adicionado 3,5 mL de solução tampão fosfato de pH = 6,0. Acrescentado 0,1 mL de cloramina T a 2 % e levado a um banho de gelo durante 5 minutos. Adicionado 0,6 mL do reagente cromogênico. Agitado e deixado em repouso durante 10 minutos (e no máximo 30 minutos). Zerada a absorbância em espectrofotômetro com comprimento de onda de 605 nm.

3.1.2.8 Análise de β -caroteno

Para a determinação do teor de β -caroteno utilizou-se acetona-hexano na proporção de 4:6, sendo a amostra homogeneizada e, por uma diferença de densidade foi coletado o sobrenadante realizando uma leitura simultânea em espectrofotômetro para os teores de clorofila a (663 nm), clorofila b (645 nm), licopeno (505 nm) e β -caroteno (453 nm), os quais posteriormente foram estimados, segundo a metodologia descrita por Nagata e Yamashita (1992).

3.1.2.9 Análise de vitamina C

O teor de ácido ascórbico da farinha de folhas de mandioca foi determinado através do método de Tillmans (titulométrico), que se baseia na redução de 2,6 –diclorofenol-indofenol (DCFI) pelo ácido ascórbico (São Paulo, 2005).

3.1.2.10 pH

Foram pesados 10 g da amostra em béquer de 250 mL, adicionando-se 100 mL de água destilada. Agitado em agitador magnético durante 30 minutos, sendo em seguida deixado em repouso por 10 minutos O sobrenadante foi transferido para um béquer seco sendo o pH determinado através da inserção do eletrodo do potenciômetro na amostra (São Paulo, 2005).

3.1.2.11 Acidez titulável

Após o pH ter sido determinado, sob agitação magnética constante, titulou-se com a solução padronizada de NaOH a 0,1 N até atingir o pH 8,2 a 8,3 através do potenciômetro, anotando-se o volume gasto (São Paulo, 2005).

$$\text{Acidez Normal em ml/100g de amostra} = \frac{V \cdot F \cdot 100}{P}$$

Onde:

V = quantidade de NaOH em mL gastos na titulação;

F = Normalidade da solução de NaOH usadas (0,01 ou 0,1 N);

P = Peso em g da amostra;

3.1.2.12 Análise de cor

A cor da farinha de folhas de mandioca foi avaliada em colorímetro *Minolta CR-400*. Os resultados foram expressos em valores L*, a* e b*, onde os valores de L* (luminosidade ou brilho) variam do preto (0) ao branco (100), os valores do croma a* variam do verde (-60) ao vermelho (+60) e os valores de croma b* variam do azul ao amarelo, ou seja, de (-60) a (+60), respectivamente.

3.1.2.13 Índice de absorção de água (IAA)

Para o IAA pesou-se 2,5 g de amostra e 30 mL de água destilada a 25 °C em um tubo de centrífuga. Os tubos foram agitados durante 30 minutos num agitador mecânico e, em seguida, centrifugados a 3000 rpm por 10 minutos. Do líquido sobrenadante coletou-se uma alíquota de 10 mL, e transferida para um cadinho de porcelana tarado, e levado em estufa (105 °C) por 8 horas. O tubo com o gel remanescente foi pesado, sendo que o peso do resíduo da evaporação foi obtido pela diferença de peso do cadinho multiplicada por três e, o peso do resíduo da centrifugação, pela diferença de peso do tubo (ANDERSON et al. 1969). O IAA foi calculado conforme a equação:

$$\text{Cálculo: IAA} = \frac{\text{PRC} \times 100}{\text{PA} - \text{PRE}}$$

$$\text{PA} - \text{PRE}$$

Onde:

PRC = peso de resíduo de centrifugação (g);

PA = peso da amostra (base seca);

PRE = peso de resíduo de evaporação (g);

3.1.2.14 Índice de solubilidade em água (ISA)

O índice de solubilidade em água foi calculado pela relação entre o peso do resíduo de evaporação (PRE) e o peso seco da amostra (PA), conforme a equação (ANDERSON et al. 1969):

$$ISA = \frac{PRE}{PA}$$

Onde:

PRE = peso de resíduo de evaporação (g);

PA = peso da amostra (base seca);

3.1.2.15 Propriedades de pasta

Para a análise das propriedades de pasta foi utilizado o *Rapid Visco Analyser (RVA)*. As suspensões de amostras (2,5 g amostra em 25 mL de água) e passaram pelo programa de tempo e temperatura *Extrusion 1* do software *ThermoLine for Windows*, versão 2.2. Do gráfico obtido foram avaliadas as seguintes características: viscosidade inicial, viscosidade máxima (pico), queda de viscosidade ou “breakdown” (diferença entre a viscosidade máxima e a viscosidade da pasta mantida a 95 °C por 5 minutos), viscosidade final e tendência a retrogradação (diferença entre a viscosidade final e a viscosidade da pasta a 50 °C por 5 minutos) (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998).

3.2 EXPERIMENTO II

Neste experimento foram avaliados os efeitos dos parâmetros do processo de extrusão e da composição da matéria-prima sobre as propriedades físicas de misturas extrusadas de amido e farinha de folhas de mandioca.

3.2.1 Preparo das misturas

Foram preparadas 700 g de misturas de amido e farinha de folhas de mandioca, misturados em batedeira planetária (ARNO), durante 5 minutos descritas segundo o delineamento experimental da Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros variáveis do processo de extrusão.

| T | Níveis codificados | | | | FF | Variáveis independentes | | |
|----|--------------------|----|----|----|-----|-------------------------|-----|------|
| | X1 | X2 | X3 | X4 | | T | RR | U |
| 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 3,0 | 70 | 189 | 22,5 |
| 2 | 1 | -1 | -1 | -1 | 6,0 | 70 | 189 | 22,5 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | -1 | 3,0 | 90 | 189 | 22,5 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | -1 | 6,0 | 90 | 189 | 22,5 |
| 5 | -1 | -1 | 1 | -1 | 3,0 | 70 | 217 | 22,5 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | -1 | 6,0 | 70 | 217 | 22,5 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | -1 | 3,0 | 90 | 217 | 22,5 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | -1 | 6,0 | 90 | 217 | 22,5 |
| 9 | -1 | -1 | -1 | 1 | 3,0 | 70 | 189 | 27,5 |
| 10 | 1 | -1 | -1 | 1 | 6,0 | 70 | 189 | 27,5 |
| 11 | -1 | 1 | -1 | 1 | 3,0 | 90 | 189 | 27,5 |
| 12 | 1 | 1 | -1 | 1 | 6,0 | 90 | 189 | 27,5 |
| 13 | -1 | -1 | 1 | 1 | 3,0 | 70 | 217 | 27,5 |
| 14 | 1 | -1 | 1 | 1 | 6,0 | 70 | 217 | 27,5 |
| 15 | -1 | 1 | 1 | 1 | 3,0 | 90 | 217 | 27,5 |
| 16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6,0 | 90 | 217 | 27,5 |
| 17 | -2 | 0 | 0 | 0 | 1,5 | 80 | 203 | 25,0 |
| 18 | 2 | 0 | 0 | 0 | 7,5 | 80 | 203 | 25,0 |
| 19 | 0 | -2 | 0 | 0 | 4,5 | 60 | 203 | 25,0 |
| 20 | 0 | 2 | 0 | 0 | 4,5 | 100 | 203 | 25,0 |
| 21 | 0 | 0 | -2 | 0 | 4,5 | 80 | 175 | 25,0 |
| 22 | 0 | 0 | 2 | 0 | 4,5 | 80 | 231 | 25,0 |
| 23 | 0 | 0 | 0 | -2 | 4,5 | 80 | 203 | 20,0 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4,5 | 80 | 203 | 30,0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,5 | 80 | 203 | 25,0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,5 | 80 | 203 | 25,0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,5 | 80 | 203 | 25,0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,5 | 80 | 203 | 25,0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,5 | 80 | 203 | 25,0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,5 | 80 | 203 | 25,0 |

T: tratamentos; X1: farinha de folhas de mandioca (%); X2: temperatura de extrusão na 3ª zona (°C); X3: rotação da rosca (rpm); X4: umidade das misturas (%).

3.2.1.1 Análises das misturas

Após o preparo das misturas das matérias-primas, as mesmas foram analisadas quanto aos parâmetros de cor, índice de solubilidade em água, índice de absorção de água e propriedades de pasta de acordo com as metodologias descritas nos itens 3.1.2.12, 3.1.2.13, 3.1.2.14 e 3.1.2.15, respectivamente.

3.2.1.2 Condicionamento das misturas

A umidade inicial das misturas foi determinada conforme o item 3.1.2.1. Foi necessário o ajuste da umidade das misturas para as umidades estudadas no delineamento experimental (Tabela 1). Este condicionamento foi realizado com água destilada adicionada lentamente com pipeta sob agitação constante em bateadeira planetária por 2 minutos. A quantidade de água que foi adicionada às amostras foi calculada pela equação:

$$Y = \frac{(U_f - U_i) \times P_a}{100 - U_f}$$

Onde:

Y = quantidade de água a ser adicionada (mL);

U_f = umidade final da amostra;

U_i = umidade inicial da amostra;

3.2.2 Processo de extrusão

A extrusão foi efetuada em uma linha completa de extrusão INBRA RX da Inbramaq S/A com motor de 10 HP acoplado a um redutor de velocidade, sistema de extrusão através de fricção mecânica, rosca simples de extrusão, sistema de refrigeração hidráulica para controle de temperatura na camisa de extrusão, velocidade variável e capacidade de produção de 50 Kg/h. Os parâmetros de processamento foram divididos em parâmetros variáveis e fixos.

Parâmetros Variáveis:

- Rotação da rosca (rpm);
- Umidade das misturas (%);
- Temperatura (°C) na 3ª zona de extrusão;
- Farinha de folha de mandioca (%) em misturas com o amido de mandioca;

Parâmetros Fixos:

- Taxa de compressão da rosca 1:3;
- Taxa de alimentação: 150 g.min⁻¹;
- Abertura da matriz: 3,0 mm;
- Camisa lisa;
- Temperaturas na 1ª zona: 25°C e 2ª zona: 50°C.

O processo de extrusão seguiu o delineamento central composto rotacional para quatro fatores, com um total de 30 tratamentos, a saber:

- 16 tratamentos correspondentes ao fatorial 2⁴, onde os quatro fatores são: FF = farinha de folhas de mandioca (%); T = temperatura na 3ª zona (°C); R = rotação (rpm); U = umidade (%) e cada qual em dois níveis, codificados como -1 e +1;
- 8 tratamentos com níveis mínimo e máximo de cada fator, codificados como - α e + α , respectivamente, sendo $\alpha = 2^{4/4} = 2$;
- Um tratamento central repetido 6 vezes, onde os fatores estão todos em um nível médio, codificado como zero (Tabela 1).

3.2.3 Análises das misturas extrusadas

Decorrido o processo de extrusão os produtos obtidos foram colocados em estufa de circulação de ar a 40 °C por 2 horas para a estabilização da umidade e moídos em moinho de facas para a obtenção das farinhas instantâneas.

As farinhas obtidas nos diferentes tratamentos foram analisadas para cor, índice de solubilidade em água, índice de absorção de água e propriedades de pasta conforme descrito nos itens 3.1.2.12, 3.1.2.13, 3.1.2.14 e 3.1.2.15.

3.2.4 Análises dos dados

O processamento dos dados e a análise estatística foram realizados com o auxílio do sistema SAS. A significância do modelo foi testada pela análise de variância (ANOVA), sendo adotado o nível de significância de 5 % ($P \leq 0,05$).

Na análise dos dados realizada pelo programa SAS foi utilizada a análise de regressão com a opção *stepwise*. O modelo obtido foi validado pelo teste F utilizando-se como denominador o quadrado médio do erro puro.

Na construção das superfícies de resposta, duas variáveis independentes variaram dentro das regiões estudadas, e a terceira foi mantida fixa no ponto central.

3.3 EXPERIMENTO III

Neste experimento foram avaliados os efeitos dos parâmetros de extrusão e da composição da matéria-prima sobre características de qualidade de massas alimentícias de amido e farinha de folhas de mandioca.

3.3.1 Preparo das misturas

Foram preparadas 700 g de misturas de farinha de folhas e amido de mandioca, emulsificante (*Dimodan*) e sal, em diferentes proporções, conforme a Tabela 2. As matérias-primas foram misturadas em batedeira planetária (ARNO) ajustando-se a umidade conforme os itens 3.1.2.1 e 3.2.1.2, de acordo o planejamento experimental. As amostras permaneceram sob refrigeração durante 24 horas para a estabilização da umidade antes de serem utilizadas no processo de extrusão termoplástica.

Tabela 2- Misturas utilizadas para o processo de obtenção das massas alimentícias.

| Matérias-primas | | | | |
|------------------------|--|------------------------------------|----------------|--------------------|
| Misturas | Farinha de Folhas de Mandioca (%) | Emulsificante (%) (Dimodan) | Sal (%) | Umidade (%) |
| 1 | 1,5 | 2,0 | 2,0 | 20,0 |
| 2 | 3,0 | 2,0 | 2,0 | 22,5 |
| 3 | 4,5 | 2,0 | 2,0 | 25,0 |
| 4 | 6,0 | 2,0 | 2,0 | 27,5 |
| 5 | 7,5 | 2,0 | 2,0 | 30,0 |

3.3.2 Processo de extrusão

O processo de extrusão foi conduzido conforme descrito no item 3.2.2.

3.3.3 Análises das massas alimentícias instantâneas secas

As massas alimentícias tipo espaguete obtidas nos diferentes tratamentos, após o processo de extrusão foram colocadas em estufa a 40 °C por 4 horas para a desidratação e, analisadas antes do cozimento para características visuais, volume, volume específico e densidade.

3.3.3.1 Determinação de volume

Uma amostra da massa seca foi pesada e o volume determinado por deslocamento de água, segundo adaptação da técnica descrita por Leitão et al. (1990). A amostra foi introduzida em uma proveta com volume pré-determinado de água destilada. O cálculo do volume feito pela diferença entre o volume inicial e o volume deslocado pela amostra. A medida do volume foi feita antes e após a cocção (FERREIRA, 2002).

$$V (\text{cm}^3) = v_f - v_i$$

vi = volume inicial da água

vf = volume final da água ou volume deslocado pela amostra

3.3.3.2 Determinação de volume específico

O volume específico foi calculado segundo método descrito por Vitti (1970), onde o volume foi dividido pela massa da amostra. Determinou-se o volume específico da amostra crua e da amostra cozida (FERREIRA, 2002).

$$VE = \frac{v}{m} (\text{cm}^3/\text{g})$$

3.3.3.3 Determinação da densidade ou peso específico

Uma amostra da massa seca foi pesada e o volume determinado segundo a análise indicada. A densidade foi determinada através da relação massa ou peso/volume da amostra crua e cozida (FERREIRA, 2002).

$$D = \frac{m}{v} (\text{g}/\text{cm}^3)$$

3.3.4 Análises das massas instantâneas após cozimento

3.3.4.1 Determinação de aumento de volume

Para o teste de cozimento, a massa foi colocada em água em ebulição na proporção de 1:10 (p/v) sendo efetuado o cozimento por 3 minutos. A amostra foi retirada, lavada com água destilada e deixada escorrer realizando-se a pesagem. O cálculo foi feito pela diferença entre o volume cru, v1 e o volume cozido, v2 e o resultado expresso em percentual (LEITÃO et al. 1990).

$$AV (\%) = \frac{(v2 - v1)}{v1} \times 100$$

v1

3.3.4.2 Determinação de rendimento

Uma amostra de massa foi pesada e preparada de acordo com o teste de cozimento descrito no ítem 3.3.4.1. O cálculo foi feito através da relação entre a massa crua, m1 e massa cozida, m2 (FERREIRA, 2002).

$$R = \frac{m2 \times 100}{m1}$$

3.3.4.3 Determinação de perda de sólidos solúveis

A determinação dos sólidos solúveis foi realizada através da evaporação da água de cozimento do macarrão, no qual se completou o volume para 300 mL e retirou-se uma alíquota de 30 mL em cápsula previamente tarada, as quais foram levadas em estufa a 105 °C até massa constante (AACC, 2003).

$$\text{Sólidos solúveis. (\%)} = \frac{(M \times VC \times 100)}{(PMS \times VA)}$$

M = peso do resíduo evaporado (g);

VC = volume de água do cozimento (mL);

PMS = peso do macarrão antes do cozimento (g);

VA = volume da alíquota (mL);

3.3.5 Análises dos dados

O processamento dos dados e a análise estatística foram realizados conforme descrito no ítem 3.2.4.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. EXPERIMENTO I

4.1.1 Caracterização das matérias-primas

Os resultados obtidos nas análises de composição química, pH, acidez titulável, propriedades de pasta, cor, índice de solubilidade e absorção de água da farinha de folhas de mandioca e do amido de mandioca estão apresentados na Tabela 3.

O teor de proteína da farinha de folhas de mandioca (FF) (23,00 g.100 g⁻¹ de matéria seca) está próximo ao limite inferior da faixa relatada pela literatura (20,77 a 37,94 g.100 g⁻¹ de matéria seca) para folhas de diferentes cultivares desse vegetal (WOBETO et al., 2006; MELO, 2005; ORTEGA-FLORES et al., 2003). Segundo Fonseca et al. (2002) o teor de proteínas pode ser comparado ao de hortaliças folhosas convencionais, como a couve (30,84 g.100 g⁻¹ massa seca).

Tabela 3- Média e desvio padrão das análises de caracterização do amido e farinha de folhas de mandioca.

| | Análises | Amido de mandioca | Farinha de folhas |
|-----------------------------|---|------------------------------|------------------------------|
| Composição química | Umidade (g.100 g ⁻¹) | 14,0 ± 0,16 | 6,60 ± 0,69 |
| | Cinzas (g.100 g ⁻¹) | 1,44 ± 0,39 | 10,23 ± 0,97 |
| | Fibras totais (g.100 g ⁻¹) | 0,40 ± 0,03 | 30,68 ± 0,16 |
| | Proteína (g.100 g ⁻¹) | 0,21 ± 0,00 | 23,00 ± 0,22 |
| | Matéria graxa (g.100 g ⁻¹) | 0,61 ± 0,05 | 7,22 ± 0,08 |
| | *Carboidratos totais (g.100 g ⁻¹) | 82,34 ± 1,3 | 22,27 ± 0,71 |
| | Cianeto total (mg.100 g ⁻¹) | ---- | 0,30 ± 0,37 |
| | Vitamina C (mg.100 g ⁻¹) | ---- | 56,6 ± 0,29 |
| | β-caroteno (mg.100 g ⁻¹) | ---- | 38,0 ± 0,00 |
| Análises físico-químicas | Acidez titulável | 1,30 ± 0,04 | 9,2 ± 0,31 |
| | pH | 7,0 ± 0,16 | 6,9 ± 0,11 |
| Cor | Luminosidade (L*) | 97,06 ± 0,22 | 47,52 ± 0,13 |
| | a* | 0,62 ± 0,01 | -0,66 ± 0,02 |
| | b* | 4,40 ± 0,06 | 15,97 ± 0,03 |
| Índices | ISA (%) | 1,52 ± 0,07 | 14,85 ± 0,12 |
| | IAA (g gel/g) | 3,62 ± 0,07 | 6,87 ± 0,27 |
| Propriedades de pasta (RVU) | Viscosidade inicial | 0,00 ± 0,00 | 0,00 ± 0,00 |
| | Pico de viscosidade | 408,25 ± 0,41 | 29,83 ± 0,39 |
| | Quebra de viscosidade | 277,92 ± 0,65 | 5,92 ± 0,31 |
| | Viscosidade final | 195,5 ± 0,89 | 73,83 ± 0,45 |
| | Tendência a retrogradação | 65,17 ± 0,22 | 49,92 ± 0,34 |

*Calculado por diferença; ISA= índice de solubilidade em água; IAA= índice de absorção de água.

Outros aspectos relacionados com composição das folhas de mandioca se devem, também, a variedade, cultivo e idade da planta. Sagrilo et al. (2003) trabalhando com folhas de cinco cultivares de mandioca, desidratadas a 45 °C, observaram um decréscimo do teor de proteínas com a idade das plantas, ao determinar esse teor entre 12 e 21 meses. Além disso, de acordo com Ortega-Flores et al. (2003) a

folha de mandioca não é deficiente em nenhum dos aminoácidos essenciais. Outros autores ainda mencionam que as folhas de mandioca possuem altos teores de lisina, possibilitando que atuem como suplementadoras, visando a obtenção de uma melhor qualidade protéica nas dietas (CARVALHO; KATO, 1987).

O teor de fibras foi de 30,68 g.100 g⁻¹ de matéria seca, valor este próximo a faixa relatada na literatura (26,50 e 35,40 g.100 g⁻¹ de massa seca) (CORRÊA et al., 2004; MELO, 2005). Pela literatura, o teor de fibras apresenta correlação inversa com o teor de proteínas. Carvalho et al. (1985) observaram que no período em que a planta de mandioca apresenta maiores concentrações de proteína, o teor de fibra se apresenta na faixa de 21,86 a 26,66 % nas folhas.

Os teores de matéria graxa obtidos neste trabalho (7,22 g.100 g⁻¹) foram equivalentes aos da literatura, podendo variar na faixa de 3,30 a 16,00 g.100 g⁻¹ de massa seca (ORTEGA-FLORES et al., 2003; MELO, 2005). Entretanto, o teor de cinzas (10,23 g.100 g⁻¹) foi superior à faixa citada na literatura, que foi de 4,62 a 8,30 g.100 g⁻¹ de massa seca (ORTEGA-FLORES et al., 2003; MELO, 2005). Os minerais desempenham importantes funções nos organismos vivos, como o equilíbrio de íons nos líquidos extracelulares, eletrólitos que participam do controle osmótico do metabolismo, catalizadores de certos sistemas enzimáticos (FRANCO, 2000).

O teor de carboidratos totais foi 22,27 g.100 g⁻¹ de massa seca, valor este superior aos relatados por Penteadó e Ortega-Flores (2001) para folhas de mandioca desidratadas (10,06 %) e liofilizadas (18,81 %).

A composição físico-química do amido de mandioca (Tabela 3) apresentou o teor de carboidratos totais de 82,34 g.100 g⁻¹. Trombini e Leonel (2013) estudando *snacks* elaborados com farelo, amido de mandioca e farinha de soja, encontraram no amido de mandioca teores muito próximos de carboidratos totais (85,19 g.100 g⁻¹), fibras (0,39 g.100 g⁻¹), porém, valores inferiores para o teor de cinzas (0,77 g.100 g⁻¹) quando comparados com o presente trabalho (1,44 g.100 g⁻¹). Essas diferenças podem ser influenciadas pela variedade de mandioca e o tipo de processo durante a extração do amido.

O teor de vitamina C na farinha de folhas de mandioca neste trabalho foi de 56,6 mg.100 g⁻¹ de massa seca. Este valor se encontra dentro da faixa relatada por CORRÊA et al. (2004), MELO, (2005), WOBETO et al. (2006) em folhas frescas (43,64 a 257,64 mg.100 g⁻¹ de massa seca).

O teor de β -caroteno na farinha de folhas de mandioca foi de 38,0 g.100 g⁻¹ de massa seca (Tabela 3) e ficou muito próximo aos relatados por Vargas (2007) ao estudar a farinha de folhas de mandioca (37,0 mg.100 g⁻¹ de massa seca). Entretanto, um estudo realizado por Adewusi e Bradbury (1993), utilizando a farinha de folhas de mandioca de diferentes cultivares e estágios de desenvolvimento encontraram valores de β -caroteno entre 3,0 e 7,8 mg.100 g⁻¹ de folhas maduras frescas. Ainda, CORRÊA et al. (2004), MELO, (2005) e WOBETO et al. (2006) estudando as folhas de mandioca frescas encontraram valores de β -caroteno entre 14,09 a 137,38 mg.100 g⁻¹ de massa seca.

O teor de cianeto dosado na farinha de folhas de mandioca foi de 0,30 mg.100 g⁻¹ de massa seca (Tabela 3), inferior aos observados por Wobeto et al. (2004) que verificaram teores de cianeto na farinha de folhas de mandioca variando de 12,38 a 35,02 mg.100 g⁻¹ de massa seca. Segundo os mesmos autores, os valores observados por eles se encontram dentro da faixa relatada por outros autores: 5,3 a 80 mg.100 g⁻¹ de massa seca para as farinhas de folhas de mandioca (PADMAJA, 1989; AWOYINKA et al., 1995; CÂMARA; MADRUGA, 2001). Os menores teores observados neste trabalho e, a ampla variação relatada na literatura, devem-se provavelmente, às diferenças genéticas entre as cultivares, às temperaturas de secagem das folhas, à maturidade das folhas, à idade da planta, à fertilidade do solo e ao índice de precipitação pluviométrica.

Segundo Ikediobi et al. (1980) são necessários teores de 5 a 10 mg. 100 g⁻¹ de ácido cianídrico nos produtos para estes serem considerados tóxicos. Sendo assim, o teor de cianeto obtido neste trabalho para a farinha de folhas de mandioca evidencia baixa toxicidade.

A análise de cor das matérias-primas, parâmetro este de grande importância em produtos alimentícios, mostrou que a farinha de folhas de mandioca apresenta forte presença do componente de cromaticidade b* (15,97), o que indica presença de pigmento amarelo, e de a* (-0,66), pigmento verde, além de baixa luminosidade (47,52). O padrão de cor é interessante para tornar os produtos mais atrativos para o consumo. A presença dos pigmentos amarelos e verdes é devido à presença de carotenóides e clorofilas nas folhas.

Para o amido de mandioca os resultados obtidos na análise dos parâmetros de cor (Tabela 3) mostrou alta luminosidade (97,06), a* (0,62) tendendo para

o vermelho e b^* (4,40) tendendo para o amarelo. Resultados de luminosidade estão de acordo com o relatado por Freitas et al. (2009) que citam 92,21 para o amido de mandioca.

Os resultados médios dos índices de absorção (IAA) e solubilidade em água (ISA) obtidos para o amido de mandioca foram: IAA de 3,62 g gel.g⁻¹ e ISA de 1,52 %. Na farinha de folhas de mandioca foram IAA de 6,87 g gel.g⁻¹ e ISA de 14,85 % (Tabela 3). A maior absorção de água na farinha de folhas de mandioca pode ser devido à presença das fibras e proteína.

Trabalhos utilizando matérias-primas diversas relatam valores de ISA e IAA antes do processo de extrusão próximos aos observados para a farinha de folhas de mandioca, evidenciando a influência de componentes não amido sobre estes parâmetros. Ávila et al. (2010), avaliando as propriedades funcionais do resíduo de extração do mangarito para elaboração de biscoitos tipos *cookies*, obtiveram para o IAA valor de 4,65 g gel.g⁻¹ e ISA de 7,87 % e Silva e Ascheri (2009) encontraram valores de IAA de 2,36 g gel.g⁻¹ e ISA de 1,05 % em farinha de quirera de arroz.

Freitas et al. (2009) analisando o amido de mandioca observaram valores de 0,69 % de ISA e 1,64 g gel.g⁻¹ de IAA. Estes valores são menores que os encontrados para o amido do presente estudo fornecidos para o processamento, que podem ser devidos a processos industriais, onde em algumas situações é possível observar presença de amidos pré-gelatinizados no produto nativo decorrentes de deficiências nos processos de pré-secagem e secagem.

O amido de mandioca no seu estado nativo, sem passar por modificações químicas e/ou físicas, não absorve água apresentando baixos valores de absorção e solubilidade em água.

A análise das propriedades de pasta da farinha de folhas de mandioca apresentou viscosidade inicial ou a frio próxima de zero, pico de viscosidade de 29,83 RVU, quebra de viscosidade de 5,92 RVU, viscosidade final de 73,83 RVU e tendência a retrogradação de 49,92 RVU (Tabela 3).

A viscosidade de pasta é um dos atributos importantes para as indústrias que utilizam matérias-primas de origem farinácea e amilácea tendo como indicativo o grau de gelatinização nos processos tecnológicos. A curva de viscosidade representa o comportamento do grânulo de amido em meio líquido com o aquecimento permitindo avaliar as características do gel formado, devido às modificações estruturais

das moléculas de amido, e de outros componentes, além da tendência de reorganização das cadeias moleculares do amido durante o resfriamento. A Figura 5 mostra o perfil de viscosidade da farinha de folhas de mandioca.

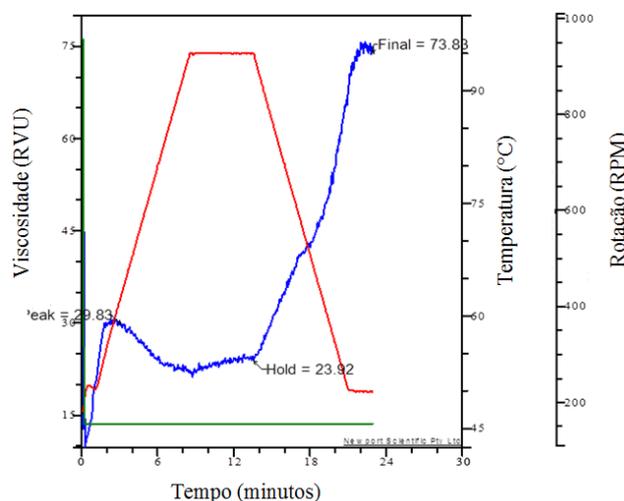


Figura 5- Perfil de viscosidade analisado em RVA da farinha de folhas de mandioca.

Houve uma baixa tendência na formação de gel para a farinha de folhas de mandioca. Del Bem et al. (2012) estudou propriedades de pasta (método *Standard 2*) para a farinha de ervilha obteve valores de viscosidade inicial de 12,77 RVU, pico de viscosidade de 15,84 RVU, quebra de viscosidade de 0,75 RVU, viscosidade final de 24,81 RVU e tendência à retrogradação de 9,73 RVU, evidenciando a influência de componentes não-amido sobre o perfil viscoamilográfico da farinha.

O perfil de viscosidade do amido de mandioca está representado na Figura 6. Mostra que a viscosidade a frio (25 °C) o amido de mandioca é muito próxima de zero. A curva de viscosidade mostrou pico agudo, característica de homogeneidade estrutural dos grânulos, seguida de pronunciada queda, indicando baixa estabilidade frente a aquecimento com agitação. Este comportamento também foi relatado por Freitas et al. (2009) que observaram para amido de mandioca pico de viscosidade de 439,67 RVU, quebra de viscosidade de 319,75 RVU, viscosidade final de 217,83 RVU e tendência a retrogradação de 97,92 RVU. Trombini e Leonel (2010) também encontraram valores próximos aos obtidos nesse trabalho para pico de viscosidade (421,42 RVU), quebra de viscosidade (223,0 RVU), porém com valores superiores para viscosidade final (299,17 RVU) e tendência a retrogradação (100,75 RVU).

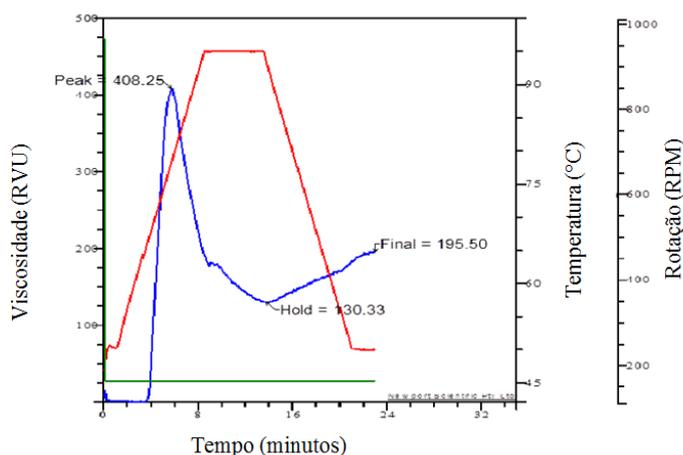


Figura 6- Perfil avaliado na curva amilográfica do amido de mandioca.

4.2 EXPERIMENTO II

4.2.1 Análises das misturas antes da extrusão

Os resultados obtidos para as análises físicas e funcionais das misturas com diferentes porcentagens de farinha de folhas de mandioca antes do processo de extrusão estão apresentados na Tabela 4.

4.2.1.1 Cor

Considerando que a luminosidade no sistema CIELAB varia de (0) preto ao (100) branco, todas as misturas podem ser classificadas como claras (88,87 a 92,93). A inclusão da farinha de folhas em mistura com a fécula de mandioca promoveu alterações significativas nos componentes a^* e b^* , com presença de vermelho somente na menor porcentagem de farinha de folhas e aumento da cor verde (a^* negativo) nas maiores porcentagens dessa farinha. Já, para o b^* , que corresponde a leituras do azul (-) ao amarelo (+) pode ser observada a predominância de pigmentos amarelos, independente da porcentagem adicionada de farinha de folhas de mandioca.

Tabela 4- Resultados das análises de cor, índice de absorção e solubilidade em água das misturas de amido e farinha de folhas de mandioca antes da extrusão.

| Porcentagem de farinha de folhas (p/p) | Cor | | | Índices | |
|--|--------|--------|-------|---------------|---------|
| | L* | a* | b* | IAA (g gel/g) | ISA (%) |
| 1,5 % | 92,93a | 0,10a | 4,75a | 2,11a | 1,53c |
| 3,0 % | 90,99a | 0,10a | 4,75a | 2,08a | 2,27b |
| 4,5 % | 90,59a | -0,26c | 3,66c | 2,06a | 2,75b |
| 6,0 % | 89,29a | -0,27c | 4,03b | 2,04a | 2,77b |
| 7,5 % | 88,87a | -0,15b | 4,66a | 2,03a | 3,78a |

L* = luminosidade; a* = croma; b* = croma b*; IAA = índice de absorção em água (g gel/g); ISA = índice de solubilidade em água (%).

Alterações de cor em misturas de farinhas também foram relatadas por Kaminski et al. (2011) que pesquisaram a incorporação de farinha integral de centeio com a farinha de trigo, nas proporções (0 a 100 %), e encontraram uma redução na luminosidade (92,85 a 82,01) com o aumento proporcional da farinha integral de centeio. Os autores concluíram que os incrementos nos componentes de cromaticidade a* (0,21 a 2,27) e b* (8,74 a 9,92) indicaram a tendência do vermelho ao amarelo, provavelmente devido à maior concentração de fibras alimentares, pigmentos, ligninas e outros compostos, e componentes estruturais de coloração diferenciada presentes nas camadas mais externas dos grãos de centeio e, conseqüentemente, na farinha integral deste cereal.

4.2.1.2 Índice de absorção e solubilidade em água das misturas

O índice de absorção em água (IAA) está relacionado com a capacidade de formação de gel através da ligação de grupos hidroxila (-OH) com a água e com as moléculas que compõem o amido. Os IAA das misturas de amido e farinha de folhas de mandioca antes do processo de extrusão variaram de 2,03 a 2,11g gel.g⁻¹ (Tabela 4). Não foi observada diferença entre as misturas com o aumento da porcentagem de farinha de folhas de mandioca. Resultados semelhantes para misturas antes da extrusão foram relatados por Souza et al. (2011), que estudando farinhas pré-gelatinizadas de

farelo e amido de mandioca extrusados, encontraram valores para o IAA de 2,83 g gel.g⁻¹. Também, Lustosa et al. (2009), estudaram a absorção e solubilidade em água de farinhas pré-cozidas de mandioca e caseína, relataram uma variação de IAA das misturas de 3,90 a 4,69 g gel.g⁻¹ antes da extrusão.

O índice de solubilidade em água (ISA) das misturas de amido e farinha de folhas de mandioca variou entre 1,53 e 3,78 %, com o maior valor observado na maior concentração de farinha de folhas na mistura. Resultado semelhante foi relatado por Trombini et al. (2013), que avaliando misturas de farinha de soja, farelo e amido de mandioca, observaram que os índices de solubilidade em água variaram de 2,78 a 6,81 % nas misturas antes do processo de extrusão, com o aumento deste com o aumento da porcentagem de farinha de soja na mistura.

A solubilidade de um produto depende da sua constituição química e das interações entre os seus constituintes e a água. O amido é insolúvel em água, entretanto, a proteína em água tem sua solubilidade afetada pelo número de interações proteína-proteína e proteína-água existente. As interações hidrofóbicas resultam na diminuição da solubilidade, enquanto que as interações iônicas e polares permitem interações das proteínas com as moléculas de água e, conseqüentemente, aumentam a solubilidade destas moléculas (RIBEIRO, 2003).

4.2.1.3 Propriedades de pasta das misturas

A Tabela 5 mostra os resultados obtidos para as propriedades de pasta das misturas antes do processo de extrusão. A análise estatística dos dados evidenciou diferenças entre as misturas.

A viscosidade inicial ou viscosidade de pasta a frio indica a capacidade das misturas em absorver água em temperatura ambiente e formar pasta, gel ou líquido viscoso (CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002).

A viscosidade inicial (VI) das misturas variou de 0,08 a 2,75 RVU podendo ser observado que a VI de todas as misturas foram baixas (Tabela 5). O aumento da porcentagem de farinha de folhas nas misturas diminui o teor de amido podendo ocorrer absorção de água pelas proteínas e fibras, justificando as diferenças na viscosidade a frio.

Tabela 5- Médias das propriedades de pasta das misturas antes do processo de extrusão.

| Misturas | Propriedades de pasta das misturas cruas | | | | |
|----------|--|---------|---------|---------|---------|
| | VI | PV | QV | VF | TR |
| 1,5% | 0,08b | 345,33a | 101,67a | 462,83a | 219,17a |
| 3,0% | 2,83a | 326,92b | 88,25b | 454,17b | 215,50b |
| 4,5% | 2,80a | 315,08c | 84,48bc | 445,75c | 215,09b |
| 6,0% | 2,78a | 311,17c | 80,75cd | 441,75c | 211,33c |
| 7,5% | 2,75a | 293,92d | 78,67d | 388,08d | 172,83d |
| DMS | 0,26 | 9,83 | 4,54 | 7,85 | 3,34 |
| CV | 4,35 | 1,15 | 1,95 | 0,67 | 0,60 |

VI= viscosidade inicial (RVU); PV= pico de viscosidade (RVU); QV= quebra de viscosidade (RVU); VF= viscosidade final (RVU); TR= tendência à retrogradação (RVU). DMS= diferença mínima significativa; CV= coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

Lustosa e Leonel (2010), estudando misturas de amido de mandioca e caseína, encontraram variação de viscosidade a frio de 1,17 a 7,67 RVU e concluíram que o aumento do teor de proteína na mistura levou a diminuição da viscosidade inicial, fato também observado neste trabalho quando se utilizou maiores porcentagens de farinha de folhas.

O pico de viscosidade (PV) se refere ao início do aquecimento e antes do início do resfriamento da suspensão no viscoamilógrafo. Os resultados para o pico de viscosidade variaram de 293,92 a 345,33 RVU (Tabela 5). Durante o ciclo de aquecimento até 95 °C ocorre o intumescimento e a gelatinização dos grânulos de amido, atingindo o pico máximo nesta etapa. O maior teor de proteína, devido ao aumento da porcentagem de farinha de folhas nas misturas, pode ter interferido no processo de gelatinização do amido, o que levou a um menor pico de viscosidade na maior porcentagem de farinha de folhas nas misturas.

A interferência de componentes não-amido sobre as propriedades de pasta também foram relatadas por Maia et al. (1999), que analisando a viscosidade de pasta em viscógrafo Brabender de mingaus desidratados de arroz e soja, observaram que com o aumento das proporções de soja (0 a 50 %), houve um aumento na temperatura de viscosidade máxima e uma diminuição na viscosidade máxima, resultado também observado por Borges et al. (1998) em misturas de canjiquinha e soja.

A quebra de viscosidade (QV) é a propriedade que permite avaliar a estabilidade do amido em altas temperaturas, sob agitação mecânica, o que é de extrema importância em alimentos pré-cozidos, uma vez que indica, indiretamente, a capacidade do produto em se manter íntegro durante o cozimento (TEBA; ASCHERI; CARVALHO, 2009). A quebra de viscosidade das misturas antes da extrusão variou de 78,67 a 101,67 RVU (Tabela 5).

A viscosidade final (VF) é um parâmetro avaliado durante o ciclo de resfriamento e está relacionado com a retrogradação do amido (SILVA et al.; 2008). Os resultados para a VF das misturas antes da extrusão se encontram na Tabela 5, com valores compreendidos entre 388,08 a 462,83 RVU.

Quando soluções amiláceas são resfriadas, ocorre formação de géis ou precipitados microcristalinos, dependendo da concentração das soluções e velocidade de resfriamento. Soluções concentradas e resfriadas rapidamente tendem a formar géis, enquanto que soluções mais diluídas precipitam devido à tendência para formação de ligações intermoleculares da fração amilose, o que não acontece com a amilopectina, devido às ramificações presentes na molécula. Esse reagrupamento entre as frações de amilose é conhecido como retrogradação, e confere na maioria dos casos, um aumento na viscosidade final (BOBBIO e BOBBIO, 2003).

A tendência a retrogração (TR) é a propriedade que permite avaliar o comportamento do amido durante a fase de resfriamento. Os valores das misturas antes da extrusão para a TR foi de 172,83 a 219,17 RVU. De acordo com Carvalho, Ascheri; Cal-Vidal (2002), a retrogradação do amido ocorre por efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina, em virtude do agrupamento das partes lineares das moléculas do amido através da formação de novas ligações de hidrogênio, resultando na formação de precipitados e/ou géis.

4.2.2 Análises das misturas extrusadas

Decorrido o processo de extrusão, as misturas extrusadas mostraram variação dos parâmetros analisados nas diferentes condições experimentais.

4.2.3 Cor das misturas extrusadas

A reação de Maillard é a principal causa do escurecimento desenvolvido durante o aquecimento e armazenamento prolongado de um produto. Esse processo se dá pela formação de pigmentos escuros chamados de melanoidinas, que são polímeros insaturados coloridos de composição variada. As melanoidinas são geradas pela combinação do grupamento carbonila de um aldeído, cetona ou açúcar redutor com o grupamento amino de um aminoácido, peptídeo ou proteína culminando com a formação de pigmentos escuros (MAIA et al., 2007).

No caso de produtos extrusados o processo de escurecimento também está relacionado com a reação de Maillard. Condições severas de temperatura, umidade e pH podem resultar em produtos mais escuros, com valores de luminosidade menores e com aumento nos valores das coordenadas a^* e b^* (BADRIE; MELLOWES, 1991).

De acordo com Sebio (1996) a estabilidade da cor é uma característica de qualidade para alimentos extrusados que são normalmente consumidos diretamente sem um tratamento térmico posterior.

A luminosidade das farinhas instantâneas de amido e farinha de folhas de mandioca variou de 35,97 a 47,64 podendo ser observado uma diminuição da luminosidade para as farinhas extrusadas, independente do tratamento, quando comparada com L^* das misturas antes da extrusão (87,26 a 92,93).

Os valores observados foram superiores aos citados por Trombini e Leonel (2013) que verificaram o efeito da extrusão termoplástica em produtos elaborados com misturas de amido, farelo de mandioca e farinha de soja obtendo produtos com luminosidade entre 64,11 a 75,25, mostrando ter ocorrido escurecimento, independente das diferentes proporções das misturas extrusadas.

Os coeficientes de regressão do modelo (Tabela 6) mostraram que, a luminosidade das farinhas extrusadas apresentaram efeitos significativos (linear) para a adição de farinha de folhas de mandioca e a temperatura de extrusão, bem como, efeito quadrático da rotação da rosca e da interação da temperatura de extrusão e da rotação da rosca. Contudo, o modelo não pode ser considerado preditivo. Filmore et al. (1976) reportam que R^2 menor que 0,8 torna o modelo inadequado para predição.

Tabela 6- Coeficientes de regressão dos modelos para a cor das misturas extrusadas.

| Parâmetros | Cor | | |
|----------------|--------|---------|-----------|
| | L* | a* | b* |
| Média | 42,34 | 1,2190 | 13,8713 |
| FF | -1,34* | -0,16** | ns |
| T | 1,35* | 0,15** | 1,1512** |
| RR | ns | ns | ns |
| U | ns | -0,13* | 0,7604* |
| FF X FF | ns | -0,13* | ns |
| T X T | ns | ns | ns |
| RR X RR | -1,15* | -0,15** | -0,9025** |
| U X U | ns | -0,14* | ns |
| FF X T | ns | ns | ns |
| FF X RR | ns | 0,12* | ns |
| FF X U | ns | 0,12* | ns |
| T X RR | -1,50* | ns | -1,1281** |
| T X U | ns | ns | -1,2543** |
| RR X U | ns | ns | ns |
| Pr>F | 0,1615 | 0,0019 | 0,0533 |
| F valor | 1,69 | 4,98 | 2,38 |
| R ² | 0,6125 | 0,8230 | 0,6899 |

FF=farinha de folhas de mandioca (linear); T=temperatura (linear); RR=rotação da rosca (linear); U=umidade (linear); FFxFF (farinha de folhas de mandioca (quadrática); TxT=temperatura (quadrática); RRxRR=rotação (quadrática); UxU=umidade (quadrática); FFxT=(interação da farinha de folhas de mandiocaxtemperatura); FFxRR=(farinha de folhas de mandiocaxrotação da rosca); FFxU=(farinha de folhas de mandiocaxumidade); TxRR=(temperaturaxrotação da rosca); TxU=(temperaturaxumidade); RRxT=(rotação da roscaxumidade); L*=luminosidade; a*=componente de cromaticidade a*; b*=componente de cromaticidade b*; ns=não significativo; *=P<0,05; **=P<0,01; ***=P<0,001.

Borges et al. (2010) avaliando os efeitos de parâmetros de extrusão sobre as propriedades físicas de *snacks* de farinha de mandioca e caseína, concluíram que nas condições intermediárias testadas de temperatura (100 °C) e umidade (18 %), o aumento do teor de proteína levou a uma diminuição na luminosidade das amostras.

Leonel et al. (2010) avaliando o efeito de parâmetros de extrusão em misturas de amido de mandioca e polpa cítrica, relataram resultados semelhantes, e concluíram que as condições de baixa umidade e alta rotação foram as de menor luminosidade das amostras, enquanto que, nas condições de elevada temperatura e rotação, foi evidenciada a influência das condições severas de processamento no escurecimento dos produtos.

Os resultados obtidos para o parâmetro de cor a^* das misturas extrusadas ficaram compreendidos entre 0,58 e 2,15 e mostram a presença predominante de pigmentos vermelhos. Leonel et al. (2010) também observaram a presença predominante de a^* positivo em misturas extrusadas de amido de mandioca e polpa cítrica com valores variando de 2,52 a 5,54.

A farinha de folhas de mandioca antes do processo de extrusão apresentava predominância de pigmentos verdes e vermelhos. Com a mistura de amido e, após a extrusão, o a^* sofreu uma mudança para pigmentos vermelhos, evidenciando a formação de compostos da reação de Maillard.

Batista (2010) encontrou valores de a^* na farinha extrusada de feijão preto e caupi, com valores superiores a quatro vezes o a^* da farinha crua.

O modelo ajustado apresentou falta de ajuste não significativa, portanto, pode ser considerado preditivo. Yagci e Gogus (2008) reportam que com probabilidades significativas e falta de ajuste não significativa, os modelos podem ser utilizados como preditivos, independente do baixo coeficiente de determinação. Se o modelo tem falta de ajuste significativa ele não é um bom indicador de resposta e não pode ser utilizado para predição (MYERS; MONTGOMERY, 2002).

A análise dos dados mostrou efeitos lineares da farinha de folhas, temperatura e umidade sobre a^* , bem como, efeitos quadráticos da farinha de folhas, umidade e rotação da rosca. Em condições de elevada temperatura de extrusão, elevada umidade, baixa porcentagem de farinha de folhas e rotação da rosca intermediária são observados maior presença de a^* (Figura 7).

Os efeitos de parâmetros de extrusão e composição da matéria-prima sobre os componentes de cor também foram relatados por Leonel et al. (2010) que observaram em misturas extrusadas de amido de mandioca e polpa cítrica que os menores valores de a^* foram encontrados nas condições de baixa rotação e temperatura de

extrusão, e que nas condições de elevada rotação e temperatura, com baixa umidade, os valores a^* foram maiores.

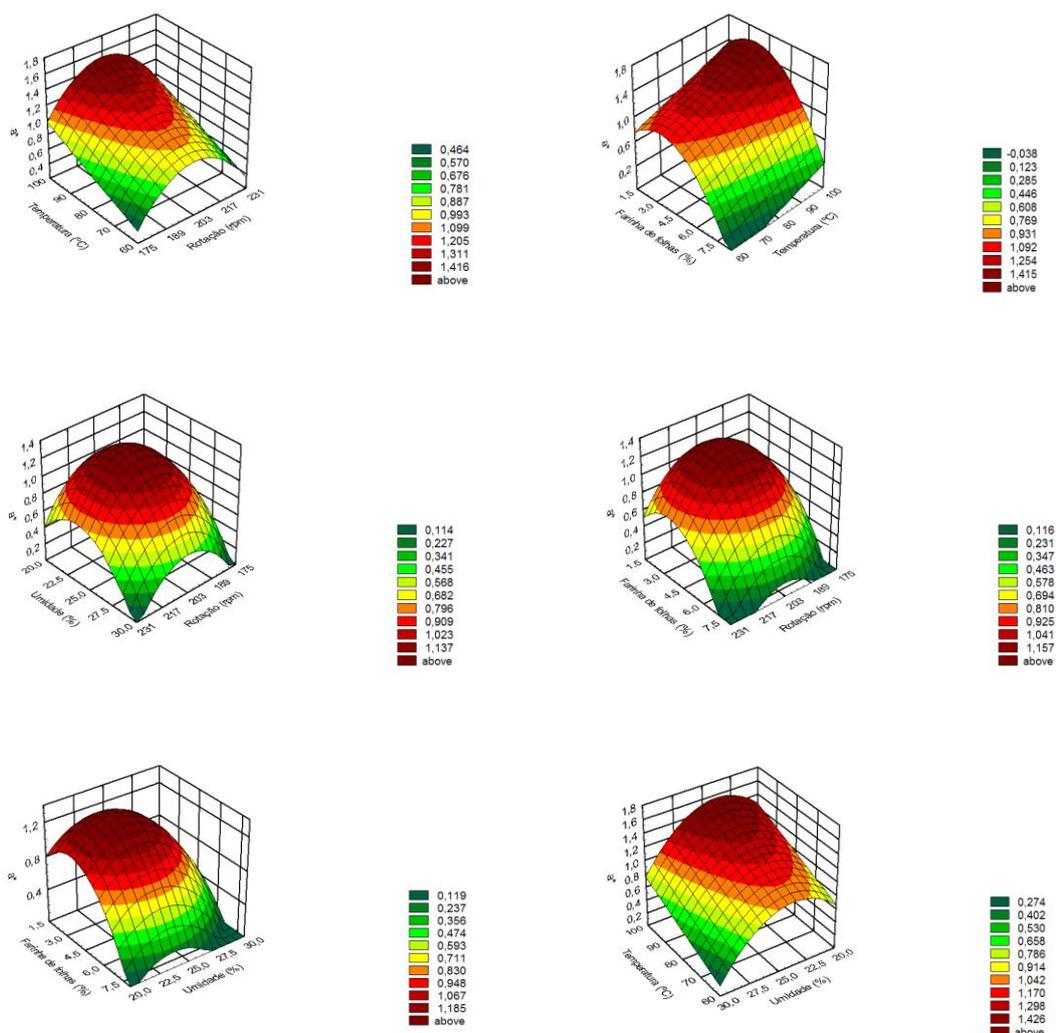


Figura 7- Efeito das condições de extrusão sobre o parâmetro de cor a^* das misturas extrusadas.

Os resultados obtidos para o b^* mostram valores na faixa de 8,30 a 17,38 evidenciando a predominância de pigmentos amarelos. O mesmo efeito foi comprovado por Batista (2010), que encontrou um aumento de 11 % para o b^* da farinha extrusada, em comparação com a farinha crua do feijão preto e caupi.

O modelo ajustado para o parâmetro b^* apresentado na Tabela 7, mostrou efeito significativo para a temperatura de extrusão (linear) positivo ($p < 0,01$), a

umidade com efeito (linear) positivo ($p < 0,05$), seguidos, da rotação da rosca (quadrático), interação da temperatura de extrusão com a rotação da rosca, e temperatura de extrusão com a umidade ($p < 0,01$). Apesar do baixo coeficiente de determinação pode ser considerado preditivo pela falta de ajuste não significativa (YAGCI; GOGUS, 2008).

As superfícies de respostas traçadas mostraram que nas condições extremas de temperatura, umidade e rotação da rosca são observados os menores valores de b^* (Figura 8).

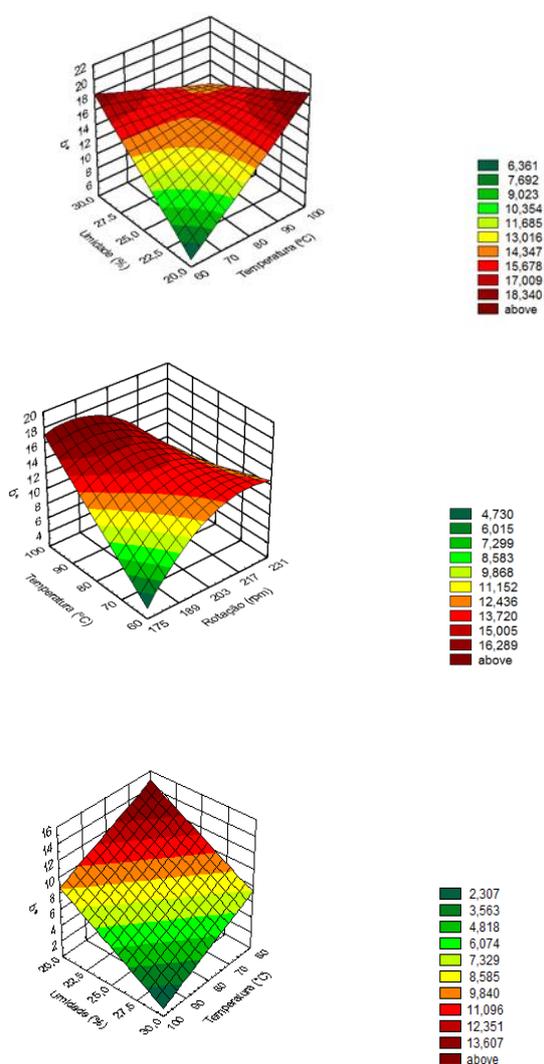


Figura 8- Efeito das condições de extrusão sobre o parâmetro de cor b^* das misturas extrusadas.

Alguns autores relataram que a umidade e a temperatura exercem influência na diferença de cor. Borba (2005) verificou que a diferença de cor aumentou com a redução da umidade, independente da variação da temperatura de extrusão. O baixo conteúdo de umidade durante o processamento da farinha de batata-doce favoreceu a ocorrência de reações de escurecimento não enzimático.

A elevação da temperatura aumenta a intensidade da cor e altos níveis de umidade resultam em produtos mais claros, pois o aumento da umidade reduz o tempo de residência, havendo, portanto, maior fluidez dentro do extrusor, proporcionando menor escurecimento não enzimático dos produtos extrusados (BADRIE; MELLOWES, 1991).

Sebio (1996) ao extrusar farinha de inhame observou que a diferença de cor cresce à medida que a temperatura do processo se eleva, independente da rotação da rosca. Quando a temperatura e a rotação estavam em seus menores níveis ocorreram os menores valores de diferença de cor, pois, segundo o autor, não favorecem a ocorrência de reações de escurecimento não enzimático.

4.2.4 Índice de absorção e solubilidade em água das misturas extrusadas

Wang et al. (2006) relatam que altas temperaturas de extrusão podem causar hidrólise do amido reduzindo a sua capacidade de formar gel, com conseqüente redução da capacidade de absorção de água.

O IAA e o ISA variam com o grau de gelatinização e dextrinização sofridos pelo amido durante o processo por extrusão, assim quanto maior a gelatinização, maior o número de hidroxilas disponíveis para formar ligações de hidrogênio com a água e, como conseqüência, maior o IAA. Já quanto maior a dextrinização, maior a degradação das moléculas de amido em moléculas menores (dextrinas), que são mais solúveis em água e, conseqüentemente, maior o ISA.

Os resultados obtidos para o IAA das misturas extrusadas de amido e farinha de folhas de mandioca variaram de 15,21 a 22,22 g gel.g⁻¹. Esses valores foram superiores aos encontrados nas misturas antes do processo de extrusão os quais variaram de 2,02 a 2,11 g gel.g⁻¹.

O aumento dos valores de IAA e ISA após a extrusão são resultados do grau de severidade dos tratamentos podendo ocorrer degradação e solubilização dos grânulos de amido, proteínas e fibras presentes nas misturas.

O aumento do IAA após a extrusão também foi observado por Silva e Ascheri (2009) que relataram $2,36 \text{ g gel.g}^{-1}$ para a farinha de arroz crua e variação de $6,10$ a $7,76 \text{ g gel.g}^{-1}$ após a extrusão, nas condições de teores de umidade de 20 e 16 %, temperaturas de 180 e 140 °C e velocidade da rosca da extrusora de 140 e 180 rpm.

Souza et al. (2011) estudando o IAA de misturas de amido e bagaço de mandioca extrusada em diferentes condições de umidade e de temperatura observaram IAA com o valor máximo de 9 g gel.g^{-1} nas misturas extrusadas nas condições de 14,67 a 17,14 % de umidade e 73,5 a 97,07 °C de temperatura, valores estes superiores ao $2,83 \text{ g gel.g}^{-1}$ da mistura crua.

Altos valores de IAA após o processo de extrusão são considerados bastante desejáveis em produtos de panificação e de preparo rápido, como produtos instantâneos (macarrões, pudins, sopas e mingaus), pois permitem a adição de mais água à massa, melhorando suas características de manuseio e evitando o ressecamento do produto durante o armazenamento (CLERICI; EL-DASH, 2008).

A análise dos coeficientes de regressão (Tabela 7) mostrou efeitos lineares da farinha de folhas, temperatura de extrusão e da umidade, efeito quadrático da rotação da rosca e efeitos das interações da temperatura com a rotação e com a umidade sobre o índice de absorção de água.

Tabela 7- Coeficientes de regressão dos modelos ajustados para o IAA e ISA das misturas extrusadas.

| Parâmetros | Índices | |
|----------------|-----------|-----------|
| | IAA | ISA |
| Média | 18,9058 | 95,83 |
| FF | -0,5062* | ns |
| T | 1,1271*** | ns |
| RR | ns | 4,6675*** |
| U | 0,4762* | ns |
| FF X FF | ns | ns |
| T X T | ns | ns |
| RR X RR | -0,7010** | ns |
| U X U | ns | ns |
| FF X T | ns | ns |
| FF X RR | ns | ns |
| FF X U | ns | ns |
| T X RR | -0,8756** | ns |
| T X U | -0,8581* | ns |
| RR X U | ns | ns |
| Pr>F | <0,0001 | <0,0001 |
| F valor | 9,84 | 53,72 |
| R ² | 0,7196 | 0,6574 |

FF=farinha de folhas de mandioca (linear); T=temperatura (linear); RR=rotação da rosca (linear); U=umidade (linear); FFxFF(farinha de folhas de mandioca (quadrática); TxT=temperatura (quadrática); RRxRR=rotação (quadrática); UxU=umidade (quadrática); FFxT=(interação da farinha de folhas de mandiocaxtemperatura); FFxRR=(farinha de folhas de mandiocaxrotação da rosca); FFxU=(farinha de folhas de mandiocaxumidade); TxRR=(temperaturaxrotação da rosca); TxU=(temperaturaxumidade); RRxT=(rotação da roscaxumidade); IAA=índice de solubilidade (g gel/g); ISA=índice de solubilidade (%); ns=não significativo; *=P<0,05; **=P<0,01; ***=P<0,001.

Wang et al. (2006) relatam que altas temperaturas de extrusão podem causar hidrólise do amido reduzindo a sua capacidade de formar gel, com conseqüente redução da capacidade de absorção de água. Entretanto, nas condições de maiores temperaturas e umidade, baixa porcentagem de farinha de folhas podem ser

observados os maiores valores para o índice de absorção de água das misturas extrusadas (Figura 9).

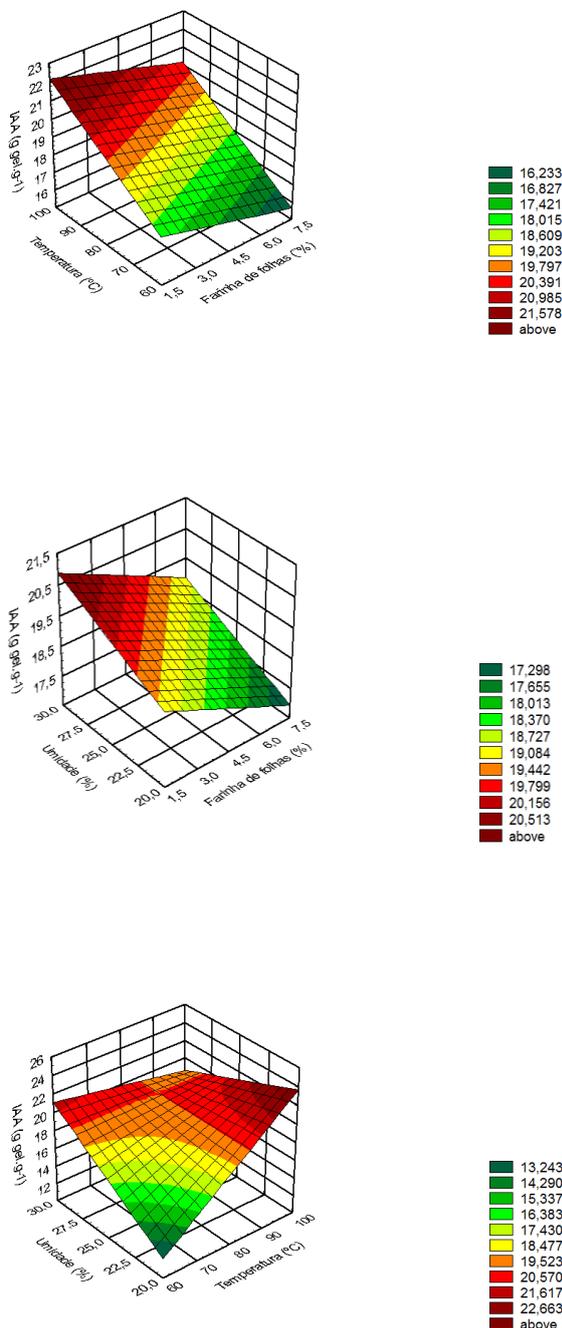


Figura 9- Efeitos das condições de extrusão sobre o índice de absorção de água das misturas extrusadas.

Alguns fatores podem afetar os valores de IAA, além da temperatura, a taxa de cisalhamento também pode provocar ruptura da estrutura amilácea e diminuir os valores de IAA (HAGENIMANA et al., 2006). Como a absorção de água é,

em grande parte influenciada por interações proteína-água, água-água e efeitos de capilaridade, o aumento do IAA após a extrusão se deve em parte ao aumento da capacidade de interação com a água da nova estrutura formada pela desnaturação da proteína durante o processo (ALONSO et al., 2000).

O amido gelatinizado absorve mais água do que em seu estado natural e as proteínas, devido a mudanças conformacionais e estruturais, têm o seu balanço hidrofílico/hidrofóbico alterado, podendo contribuir para o aumento ou diminuição do IAA.

O ISA está relacionado à quantidade de sólidos solúveis em uma amostra seca, permitindo verificar o grau de severidade do tratamento, em função da degradação, gelatinização, dextrinização e conseqüente solubilização do amido e de outros componentes presentes. Os resultados do ISA das misturas variaram de 86,5 a 97,4 %, evidenciando aumento de ISA com o processo de extrusão e elevada degradação dos componentes.

A análise dos coeficientes de regressão mostrou efeito linear da rotação da rosca sobre este parâmetro, ou seja, nas condições de alta rotação o ISA aumenta (Figura 10).

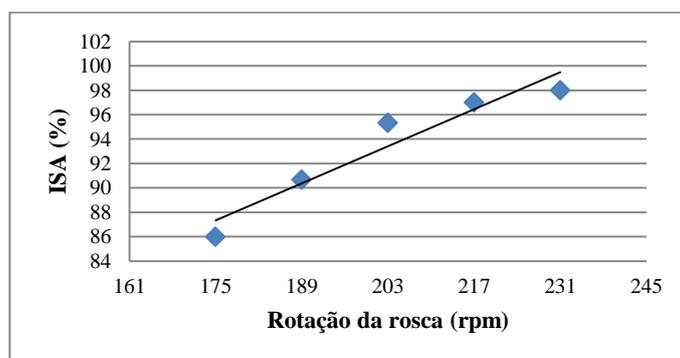


Figura 10- Efeito da rotação da rosca sobre o índice de solubilidade das misturas extrusadas.

4.2.5 Propriedades de pasta das misturas extrusadas

A viscosidade de pasta do amido, avaliada em viscoamilógrafo, parece ser determinada por dois fatores: o grau de inchamento dos grânulos e a resistência desses grânulos à dissolução pelo calor ou a fragmentação pela agitação

mecânica (EL-DASH; GONZALES; CIOL, 1984). A viscosidade inicial dos amidos nativos é praticamente nula. Ao realizar tratamento térmico por extrusão, o amido gelatiniza, absorve água a frio e, quanto maior o grau de gelatinização, maior será a capacidade de formar uma pasta, gel ou líquido viscoso à temperatura ambiente (FRANCO et al., 2001). Esta modificação permite a obtenção de produtos amiláceos instantâneos, como sopas, massas e alimentos infantis.

O grau de cozimento de um produto pode ser verificado por meio da determinação da viscosidade de uma suspensão de amostra que é submetida a um cisalhamento controlado e a um regime de temperatura impondo ciclos intercalados de baixa, alta e baixa temperatura (ASCHERI, 2007).

A viscosidade inicial (VI) das misturas extrusadas variou de 1,83 RVU a 15,75 RVU, valores que evidenciam o aumento da viscosidade a frio com o processo de extrusão.

A análise dos coeficientes de regressão mostrou os efeitos lineares para a farinha de folhas de mandioca e umidade, linear e quadrático para a temperatura de extrusão, bem como, o efeito da interação entre a temperatura de extrusão e umidade sobre a viscosidade inicial das misturas extrusadas (Tabela 8).

As superfícies de resposta traçadas a partir dos modelos ajustados mostram que nas condições de baixa umidade e porcentagem de farinha de folhas, e temperatura de extrusão intermediária são obtidas as maiores viscosidades iniciais (Figura 11).

Quanto mais gelatinizado estiver o amido, maior será a viscosidade a frio da pasta de amido, por outro lado, quando ocorrer também a dextrinização, a viscosidade irá diminuir, porque a capacidade de retenção de água tem uma relação inversa com o tamanho das moléculas de amilose e amilopectina.

Os resultados obtidos neste trabalho encontram-se próximos dos citados por Mendonça (2005), e Borba (2005) que constataram que altos valores de VI são obtidos com baixos teores de umidade e temperaturas e também nos seus inversos.

Para Carvalho et al. (2002), em temperaturas acima de 80 °C e umidade abaixo de 30 % podem ser obtidos maiores índices de viscosidade a frio, características de um produto gelatinizado. Entretanto, temperaturas elevadas e umidades por volta de 40 % ocasionam uma diminuição na viscosidade indicando quebra de polímero.

Tabela 8- Coeficientes de regressão dos modelos ajustados para as propriedades de pasta das misturas extrusadas.

| Parâmetros | VI | PV | QV | VF | TR |
|-------------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| Média | 8,7036 | 36,4088 | 18,538 | 17,9655 | 0,053 |
| FF | -0,9887* | ns | ns | ns | ns |
| T | -0,15454** | ns | ns | ns | ns |
| RR | ns | -3,9691** | -2,9067*** | -1,0242* | ns |
| U | -1,9070** | ns | 2,254** | ns | ns |
| FF X FF | ns | ns | ns | ns | ns |
| T X T | -0,9332* | -3,0402* | ns | -1,7571*** | ns |
| RR X RR | ns | ns | ns | -0,9659* | ns |
| U X U | ns | ns | ns | ns | 0,0624* |
| FF X T | ns | 2,640* | 1,9625* | ns | ns |
| FF X RR | ns | ns | ns | ns | ns |
| FF X U | ns | ns | ns | ns | ns |
| T X RR | ns | -3,6612* | -2,4625* | -1,1725* | ns |
| T X U | 1,9943** | 3,8700* | 2,3500* | 1,5462* | ns |
| RR X U | ns | ns | -2,1952* | ns | ns |
| Pr>F | 0,1003 | 0,0120 | 0,0168 | 0,0694 | 0,7826 |
| F valor | 1,98 | 3,43 | 3,17 | 2,21 | 0,65 |
| R ² | 0,6492 | 0,7618 | 0,7476 | 0,6739 | 0,3793 |

FF=farinha de folhas de mandioca (linear); T=temperatura (linear); RR=rotação da rosca (linear); U=umidade (linear); FFxFF (farinha de folhas de mandioca (quadrática); TxT=temperatura (quadrática); RRxRR=rotação (quadrática); UxU=umidade (quadrática); FFxT=(interação da farinha de folhas de mandiocaxtemperatura); FFxRR=(farinha de folhas de mandiocaxrotação da rosca); FFxU=(farinha de folhas de mandiocaxumidade); TxRR=(temperaturaxrotação da rosca); TxU=(temperaturaxumidade); RRxT=(rotação da roscaxumidade);. VI=viscosidade inicial (RVU); PV=pico de viscosidade (RVU); QV=quebra de viscosidade (RVU); VF= viscosidade final (RVU); TR=tendência a retrogradação (RVU); ns=não significativo; *=P<0,05; **=P<0,01; ***=P<0,001.

O PV das misturas extrusadas de amido e farinha de folhas de mandioca foram de 18,83 a 63,25 RVU. A análise dos coeficientes de regressão mostrou efeitos significativos da rotação da rosca (linear), temperatura (quadrático), e interação da temperatura de extrusão com a rotação da rosca e com a umidade (Tabela 8).

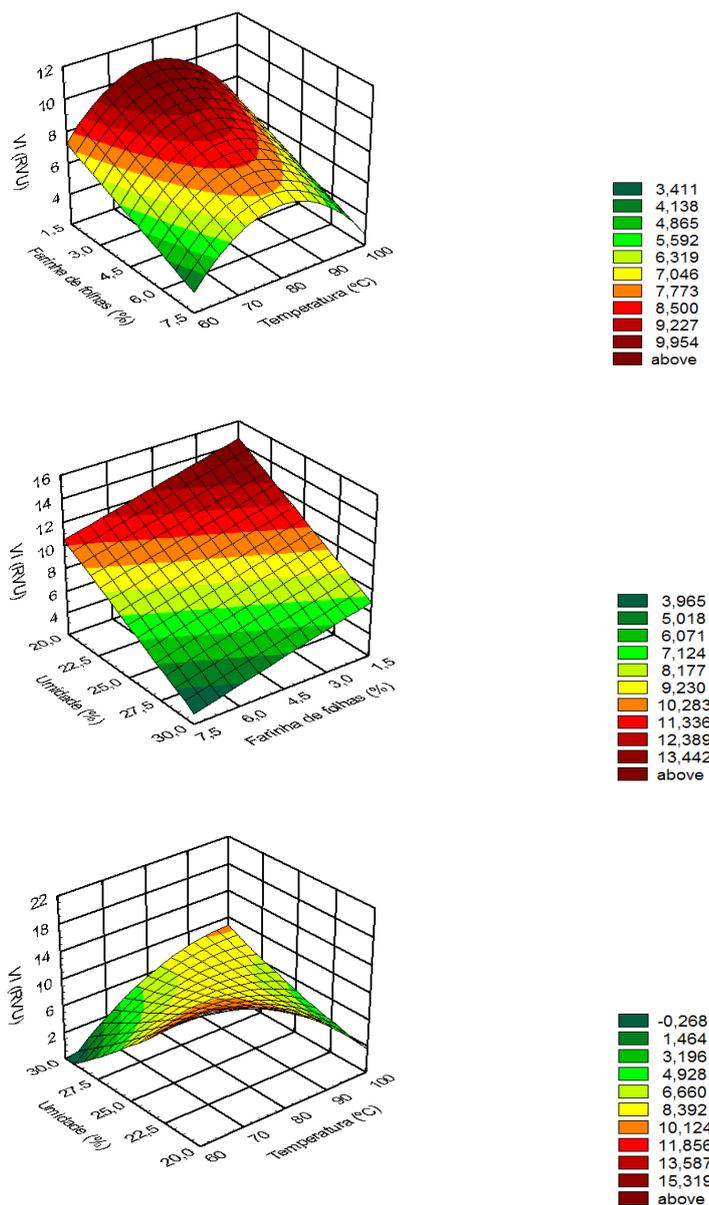


Figura 11- Efeitos das condições de extrusão sobre a viscosidade inicial das misturas extrusadas.

A superfície de resposta traçada a partir do modelo de regressão mostra que nas condições extremas de temperatura e rotação da rosca são obtidos os menores picos de viscosidade (Figura 12). Estes resultados estão em acordo com o relatado por Lustosa et al. (2009), que analisando as propriedades de pasta de farinhas de mandioca extrusadas observaram que os maiores picos de viscosidade foram obtidos nas condições elevadas de rotação (272 rpm) e temperatura (115°C), em umidade constante de 16 %.

A viscosidade a quente está diretamente relacionada com o nível de degradação sofrido pelo grânulo de amido. Quando a estrutura do grânulo é destruída, ele perde sua capacidade de inchar quando aquecido em água e, conseqüentemente, apresenta baixo pico de viscosidade.

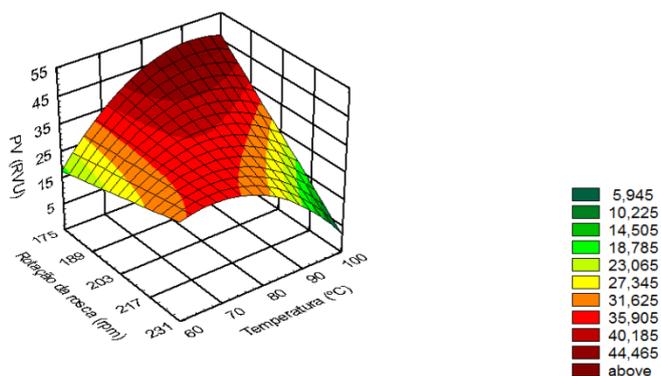


Figura 12- Efeito da rotação da rosca e temperatura de extrusão sobre o pico de viscosidade das misturas extrusadas.

O efeito da interação temperatura e umidade sobre o pico de viscosidade de produtos extrusados também foi relatado em outros trabalhos. Torres et al. (2005) avaliando a influência da umidade e temperatura na viscosidade de pasta de extrusados contendo farinha de banana verde expressaram também que, altas umidades e baixas temperaturas são indicativas de tratamento térmico menos severo, fornecendo as maiores viscosidades máximas a 95 °C.

Por outro lado Silva et al. (2004) observaram que a degradação dos grânulos de amido aumenta em baixa umidade, pois o atrito mecânico no parafuso é maior. Isto se reflete em menores condições de intumescimento dos grânulos, diminuindo a viscosidade. Da mesma forma, o atrito mecânico diminui com a alta umidade havendo menor destruição dos grânulos.

A quebra de viscosidade (QV) representa a diferença entre o pico de viscosidade (PV) e o menor valor após o pico no perfil amilográfico. Esta propriedade permite avaliar a estabilidade do amido em altas temperaturas, sob agitação mecânica, o que é de extrema importância em alimentos pré-cozidos, uma vez que indica, indiretamente, a capacidade do produto em se manter íntegro durante o cozimento (TEBA; ASCHERI; CARVALHO, 2009).

A quebra de viscosidade das misturas extrusadas variou de 8,67 a 41,17 RVU, evidenciando redução deste parâmetro em relação às misturas cruas, independente da condição testada. Os baixos valores de quebra de viscosidade devem-se ao fato de que, devido à degradação da fração amilácea, não ocorreram picos significativos de viscosidade.

A análise dos coeficientes de regressão mostrou efeitos significativos da rotação da rosca (linear), da umidade (linear) e das interações da farinha de folhas com a temperatura, temperatura com a rotação da rosca, temperatura com umidade e da rotação da rosca com a umidade (Tabela 8). O modelo ajustado foi significativo e teve falta de ajuste não significativa, portanto, apesar do baixo coeficiente de determinação o modelo pode ser considerado preditivo.

De acordo com a superfície de resposta traçada maiores quebras de viscosidade são obtidas nas condições de maior umidade das misturas e baixa rotação da rosca (Figura 13). Bhattacharya, Sudha e Rahim (1999), ao estudar o efeito de parâmetros de extrusão em misturas de farinha de batata e de trigo, observaram menores valores de Quebra de Viscosidade (QV) em baixa umidade (15,5 %) e a elevação da umidade para 20,7 % proporcionou aumento significativo para este parâmetro. Segundo os autores, os elevados teores de umidade na matéria-prima poderiam estar agindo como lubrificantes, reduzindo a viscosidade de fusão durante a extrusão e elevando os valores de quebra de viscosidade.

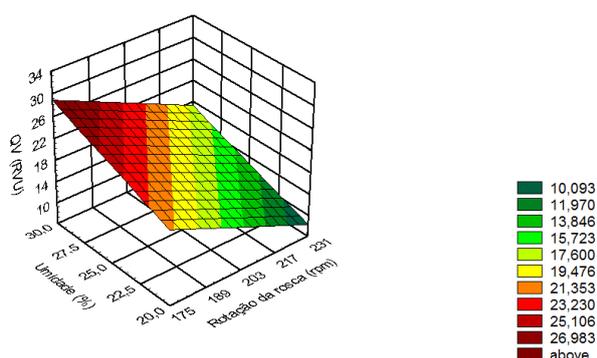


Figura 13- Efeito da umidade e da rotação da rosca sobre a quebra de viscosidade das misturas extrusadas.

A viscosidade final em produtos extrusados depende das modificações que ocorrem nas estruturas do grânulo de amido e dos outros componentes não amiláceos durante o processamento (EL-DASH, 1982).

A VF das farinhas instantâneas apresentaram resultados entre 9,50 a 25,33 RVU. Bhattacharya, Sudha; Rahim (1999), avaliando o efeito da umidade inicial das amostras de misturas de farinha de trigo e batata sobre o comportamento de pasta de produtos extrusados, utilizando o Rapid Visco Analyser (RVA), não observaram no resfriamento aumento acentuado da viscosidade aparente, indicando degradação da fração amilácea durante a extrusão, resultando, assim, em aumento insignificante da viscosidade final a 50 °C.

Os coeficientes de regressão mostraram que tiveram efeitos significativos neste parâmetro a rotação da rosca (linear e quadrático), a temperatura (quadrático), da interação da temperatura e rotação, assim como, a interação temperatura e umidade (Tabela 8).

A superfície de resposta traçada mostra que nas condições centrais testadas da rotação da rosca e da temperatura de extrusão são observadas as maiores viscosidades finais (Figura 14).

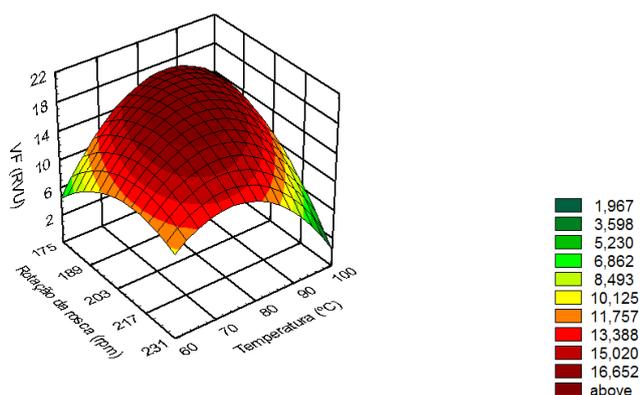


Figura 14- Efeito da rotação da rosca e da temperatura de extrusão sobre a viscosidade final das misturas extrusadas.

Segundo Carvalho et al. (2002), os menores valores de viscosidade final podem ser obtidos em tratamentos mais severos (com menor umidade e maior temperatura, por exemplo), causando a degradação do amido, e conseqüentemente a perda da capacidade de retrogradação.

A retrogradação do amido ocorre por efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina, decorrente do agrupamento das partes lineares das moléculas de amido através da formação de novas ligações de hidrogênio, resultando na formação de precipitados e/ou géis (GUTKOSKI, 2000).

Os valores da tendência à retrogradação dos produtos extrusados variaram de 0,0 a 0,67 RVU. Uma característica marcante de produtos extrusados é a de não apresentar aumento de viscosidade com o abaixamento da temperatura de 95 para 50 °C. A análise dos coeficientes de regressão confirmou o efeito de (SOUZA; LEONEL, 2010). O modelo ajustado obtido não pode ser utilizado para fins preditivos.

4.3 EXPERIMENTO III

4.3.1 Aspecto visual das massas alimentícias extrusadas

As massas alimentícias obtidas nas diferentes condições de extrusão mostraram diferenças visuais importantes. Foi possível observar que as massas obtidas em alguns tratamentos não atenderam importantes parâmetros de qualidade visual, ou seja, textura lisa, coloração uniforme, sem pontuações (Figura 15).

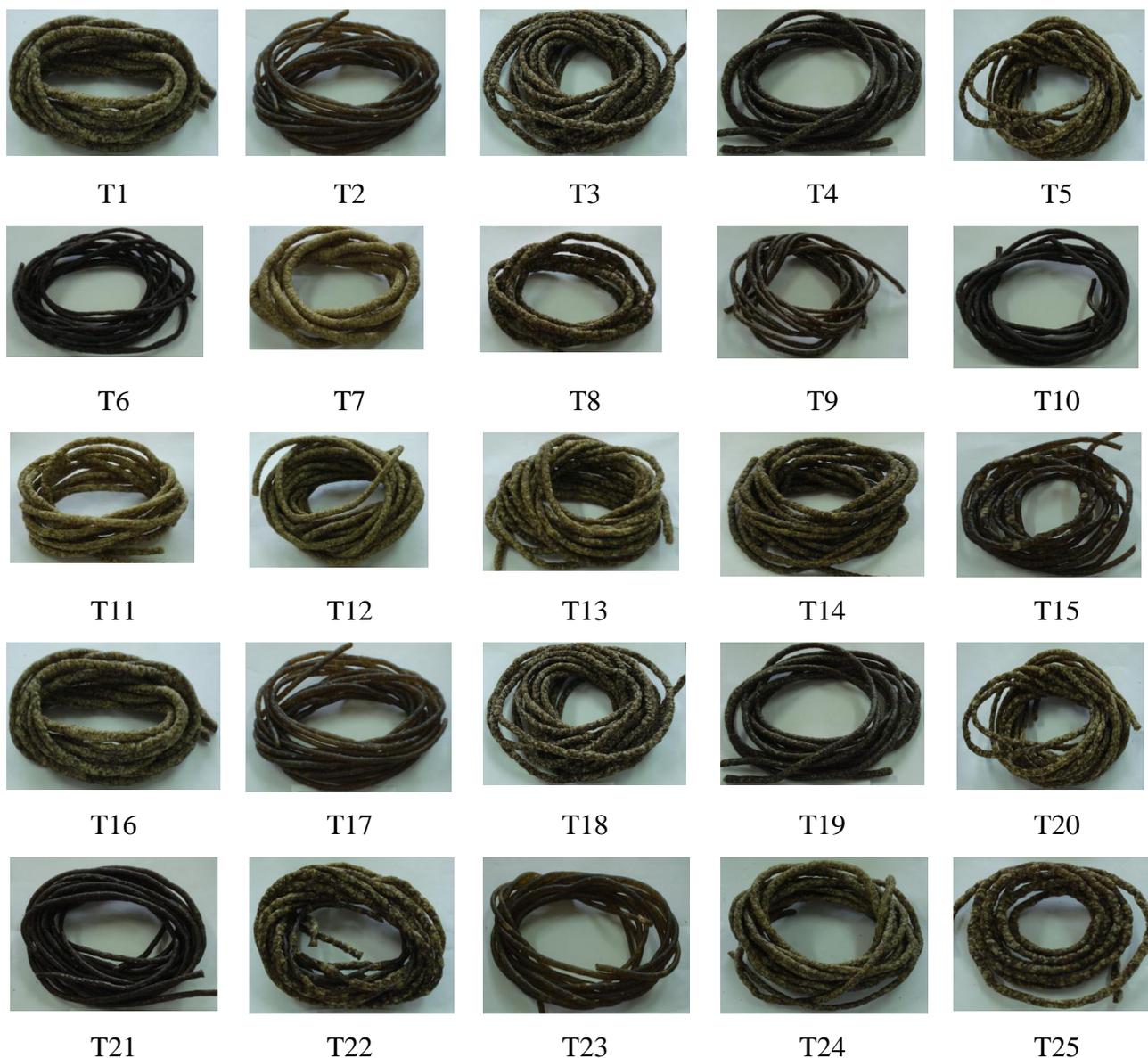


Figura 15- Aspecto visual das massas alimentícias extrusadas obtidas nas diferentes condições experimentais.

Galvez e Resurreccion (1992) estudando características de qualidade em *mungbean*, produto bastante popular na Ásia, levantaram os atributos de avaliação da aparência da massa seca e os relacionados ao consumo do produto cozido. Foram definidos como mais importantes e indicadores da qualidade a cor, o brilho e a transparência do produto seco, além da textura do produto cozido.

4.3.2 Caracterização das massas secas

A Tabela 9 mostra os resultados obtidos para os modelos estatísticos ajustados para o volume, volume específico e densidade das massas secas.

Somente grânulos de amido gelatinizados absorvem água em temperatura ambiente e incham, contudo com o aumento do grau de gelatinização, aumenta a fragmentação do amido e, com isso, diminui a absorção de água. Assim, no caso das massas alimentícias, as mesmas irão absorver maior ou menor quantidade de água segundo o tratamento adotado na extrusão termoplástica (CARVALHO, ASCHERI; CAL-VIDAL (2002); BORBA, SARMENTO; LEONEL, 2005; TEBA, 2009).

Os resultados para o volume (V) das massas secas variaram de 1,0 a 2,0 cm³. Os coeficientes de regressão mostraram que houve influência significativa de interação da temperatura com a umidade (Tabela 9). Contudo, o modelo obtido não pode ser considerado preditivo.

Os resultados obtidos para o volume específico (VE) das massas secas variou de 0,59 a 2,0 cm³/g. A análise de regressão mostrou terem ocorridos efeitos lineares da porcentagem de farinha de folhas e temperatura, da interação para a farinha de folhas de mandioca com a temperatura e com a umidade, e da temperatura de extrusão com a umidade (Tabela 9). O modelo apesar do baixo coeficiente de regressão apresentou falta de ajuste significativa, podendo, portanto, ser observado que nas condições de maior concentração de farinha de folhas de mandioca e elevada temperatura de extrusão têm-se os maiores volumes específicos (Figura 16).

A densidade (D) das massas antes do cozimento teve resultados entre 0,5 e 1,7 g/cm³. A análise dos coeficientes de regressão mostrou efeitos lineares da farinha de folhas de mandioca e temperatura, quadrático da temperatura, da interação da farinha de folhas com a temperatura, com a rotação e com a umidade, assim como, da interação temperatura e rotação (Tabela 9). As menores densidades são obtidas nas condições de elevada porcentagem de farinha de folhas e elevada temperatura de extrusão, conforme mostra a Figura 17.

Tabela 9- Coeficientes de regressão dos modelos ajustados para as massas secas.

| Massas secas | | | |
|---------------------|----------|-----------|----------|
| Parâmetros | V | VE | D |
| Média | 1,2100 | 1,1961 | 0,875 |
| FF | ns | ns | -0,054* |
| T | ns | ns | -0,070* |
| RR | ns | 0,2537* | ns |
| U | ns | 0,1954* | ns |
| FF X FF | ns | ns | ns |
| T X T | ns | ns | 0,069* |
| RR X RR | ns | ns | ns |
| U X U | ns | ns | ns |
| FF X T | ns | 0,1475** | -0,1312* |
| FF X RR | ns | ns | -0,094* |
| FF X U | ns | -0,1362** | 0,1062* |
| T X RR | ns | -0,082* | 0,08* |
| T X U | -0,1875* | -0,1237* | ns |
| RR X U | ns | ns | ns |
| Pr>F | 0,4588 | 0,0029 | 0,0059 |
| F valor | 1,05 | 4,61 | 3,98 |
| R ² | 0,4958 | 0,8114 | 0,7880 |

FF=farinha de folhas de mandioca (linear); T=temperatura (linear); RR=rotação da rosca (linear); U=umidade (linear); FFxFF(farinha de folhas de mandioca (quadrática); TxT=temperatura (quadrática); RRxRR=rotação (quadrática); UxU=umidade (quadrática); FFxT=(interação da farinha de folhas de mandiocaxtemperatura); FFxRR=(farinha de folhas de mandiocaxrotação da rosca); FFxU=(farinha de folhas de mandiocaxumidade); TxRR=(temperaturaxrotação da rosca); TxU=(temperaturaxumidade); RRxT=(rotação da roscaxumidade); V=volume do macarrão cru (cm³); VE=volume específico do macarrão cru (cm³/g); D=densidade do macarrão cru (g/cm³); ns=não significativo; * = P<0,05; ** = P<0,01; *** = P<0,001.

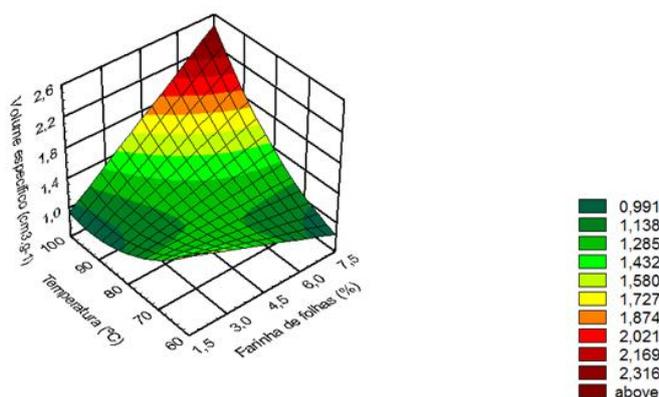


Figura 16- Efeito da temperatura de extrusão e porcentagem de farinha de folhas sobre o volume específico das massas secas.

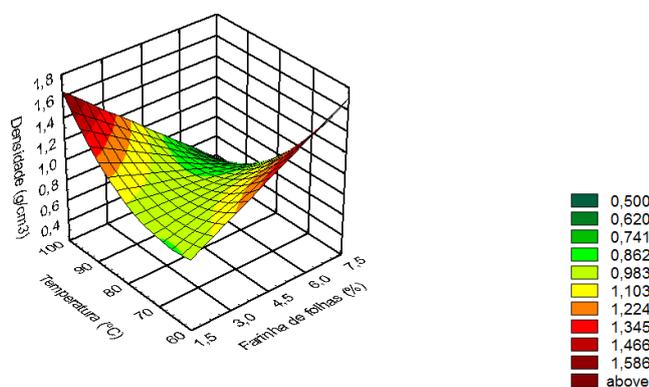


Figura 17- Efeito da temperatura de extrusão e porcentagem de farinha de folhas sobre a densidade das massas secas.

4.4 Análises das massas extrusadas após o processo de cocção

O comportamento das massas alimentícias durante e após o cozimento é o parâmetro de qualidade de maior importância para os consumidores desse produto. Diversos autores (AUTRAN, ABECASSIS; FEILLET, 1986; D'EGIDIO et al. 1990; MATSUO et al. 1982) mencionam que as diferenças na qualidade de cozimento das massas tradicionais podem ser explicadas pela variação no teor e na composição da proteína do trigo e do seu material amiláceo. Sendo o teor protéico responsável por dois terços dessas diferenças, e a variação da composição da proteína responsável por um terço restante (KRUGER, MATSUO; DICK, 1996).

No caso de massas alimentícias não convencionais, elaboradas sem o glúten, procura-se formar uma estrutura semelhante aquela do glúten proporcionada através do emprego de tecnologias que explorem as propriedades funcionais do amido presente na matéria-prima ou através da adição de farinhas ricas em proteínas ou de aditivos, como afirma Pagani (1986).

A Tabela 10 apresenta os resultados dos coeficientes de regressão dos modelos ajustados para as análises das massas instantâneas cozidas.

Tabela 10- Coeficientes de regressão dos modelos ajustados para as análises das massas extrusadas após o processo de cocção.

| Parâmetros | Variáveis dependentes | | |
|----------------|-----------------------|-----------|-----------|
| | AV | R | SS |
| Média | 226,38 | 327,83 | 2,030 |
| FF | ns | ns | ns |
| T | 71,583*** | 71,583*** | ns |
| RR | ns | ns | ns |
| U | ns | ns | -0,7417** |
| FF X FF | ns | ns | ns |
| T X T | ns | ns | ns |
| RR X RR | -29,31** | -30,034** | ns |
| U X U | ns | ns | ns |
| FF X T | ns | ns | ns |
| FF X RR | ns | ns | ns |
| FF X U | ns | ns | ns |
| T X RR | ns | ns | ns |
| T X U | ns | ns | ns |
| RR X U | ns | ns | ns |
| Pr>F | 0,0128 | 0,0121 | 0,5929 |
| F valor | 3,37 | 3,42 | 0,88 |
| R ² | 0,7590 | 0,7615 | 0,4507 |

FF=farinha de folhas de mandioca (linear); T=temperatura (linear); RR=rotação da rosca (linear); U=umidade (linear); FFxFF=farinha de folhas de mandioca (quadrática); TxT=temperatura (quadrática); RRxRR=rotação (quadrática); UxU=umidade (quadrática); FFxT=farinha de folhas de mandioca x temperatura (interação); FFxRR=farinha de folhas de mandioca x rotação da rosca (interação); FFxU=farinha de folhas de mandioca x umidade (interação); TxRR=temperatura x rotação da rosca (interação); TxU=temperatura x umidade (interação); RRxU=rotação da rosca x umidade (interação); R²=coeficiente de determinação; AV=aumento de volume (%); R=rendimento (%); SS=perda de sólidos solúveis (%); ns=não significativo; *=P<0,05; **=P<0,01; ***=P<0,001.

Segundo Leitão et al. (1990), as características mais interessantes no teste de cozimento são o grau de cozimento, a resistência ao colamento, capacidade de absorção de água e aumento de volume. Ainda de acordo com este autor, a natureza e a qualidade da matéria-prima utilizada, as características do formato do produto acabado, o sistema de processamento, secagem e o próprio sistema de cozimento, influenciam este teste.

Os resultados obtidos para o aumento de volume das massas variou de 91,4 a 410,4 %. A análise dos dados mostrou a influência da temperatura (linear) e da rotação da rosca (quadrático) para o parâmetro aumento de volume (Tabela 10). Nas condições experimentais estabelecidas, o rendimento é maior quando obtido em altas temperaturas sob rotação intermediária (205 rpm) (Figura 18).

Borges et al. (2003), estudando o tempo de cozimento para macarrões de farinha de integral de quinoa e farinha de arroz polido comparado ao macarrão comercial tipo talharim quanto ao tempo e temperatura de cozimento, observaram que o tempo de cozimento dos macarrões pré-cozidos por extrusão termoplástica correspondeu a aproximadamente metade do tempo de cozimento do macarrão tipo talharim, o que oferece grande vantagem com relação às etapas de pré-preparo e preparo do prato. Os mesmos autores concluem que, em relação às características das matérias-primas, acredita-se que a ausência de glúten possa ter influenciado nos resultados obtidos. O glúten confere à massa propriedades tecnológicas, como elasticidade, coesividade, hidratação, conformação e tamanho molecular, contribuindo assim para aumento no rendimento, redução no teor de sólidos solúveis e firmeza em água quente, embora favoreça o aumento do tempo de cozimento.

De acordo com Ormenese et al. (2001), o que se espera do aumento de volume de massas que contenham outros tipos de farinha em sua composição, além da farinha de trigo, é que quanto maior seja a porcentagem dessas outras farinhas, menor seja o aumento de volume, já que este além de depender do tempo de cozimento e do formato da massa, depende também, segundo Menegassi e Leonel (2006), do conteúdo e qualidade de proteínas, as quais no processo de mistura da massa, hidratam e absorvem água, participando do aumento de volume da mesma.

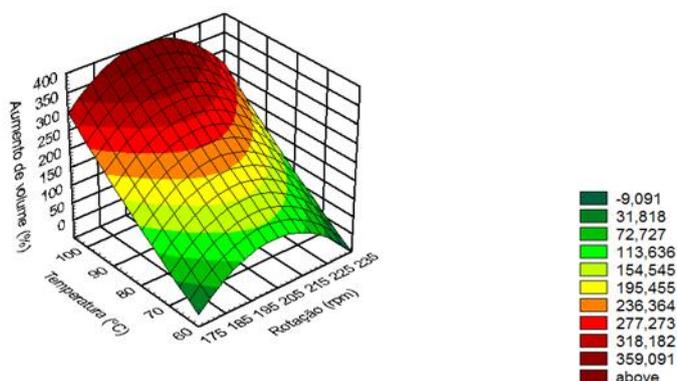


Figura 18- Efeito da rotação da rosca e da temperatura de extrusão sobre o aumento de volume das massas cozidas.

Hummel (1966) classifica como adequado o aumento de volume na faixa de 200 a 300 %. De modo geral, as massas elaboradas com amido e farinha de folhas de mandioca apresentaram valores dentro da faixa considerada de média qualidade (91,4 a 410,4 %).

Teba (2009) obteve valores de aumento de volume variando de 104,27 à 285,71 % para massas alimentícias pré-cozidas, elaboradas com farinha de arroz e farinha de feijão preto sem casca. Estes resultados foram superiores quando comparados às massas comerciais de trigo (110,0 %) e de arroz (117,60 %). Entretanto, Borges et al. (2003) estudando massas elaboradas com farinha de quinoa e farinha de arroz obtiveram menores valores para o aumento de volume (150 e 120 %) tomando como referência a massa de talharim comercial (266 %). Os mesmos autores afirmaram ainda, que o pré-cozimento por extrusão termoplástica e a ausência do glúten na composição da matéria-prima podem ter influenciado no resultado, quanto às características tecnológicas.

Menegassi e Leonel (2005) verificando o efeito da adição de farinha de mandioquinha-salsa nas proporções de 25, 50, 75, 100 % com a farinha de trigo comercial e, observando-se o aumento de volume verificou-se que não houve diferença significativa entre as massas, ou seja, o acréscimo de farinha de mandioquinha-salsa não influenciou tal parâmetro até a quantidade de 75 % dessa farinha na composição da massa.

Os resultados obtidos para o rendimento das massas alimentícias de amido e farinha de folhas de mandioca variou de 191,4 a 510,4 %. De acordo com os

coeficientes de regressão ajustados para o rendimento das massas, a temperatura teve influência altamente significativa, seguida da rotação da rosca (quadrático) (Tabela 10).

A superfície de resposta mostra que maior rendimento pode ser obtido em altas temperaturas de extrusão e rotação da rosca com valores intermediários (Figura 19).

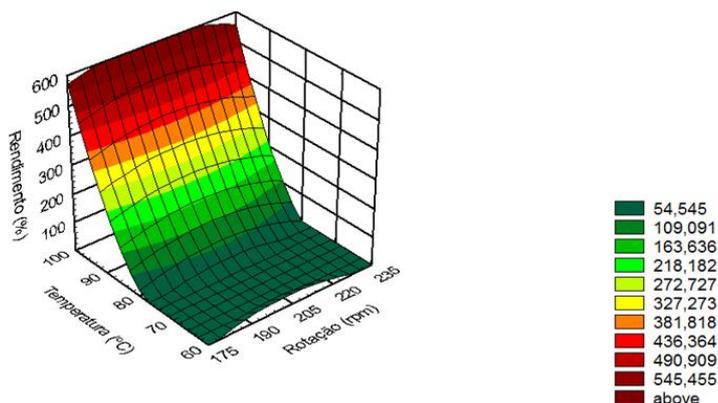


Figura 19- Efeito da rotação da rosca e da temperatura de extrusão sobre o rendimento das massas cozidas.

Borges et al. (2003) estudando massas elaboradas com farinha de quinoa e farinha de arroz obtiveram valores para o rendimento de 198,50 a 202,90 % tomando como referência a massa de talharim comercial (245 %). Os valores obtidos por esses autores estão dentro da faixa compreendida quando comparados ao rendimento do macarrão de amido e farinha de folhas de mandioca. Porém, Menegassi e Leonel (2005), estudando o efeito da adição da farinha de mandioquinha-salsa à farinha de trigo, verificaram que não houve diferenças significativas entre as massas com adição de até 75 % de farinha de mandioquinha-salsa, sendo que, a massa com menor rendimento foi obtida com 100 % farinha de mandioquinha-salsa.

Os resultados para a perda de sólidos solúveis variaram de 0,1 a 10,6 %. Os resultados estatísticos mostraram efeito significativo da umidade, mas o modelo teve baixo coeficiente de determinação (Tabela 10).

Segundo os critérios de Hummel (1966), perdas de sólidos solúveis de até 6 % são características de massas de trigo de qualidade muito boa, até 8 %

de massa de média qualidade e valores iguais ou superiores a 10 % são características de massa de baixa qualidade.

Casagrandi et al. (1999) produziram massa alimentícia de farinha de trigo a qual foi parcialmente substituída pela farinha de feijão guandu com o emulsificante estearoil-2-lactil-lactato de sódio, nas diferentes proporções de 5 %, 10 % e 15 % obtendo valores respectivos de 13,30 %, 14,37 % e 15,60 % para o teor de sólidos solúveis.

Garib (2002) produziu uma massa alimentícia fresca tipo talharim fino à base de farinha mista de trigo, milho pré-gelatinizada e soja desengordurada e inativa, e obteve um valor de perda de sólidos no cozimento de 9,33 %. Segundo a autora do trabalho, a perda de sólidos solúveis é proporcional ao aumento de farinha de soja e de milho na composição do produto, ou seja, quanto maior a proporção destas farinhas utilizadas no produto, maior será a perda de sólidos solúveis na água do cozimento. Entretanto, ela ressalta que a adição do aditivo estearoil-2-lactil lactato de sódio (emulsificante), quando utilizado pode diminuir o valor das perdas de sólidos solúveis e ainda melhorar a qualidade de cozimento das massas tendo como resultado uma menor pegajosidade, aumento de brilho, aumento de volume, consistência e coloração do produto.

Cavalcante Neto (2012) desenvolvendo um macarrão de farinha de trigo com adição parcial de farinha do mesocarpo do babaçu nas proporções de 10, 15 e 20 % e obteve valores para a perda de sólidos solúveis entre 3,73 e 8,79 %. Concluiu que a menor perda de sólidos solúveis foi obtida no macarrão com substituição de 20 % dessa farinha. Segundo o mesmo autor, a perda de sólidos foi reduzida à medida que aumentou as porcentagens de farinha de mesocarpo.

Kaminski (2011), estudando o macarrão de farinha integral de centeio nas proporções de 10, 20, 50 e 75 % à farinha de trigo tipo 1 sem aditivos obteve os seguintes resultados na ordem descrita respectivamente 9,01, 9,52, 9,29, 9,71 % comparando com o padrão (farinha de trigo) que foi de 8,62 %. Concluiu que a perda de sólidos dos macarrões aumentou quando foi adicionado maiores teores de farinha integral de centeio. O autor afirma ainda, que apesar de não ter ocorrido diferenças estatísticas significativas, estes resultados são justificados pela natureza da farinha utilizada na substituição da farinha de trigo, com maior granulometria e partes fibrosas provenientes das camadas mais externas dos grãos de centeio.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos três experimentos permitiram concluir que:

- O amido de mandioca apresenta alto conteúdo de carboidratos totais, o que permite sua utilização em produtos que requerem um aumento de viscosidade de pasta;
- O amido também possui alta luminosidade fornecendo géis de tonalidade clara;
- A farinha de folhas de mandioca apresentou elevado teor de proteína, fibras, baixo componente amiláceo;
- A vitamina C e o β -caroteno presente na farinha de folhas de mandioca tiveram valores elevados podendo considerar uma boa fonte desses componentes, mesmo após o processo de desidratação, as características para essas vitaminas foram mantidas;
- O teor de cianeto dosado na farinha de folhas de mandioca apresentou baixo valor, comprovando que o processo de secagem, trituração e desidratação é capaz de reduzir em boa parte esse componente tóxico;
- A adição de farinha de folhas de mandioca ao amido na proporção entre 4,5 % e 6,0 % de farinha de folhas de mandioca, luminosidade clara, baixo índice de solubilidade, e índice de absorção de água moderado, viscosidade inicial elevada e baixa tendência a

retrogradação foram os tratamentos obtidos com valores intermediários de temperatura de extrusão e rotação da rosca apresentando potencialidade de aplicação proposta por este trabalho;

-A obtenção de farinhas instantâneas de misturas de amido mandioca e farinha de folhas de mandioca, bem como, de massa alimentícia instantânea por extrusão apresenta-se como uma importante alternativa de valorização da mandioca e seus derivados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEWUSI, S. R. A.; BRADBURY, J. H. Carotenoids in cassava; comparison of open column and HPLC methods of analysis. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v. 62, n. 4, p. 375-383, 1993.

ALMEIDA, X. E.; AGOSTINI, I.; TERNES, M. Aproveitamento da parte aérea da mandioca na alimentação de bovinos. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 13, n. 2, p. 30-33, 1990.

AMES, J. M. Applications of the Maillard reaction in the food industry. **Food Chemistry**, Whiteknights, v. 62, n. 4, p. 431-439, 1998.

ANDERSON R. A.; CONWAY, V. F.P.; GRIFFIN , E. L. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v.14, n.1, p.4-7, jan.1969.

APRUZZESE, F. et al. In-line measurement of residence time distribution in a co-rotating twin-screw extruder. **Food Research International**, Toronto, v. 36, n. 5, p. 461-467, 2003.

ARAÚJO, W. M. C. et al. **Alquimia dos alimentos**. Brasília: SENAC, 2007. 557 p.

ASCHERI, J. L. R. **Curso de processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos extrusados, para o consumo humano e animal.** EMBRAPA, Rio de Janeiro, 2007. Não paginado.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTOS BRASILEIROS DE MANDIOCA (ABAM). Disponível em: <<http://abam.com.br>>. Acesso em: 15 julho. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE MASSAS ALIMENTÍCIAS (ABIMA). Disponível em: <<http://www.abima.com.br>>. Acesso em: 15 julho 2013.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS **Official Methods of Analysis.** 18th ed. Gaithersburg: USA, 2007.

ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and *in vitro* digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. **Food Chemistry**, Oxford, v. 68, n. 2, p. 159-165, 2000.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists.** 10th ed. Minnesota: USA, 2003.

ASP, N. G.; BJÖRCK, I. Nutritional proprieties of estruded foods. In: MERCIER, C. KINKO, P.; HARPER, J. (Eds). **Extrusion Cooking**, Minnesota, p. 399-434, 1989.

ATHAR, N. et al. Vitamin retention in extruded food products. **Journal Food Composition and Analysis**, Palmesrton North, v.19, p.379-383, 2006.

AUTRAN, J. C.; ABECASSIS, J.; FEILLET, P. Statistical evaluation of different technological and biochemical tests for quality assessment in durum wheat. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 63, n. 5, p. 390-394, 1986.

ÁVILA, R. et al. Avaliação da composição centesimal e utilização na elaboração de biscoitos tipo cookie do resíduo da extração da fécula do mangarito. **Revista Brasileira de Agrotecnologia.** Anápolis, v.1, n. 1, p. 21-32, 2010.

AWOYINKA, A. F.; ABEGUNDE, V. O.; ADEWUSI, S. R. A. Nutrient content of young cassava leaves and assessment of their acceptance as a green vegetable in Nigeria. **Plant Foods for Human Nutrition.** Dordrecht, v. 47, n. 1, p. 21-8, 1995.

BADRIE, N.; MELLOWES, W. A. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, n. 5, p. 1334-1337, 1991.

BATES, L. et al. Laboratory reaction cell to model Maillard color development in a starch-glucose-lysine system. **Journal of Food Science**, Amherst, v. 63, n.6, p. 991-996, 1998.

BHATTACHARYA, S.; SUDHA, M.; RAHIM, A. Pasting characteristics of an extruded blend of potato and wheat flours. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 40, p. 107-111, 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução RDC nº. 263**, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 set. 2005. Disponível em: <http://www.abima.com.br/dload/13_46_resol_263_05_leg_alim_nac.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2011.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA) Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 dez. 2003. Disponível em: <<http://e-legis.bvs.br/leisref/public/search.php>>. Acesso em: 18 out. 2005.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA) Resolução RDC nº 60, de 5 de setembro de 2007. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 5 set. 2007. Disponível em: <<http://e-legis.bvs.br/leisref/public/search.php>>. Acesso em: 18 jul. 2013.

BATISTA, K. A. **Extrusão de farinha de feijão *hard-to-cook*: características bioquímicas e propriedades funcionais**. 117 f. Dissertação (Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2010.

BEMILLER, J. N. Starch modification: challenges and prospects. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 49, n. 4, p. 127-131, 1997.

BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 835- 843, 2005.

BORGES, G. G. et al. Viscosidad de pasta, absorcion de água y absorción de grasa de gachas deshidratadas elaboradas com maiz y soja. **Alimentaria**, Madrid, v. 35, n. 295, p. 63-66, 1998.

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

BULÉON, A. et al. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, Maryland Heights, v. 23, p. 85-112, 1998.

CAGNON, J. R.; CEREDA, M. P.; PANTAROTTO, S. Glicosídeos cianogênicos da cassava: biossíntese, distribuição, destoxificação e métodos de dosagem. In: Cereda, M. P. (Coord.) **Agricultura: Tuberosas Amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. v. 2, cap. 5, p. 83-99.

CHAVES, J. G. Extrato protéico das folhas de mandioca. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 13, n. 145, p. 47-52, 1987.

CÂMARA, F. S.; MADRUGA, M. S. Cyanic acid, phytic acid, total tannin and aflatoxin contents of a Brazilian multimistura preparation. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 14, n.1, p. 33-6, 2001.

CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A.; KRUMAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Massachusetts, v. 29, n. 1, p. 35-57, 1990.

CAMIRE, M. E. Protein functionality modification by extrusion cooking. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Orono, v. 68, n. 3, p. 200-205, 1991.

CAPERUTO, L. C. **Desenvolvimento e avaliação de massa tipo macarrão para celíacos**. 1999, 116 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas, Campinas, 1999.

CARREIRO, A. et al. **Alimentos extrusados**. Faculdade de Ciências Farmacêuticas – Tecnologia de Alimentos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 14 p., 2008.

CARVALHO, V. D.; PAULA, M. B.; JUSTER-JÚNIOR, E. S. G. Efeito da época de colheita no rendimento e composição química de fenos da parte aérea de dez cultivares de mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 41, n. 1, p. 43-59, 1985.

CARVALHO, V. D.; KATO, M. S. A. Potencial de utilização da parte aérea da mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 5, n. 1, p. 63-70, 1987.

CARVALHO, R. V. **Formulações de snacks de terceira geração por extrusão: caracterização texturométrica e microestrutural**. 2000. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de pellets (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, 2002.

CASAGRANDE, D. A. et al. Análise tecnológica, nutricional e sensorial de macarrão elaborado com farinha de trigo adicionada de farinha de feijão-guandu. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 12, n. 2, p. 137-143, 1999.

CAVALCANTE NETO, A. A. **Desenvolvimento de massa alimentícia mista de farinhas de trigo e mesocarpo de babaçu (*Orbignya sp.*)**. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

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

CHEFTEL, J. C. Nutritional effects of extrusion cooking. **Food Chemistry**, Montpellier, v. 20, n. 4, p. 263-283, 1986.

CLERICI, M. T. P. S.; EL-DASH, A. A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré-gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1543-1550, 2008.

CORRÊA, A. D. et al. Farinha de folhas de mandioca: I: efeito da secagem sobre a atividade da linamarase. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 2, p. 368-374, 2002.
CORRÊA, A. D. Remoção de polifenóis da farinha de folhas de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 159-164, 2004.

CORREIA, L. F.; FRAONI, A. S.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Efeitos do processamento industrial de alimentos sobre a estabilidade de vitaminas. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 1, p.83-95, 2008.

CUBBADA, R. Nutritional value of pasta: effects of processing conditions. **Italian Food e Beverage Technology**, Pinerolo, Italy, v.3, p.27-33, 1994.

DANISCO. Emulsifiers. 2003. Disponível em: <<http://www.ingredients.danisco.com/products>>. Acesso em: 03 nov. 2010.

D'EGIDIO, M. G. et al. Chemical and technological variables and their relationships: a predictive equation for pasta cooking quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 67, n. 3, p. 275-281, 1990.

DEL BEM, M. S. et al. Propriedades físico-químicas e sensoriais de massas alimentícias elaboradas com farinhas de leguminosas tratadas hidrotermicamente. **Revista de Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 23, n. 1, p. 101-110, 2012.

DUTCOSKY, S. D.; FUGMANN, H. A. J.; WASZCZYNSKYJ, N. Desenvolvimento de tecnologia para fabricação de massas alimentícias isentas de glúten, tipo espaguete pré-cozido. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 14, n. 1, p. 111-130, 1996.

EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZOMERANZ OMERANZ, Y.; Munch unch, L. **Cereals a renewable resource: theory and practice**. Saint Paul, 1982. p. 165-216.

EL-DASH, A. A.; GONZALES, R.; CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. In: JOWITT, R. (Ed.) **Extrusion cooking technology**. London: Elsevier Applied Science, 1984, p. 51-74.

EMBRAPA. Agroindústria de Alimentos. **Processo de extrusão de alimentos: Aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal**. Rio de Janeiro, 2011. Não paginado.

ESSERS, A. J. A. Manual: "Assay for the cyanogen content in cassava products". (Preliminary Version). Department of Food Science, Wageningen. Agricultural University, Netherlands, 1993, 9 p.

FRANCO, G. V. E. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9. ed. São Paulo: Atheneu, 2000. 307 p.

FRANCO, C. M. L. et al. **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, v. 1, 2001. 224 p.

FRANCO, C. M. L. et al. Structural and functional characteristics of selected soft wheat starches. **Cereal Chemistry**, Ames, v. 79, n. 2, p. 243-248, 2002b.

FERREIRA, S. M. R. Controle da qualidade de alguns produtos. In: FERREIRA, S. M. R. **Controle da qualidade em sistemas de alimentação coletiva I**. São Paulo Varela, 2002, cap. 6, p. 49-150.

FERREIRA, S. M. R. et al. Cookies sem glúten a partir da farinha de sorgo. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 59, n. 4, p. 433-440, 2009.

FELLOWS, P. J. Food processing technology: principles and practice. **Midway Technology**, Cambridge, 2000. 608 p.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Práticas**. 2. ed., Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FREITAS, T. S.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Características físicas de amido de mandioca extrusado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 4, p. 486 -493, 2009.

FILMORE, E. B.; KRAMER, A.; GERALD, K. Response surface techniques. In: Filmore, A. F. E, Kramer, K. G. (eds.), **Systems Analysis for Food Industry AVI**, Westport, Connecticut, p. 127. 1976.

FONSECA, S. V. et al. Folhas verdes de feijão na alimentação humana: avaliação sensorial, adubação nitrogenada e desfolhamento. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 2, p. 161-167, 2002.

FUGMANN, H. A. J.; BUENO, A. D. Macarrão formulado com sarraceno. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p. 39-60, 1985.

GALVEZ, F. C. F., E RESURRECCION, A. V. A. Reliability of the focus group technique in determining the quality characteristics of mungbean (*Vigna radiate (L) Wilczec*) noodles. **Journal of Sensory Studies**, Hoboken, v. 7, p. 315–326, 1992.

GARIB, C. C. **Alimentação balanceada: uma proposta alternative de merenda escolar**. 2002. 93f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2002.

GASQUEZ, V. Avanço das massas instantâneas faz consumo crescer no Brasil. Disponível em: <<http://www.cosmo.com.br/economia/integra.asp?id=116742>>. Acesso em: 11 junho de 2006.

GIDAMIS, A. B.; O'BRIEN, G. M.; POULTER, N. H. Cassava detoxification of traditional Tanzanian cassava foods. **International Journal Food Science Technology**, Oxford, v. 28, n. 2, p. 211-218, 1993.

GOMEZ, G.; NOMA, A. T. The amino acid composition of cassava leaves, foliage, root tissues and whole-root chips. **Nutrition Reports International**, New York, v. 33, n. 4, p. 595-601, 1986.

GUTKOSKI, L. C. Extrusão de produtos de aveia. In: GUTKOSKI, L. C.; PEDÓ, I. **Aveia: composição química, valor nutricional e processamento**. São Paulo: Varela, cap. 7, p. 169-103, 2000 .

GUY, R. **Extrusion cooking: technologies and applications**. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 288 p., 2001.

HAGENIMANA, A.; DING, X.; FANG, T. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. **Journal of Cereal Science**, London, v. 43, p. 38-46, 2006.

HARPER, J. M. Critical review in food science: nutrition. In: _____. **Food extrusion**. Colorado: CRC, v. 2, p. 155-211, 1979.

HARPER, J. M. **Extrusion of foods**. Boca Raton: CRC Press, v. 2, 1981. 171 p.

HELBIG, E.; BUCHWEITZ, M. R. D.; GIGANTE, D. P. Análise dos teores de ácido cianídrico e fítico em suplemento alimentar: multimistura. **Revista de Nutrição**, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 323-328, 2008.

HELBIG, E.; BUCHWEITZ, M. R. D.; GIGANTE, D. P. Análise dos teores de ácido cianídrico e fítico em suplemento alimentar: multimistura. **Revista de Nutrição**, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 323-328, 2008.

HO, C. T.; IZZO, M. T. Lipid protein and lipid carbohydrate interaction during extrusion. In: KOKINI, J. L.; HO, C. T.; KARWE, M. V. **Food extrusion science and technology**. New York: Marcell Dekker, p. 415-452, 1992.

HOOVER, R.; HADZIYEV, D. Characterization of potato starch and its monoglyceride complexes. **Starch**, Weinheim, v.33, p. 290-300, 1981.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 45, n. 3, p. 253-267, 2001.

HUBER, G. R. Carbohydrates in extrusion processing. **Food Technology**, Chicago , v. 43, n. 3, p. 160-161, 1991.

HUMMEL, C. **Macaroni products: manufacture processing and packing**. 2^a edição. London: Food Trade Press, 1966. 287p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento sistemático da produção Agrícola.118p. Disponível em:
http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201301.pdf Acesso em março 2013.

IKEDIOBE, C. O.; ONYIA, G. O. C.; ELUWAH, C. E. A rapid and inexpensive enzymatic assay for total cyanide in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and cassava products. **Agricultural and Biological Chemistry**, Abingdon , v. 44, n. 12, p. 2803-2809, 1980.

ILO, S.; BERGHOFER, E. Kinetics of thermomechanical destruction of thiamin during extrusion cooking. **Journal of Food Science**, Hoboken , v. 63, n. 2, p. 312-316, 1998.

ILO, S.; BERGHOFER, E. Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, London, v. 39, n. 1, p. 73-80, 1999.

IWE, M. O.; VAN ZUILICHEM, D. J.; NGODDY, P. O. Color of single-screw extruded blends of soy-sweet potato flour: a response surface analysis. **Plant Foods for Human Nutrition**, New York, v. 55, n. 2, p. 159-168, 2000.

KAMINSKI, T. A. et al. Atributos nutricionais, tecnológicos e sensoriais de macarrões de centeio. **Brazilian Journal of Foods Technology**, Campinas, v. 14, n. 2, p. 137-144, 2011.

KIM, Y. S.; WIESENBERN, D. P. Starch noodle quality as related to potato genotypes. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 61, n. 1, p. 248-252, 1996.

KOHLWEY, D. E.; KENDALL, J. H.; MOHINDRA, R. B. Using the physical properties of rice as a guide to formulation. **Cereal Foods World**, St. Paul v.40, n. 10, p.728-732, 1995.

KRUGER J. E.; MATSUO, R. B.; DICK, J. W. **Pasta and noodle technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1996. 356 p.

LAI, H. M. Effects of rice properties and emulsifiers on the quality of rice pasta. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester , v.82, n. 2. p. 203-216, 2001.

LANCASTER, P. A.; BROOKS, J. E. Cassava leaves as human food. **Economic Botanic**, New York, v. 37, p. 331-348, 1983.

LEITÃO, R. F. F.; GONÇALVES, J. R.; EIROA, M. N. U.; GARCIA, E. E. C. **Tecnologia de macarrão**. Campinas: ITAL, 1990, 71p.

LEONEL, M.; MARTINS, J. C.; MISCHAN, M. M. Produção de *snacks* funcionais à base de farinha de soja e polvilho azedo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.6, p.1418-1423, 2010.

LUSTOSA B. H. B. et al. Produção de misturas extrusadas de mandioca: efeito das condições de extrusão sobre as propriedades térmicas e de pasta. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 231-238, 2009.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M. Desenvolvimento de misturas extrusadas de mandioca e caseína: efeito do teor de proteína e parâmetros de extrusão sobre a viscosidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 3, p. 693-699, 2010.

MADRUGA, M. S.; CÂMARA, F. S. The chemical composition of multimistura as a food supplement. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 68, n. 1, p. 41-44, 2000.

MAGNAN, L. S. **Desenvolvimento de pão tipo cachorro quente isento de glúten**. 2012. 61 p. Monografia (Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MAIA, L. H. et al. Viscosidade de pasta, absorção de água e índice de solubilidade em água dos mingaus desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 391-396, 1999.

MAIA, G. A.; SOUZA, P. H. M.; LIMA, A. S. **Processamento de sucos de frutas tropicais**. Fortaleza: UFC, p. 179-180, 2007.

MATSUO, R. R. et al. Statistical evaluation of tests for assessing spaghetti-making quality of durum wheat. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 59, n. 3, p. 222-228, 1982.

MELO, D. S. **Farinha de folhas de mandioca: efeitos sobre a peroxidação e o perfil lipídico plasmático e hepático de ratos**. 2005. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica e Agrobiotecnologia) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2005.

MENDONÇA, X. M. F. D. **A extrusão termoplástica no desenvolvimento de produtos derivados de amaranto**. Rio de Janeiro, 2005. 211 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M. Efeito da adição de farinha de mandioca-salsa nas características de massa alimentícia. **Revista Publicatio UEPG Ciências Exatas da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 11, n. 3, p. 13-19, 2005.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M. Análises de qualidade de uma massa alimentícia mista de mandioca-salsa. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v. 2, p. 27-36, 2006.

MERCIER, C. et al. Formation of amilose-lipid complexes by twin-screw extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 57, n. 1, p. 4-9, 1980.

MESTRES, C. et al. Comparison of various processes for making maize pasta. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 17, p. 277-290, 1993.

MITCHELL, J. R.; AREAS, J. A. G. Structural changes in biopolymers during extrusion. In: KOKINI, J. L.; HO, C.-T.; KARWE, M. V. **Food Extrusion Science and Technology**, New York, p. 345-360, 1992.

MORAIS, M. B.; SDEPANIAN, V. L.; FAGUNDES NETO, U. Doença Celíaca. **Nutrição em Pauta**, São Paulo, v. 51, p. 30-34, 2001.

MORIKAWA, K.; NISHINARI, K. Effects of concentration dependence of retrogradation behaviour of dispersions for native and chemically modified potato starch. **Food Hydrocolloids**, Osaka, v. 14, p. 395-401, 2000.

MYERS, R. H, MONTGOMERY, D. C. **Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiment** 2th ed. John Wiley and Sons. Inc., 2002.

NABESHIMA, E. H. **Desenvolvimento de massas alimentícias instantâneas de arroz, pelo processo de extrusão termoplástica, utilizando farinhas quimicamente modificadas**. 2007. 170 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos/Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

NABESHIMA, E. H.; HASHIMOTO, J. M.; EL-DASH, A. A. Efeito da adição de emulsificantes em massas alimentícias sem glúten produzidas com extrusora termoplástica. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 21, n. 2, p. 223-238, 2003.

NAGATA, M.; YAMASHITA, I. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomatoes fruit. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi**, Tokyo, v. 39, n. 10, p. 925-928, 1992.

NASCIMENTO, P. **Avaliação da retenção de carotenóides de abóbora, mandioca e batata doce**. 2006. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, São Paulo, 2006.

NEWPORT SCIENTIFIC. **Operation manual for series 4**: instructions manual. Warriewood, 1998.

O'CONNOR, C. Product developmente services available from extruder manufactures. In: O'CONNOR, C. **Extrusion technology for the food industry**. New York, p. 71-75, 1987.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO (FAO). (Faostat database, 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em 15 de novembro de 2010.

ORMENESE, R. C. et al. Massas alimentícias não-convencionais à base de arroz: perfil sensorial e aceitação pelo consumidor. **Brazilian Journal of Food Technology**, Curitiba, n. 4, p. 67-74, 2001.

ORMENESE, R. C. **Efeito da adição de farinha de arroz pré-gelatinizada, clara de ovo e monoglicerídeos nas características sensoriais e na qualidade do macarrão de arroz produzido pelo processo convencional**. 2002. 127 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos/Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

ORTEGA-FLORES, C. I. et al. Avaliação da qualidade protéica da folha desidratada de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Sociedade Brasileira de Alimentos e Nutrição**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 47-59, 2003.

PADMAJA, G. Evaluation of techniques to reduce assayable tannin and cyanide in cassava leaves. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC , v. 37, p. 712-716, 1989.

PAGANI, M. A. Pasta products from non conventional raw materials. In: CANTARELLI, C. e MERCIER, C. Eds. **Pasta and Extrusion Cooked Foods: Some Technological and Nutritional Aspects**, London, 1986. cap. 6, p. 52.

PAPOTTO, G.; ZORN, F. Recent developments of pasta products as convenience foods. In: MERCIER, C e CANTARELLI, C. **Pasta and Extrusion Cooked Foods: Some Technological and Nutritional Aspects**. Elsevier Applied Science Publishers: London, 1986, cap. 7.

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

PENTEADO, M. V. C.; FLORES, C. I. O. **Folhas de mandioca como fonte de nutrientes**. São Paulo. Fundação Cargill, v. 4, p. 48-67, 2001.

PETER, L.; BEYER, M. S. Terapia Nutricional para Distúrbios do Trato Gastrointestinal Inferior. In: MAHAN, L.K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause: Alimentos, Nutrição & Dietoterapia**. 11ª edição. São Paulo: Roca, p. 679-681, 2005.

QUAGLIA, G. B. Other durum wheat products. In: FABRIANI, G. e LINTAS, C. **Durum wheat: Chemistry and technology**. American Association of Cereal Chemists: Minnesota, cap. 7, p. 263, 1988.

RAVINDRAN. G.; RAVINDRAN, V. Changes in the nutritional composition of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaves during maturity. **Food Chemistry**, Oxford, v. 27, p. 299-309, 1988.

RIAZ, M. N. **Extruders in food applications**. 2th ed. Boca Raton, USA: CRC Press. 2002, 225 p.

RIBEIRO, H. J. S. S. **Propriedades físico-químicas e funcionais de concentrado protéico de feijão comum preto, cv. Iapar 44, novo e envelhecido**. 2003. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2003.

RYU, G. H.; WALKER, C. E. Emulsifier effects on pasting properties of wheat flour extrudates with/without sucrose and shortening. **Starch**, Weinheim, v. 45, n. 2, p. 65-70, 1993.

SAITO, I. M. **Produção de hidrolisado e fibras a partir de resíduo da industrialização da mandioca submetido à pré-tratamento hidrotérmico**. 2005. 97 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual de Botucatu, Botucatu, 2005.

SÃO PAULO. Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físicos-químicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo, 2005. 1020 p.

SAGRILO, E. et al. Effect of harvest period on the quality of storage roots and protein content on the leaves in five cassava cultivars (*Manihot esculenta* Crantz). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 46, n. 2, p. 295-305, 2003.

SAPORITI, L.; SAPORITI, M. Doença celíaca, a importância do tratamento. Disponível em: <<http://www.acebra-sc.org.br/sitenovo/saudeluc.htm>>. Acesso em: 11 jun. 2011.

SEBIO, L. **Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físico-químicas da farinha de inhame (*Dioscorea* spp.)**. 1996. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

SERENO, D. Doença celíaca. Disponível em: <http://www.acesa.com/viver>>. Acesso em: 08 junho de 2006.

SILVA, M. C. et al. Processamento de amido de milho em câmara de mistura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 303-310, 2004.

SILVA, E. M. M. et al. Efeito dos parâmetros de extrusão nas características de viscosidade de pasta e índice de absorção de água de macarrões pré-cozidos elaborados a partir de farinha mista de arroz integral e milho obtidos por extrusão. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 26, n. 2, p. 239-254, 2008.

SILVA, R. F.; ASCHERI, J. L. R. Extrusão de quirera de arroz para uso como ingrediente alimentar. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v. 12, n. 3, p.190-199, 2009.

SOUZA, L. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. Efeito da concentração de fibra e parâmetros operacionais de extrusão sobre as propriedades de pasta de misturas de fécula de mandioca e polpa cítrica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 3, p. 686-692, 2010.

SOUZA, T. E. C. et al. Propriedades funcionais tecnológicas de farinhas pré-gelatinizadas de bagaço e fécula de mandioca. In: **63ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência**, 2011, Goiânia. Disponível: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/resumos/indiceautores.htm>>. Acesso em 30 jan. 2013.

SCHAMNE, C.; DUTCOSKY, S. D.; DEMIATE, I. M. Obtenção e caracterização de produtos panificados livres de glúten. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 3, p. 741-749, 2010.

SHMIELE, M. et al. Massa alimentícia sem glúten com elevado teor proteico obtida por processo convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 5, p. 908-914, 2013.

SHUKLA, T. P. Critical chemistry of extrusion processing of grains. **Cereal Foods World**, St. Paul, v. 43, n. 1, p. 43-44, 1998.

STANLEY, D. W. Chemical and structural determinants of texture of fabricated foods. **Food Technology**, Chicago, v. 40, n. 3, p. 65-68, 1986.

STANLEY, D. W. Protein reactions during extrusion processing. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. **Extrusion cooking**. Saint Paul: American association of Cereal Chemists, Chicago, p. 247-319, 1989.

TEBA, C. S.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Effect of extrusion parameters on the pasting properties of pre-cooked pasta rice and bean. **Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 3, p. 411-426, 2009.

TORRES, L. L. G. et al. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*Musa acuminata*, grupo AAA) por extrusão termoplástica. **Boletim do Centro de Pesquisa e de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 23, n. 2, p. 273-290, 2005.

THOMAS, M.; VAN DER POEL, D. J. Physical quality of pellet animal feed. Criteria for pellet quality. In: THOMAS, M. **Physical quality of pellet animal feed: a feed model study**. In: Thesis (PhD) Wageningen Agricultural University, Netherlands, p. 19-46, 1998.

THOMAS, D. J.; ATWELL, W. A. **Starches: Practical Guides for the Food Industry**. Minnesota: Eagan Press, 94 p., 1999.

TROMBINI, F. R. M.; LEONEL, M. Propriedades de pasta e térmicas de misturas extrusadas de farinha de soja, fécula e farelo de mandioca. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 50-71, 2010.

TROMBINI, F. R. M.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Desenvolvimento de snacks extrusados a partir de misturas de farinha de soja, fécula e farelo de mandioca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 1, 2012-2013.

VARGAS, R. M. **Biodisponibilidade do β -caroteno do pó da folha de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em ratos**. Brasília. 2007. 96 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana) - Faculdade de Ciência da Saúde, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

VERNAZA, M. G.; CHANG, Y. K.; STEEL, C. J. Efeito do teor de farelo de maracujá e da umidade e temperatura de extrusão no desenvolvimento de cereal matinal funcional orgânico. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 12, n. 2, p. 145-154, 2009.

VILAS-BÔAS, L. M. A. **Efeito da presença de fibra de mandioca na dieta sobre alguns parâmetros nutricionais e bioquímicos**. Belo Horizonte, 1979. 68 f. Exame de Qualificação (Mestre em Bioquímica) – Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 1979.

VIZEU, V. E; FEIJÓ, M. B .S.; CAMPOS, R. C. Determinação da composição mineral de diferentes formulações de multimistura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 254-258, 2005.

WANG, S. H. et al. Absorção de água e propriedades espumantes de farinhas extrusadas de trigo e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 475-481, 2006.

WOBETO, C. **Nutrientes e antinutrientes da farinha de folhas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em três idades da planta**. 2003. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica e Agrobioquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

WOBETO, C. et al. Cianeto na farinha e folhas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1115-1118, 2004.

WOBETO, C. et al. Nutrients in the cassava (***Manihot esculenta* Crantz**) leaf meal at three ages of the plant. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 865-869, dez. 2006.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. Starch. In: WHISTLER, R. L.; BeMILLER, J. N. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. Saint Paul: Eagan Press, p. 117-151, 1997.

WHITE, W. et al. Cyanogenesis in cassava: the role of hydroxynitrile lyase in root cyanide production, **Plant Physiology**, Washington, v. 116, p. 1219-1225, 1998.

YAGCI, S.; GOGUS, F. Response Surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food by products. **Journal of Food Engineering**, London, v.86, p. 122–132, 2008.

YEH, I; SHIAU, SY-YU. Effects of oxido-reductants on rheological properties of wheat flour dough and comparison with some characteristics of extruded noodles. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 76, n. 5, p. 614-620, 1999.

YU, L.; CHRISTIE, G. Measurement of starch thermal transitions using differential scanning calorimetry. **Carbohydrate Polymers**, Melbourne, v. 46, n. 2, p. 179-184, 2001.