

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

**PRODUTOS EXTRUSADOS SEM GLÚTEN OBTIDOS
DE MISTURAS DE FÉCULA DE MANDIOCA E
FARINHA DE ARROZ**

ANNA CLAUDIA SAHADE BRUNATTI

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
Junho - 2016

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

**PRODUTOS EXTRUSADOS SEM GLÚTEN OBTIDOS
DE MISTURAS DE FÉCULA DE MANDIOCA E
FARINHA DE ARROZ**

ANNA CLAUDIA SAHADE BRUNATTI

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
Junho- 2016

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

B894p Brunatti, Anna Claudia Sahade Brunatti, 1974-
Produtos extrusados sem glúten obtidos de misturas de fécula de mandioca e farinha de arroz / Anna Claudia Sahade Brunatti. - Botucatu : [s.n.], 2016
x, 68 f. : ils. color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2016
Orientador: Magali Leonel
Inclui bibliografia

1. Fécula de mandioca. 2. Arroz. 3. Farinha como alimento. 4. Processo de Extrusão. 5. Massa de farinha - Processamento. I. Leonel, Magali. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu. III. Título

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: PRODUTOS EXTRUSADOS SEM GLÚTEN OBTIDOS DE MISTURAS DE FÉCULA E MANDIOCA E FARINHA DE ARROZ

AUTORA: ANNA CLAUDIA SAHADE BRUNATTI

ORIENTADORA: MAGALI LEONEL

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. MAGALI LEONEL
CERAT / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



Profa. Dra. REGINA MARTA EVANGELISTA
Dep de Horticultura / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



Profa. Dra. ALICE YOSHIKO TANAKA
Laboratório de Análises de Alimentos / FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS - FATEC



Prof. Dr. MARIE OSHIIWA
Coordenadoria de Tecnologia em Alimentos / FACULDADE DE TECNOLOGIA DE MARILIA



Dra. FERNANDA ROSS MORETTI TROMBINI
Botucatu / SP

Botucatu, 17 de junho de 2016

"A verdadeira coragem é ir atrás de seus sonhos mesmo quando todos dizem que ele é impossível."

Cora Coralina

AGRADECIMENTOS

É tão difícil e tão gostoso ao mesmo tempo, chegar nessa etapa. São tantas as pessoas que contribuíram, enriqueceram e alegraram de alguma forma esses três anos de estudos!

Começo agradecendo a Deus, que me conduziu durante todo esse curso nos momentos de alegrias, mas, sobretudo nos momentos de dúvidas e incertezas. Sem a sua mão abrindo meus caminhos, sem a sua luz iluminando-os e sem o seu amor me guiando, nada disso seria possível ou valeria a pena.

À minha família, que sempre está do meu lado acompanhando e comemorando cada conquista, de onde vieram os incentivos desde a primeira viagem à Botucatu. Aos meus pais que me deram a criação, a educação e tudo que foi necessário para que minha vida fosse tão maravilhosa como é até hoje. Obrigada pai e mãe pelo carinho, amor e apoio emocional.

Aos meus filhos Carlos Eduardo e João Miguel pelo amor confiante de esperar meus abraços e minha atenção quando sobrava um tempinho entre o trabalho e o doutorado (eles são minha razão de viver!).

Alexandre meu amor, obrigada por viver e sonhar os meus sonhos (sonho que se sonha só, é só um sonho, mas, sonho que se sonha junto é realidade), sem você, seria mais sofrida essa caminhada. Obrigada, por estar do meu lado nos piores e melhores momentos, por me fazer experimentar todas as nuances de sentimentos, às vezes todas de uma só vez. Agradeço-te pelo incentivo constante, por acreditar no meu crescimento e me apoiar nas minhas decisões. Foram tantas as dificuldades, mas vencemos!!!

Ao Prof MSc. Emerson Loli Garcia, meu amigo e companheiro em todas as etapas deste experimento, seu apoio, seus estímulos e ajuda foram imprescindíveis neste trabalho.

As minhas amigas Adriana, Flávia e Roseli, obrigada pelo carinho, por me empurrarem quando minha vontade era parar, por ensinarem que a amizade é dialógica, é ininterrupta em um movimento contínuo de palavras e contra palavras.

Aos meus amigos da Fatec Marília obrigada por toda ajuda desinteressada e por me compreenderem durante esta jornada. Valeu a pena cada segundo!

À Profa. Dra. Regina Marta Evangelista por aceitar o convite de participar do Exame de Qualificação e da Defesa desta Tese, e pelas valiosas contribuições.

À Profa. Dra. Alice Yoshico Tanaka, à Profa. Dra. Cláudia Cristina Teixeira Nicolau e a Dra. Fernanda Rossi Moretti Trombini, por aceitarem o convite de participar da defesa desta tese, com importantes contribuições.

Ao Centro de Raízes e Amidos Tropicais, que além de contribuir para meu crescimento profissional e pessoal, disponibilizou toda estrutura e equipamentos para realização desse projeto.

Aos técnicos de laboratório do CERAT, Luiz Henrique Urbano e Juliana Ap. Marques Ebúrneo, que me deram suporte técnico no decorrer deste trabalho, me ajudaram muito.

Aos amigos do CERAT, Alessandra Luiza, Danilo, JulianaEbúrneo, Luiz Henrique, Emerson Lolli pela amizade, ajuda, incentivo, atenção e suporte.

A Indústria Brasília Alimentos, pela parceria e doações das amostras de farinha de arroz.

À professora Dra. Cláudia Cristina Teixeira Nicolau meus agradecimentos e reconhecimento por não ter medido esforços para contribuir com meu desenvolvimento intelectual e aperfeiçoamento profissional.

À Professora Dra. Alice Yoshico Tanaka minha querida amiga, sempre fiel em todos os momentos, a minha gratidão e a minha consideração pelas benesses durante toda minha caminhada.

E finalmente, meu grande agradecimento a responsável por este projeto, minha querida orientadora Profa. Dra. Magali Leonel. Valorizo muito sua amizade. Obrigada pelo conhecimento incomensurável. Serei eternamente grata pelas orientações precisas, pela paciência acolhedora e pela nobreza de suas atitudes durante toda jornada. Obrigado por cada momento. Cada segundo foi valioso, e levarei o aprendizado para toda a vida. Meu carinho e respeito sempre.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
RESUMO	1
SUMMARY	3
1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO DELITERATURA	8
2.1 Doença Celíaca	8
2.2 Fécula de Mandioca	9
2.3 Farinha de Arroz	15
2.4 Processo de Extrusão	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Matérias-primas	24
3.2 Análises das Matérias-primas e Misturas	24
3.2.1 Umidade	24
3.2.2 Proteína Bruta	24
3.2.3 MatériaGraxa	25
3.2.4 Cinzas	25
3.2.5 Fibras	25
3.2.6 CarboidratosTotais	25
3.2.7 Análise deCor	25
3.2.8 Índice de Absorção de Água(IAA)	25
3.2.9 Índice de Solubilidade em Água (ISA)	26
3.3 Propriedades dePasta	26
3.4 Preparo das Misturas	27
3.5 DelineamentoExperimental	27
3.6 Processo de Extrusão	28
3.7 Análises dos Produtos Extrusados Expandidos	29
3.7.1 Índice de Expansão	29
3.7.2 Volume Específico	30
3.7.3 Dureza	30
3.8 Análises das FarinhasExtrusadas	30
3.9 Análise dos Dados	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 Caracterizações das Matérias-primas e suas Misturas	32
4.1.1 Composição Físico - Química	32

4.1.2 Cor	33
4.1.3 Índices de Solubilidade (ISA) e Absorção em Água (IAA).....	34
4.1.4 Propriedades de Pasta	36
4.2 Caracterização dos Produtos Extrusados Expandidos	39
4.2.1 Índice de Expansão (IE).....	39
4.2.2 Volume Específico (VE).....	42
4.2.3 Dureza (D)	44
4.3 Caracterizações das Misturas Extrusadas de Fécula de Mandioca e Farinha de Arroz	47
4.3.1 Cor.....	47
4.3.2 Índice de Absorção de Água (IAA)	51
4.3.3 Índice de Solubilidade em Água(ISA).....	53
5. CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis de trabalho com seus respectivos níveis.....	28
Tabela 2 - Variáveis independentes codificadas e reais do experimento.....	29
Tabela 3 - Caracterização físico-química da fécula de mandioca e da farinha de arroz	32
Tabela 4 - Resultados médios dos parâmetros de cor da fécula de mandioca, farinha de arroz e suas misturas.....	34
Tabela 5 - Médias e desvio padrão dos Índices de Solubilidade em Água (ISA) e Índice da Absorção de Água (IAA) da fécula de mandioca, farinha de arroz e suas misturas.....	35
Tabela 6 - Propriedades de pasta da fécula de mandioca, farinha de arroz e misturas.....	37
Tabela 7 - Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o índice de expansão (IE) dos extrusados.....	40
Tabela 8 - Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o índice de expansão (IE) dos extrusados, após ajuste do modelo.....	41
Tabela 9 - Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o volume específico (VE) dos extrusados.....	43
Tabela 10 - Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o volume específico (VE) dos extrusados, após ajuste do modelo.....	44
Tabela 11 - Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para a dureza (D) dos extrusados	45
Tabela 12 - Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para a dureza (D) dos extrusados, após ajuste do modelo.....	46
Tabela 13 - Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para luminosidade (L*) dos extrusados	48
Tabela 14 - Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para luminosidade (L*) extrusados, após ajuste do modelo.....	48
Tabela 15 - Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para cora a* dos extrusados	49
Tabela 16 - Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para cora a* dos	

extrusados, após ajuste do modelo	50
Tabela 17- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o croma b^* dos extrusados	51
Tabela 18- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o índice de absorção de água (IAA) das farinhas extrusadas	52
Tabela 19- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o índice de absorção de água (IAA) das farinhas extrusadas, após ajuste do modelo	53
Tabela 20- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o índice de solubilidade em água (ISA) das farinhas extrusadas	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comportamento do amido quando submetido ao RVA	12
Figura 2 - Esquema básico de uma extrusora mono-rosca	19
Figura 3 - Efeito da umidade sobre o índice de expansão dos produtos extrusados	41
Figura 4 - Efeito da porcentagem de fécula de mandioca e umidade sobre o volume específico dos extrusados expandidos de arroz e mandioca	44
Figura 5 - Efeito da umidade e rotação da rosca sobre a dureza dos extrusados expandidos de arroz e mandioca.....	46
Figura 6 - Efeito da porcentagem de fécula de mandioca sobre a luminosidade das misturas extrusadas de arroz e mandioca.....	49
Figura 7 - Efeito da porcentagem de fécula de mandioca e temperatura de extrusão sobre o croma a* das misturas extrusadas de arroz e mandioca	50
Figura 8 - Efeito da porcentagem de fécula de mandioca sobre o índice de absorção de água das misturas extrusadas de arroz e mandioca	53
Figura 9 - Efeito da porcentagem de fécula de mandioca sobre o índice de solubilidade em água (ISA) das misturas extrusadas de farinha de arroz e fécula de mandioca.....	55

RESUMO

Diante do crescente mercado para produtos sem glúten e de rápido preparo, da possibilidade de valorização da fécula de mandioca e farinha de arroz como ingredientes para estes produtos, e da importância da tecnologia de extrusão para o desenvolvimento destes; este trabalho objetivou desenvolver produtos extrusados sem glúten de arroz e mandioca através de processamento por extrusão. A fécula, a farinha de arroz e as misturas destas foram analisadas quanto à composição centesimal, cor, índices de solubilidade e absorção de água e propriedades de pasta. Após estas análises realizou-se o processamento por extrusão em extrusor mono rosca seguindo delineamento central composto rotacional para quatro fatores: porcentagem de fécula de mandioca em mistura com a farinha de arroz, umidade das misturas, temperatura na 3ª zona do canhão de extrusão e rotação da rosca. Os produtos expandidos extrusados obtidos foram analisados para índice de expansão, volume específico e dureza. Realizou-se a moagem dos produtos expandidos para a obtenção das farinhas pré-cozidas e estas foram analisadas para cor, índices de solubilidade e absorção de água. Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente e evidenciaram elevado teor de amido na fécula de mandioca (81,79 %) e proteína (7,32 %) na farinha de arroz. A fécula de mandioca mostrou maior índice de absorção de água em relação à farinha de arroz, e propriedades de pasta com baixa viscosidade a frio, elevado pico, baixa resistência ao calor e agitação e elevada tendência a

retrogradação ao contrário da farinha de arroz. Sendo assim, a mistura das duas farinhas nas diferentes porcentagens levou a alterações nas características físicas das misturas. Dentre os parâmetros variáveis de extrusão a porcentagem de fécula de mandioca na mistura foi o de maior efeito, seguida pela umidade. Em produtos expandidos são desejáveis elevados índices de expansão e volume específico e maior crocância, características obtidas nas condições de baixa porcentagem de fécula de mandioca na mistura, baixa umidade e menor rotação da rosca, com temperatura intermediária. Já para a produção de farinhas pré-cozidas são desejados: cor clara, elevado índice de absorção de água e baixa solubilidade, o que foi observado nas condições de baixa porcentagem de fécula de mandioca e umidade, com temperatura e rotação intermediárias.

Palavras-chave: Extrusão, farinha pré-cozida, sem glúten, *Oriza sativa* L, *Manihot esculenta* Crantz.

EXTRUDED MIXTURES OF CASSAVA STARCH AND RICE FLOUR. Botucatu, 2016.
81p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências
Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Anna Cláudia Sahade Brunatti

Adviser: Profa. Dra. Magali Leonel

SUMMARY

Faced with the growing market for gluten-free products, the possibility of enhancement of cassava starch and rice flour as an ingredient for these products, and the importance of extrusion technology for the development of these; this study aimed to develop gluten-free products of rice and cassava through processing by extrusion. The cassava starch, rice flour and mixtures of these were analyzed for chemical composition, color, water solubility index, water absorption and pasting properties. After this analysis processing was performed by extrusion in single screw extruder. The extrusion process followed the central rotational design for four factors: percentage of cassava starch mixed with rice flour, moisture of mixtures, temperature in 3rd zone of the extrusion barrel and screw speed. The extruded expanded products obtained were analyzed for the expansion index, specific volume and hardness. It was performed grinding of the expanded product to obtain the pre-cooked flour and these were analyzed for color, water solubility index and water absorption index. The results were statistically analyzed and

showed high starch content in cassava starch (81.79%) and protein (7.32%) in rice flour. The cassava starch showed higher water absorption index than rice flour, paste properties with low cold viscosity, high peak, high breakdown and high retrogradation tendency. The rice flour showed higher water solubility index and pasting properties with values below those observed for cassava starch. Thus, the mixture of two flours in different percentages led to changes in the physical characteristics of the mixtures. About the effects of extruding variable parameters on the physical properties of the extruded products it was observed that the percentage of cassava starch in the mixture had the greatest effect, followed by moisture. In expanded products are desirable high rates of expansion and specific volume and greater crispness, characteristics obtained under the conditions of low percentage of cassava starch in the mix, low moisture and lower screw speed, with intermediate extrusion temperature. However, for the production of pre-cooked flour are desired: clear color, high water absorption index and low water solubility index, which was observed under conditions of low percentage of cassava starch and moisture, with temperature and screw speed intermediates.

Keywords: Extrusion, pre-cooked flour, gluten-free, *Oriza sativa* L, *Manihot esculenta* Crantz.

1 INTRODUÇÃO

Entre os principais objetivos das indústrias alimentícias, na atualidade está à procura por melhores condições tecnológicas e melhor controle das condições de processamento, com a finalidade de se obter produtos de melhor qualidade. Esta busca está relacionada principalmente à praticidade do mundo atual e a preservação das qualidades sensoriais do produto a ser consumido, atendendo nichos específicos de mercado, como alergênicos.

A doença celíaca resulta da intolerância do organismo à gliadina, que é um constituinte da proteína do glúten, apresentando efeito tóxico sobre a mucosa do intestino delgado, resultando na destruição das vilosidades intestinais e interferência na absorção. Esse dano ocorre em pessoas susceptíveis quando ingerem trigos e alguns outros cereais como centeio, cevada e aveia. O único tratamento que existe é uma dieta isenta de glúten que possa evitar os sintomas da doença, reduzir o risco de mortalidade e melhorar a qualidade de vida mesmo em pacientes assintomáticos (CAROLLINO et al., 2007).

O glúten está incluso no grupo de glicoproteínas das prolaminas insolúveis em água e responsável pela textura de massas, bolos e pães. Presente em alguns cereais, como o trigo, a cevada, a aveia e o centeio, pode causar uma lesão tissular em indivíduos com restrição alimentar á esta proteína.

A tendência de consumo de produtos alimentícios semi-prontos e de conveniência tem aumentado e uma tecnologia aplicada é a extrusão. Assim, a utilização da tecnologia de extrusão no desenvolvimento de mistura extrusada a base de farinha de arroz e fécula de mandioca vem de encontro com a demanda do setor industrial que busca inovações em aplicações dos seus produtos.

O Brasil está entre os três maiores produtores mundiais de mandioca e esta raiz é consumida por cerca de 500 milhões de pessoas no mundo. Mais de 80 países produzem mandioca, sendo que o Brasil participa com mais de 15 % da produção mundial (PARANÁ, 2012).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015) houve um aumento de produção em 2015, para 24,2 milhões de toneladas, evolução de 5,1 % comparada a 2014, considerando dados nacionais agregados. A produção de mandioca em 2014 foi de 23,5 milhões de toneladas, 10,6 % maior que a obtida em 2013.

O Brasil é o principal produtor de arroz fora do continente asiático, com mais 11,9 milhões de toneladas produzidas na safra de 2013 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2013).

O arroz é rico em amido, oferecendo assim uma boa fonte de energia para o organismo. Além disso, é rico em proteínas, minerais e vitaminas do complexo B. O principal constituinte do arroz são os carboidratos, cujo teor varia, em base seca de 84 a 87 %, no grão descascado, sendo de 90 a 92% no grão polido (SILVA, 2007).

Na indústria de beneficiamento, a partir do processo de seleção dos grãos de arroz, um dos subprodutos gerados são os grãos quebrados que podem ser transformados em farinha e ter preços competitivos. Devido às características como gosto suave, coloração branca, hipoalergenicidade, ausência de glúten e facilidade para digestão, a farinha de arroz tem se tornado um ingrediente atrativo (KADAN et al., 2001).

Os fatores ligados à matéria-prima tais como teor de umidade, proporção de amilose e amilopectina, conteúdo de proteína, lipídios e fibra e as fontes de amido utilizadas, exercem grande influência na qualidade do produto extrusado (ASCHERI; CARVALHO, 2008).

A utilização da farinha de arroz em produtos industrializados é crescente, por apresentar características sensoriais amenas e não causarem alterações de sabor quando adicionada na maioria dos alimentos (GALERA, 2006). A ausência das proteínas formadoras do glúten na farinha de arroz torna sua utilização viável em produtos destinados aos celíacos, podendo ser utilizado como substituto do trigo na elaboração de produtos sem glúten (CAROLLINO et al., 2007).

A tecnologia de extrusão vem sendo explorada nos últimos anos para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios. Esta tecnologia possibilita, com pouca ou nenhuma modificação dos equipamentos básicos, um controle apropriado do processo e a produção de uma grande variedade de produtos (CHANG, 2001).

Mudanças nos ingredientes ou parâmetros como velocidade e temperatura, podem influir e afetar as variáveis do sistema de extrusão e as características do produto, como: textura, estrutura, grau de expansão e atributos sensoriais (MENDONÇA; GROSSMANN; VERHÉ, 2000).

A principal utilização do processo de extrusão se relaciona à ampliação da variedade de alimentos que compõem a dieta, sendo elaborados a partir de ingredientes básicos distintos (FELLOWS, 2006).

Considerando a necessidade constante de inovação para atendimento às demandas de mercado do setor alimentício; do potencial pouco explorado de misturas de amido de mandioca e farinha de arroz no desenvolvimento de novos produtos para celíacos; e da interferência de parâmetros de extrusão sobre a qualidade dos produtos finais obtidos, este trabalho teve por objetivo analisar as características físico-químicas da fécula de mandioca, da farinha de arroz e suas misturas e avaliar o efeito de parâmetros do processo de extrusão na obtenção de produtos sem glúten com características tecnológicas desejadas pelo mercado.

2 REVISÃO DELITERATURA

2.1 Doença Celíaca

A doença celíaca (DC) é uma doença autoimune, do intestino delgado, caracterizada pela intolerância permanente ao glúten, desencadeada pela presença da gliadina do trigo e de proteínas semelhantes da cevada e do centeio, na dieta de pessoas, susceptíveis a esta enfermidade. A ingestão de alimentos com este tipo de proteína pelos celíacos se torna tóxica e provoca lesão no intestino delgado, impedindo a adequada absorção dos alimentos. Ela é caracterizada, principalmente, pela má absorção intestinal, devido à atrofia de vilosidades intestinais. Seus sintomas mais comuns surgem, usualmente, nos primeiros anos de vida, após a introdução desses cereais na alimentação do indivíduo (KAGNOFF,2005)

De acordo com um estudo realizado em Ribeirão Preto -SP, estima-se que, no Brasil, a proporção de Celíacos seja de 1:273 indivíduos (MELO et al., 2006). A doença celíaca pode se apresentar sob três formas: clássica, não clássica e assintomática. A forma clássica se inicia nos primeiros anos de vida, apresentando sintomas de distensão abdominal, irritabilidade, diminuição do tecido celular subcutâneo, atrofia da musculatura glútea (SDEPANIAN; MORAIS; FAGUNDES-NETO, 2001), diarreia crônica, vômitos, anorexia e déficit de crescimento. A forma não clássica manifesta-se mais tardiamente, apresentando manifestações isoladas, como constipação intestinal, problemas com esmalte dentário, artralgia ou artrite, osteoporose, esterilidade, baixa estatura (CICLITIRA; KING; FRASER, 2001), anemia por deficiência de ferro

intestinais epilepsia associada à calcificação intracraniana. Na forma assintomática, a doença se encontra em latência, o indivíduo não apresenta problemas, porém pode vir a desenvolver a doença caso adote uma dieta excessiva em glúten (CASSOL et al., 2007).

O único tratamento efetivo é a realização de uma dieta rigorosa, restrita em glúten (SDEPANIAN; MORAIS; FAGUNDES-NETO, 2001). Quantidades pequenas podem não causar prejuízos para a maioria dos pacientes, mas podem causar importantes danos aos mais sensíveis (CICLITIRA; KING; FRASER, 2001).

O tratamento multiprofissional da DC envolve uma abordagem dietética; sendo assim, é de grande importância o acompanhamento nutricional destes indivíduos, para que sua alimentação seja completa, nutritiva e isenta de glúten. A não adesão à dieta pelo paciente pode levar a deficiência nutricional, obesidade e maior incidência de neoplasias (BUTTERWORTH JR et al, 2004).

Alimentos variados presentes na dieta do brasileiro, como pães, bolos, bolachas, macarrão, salgados, pizzas, bebidas alcoólicas, embutidos e temperos industrializados, podem conter glúten na sua composição (ASSOCIAÇÃO DOS CELÍACOS DO BRASIL, 2009). A produção de alimentos utiliza farinha de arroz e de milho, polvilho e fécula de mandioca para substituição do glúten. As técnicas envolvidas se baseiam em tratamento à alta temperatura de uma fração da massa de amido, que é vigorosamente misturada aos demais ingredientes. O amido tratado se comporta como ligante, formando uma rede que possui funções similares às que o glúten desempenha nas massas à base de trigo (ORMENESE et al., 2001).

2.2 Fécula de Mandioca

Originária da América do Sul, a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) constitui um dos principais alimentos energéticos. Segundo a Food and Agriculture Organization (2014) a mandioca é uma das principais fontes de carboidratos, ocupando lugar de destaque na alimentação humana e animal e como matéria-prima para inúmeros produtos industrializados. Principal fonte de carboidrato na dieta humana o amido oferece entre 70 a 80 % das calorias necessárias ao ser humano. Depositado sob a forma de grânulos nos órgãos de reserva das plantas superiores, como é o caso de cereais, raízes e tubérculos, pode ser extraído e utilizado para diversos fins (LEONEL; CEREDA, 2002).

O amido é uma matéria-prima renovável, biodegradável e não tóxica. Está disponível em quantidade suficiente e os processos industriais permitem que sejam extraídos com elevado grau de pureza (VAN DER BURGT et al., 2000).

Apresenta-se com formas e tamanhos dependentes de sua fonte botânica, e quando extraído sem alteração, denomina-se nativo, onde neste estado, o amido é insolúvel em água fria, apresentando grânulos parcialmente cristalinos. Sua morfologia, composição química e estrutura molecular são características de cada espécie em particular (BELLO-PÉREZ; MONTEALVO; ACEVEDO, 2006).

Estruturalmente, o amido é um homopolissacarídeo formado por duas macromoléculas: a amilose, um polissacarídeo linear de (1→4)- α -D-glucana e amilopectina, polissacarídeo com cadeias altamente ramificadas, onde moléculas de glucanas ligam-se por ligações α (1→4) e α (1→6). As proporções em que essas estruturas ocorrem diferem, dentre as fontes botânicas, variedades e grau de maturação da planta (ELIASSON, 2004; TESTER; KARKALAS; QI, 2004), e estas variações podem resultar em grânulos de amido com propriedades físico-químicas e funcionais diferenciadas, o que define a sua utilização em alimentos ou aplicações industriais (WANG; WHITE, 1994; WHISTLER; BEMILLER, 1997).

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 μ m 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 μ m. O leite de amido é lavado novamente com água e separado em centrífugas, que o disponibiliza para concentração e posterior secagem final em secadores tipo *Flashdryer*.

Inúmeros produtos destinados à utilização alimentar e não alimentar têm o amido como um de seus constituintes, abrangendo respectivamente os setores de maior utilização: agro alimentar, papelero, químico, têxtil, metalúrgica, petrolífera e de construção (FRANCO, 2001).

Na indústria nacional e internacional o amido é utilizado como facilitador de processamento, fornecedor de textura, serve como espessante e ligante de água ou gordura, além de fornecer sólidos em suspensão ou proteger os alimentos durante o

processamento (DEMIATE; PEDROSO, 2008).

A caracterização do amido tem fornecido importantes informações industriais, facilitando sua aplicação em áreas diversificadas. A busca pelas informações se deve ao fato da necessidade de conhecer o comportamento do amido sob certas condições como temperatura/pressão e as exigências da indústria alimentícia. (NUNES; SANTOS; CRUZ, 2009).

O amido de mandioca destaca-se em relação aos demais amidos em virtude de sua alta capacidade de retenção de água, baixa temperatura de empastamento e por não apresentar odor característico de cereal (LABELL, 2009). Este amido também aumenta a palatabilidade durante a mastigação, devido ao fato das moléculas constituintes do amido liberarem lentamente as ligações de água durante a mastigação, permitindo maior efeito de sabor e suculência ao produto final (LYONS et al., 1999).

Devido as suas propriedades físico-químicas e funcionais exclusivas, a fécula de mandioca tem grande importância nos diversos segmentos industriais (FRANCO; DEMIATE; ROCHA, 2008).

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, fonte e concentração do amido e temperatura durante o aquecimento (MORIKAWA; NISHINARI, 2000).

A gelatinização é uma terminologia geral para descrever as mudanças que ocorrem no amido quando aquecido na presença de água. O conhecimento dessa etapa é necessário antes do consumo de alimentos à base de amido (CASTRO, 2006). Durante a gelatinização ocorre o rompimento de ordem molecular dentro do grânulo provocando mudanças irreversíveis como, aumento de tamanho granular, fusão de cristais, perda da birrefringência, solubilização do amido, acarretando o aumento da viscosidade. Ocorre também à lixiviação da amilose e desorganização da estrutura da amilopectina (BENINCA, 2008).

A temperatura na qual ocorre o fenômeno de gelatinização é conhecida como temperatura de gelatinização. Quando o grânulo alcança esta temperatura, o amido perde sua birrefringência e a amilose se difunde para a água. A amilose fora do grânulo forma uma malha e produz o gel (CASTRO, 2006). Conforme a quantidade de amido, a temperatura de gelatinização varia em intervalo entre 5 e 10° C, variação que

indica diferentes comportamentos de gelatinização, devido as diferentes frações de grânulos (CASTRO, 2006), cujo gel formado apresenta diversas propriedades (LELOUP; COLONNA; BULEON, 1991), conforme a fonte botânica.

As mudanças de viscosidade em suspensões amiláceas, devido ao intumescimento do grânulo de amido durante o aquecimento são comumente avaliadas em viscoamilógrafos como Brabender e o Rápido Viscoanalisador – RVA (DEMIATE et al., 2005).

Quando suspensões aquosas de amido são submetidas ao RVA, há um aumento da viscosidade na fase inicial de aquecimento, período em que os grânulos também iniciam o poder de inchamento e moléculas de amilose são lixiviadas desses amidos (FERNÁNDEZ-MUÑOZ et al., 2011). Um pico de viscosidade é obtido durante o empastamento, quando existe a maioria dos grânulos totalmente inchados, grânulos intactos e o alinhamento molecular de qualquer polímero solubilizado ainda não ocorreu dentro do campo de atrito do instrumento (WHISTLER; BEMILLER, 1997). Durante a fase de temperatura constante (95°C) os grânulos começam a se quebrar e a solubilização dos polímeros continua.

Neste ponto ocorre uma quebra na viscosidade seguida de diminuição. Durante a fase de resfriamento, polímeros de amilose e amilopectina solubilizados começam a se reassociar e outro aumento na viscosidade é registrado. Este segundo aumento da viscosidade é conhecido como tendência a retrogradação ou *set-back* (Figura 1).

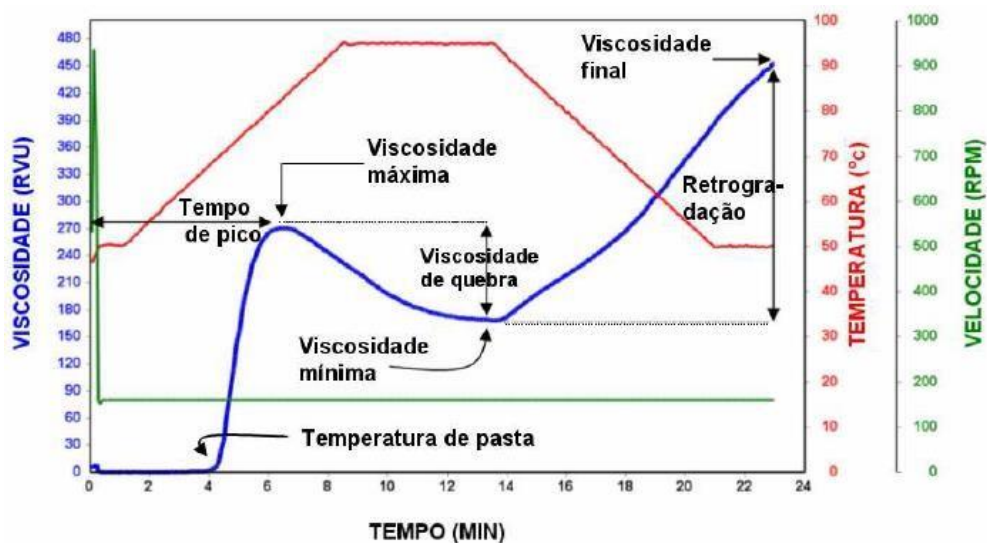


Figura 1 - Comportamento do amido quando submetido ao RVA Fonte: Newport Scientific (1998).

As propriedades reológicas dos diferentes amidos podem variar como função da estrutura granular e composição físico-química. Várias mudanças reológicas ocorrem nos amidos quando os mesmos são colocados em água e aquecidos acima da temperatura de gelatinização (SIMI; ABRAHAM, 2008).

Para o controle das propriedades reológicas finais de produtos alimentícios à base de amido, é necessário ter conhecimento da influência da temperatura e seus efeitos no comportamento do amido nas diferentes etapas do processo (LAGARRIGUE; ALVAREZ, 2001). O conhecimento das propriedades térmicas dos amidos pode ajudar a determinar sua funcionalidade específica e, portanto, sua utilidade na indústria de alimentos (KRIEGER et al., 1997).

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 – Differential Scanning Calorimeter) (YU; CHRISTIE, 2001).

Cada amido tem sua característica única de gelatinização, T_0 , T_p e T_f (temperaturas inicial, de pico e final) e sua entalpia de gelatinização (ΔH) obtidas pelo DSC (TESTER, 1997). Depois de atingida a temperatura final, as duplas hélices da amilopectina são dissociadas, embora a expansão da estrutura granular possa ser conservada até que temperaturas mais altas e cisalhamentos sejam aplicados, então, o amido é convertido de uma forma semicristalina para uma amorfa (BLENNOW et al., 2000).

Charoenkul et al. (2011), analisando amidos de doze genótipos de mandioca cultivados na Tailândia, relatam variação de 61-71° C para a temperatura inicial (T_0), 66,8-74,9° C para a temperatura de pico (T_p), 78, 4-85° C para a temperatura final (T_f) e variação de entalpia (ΔH) de 15,1 a 16,4 J.g⁻¹.

A cristalinidade do amido pode ser estimada pela variação da entalpia (ΔH), energia necessária para fundir os segmentos de duplas hélices. As temperaturas de gelatinização (inicial e de pico) podem ser usadas como medida da estabilidade ou perfeição das regiões cristalinas, e a largura do pico endotérmico como estimativa da heterogeneidade da estrutura cristalina (BLENNOW et al., 2000).

Noda et al. (1996) concluíram que os parâmetros do DSC são

influenciados principalmente pela arquitetura molecular da região cristalina, o que corresponde a distribuição das cadeias curtas de amilopectina, e não pela razão entre amilose e amilopectina da região cristalina. Esses autores mostraram que em estudos de amidos de batata doce e trigo, os resultados de t_0 , t_p , t_f e ΔH eram baixos e refletiam a presença abundante de cadeias curtas de amilopectina.

As temperaturas de gelatinização são influenciadas por vários fatores, tais como, distribuição do comprimento de cadeias ramificadas da amilopectina, tipo de polimorfismo cristalino, teores de amilose e fósforo e condições de extração e processamento do amido (JANE et al., 1999; SINGH et al., 2003).

As variações de entalpia apresentam pequenas variações em diferentes tipos de amido, que podem ser atribuídas a diferenças no grau de cristalinidade e ao teor de amilose. Amidos com baixo teor de amilose possuem menos regiões amorfas e mais regiões cristalinas, precisando de maior energia para fusão dos cristais (SINGH et al., 2003).

As entalpias de amidos retrogradados são usualmente 60 a 80 % menores do que entalpias de gelatinização e as temperaturas de transição na retrogradação são 10 a 26 °C menores do que as atingidas no processo de gelatinização (YUAN; THOMPSON; BOYER, 1993). Essa redução é consequência de um alinhamento impróprio das cadeias de amilopectina, causando a formação de estruturas cristalinas menos organizadas e menos estáveis após a retrogradação (SRICHUWONG et al., 2005).

Contudo, o comportamento térmico dos amidos é muito mais complexo do que a termoplasticidade convencional causada pelas mudanças físico-químicas que ocorrem durante o aquecimento de amidos ou produtos amiláceos que envolvem gelatinização, fusão, transição vítrea, cristalização, mudanças da estrutura cristalina, expansão do volume, degradação molecular e movimentação da água (YU; CHRISTIE, 2001).

Estudos apontam que as propriedades térmicas de amidos estão estritamente relacionadas com o tamanho e a distribuição de tamanho dos grânulos (MADSEN; CHRISTENSEN, 1996). Campbell et al. (1996) observaram correlação positiva de alta significância entre o tamanho dos grânulos e as propriedades térmicas (DSC).

De acordo com Siroth et al. (1999) a fusão dos grânulos de amido é governada pela velocidade com que a água penetra. O evento é composto de dois

estágios, envolvendo a plasticização da amilose amorfa, seguido de hidratação e fusão das regiões cristalinas.

Segundo Cottrell et al. (1995) as endotermas simples, são exibidas quando a água está presente em excesso, ocorrendo a hidratação, seguida pelo inchamento e movimento da água entre regiões amorfas.

Como as regiões cristalinas estão intimamente ligadas às regiões amorfas, o inchamento e movimento destas últimas, provocam um esforço nas regiões cristalinas, nas quais fazem as cadeias fundir-se a menores temperaturas do que teriam se fossem isoladas das regiões amorfas.

Para Eggleston, Swennen e Akoni (1992) e Moorthy (1994) os grânulos de amidos que apresentam alta estabilidade ao calor podem ter essa característica atribuída às forças de ligações internas mais fortes dos grânulos e à presença de fósforo ligado covalentemente ao amido.

2.3 Farinha de Arroz

O arroz é o cereal mais consumido no mundo, e é considerado um alimento básico para dois terços da população mundial. No Brasil, o consumo de arroz é de aproximadamente 12 milhões de toneladas/ano, com tendência crescente.

Maior estado produtor de arroz no Brasil, o Rio Grande do Sul também se destaca no beneficiamento do cereal. O setor agroindustrial opera, atualmente, com 350 indústrias de beneficiamento de arroz no estado e responde por quase 50 % do beneficiamento do arroz no país (SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO, 2010).

A safra brasileira de 2015 foi de 12,546 milhões de toneladas, possuindo amplo destaque na participação da produção agrícola nacional (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2015).

O arroz (*Oryza sativa L.*) se destaca nutricionalmente por possuir a fração prolamina com composição amino-acídica diferente do trigo e do centeio, a expressiva quantidade de calorias que fornece aliada ao baixo índice glicêmico, sendo responsável pela lenta absorção dos carboidratos, e maior sensação de saciedade (HEISLER et al., 2008). Apresentam maior digestibilidade, maior valor biológico que outros cereais e elevada eficiência protéica, apesar de sua deficiência em lisina,

destacando-se entre as mais nutritivas proteínas de cereais, igualando-se à aveia e ao centeio (EVANGELHO et al.,2012).

Segundo Ormenese e Chang (2002) os subprodutos de arroz derivados de seu beneficiamento gera de 8 a 12 kg de arroz quebrado para cada 100 kg de arroz processado, são matérias-primas interessantes para a produção de massas, existem variedades com ampla faixa de teor de amilose, o pequeno tamanho dos grânulos de amido apresenta textura extremamente suave com o cozimento e sabor brando (POLANCO et al., 1995), contém baixos níveis de sódio e alta proporção de amidos facilmente digeríveis (MAGALHÃES, 2010).

No processo de fabricação a matéria-prima utilizada na farinha de arroz passa por um processo de seleção eletrônica de grãos e colunas de ar, entre outros equipamentos, onde a enzima lipase é inativada, garantindo maior “shelf-life” do produto e proporcionando um prazo de validade de no mínimo um ano para as farinhas de arroz (CEREALLE, 2014).

Além da funcionalidade, outra vantagem do arroz está relacionada à produção interna brasileira, com abundância tanto do grão, como da possibilidade de produção de subprodutos. Isto poderá diminuir a dependência de importação que o Brasil possui em relação à farinha mais consumida no país, a de trigo. Assim sendo, tem se pensado em alternativas para promover a substituição desta por farinha de arroz (HEISLER et al.,2008).

Durante as etapas do processamento do arroz são gerados grãos quebrados. Destes, apenas 10 % podem ser adicionados ao produto final. O restante será utilizado como matéria-prima para outras finalidades, como a produção de farinha de arroz. Entretanto, a chave para o aumento do mercado de farinha de arroz pode ocorrer com melhorias nas propriedades funcionais em produtos e formulações que a utilizam.

A farinha de arroz pode ter sua contribuição para o suprimento da demanda por produtos voltados para o atendimento de nichos específicos de mercado, orientação crescente no segmento agroindustrial. Nesse contexto, a utilização da farinha de arroz tem se expandido para a fabricação de biscoitos, bebidas, alimentos processados, pudins, molhos para salada e pães sem glúten (KADAN et al., 2001).

Esse produto tem diversas propriedades, algumas associadas com mudanças ocasionadas durante o processo de obtenção da farinha, como a moagem e, no

caso da pré-gelatinizada, a extrusão – processo que combina diversas operações unitárias como cocção e homogeneização (CASTIGLIONI; DORS; AUGUSTO-RUIZ, 2006).

O principal carboidrato presente no arroz é o amido que apesar de ter uma produção e utilização comercial menor que de outros cereais como milho e trigo têm algumas propriedades desejáveis como sabor suave, cor branca e boa digestibilidade. Além disso, seu pequeno tamanho de grânulo faz com que seja vantajosa sua utilização como um agente melhorador de textura em uma variedade de alimentos, como molhos e pudins, ou como um substituto de gordura em curativos e cremes. É hipoalergênico, pois não contém proteínas específicas que causam reações alérgicas, tendo assim aplicações em fórmulas para lactentes. Além disso, o amido de arroz tem teor relativamente elevado de amilose, ideal em situações desejadas de baixo índice glicêmico, o que é desejável em produtos destinados para consumidores com diabetes ou obesas (CHAMPAGNE, 1996; MITCHELL, 2009; JANG et al., 2016).

As características não alergênicas são fundamentais para indivíduos portadores de intolerância ao glúten. Nos celíacos, o glúten danifica a mucosa superficial do intestino delgado, prejudicando a absorção de nutrientes. O tratamento é exclusivamente dietético, retirando da dieta alimentos que contenham o glúten. O arroz e seus derivados podem ser utilizados na obtenção de uma ampla gama de produtos alimentícios isentos de glúten (CASTRO et al., 2007; DEL CASTILLO; LESCANO; ARMADA, 2009).

Para a produção de alimentos livres de glúten, a farinha de arroz possui limitações tecnológicas relacionadas ao amido nativo, e por isso têm sido utilizadas algumas tecnologias para modificação de parâmetros físicos, químicos e sensoriais, com o intuito de obterem-se características diferenciadas.

Existem vantagens no uso de modificações físicas sobre as químicas, por exemplo, amidos modificados por processo físico não são limitados pela legislação quanto às quantidades utilizadas, pois são considerados ingredientes, uma vez que não são utilizados reagentes químicos que poderiam ser alergênicos na sua produção (ZAVAREZE et al., 2010).

Uma aplicação potencial para as farinhas de arroz pré-gelatinizadas é a produção de alimentos pré-cozidos e instantâneos, muito divulgados nos últimos tempos. Os alimentos instantâneos em pó têm a característica de serem facilmente miscíveis em água. A maioria dos alimentos instantâneos necessita de calor para atingir a

textura desejada.

Alguns exemplos são o leite em pó (integral e desnatado), alimentos destinados à alimentação infantil, os cafés solúveis, as sopas desidratadas instantâneas e as sobremesas, dentre elas as misturas prontas para pudim, *flans*, entre outras. A viabilidade da utilização dos amidos modificados nestas formulações tem despertado o interesse de pesquisadores, com o intuito de estudar a produção de alimentos com matérias-primas menos valorizadas e que forneçam características tecnológicas desejáveis (VISSOTO et al., 2006).

Em um estudo realizado por Augusto-Ruiz et al. (2003), foi realizada uma comparação entre farinhas pré-gelatinizadas de arroz branco polido e arroz integral e verificaram que a viscosidade da farinha de arroz branco apresentou uma temperatura de pasta quente em torno de sete vezes maior do que a farinha de arroz integral, indicando que em produtos que são servidos quentes, como sopas instantâneas, a farinha de arroz comum apresenta uma capacidade espessante muito maior.

Pode-se verificar que a farinha de arroz é um ingrediente promissor na elaboração de produtos levando-se em consideração que no Brasil esse ingrediente não possui uma linha de produtos bem definida.

2.4 Processo de Extrusão

O processo de extrusão vem ganhando destaque e expansão na indústria de alimentos por ser uma importante técnica que, além de aumentar a variedade de alimentos processados, apresenta vantagens quando comparado a outros sistemas tradicionais de processamento de alimentos, tais como: versatilidade, baixo custo, alta produtividade, não geração de resíduos durante ou após o processamento, entre outros. O processo de extrusão é compreendido pelas etapas de pré-extrusão, extrusão e pós-extrusão. A pré-extrusão inclui o preparo e mistura dos ingredientes e umidade.

A extrusão é a etapa na qual a matéria-prima é introduzida no equipamento através do alimentador, sendo impulsionada por rosca(s) em direção à matriz, sendo a pós-extrusão a etapa que inclui a secagem dos extrusados expandidos para umidades inferiores a 10 %, resfriamento e aplicação de saborizante e/ou temperos (EL-DASH, 1982) utilizados frequentemente.

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 (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2011).

O extrusor normalmente é dividido em pré-condicionador, parafuso e orifício de saída. O pré-condicionador é uma câmara atmosférica pressurizada onde o material cru entra e é aquecido e hidratado pelo contato com o vapor de água. No parafuso ocorrem às transformações moleculares, e o calor é gerado pela rotação do parafuso e pela transferência de calor das camisas do canhão. A transformação em uma massa viscosa e plástica é resultado da hidratação, desnaturação e movimento (HARPER, 1986; CHÁVES- JÁUREGUI, 1999), podendo processar mais de 125 toneladas de alimento por hora (MURAKAMI, 2010).

A Figura 2 exemplifica um modelo de extrusor mono-rosca com a passagem da matéria-prima.

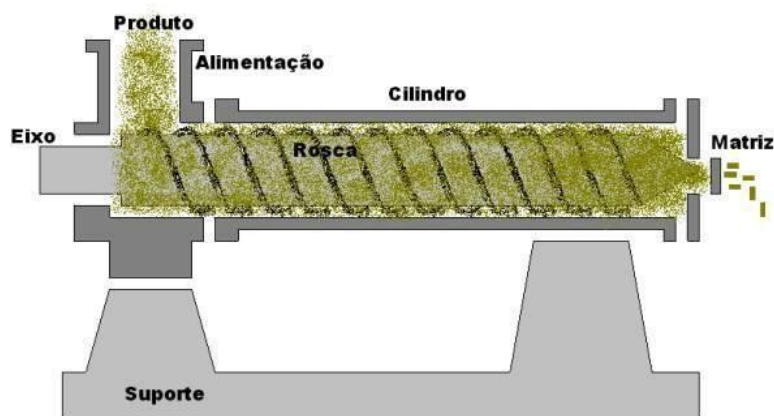


Figura 2- Esquema básico de uma extrusora mono-rosca.
Fonte: Carreiro et al., (2008).

A principal diferença entre a extrusão e os outros métodos de processamento é a transformação ocorrida com a matéria-prima. Durante o processo de extrusão ocorre um superaquecimento à alta pressão formando um sistema fluido que, ao passar pela matriz, sofre expansão provocada pela queda da pressão de vapor de água, cujos produtos extrusados expandidos frequentemente são obtidos de biopolímeros como o amido (GUY, 2001b; HUBER, 2001), com período de permanência no extrusor variando de 10 a 270 segundos (KRABBE; LOIOLA, 2005).

A extrusão é um processo que pode combinar várias operações unitárias incluindo, mistura e condicionamento, transporte, homogeneização, cozimento remoção de umidade, desgaseificação, estabilização enzimática, texturização, encapsulação, pasteurização, esterilização e formatação.

Há inúmeras vantagens com a utilização do processo de extrusão, pois permite a utilização de diversos tipos de matérias-primas e condições de operação e matriz, permite o desenvolvimento de novos produtos, agregando valor; com baixo custo de produção devido à alta produtividade; é um processo contínuo com alto desempenho e totalmente automatizado; e por ser considerado um processo de alta temperatura em tempo rápido, preserva os componentes sensíveis às altas temperaturas, aumenta a digestibilidade de proteínas e amidos, além de poder inativar fatores antinutricionais, enzimas e microrganismos; não produzem efluentes, reduzindo custos e evitando a poluição ambiental (RIAZ, 2000; GUY, 2001a; HUBER, 2001).

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).

Os amidos que são submetidos ao processo de extrusão geralmente apresentam a estrutura nativa desestruturada devido ao aquecimento e trabalho mecânico, formando uma massa viscosa em que as macromoléculas se agregam, orientando-se na direção do fluxo produzido, resultando em uma rede tridimensional devido à interação desses filamentos na saída do extrusor (CHEFTEL, 1986; HARPER, 1986).

O amido sofre mudanças durante o processo devido ao inchamento do grânulo, perda da cristalinidade e birrefringência, acarretando no aumento da viscosidade e solubilização da amilose (HUBER, 2001).

A desorganização da estrutura cristalina e a perda da integridade do

grânulo de amido ocorrem em função da compressão e transformação do material num fluido de alta viscosidade, cisalhamento e aquecimento, promovendo a perda da cristalinidade, despolimerização molecular e danificação do amido, resultando numa massa amorfa (MITCHEL; AREAS, 1992; HARPER, 1994). A despolimerização resulta em oligossacarídeos de baixo peso molecular devido à dextrinização, principalmente pela maior ocorrência nas cadeias de amilopectina, componente do amido em maior quantidade e tamanho (LEE et al., 2006). O amido extrusado, de acordo com as condições do processo, sofre transformações químicas que causam intumescimento e ruptura dos grânulos, modificações das estruturas cristalinas, e provocam solubilidade e viscosidade em água fria (EL-DASH et al., 1984).

A gelatinização do amido no processo de extrusão ocorre entre 12 e 22 % de água em relação aos processos convencionais de cozimento, porém, a gelatinização completa nem sempre é atingida (CAMIRE, 2000). Entretanto, quando os produtos amiláceos apresentam menor umidade, geralmente resultam em maior expansão (GOMEZ; AGUILERA, 1983).

Segundo Thomas e Van Der Poel (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; ASCHERI; CALVIDAL, 2002).

Existem várias propriedades em produtos extrusados que podem ser avaliadas para controlar o processo como o índice de absorção de água (IAA), índice de solubilidade em água (ISA), índice de expansão (IE), viscosidade de pasta e propriedades de textura (HARPER, 1994).

Condições severas de extrusão são caracterizadas pela elevada energia mecânica específica utilizada no processo, alta temperatura e alto grau de cisalhamento promovendo a dextrinização das moléculas de amido (HARPER, 1994).

Durante o processo de extrusão, fica evidenciado que as cadeias de amido sofrem rompimento interno e não nas extremidades, pois apresenta maior relação com o grau de cisalhamento do que com a temperatura de extrusão (MITCHEL; AREAS, 1992).

O índice de solubilidade em água (ISA) permite verificar o grau de severidade do tratamento, em função da degradação, gelatinização, dextrinização e conseqüente solubilização do amido (CARVALHO; ASCHERI; CALVIDAL, 2002). O material após extrusado apresenta alto ISA e maior capacidade de retenção de água em relação à matéria-prima.

Altos teores de amilose promovem redução na solubilidade dos produtos extrusados. O ISA é maior para produtos extrusados do que para amidos gelatinizados convencionalmente em excesso de água. O aumento da temperatura de tratamento apresenta um impacto negativo no ISA. A amilose, quando submetida a tratamento acima de 200 °C no extrusor, apresenta efeito significativo e positivo no ISA (HARPER, 1994). O ISA aumenta em função da liberação dos grânulos de amido das partículas e/ou da degradação do amido (MITCHEL; AREAS, 1992).

As propriedades funcionais dependem muito do peso molecular, composição de aminoácidos, estrutura e reatividade da proteína. Em muitos casos os componentes não protéicos afetam também as propriedades funcionais. A extrusão facilita

a inclusão de fibras no material amiláceo e melhora as características organolépticas e funcionais do produto extrusado.

Quando dispersos em água, as farinhas extrusadas absorvem o líquido rapidamente, formando uma pasta a temperatura ambiente, sem necessidade de aquecimento (SEBIO, 2003). O aumento de solubilidade do material é a base para a elaboração de alimentos instantâneos, como é o caso das sopas, por exemplo. Sendo assim, após a cocção por extrusão, as farinhas de alguns cereais são comercializadas como farinhas pré-gelatinizadas.

A proteína de arroz por ter ligações dissulfídicas e algumas interações não covalentes entre cadeias polipeptídicas mostra uma baixa solubilidade, sendo que esta solubilidade não é afetada pelo processo de extrusão. Produtos extrusados produzidos com farinha de arroz fortificada com isolado proteico de soja apresentaram uma ligeira diminuição na capacidade de absorção de água, quando comparados com aqueles extrusados apenas à base de farinha de arroz (SILVA, 2007).

Estudos realizados por Levine (1983) verificaram que a viscosidade da farinha de arroz também é afetada pela extensão da gelatinização, sendo que a uma rotação e umidade constantes, um aumento na temperatura reduz a viscosidade da farinha. Já uma baixa temperatura e/ou curto tempo de residência no extrusor, a gelatinização é incompleta e apresenta baixa viscosidade.

Em outro estudo realizado por Augusto-Ruiz et al. (2003), que analisou as características reológicas e físico-químicas de farinha de arroz branco e farinha de arroz integral extrusada, verificou-se que a viscosidade da farinha de arroz branco apresentou uma temperatura de pasta quente 7,42 vezes maior do que a farinha de arroz integral, indicando que a farinha de arroz comum apresenta uma capacidade espessante muito maior.

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 ligações de hidrogênio nas regiões amorfas do grânulo, menos ordenadas, são rompidas. A água leva ao intumescimento e a aberturas adicionais da estrutura do grânulo. A viscosidade do meio aumenta resultando em um produto opaco (CAMIRE et al., 1990).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Matérias-primas

A fécula de mandioca utilizada como matéria-prima neste experimento foi fornecida pela Halotek-Fadel S/A, empresa localizada na cidade de Palmital-SP e a farinha de arroz fornecida pela Brasília Alimentos/Arroz Solito, localizada na cidade de Santa Cruz do Rio Pardo.

3.2 Análises das Matérias-primas e Misturas

As matérias-primas, farinha de arroz e fécula de mandioca, foram caracterizadas quanto à composição físico-química conforme as metodologias descritas a seguir.

3.2.1 Umidade

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

3.2.2 Proteína Bruta

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

3.2.3 MatériaGraxa

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

3.2.4 Cinzas

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

3.2.5 Fibras

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

3.2.6 CarboidratosTotais

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

3.2.7 Análise deCor

A cor da fécula de mandioca e da farinha de arroz 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.

3.2.8 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:

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

Onde:

PRC = peso de resíduo de centrifugação

(g) PA = peso da amostra (base seca)

PRE = peso de resíduo de evaporação (g)

3.2.9 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; CONWAY; GRIFFIN, 1969):

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

Onde:

PRE = peso de resíduo de evaporação

(g) PA = peso da amostra (base seca)(g)

3.3 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) passaram pelo programa de tempo e temperatura *Extrusion 1* do software *Thermocline 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 minutos), viscosidade final e tendência a retrogradação (diferença entre a viscosidade final e a viscosidade da

pasta a 50 °C por 5 minutos) (NEW PORT SCIENTIFIC,1998).

3.4 Preparo das Misturas

Foram preparadas amostras com 400 g de fécula de mandioca e farinha de arroz, misturadas segundo o delineamento experimental fixo (Tabela 1). As misturas foram analisadas para teor de umidade, cor, índice de solubilidade em água, índice de absorção de água e propriedades de pasta das misturas, conforme metodologias descritas no item 3.2.

O condicionamento das misturas para os teores de umidade do delineamento foram realizados através de adição de água e mistura em agitador em “Y”. A quantidade de água adicionada às amostras foi calculada pela equação:

Onde: $Y = (U_f - U_i) \times Pa / 100 - U_f$

Y = quantidade de água a ser adicionada (ml) U_f =
umidade final da amostra

U_i = umidade inicial da amostra Pa =
peso da amostra (g)

3.5 Delineamento Experimental

Os parâmetros fixos definidos em ensaios preliminares, a taxa de compressão da rosca (1:3), vazão do alimentador (70g mim⁻¹), abertura (4 mm) e desenho da matriz. Foram escolhidos como parâmetros variáveis:

- Fécula de Mandioca(FM)
- Temperatura de extrusão na 3ª zona do extrusor(°C)
- Umidade da mistura inicial(%)
- Rotação da rosca(rpm).

Tabela 1. Variáveis de trabalho com seus respectivos níveis.

		Variáveis Níveis				
Codificado	Rea	-α	-1	0	+1	+α
X1	Fécula de Mandioca (FM)	0	10	20	30	40
X2	Temperatura na 3ª zona do extrusor (°C)	80	90	100	110	120
X3	Umidade da mistura inicial (%)	14	16	18	20	22
X4	Rotação da Rosca (RPM)	203	218	233	248	263

$\pm|\alpha|=2$

3.6 Processo de Extrusão

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 farinha de arroz e fécula de mandioca. Variáveis independentes codificadas e reais do experimento (Tabela 2).

A extrusão foi efetuada em uma linha completa de extrusão IMBRA 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⁻¹.

Tabela 2- Variáveis independentes codificadas e reais do experimento.

Tratamento	Variáveis Codificadas				Variáveis Reais			
	X1	X	X3	X4	FM	T	U	RR
1	-1	-1	-1	-1	10	90	1	218
2	-1	-1	-1	1	10	90	1	248
3	-1	-1	1	-1	10	90	2	218
4	-1	-1	1	1	10	90	2	248
5	-1	1	-1	-1	10	110	1	218
6	-1	1	-1	1	10	110	1	248
7	-1	1	1	-1	10	110	2	218
8	-1	1	1	1	10	110	2	248
9	1	-1	-1	-1	30	90	1	218
10	1	-1	-1	1	30	90	1	248
11	1	-1	1	-1	30	90	2	218
12	1	-1	1	1	30	90	2	248
13	1	1	-1	-1	30	110	1	218
14	1	1	-1	1	30	110	1	248
15	1	1	1	-1	30	110	2	218
16	1	1	1	1	30	110	2	248
17	-2	0	0	0	0	100	1	233
18	2	0	0	0	40	100	1	233
19	0	-2	0	0	20	80	1	233
20	0	2	0	0	20	120	1	233
21	0	0	-2	0	20	100	1	233
22	0	0	2	0	20	100	2	233
23	0	0	0	-2	20	100	1	203
24	0	0	0	2	20	100	1	263
25	0	0	0	0	20	100	1	233
26	0	0	0	0	20	100	1	233
27	0	0	0	0	20	100	1	233
28	0	0	0	0	20	100	1	233
29	0	0	0	0	20	100	1	233
30	0	0	0	0	20	100	1	233

X1=FM=Fécúla de Mandioca (%), x2= T = Temperatura na terceira zona do extrusor (°C), X3=U= Umidade da Mistura (%), X4=RR= Rotação da Rosca (rpm).

3.7 Análises dos Produtos Extrusados Expandidos

3.7.1 Índice de Expansão

O índice de expansão dos extrusados foi calculado pela relação entre o diâmetro da amostra e o diâmetro da matriz, conforme a metodologia proposta por Faubion e Hosney (1982). O valor considerado foi obtido pela média aritmética das medidas de 20 diferentes produtos expandidos dentro de cada tratamento.

3.7.2 Volume Específico

O volume específico dos produtos expandidos foi determinado pelo método do deslocamento da massa ocupada (semente de painço) e determinado o seu volume em uma proveta graduada. Para o cálculo utilizou-se a equação: $VE = v/p$, onde: VE = volume específico (mL g^{-1}); p = massa (g); v = volume (mL).

3.7.3 Dureza

A dureza dos produtos extrusados foi realizada após a secagem destes em estufa de circulação de ar a 40 °C por 4 horas e foi analisada em analisador de textura (TA. XT plus, Stable Micro Systems).

3.8 Análises das Farinhas Extrusadas

Os extrusados expandidos foram moídos em moinho de facas (Marconi) e analisadas para IAA e ISA.

As avaliações de índice de absorção de água (IAA) índice de solubilidade em água (ISA) e análise de cor foram analisadas segundo metodologia descrita nos itens 3.2.7, 3.2.8 e 3.2.9.

3.9 Análise dos Dados

Para a análise estatística dos resultados experimentais foi utilizado o modelo:

$$y_k = b_0 + \sum_{i=1}^4 b_i x_{ik} + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=i}^4 b_{ij} x_{ik} x_{jk} + e_k,$$

onde :

y_k = valor observado da variável dependente no nível K, $K = 1, \dots,$

30; x_{ik} = i-ésima variável independente, no nível K, $i = 1, 2, 4$;

b_0 = parâmetro do modelo, independente de x;

b_i = parâmetros correspondentes aos efeitos lineares de x_i ;

b_{ij} = parâmetros correspondentes aos efeitos de 2ª ordem de $x_i x_j$, $i = 1, 2, 4$, $j = 1, \dots,$

4; e_k = erro experimental associado à k-ésima parcela.

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 alfa de 5 %.

Inicialmente foi realizada a análise de variância sendo determinados os coeficientes de regressão do modelo incluindo todos os parâmetros (linear, quadrática e interação). O ajuste do modelo foi feito pela opção “step-wise”, sendo que o modelo obtido foi validado pelo teste F utilizando-se como denominador o quadrado médio do erro puro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterizações das Matérias-primas e suas Misturas

4.1.1 Composição Físico - Química

A composição físico-química das matérias-primas está entre os principais fatores interferentes no desenvolvimento de produtos extrusados. Os resultados obtidos nas análises de composição físico-química das matérias-primas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Caracterização físico-química da fécula de mandioca e da farinha de arroz.

Composição (g100 g ⁻¹)	Fécula de Mandioca	Farinha de arroz
Umidade	14,0±0,16	10,35±0,18
Cinzas	0,17±0,01	0,39±0,01
Lipídios	0,61±0,05	0,97±0,02
Fibras	0,40±0,03	0,91±0,02
Proteínas	0,21±0,01	7,32±0,01
Carboidratos totais	-----	80,06±0,69
Amido	81,79±0,39	-----
Açúcares Totais	0,31±0,03	-----

A fécula de mandioca se encontra em acordo com os requisitos mínimos exigidos pela legislação brasileira (Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005).

Zhu (2015) em sua revisão sobre amido de mandioca relata grande variação nos componentes “não amido”, com variação no teor de cinzas de 0,03 a 0,29 %, proteína de 0,06 a 0,75 %, lipídeos de 0,01 a 1,2 % e fibras de 0,11 a 1,9 %. Neste mesmo trabalho é relatado uma variação no teor de fósforo de 0,0029 a 0,0095 %.

A legislação brasileira atual delimita a umidade máxima para farinhas de 15 % (BRASIL, 2005), o que significa que farinha de arroz utilizada está com umidade inferior a este limite (10,35 %).

Ascheri, Ascheri e Carvalho (2006), encontraram para a farinha de arroz valores de 9,81 % de proteína, 0,78 % de cinzas, 12,01 % de umidade, 0,62 % de lipídios e 76,04 % de carboidratos. Já Dors, Castiglione e Augusto-Ruiz (2006) caracterizaram a farinha de arroz para utilização em uma sobremesa, obtendo valores de 8,24 % para proteína, 0,42 % para cinzas, 6,52 % para umidade, 0,46 % para lipídios e 90,72 % para carboidratos. Clerici e El-Dash (2008), ao caracterizarem farinhas de arroz encontraram valores de 7,56 %, 0,27 %, 12,88 %, 0,82 % e 78,97 % para proteína, cinzas, umidade, lipídios e carboidratos, respectivamente.

O teor de proteína para os diversos autores variou de 7,50 % a 9,81%, já o valor encontrado neste trabalho foi de 7,32 %. Apesar dessa diferença, pode-se perceber que é um valor próximo ao valor mínimo da faixa de comparação, e tal variação pode ser explicada pela variabilidade genética dos cultivares utilizada nos estudos.

4.1.2 Cor

Nos parâmetros de cor, L^* define a claridade, em que o valor zero indica cor totalmente preta e o cem totalmente branca. A coordenada de cromaticidade a^* , quando positiva, indica a existência de maior teor de pigmentos vermelhos, já quando negativa aponta a existência de pigmentos verdes; enquanto que o b^* refere-se à tonalidade amarela quando positiva e azul quando negativa. Quando os valores das escalas a^* e b^* estiverem próximos de zero indicam que a amostra apresenta uma cor próxima à neutralidade (MENEGASSI et al., 2007).

Os resultados da análise de cor das matérias-primas e suas misturas estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4- Resultados médios dos parâmetros de cor da fécula de mandioca, farinha de arroz e suas misturas.

	L*	a*	b*
Fécula de mandioca	95,81±0,185	0,80±0,024	4,04±0,065
Farinha de Arroz	94,65±0,042	0,95±0,005	4,40±0,051
Misturas (% de Fécula de mandioca)			
10%	92,83±0,088	0,15±0,025	6,31±0,100
20%	93,89±0,029	0,24±0,009	5,38±0,059
30%	94,47± ,070	0,30±0,005	4,83±0,050
40%	95,02±0,061	0,36±0,005	4,32±0,053

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).

As matérias primas estudadas apresentaram padrões de cor bem semelhantes, mostrando alta luminosidade, presença de vermelho e de amarelo. Quando misturadas em suas diferentes proporções, como tem cores muito semelhantes, a interferência do aumento de fécula de mandioca não promoveu diferenças nas tonalidades.

Barbosa et al. (2006), caracterizando farinha de arroz crua e pré-gelatinizada utilizadas para fabricação de embutido tipo mortadela encontraram valores para a farinha crua de 95,41 para L*, (+) 0,05 para a* e (+) 4,7 para b*, valores semelhantes aos observados neste trabalho.

Os resultados para os parâmetros de cor da fécula de mandioca foram semelhantes aos relatados por Trombini, Leonel e Mischon (2013) que encontraram para fécula de mandioca alta luminosidade 97,06, a* igual a 0,62 (vermelho) e b* de 4,40 (amarelo) e também por Freitas et al. (2009) que citam 92,21 de luminosidade para a fécula de mandioca.

4.1.3 Índices de Solubilidade (ISA) e Absorção em Água (IAA)

Os resultados obtidos na determinação dos índices de solubilidade e absorção de água da fécula de mandioca, farinha de arroz e suas misturas estão apresentados na Tabela 5.

O índice de solubilidade em água (ISA) está relacionado à quantidade de sólidos solúveis em uma amostra seca (CARVALHO et al., 2002).

Os resultados obtidos mostram que a farinha de arroz mostrou

maior ISA em relação à fécula de mandioca. O índice de solubilidade em água (ISA) das misturas de fécula de mandioca e farinha de arroz variou entre 2,08 e 2,39 %, com o menor valor observado na maior porcentagem de fécula de mandioca na mistura.

Tabela 5- Médias e desvio padrão dos Índices de Solubilidade em Água (ISA) e Índice da Absorção de Água (IAA) da fécula de mandioca, farinha de arroz e suas misturas.

	ISA (%)	IAA (g gel
Fécula de Mandioca	1,52±0,07	3,62±0,07
Farinha de Arroz	2,36±0,07	2,2±0,01
Misturas (% de Fécula de mandioca)		
10%	2,39±0,01	2,11±0,01
20%	2,15±0,27	1,66±0,52
30%	2,15±0,08	0,99±0,05
40%	2,08±0,12	0,91±0,05

O valor encontrado por Collares et al. (2007) para o ISA da farinha de arroz foi de 2,47%, valor muito próximo ao observado neste trabalho.

O maior valor de ISA da farinha de arroz pode estar relacionado à presença de proteínas em sua composição. 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).

Lustosa et al. (2009) encontraram valores na determinação dos ISA das misturas de farinha de mandioca e caseína variando de 1,54 a 1,93 %. O maior valor de ISA foi obtido com 6,0% de proteína na mistura.

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 à capacidade de formação de gel das moléculas que compõem o amido. O IAA é importante no desenvolvimento de alimentos prontos para consumo, sendo que uma alta capacidade de absorção pode garantir coesividade ao produto (HOUSSEON; ANOR, 2002)

Os resultados revelaram maior IAA para a fécula de mandioca e os IAA das misturas de fécula de mandioca e farinha de arroz variaram de 2,11 a 0,91 g gel g⁻¹

¹, com diminuição deste índice nas maiores porcentagens de fécula de mandioca na mistura.

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.

Collares et al. (2007) encontrou para farinha de arroz o valor de 2,28g de água g⁻¹ material seco, muito próximo ao resultado da farinha de arroz deste trabalho que foi de 2,2 g gel.g-1. Este índice é relativamente baixo em produtos crus, devido à limitada capacidade de absorção de água pelos componentes das matérias-primas. Processos térmicos, como o processo de extrusão, elevam os valores de IAA devido à gelatinização dos grânulos de amido e à desnaturação das proteínas que conduz amudanças conformacionais e estruturais alterando o balanço hidrofílico/hidrofóbico.

De acordo com Castiglioni, Dors e Augusto-Ruiz (2006), a farinha de arroz pré-gelatinizada destaca-se na absorção e solubilidade em água, provavelmente devido ao processamento térmico a que foi submetida. O baixo índice de absorção (2,84 g gel g⁻¹) e de solubilidade (2,10 %) para a farinha crua comprova o difícil acesso da água entre as cadeias do amido e a conseqüente importância do processo de extrusão, na alteração das características da farinha de arroz crua e a sua posterior utilização no desenvolvimento de outros produtos.

4.1.4 Propriedades de Pasta

A gelatinização do amido nativo ocorre quando é aquecido na presença de umidade suficiente. Os grânulos absorvem água e incham, e a organização cristalina é irreversivelmente rompida (LEONEL et al., 2015).

Durante o ciclo de aquecimento de suspensões de amido as moléculas de amilose começam a lixiviar a partir dos grânulos que são rompidos sob cisalhamento e a viscosidade da pasta resultante aumenta para um máximo, que corresponde ao ponto em que o número de grânulos inchados, mas ainda intactos está no máximo (pico de viscosidade). O valor máximo é seguido por uma diminuição na viscosidade da pasta, quando os grânulos se rompem e as moléculas de amido são dispersas na fase aquosa (quebra de viscosidade). A taxa e extensão de inchamento e

quebra são dependentes do tipo e da quantidade de amido, do gradiente de temperatura, força de cisalhamento e a presença de lipídeos e proteínas (DEBET; GIDLEY, 2007; LEONEL et al., 2015).

A Tabela 6 contém os resultados obtidos para as propriedades de pasta das misturas antes do processo de extrusão.

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).

Tabela 6- Propriedades de pasta da fécula de mandioca, farinha de arroz e misturas.

Produtos	Propriedades (RVU) (<i>Rapid Visco Analyser</i>)				
	VI	PV	QV	VF	TR
Fécula de Mandioca	0,97±0,06	425,80±36,79	257,75±34,82	368,08±25,4	200,0±25,8
Farinha Arroz	1,11± 0,06	228,78±17,67	47,42±0,35	209,09±2,71	17,54±0,65
Misturas (% FM)					
10%	1,01±0,10	214,08±84,51	31,30±5,94	219,75±9,47	36,97±16,0
20%	1,05±0,04	183,30±6,61	21,61±1,26	221,69±9,02	60,00±1,9
30%	0,96±0,03	205,11±9,81	13,75±1,56	294,33±13,2	102,97±5,2
40%	0,90±0,16	207,86±52,17	11,11±2,07	336,69±72,6	139,9±22,7

VI= viscosidade inicial; PV=pico de viscosidade; QV=quebra de viscosidade; VF=viscosidade final; TR=tendência a retrogradação; FM=Fécula de mandioca.

As viscosidades iniciais (VI) da fécula de mandioca, da farinha de arroz e de suas misturas foram próximas de zero, podendo observar que a VI de todas as misturas foram baixas, pois estas matérias primas não apresentam viscosidade quando em água fria.

Vários trabalhos relatam as propriedades de pasta de amidos de mandioca, os quais mostram variações nas propriedades devido à interferência de variedades, época e condições de cultivo, métodos de extração, entre outros.

Onitilo et al. (2007) relatam em seu estudo com quarenta genótipos de mandioca variação no pico de viscosidade dos amidos de 261 a 593 RVU, quebra de viscosidade de 141,2 a 329,0 RVU, tendência a retrogradação de 19 a 79,9 RVU e temperatura de pasta de 63,8 a 65,7 °C.

Já Sánches et al. (2009) analisando as propriedades de pasta relatam que a variação observada nos amidos de 4050 genótipos de mandioca foi de 146-1505 RVU para o pico de viscosidade, 28,1-859 RVU para a quebra, -702 a 273RVU para a tendência a retrogradação e variação de 58,8-71,2 °C para a temperatura de pasta.

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 este, não observado neste trabalho pela maior quantidade de amido presente nas amostras.

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 425,80 a 228,78 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 componentes presentes na farinha de arroz pode ter interferido no processo de gelatinização do amido, o que levou a um menor pico de viscosidade na farinha e nas misturas.

A fécula de mandioca tem considerável pico de viscosidade (PV) 425,80 RVU, não resiste ao calor e agitação, apresentando uma quebra de viscosidade (QV) de 257,75 RVU, resultando em uma elevada tendência a retrogradação (TR) 200,03 RVU.

Ao contrário, a farinha de arroz apresenta pico de viscosidade (PV) de 228,78 RVU e quebra de viscosidade (QV) 47,42 RVU menor, resistindo ao calor e agitação, e apresentando uma viscosidade final (VF) 209,09 elevada depois do resfriamento, e uma menor tendência a retrogradação (TR) de 17,54RVU.

A farinha de arroz quando passa pelo processo de gelatinização, mantém a viscosidade apresentando baixa tendência a retrogradação. Isto pode ser observado nas misturas com as diferentes proporções de fécula de mandioca onde a viscosidade final e a retrogradação aumentaram com maiores porcentagens da mandioca, o que ressalta a interferência das proteínas presentes na farinha de arroz.

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 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; EL-DASH, 1999).

4.2 Caracterização dos Produtos Extrusados Expandidos

4.2.1 Índice de Expansão (IE)

A formação de produtos expandidos, com forma e textura desejáveis, depende de inúmeros fatores.

A análise do índice de expansão (IE) dos *snacks* extrusados de arroz e fécula de mandioca mostrou ter ocorrido uma variação de 3,10 a 8,02 nas diferentes condições experimentais. A análise dos coeficientes de regressão mostrou ter ocorrido efeito significativo da umidade e da porcentagem de fécula de mandioca sobre este parâmetro (Tabelas 7 e 8). Conforme observa-se na Figura 3, nas condições de menor umidade e de fécula de mandioca em mistura com a farinha de arroz foram obtidos os maiores índices de expansão.

Tabela 7- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o índice de expansão (IE) dos extrusados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	P valor	
Intercepto	3,978				
FM	-0,151	0,164	1		0,3709
T	0,173	0,164	1		0,3083
U	-0,554	0,164	1		0,0041
RR	-0,137	0,164	1		0,4162
FM*FM	0,353	0,153	1		0,0358
T*T	0,244	0,153	1		0,1330
U*U	0,159	0,153	1		0,3174
RR*RR	0,245	0,153	1		0,1312
FM*T	-0,163	0,200	1		0,4293
FM*U	0,468*	0,200	1		0,0609
FM*RR	-0,027	0,200	1		0,8953
T*U	-0,684	0,200	1		0,0039
T*RR	-0,208	0,200	1		0,3164
U*RR	-0,201	0,200	1		0,3336
R2	0,832				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F calc.	Pr>F
Regressão	14	26,41	1,89	2,92	0,0239
Resíduos	15	9,68	0,64		
T	29	36,09			

FM=fécua de mandioca; T= temperatura na 3ª zona; U= umidade; RR= rotação da rosca; R²= coeficiente de determinação, GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio.

O índice de expansão (IE) provavelmente seja a característica física mais importante de produtos extrusados. Pelo IE, assim como o volume específico (VE), busca-se descrever, de forma indireta, o grau de "transformação" do grânulo de amido e as variações de massa e volume que sofreu a massa amilácea ao sair do extrusor (CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002).

Tabela 8- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o índice de expansão (IE) dos extrusados, após ajuste do modelo.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	P valor	
Intercepto	4,55				
U	-0,554	0,1648	1		<0,001
FM*FM	0,28	0,1504	1		0,0429
FM*U	0,41	0,2119	1		0,0448
T*U	-0,68	0,2119	1		0,0023
R^2	0,5482				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F calc,	Pr>F
Regressão	4	19,79	4,94	7,58	0,0004
Resíduos	25	16,30	0,65		
Total	29	36,09			

FM=fécua de mandioca; T= temperatura na 3ª zona; U= umidade; RR= rotação da rosca; R^2 = coeficiente de determinação, GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio

Segundo Ding et al. (2005), o aumento da quantidade de água durante a extrusão pode mudar a estrutura molecular da amilopectina do material, agindo como um plastificante para materiais amiláceos, reduzindo a viscosidade e a dissipação da energia mecânica na extrusora e, assim, o produto fica mais denso e o crescimento de bolhas é comprimido, diminuindo assim a expansão.

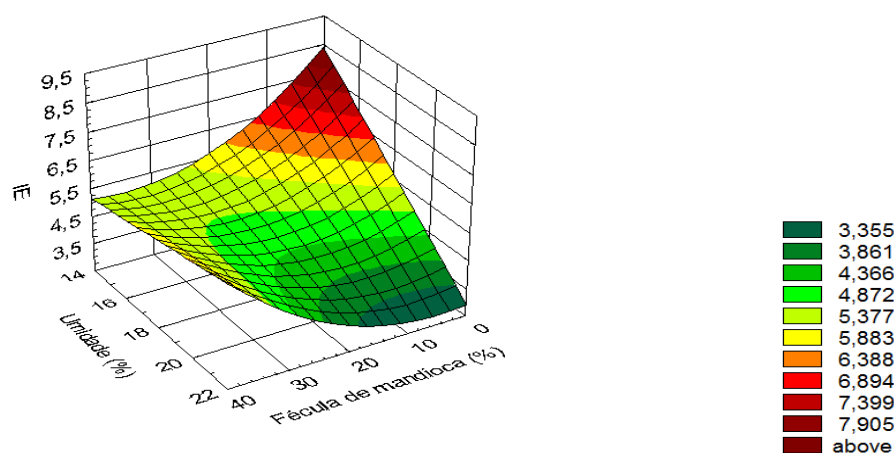


Figura 3- Efeito da umidade e da fécula de mandioca sobre o índice de expansão dos produtos extrusados.

Vários trabalhos têm demonstrado que o IE decresce significativamente com o incremento do teor de umidade. Estas evidências foram constatadas por Clerice e El-Dash (2008) extrusando farinha de arroz, e por Chang e El-

Dash (2003), extrusando fécula de mandioca. Esse fenômeno acontece pela relação que ocorre entre a quantidade de água e a força do gel formado durante a extrusão.

Em amostras extrusadas com alto teor de umidade o gel tende a ser mais elástico formando uma matriz de pequenas células uniformes. Borba, Sarmiento e Leonel (2005), avaliando o efeito de parâmetros operacionais na extrusão de farinha de batata doce, obtiveram IE de 1,9 a 2,6, sendo que nas condições de baixa umidade (15%) foram obtidos os maiores IE, assim como neste estudo.

Trabalhos de extrusão de misturas de produtos com a fécula de mandioca mostram a interferência dos parâmetros de extrusão sobre este índice.

Leonel et al. (2010), estudando os efeitos de parâmetros de extrusão de fécula de mandioca e polpa de laranja, observaram IE variando de 1,93 a 2,99, encontrando valores inferiores aos obtidos neste trabalho com extrusados de fécula de mandioca.

Trombini, Leonel e Mischán (2013), analisando as características reológicas de produtos extrusados nas misturas de farinha de maracujá e fécula de mandioca encontraram os resultados para índice de expansão de 2,53 a 3,51, com os maiores valores foram nas condições do ponto central, ou seja, 100 ° C de temperatura de extrusão e rotação de 235 rpm.

As mudanças físicas resultantes do processamento são determinantes para a aceitabilidade do produto final, e, para *snacks* são características importantes: expansão, dureza, crocância e densidade. É esperada uma estrutura expandida e leve para a maioria dos “snacks” (CHRISTOFIDES et al., 2004).

4.2.2 Volume Específico (VE)

O volume específico é uma medida da expansão volumétrica, que é a soma das expansões radial e axial. A análise do volume específico dos produtos extrusados mostrou uma variação de 7,89 a 11,75 ml g⁻¹ entre os tratamentos. Estes resultados foram superiores aos relatados por Trombini, Leonel e Mischán (2013) que encontraram variação de 2,64 a 7,75 ml.g⁻¹ de volume específico estudando produtos extrusados contendo farinha de soja, fécula e farelo de mandioca.

Conforme a análise dos dados ocorreu efeitos da porcentagem de fécula de mandioca e umidade sobre este parâmetro (Tabelas 9 e 10), não havendo efeitos

significativos dos demais parâmetros testados.

De acordo com a superfície de resposta traçada a partir do modelo ajustado foi possível observar que nas condições de elevado teor de fécula de mandioca em mistura com a farinha de arroz e elevada umidade, os volumes específicos são menores (Figura 4).

Tabela 9- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o volume específico (VE) dos extrusados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	P valor	
Intercepto	10,09				
FM	-0,835	0,116	1		<0,0001
T	0,107	0,116	1		0,3727
U	-0,333	0,116	1		0,0120
RR	0,160	0,116	1		0,1910
FM*FM	-0,086	0,109	1		0,4439
T*T	-0,192	0,109	1		0,0986
U*U	-0,141	0,109	1		0,2163
RR*RR	-0,061	0,109	1		0,5857
FM*T	-0,064	0,143	1		0,6584
FM*U	0,144	0,143	1		0,3278
FM*RR	0,043	0,143	1		0,7667
T*U	0,048	0,143	1		0,7407
T*RR	-0,231	0,143	1		0,1270
U*RR	0,006	0,143	1		0,9691
R2	0,8248				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F calc.	Pr>F
Regressão	14	23,01	1,64	5,04	0,0018
Resíduos	15	4,89	0,32		
Total	29	27,90			

FM=fécula de mandioca; T= temperatura na 3ª zona; U= umidade; RR= rotação da rosca; R²= coeficiente de determinação, GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio

Souza et al. (2007), avaliando o efeito das condições de extrusão em produtos expandidos, produzidos a partir de misturas de fécula de mandioca e polpa cítrica, observaram que o volume específico dos extrusados decresceu com o aumento da temperatura e umidade, variando de a 1,71 a 8,54 mlg⁻¹.

Nogueira et al. (2009), estudando volume específico em *snacks* extrusados à base de polvilho azedo, milho e mandioca apresentaram média do VE de 8,78 ml g⁻¹ para polvilho azedo, sendo classificados como produtos de média expansão. Já os *snacks* de milho e mandioca como grandes, com VE de 10,83 e 10,22 ml g⁻¹, valores

próximos aos encontrados no presente trabalho.

Tabela 10- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o volume específico (VE) dos extrusados, após ajuste do modelo.

	Coeficientes de regressão	Erropadrão	GL	P valor	
Intercepto	9,710				
FM	-0,835	0,115	1	<0,0001	
U	-0,333	0,115	1	0,0073	
R^2	0,6945				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F calc.	Pr>F
Regressão	2	19,37671	9,68835	30,68	<0,0001
Resíduos	27	8,52529	0,31575		
Total	29	27,90200			

FM=fécua de mandioca; T= temperatura na 3ª zona; U= umidade; RR= rotação da rosca; R^2 = coeficiente de determinação, GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio

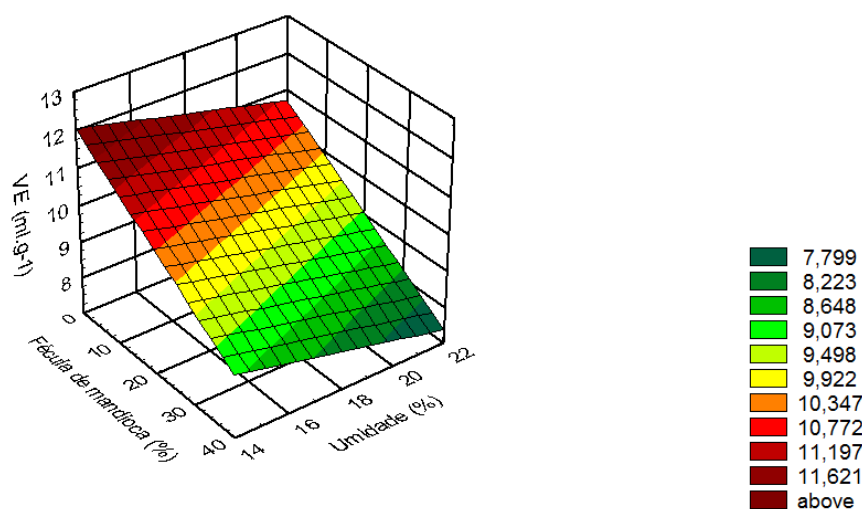


Figura 4- Efeito da porcentagem de fécula de mandioca e umidade sobre o volume específico de extrusados expandidos de farinha de arroz e fécula de mandioca.

4.2.3 Dureza (D)

O que se deseja em *snacks* com boas características é que os valores de fraturabilidade e dureza sejam baixos (ALVES; GROSSMANN, 2002). A dureza é um parâmetro de textura que fisicamente representa a força necessária para produzir certa deformação; enquanto que, sensorialmente, representa a força requerida para

a compressão de uma substância entre os dentes (MEILGAARD et al.,1999).

Os valores obtidos para a dureza dos produtos extrusados variaram de 2,48 a 19,56 N nas diferentes condições experimentais testadas. A análise dos dados mostrou efeitos da umidade e da rotação da rosca sobre este parâmetro (Tabelas 11 e 12).

Tabela11- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para a dureza (D) dos extrusados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	P valor	
Intercepto	7,107				
FM	-0,113	0,677	1	0,8694	
T	-0,365	0,677	1	0,5980	
U	1,349	0,677	1	0,0450	
RR	-0,040	0,677	1	0,9537	
FM*FM	0,448	0,634	1	0,4900	
T*T	0,017	0,634	1	0,9786	
U*U	1,150	0,634	1	0,0497	
RR*RR	1,303	0,634	1	0,0475	
FM*T	-0,372	0,830	1	0,6599	
FM*U	0,329	0,830	1	0,6976	
FM*RR	0,804	0,830	1	0,3481	
T*U	-0,950	0,830	1	0,2702	
T*RR	0,820	0,830	1	0,3388	
U*RR	1,614	0,830	1	0,0508	
R2	0,7527				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F calc.	Pr>F
Regressão	14	204,24	14,59	1,32	0,2977
Resíduos	15	165,28	11,02		
Total	29	369,52			

FM=fécula de mandioca; T= temperatura na 3ªzona; U= umidade; RR= rotação da rosca; R²= coeficiente de determinação, GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio.

Tabela12- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para a dureza (D) dos extrusados, após ajuste do modelo.

	Coeficientes de regressão	Erropadrão	GL	P valor	
Intercepto	7,572				
U	1,349	0,597	1		0,0328
U*U	1,092	0,584	1		0,0576
RR*RR	1,245	0,584	1		0,0320
U*RR	1,614	0,731	1		0,0367
R^2	0,4212				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F calc.	Pr>F
Regressão	4	155,632	38,91	4,55	0,0067
Resíduos	25	213,887	8,55		
Total	29	369,519			

A superfície de resposta traçada a partir do modelo ajustado evidencia que nas condições de elevada rotação e umidade a dureza dos produtos extrusados foram maiores, ou seja, menor crocância foi observada nestes *snacks* (Figura 5).

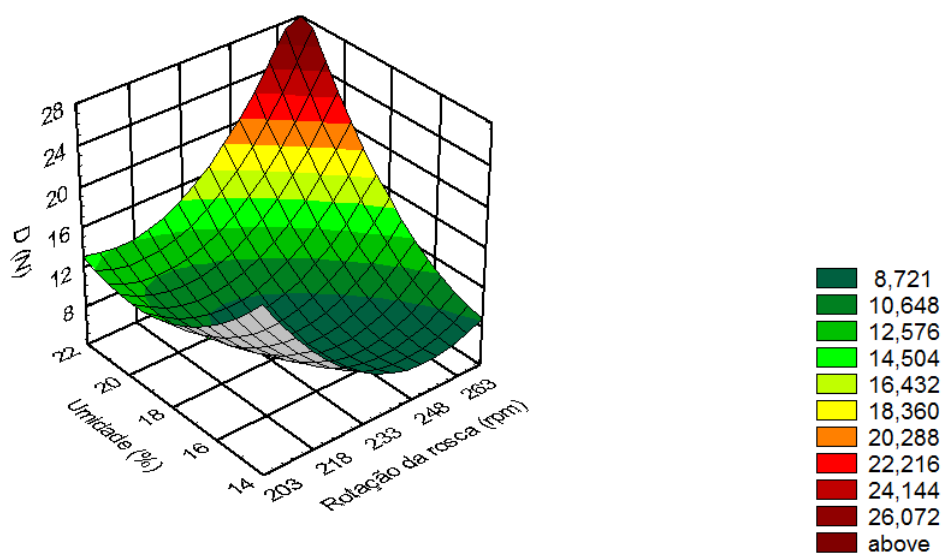


Figura 5- Efeito da umidade e rotação da rosca sobre a dureza de *snacks* de farinha de arroz e fécula de mandioca.

4.3 Caracterizações das Misturas Extrusadas de Fécula de Mandioca e Farinha de Arroz

4.3.1 Cor

A cor é um fator importante para a qualidade sensorial dos alimentos. Durante a extrusão ocorrem algumas reações que afetam este fator. Dentre elas, as mais comuns são as reações de escurecimento não-enzimático (reação de Maillard e caramelização) e a degradação de pigmentos. As condições de processamento utilizadas na extrusão (alta temperatura e baixa umidade) favorecem a reação entre açúcares redutores e aminoácidos, resultando na formação de compostos pardos. Dependendo do grau de escurecimento pode vir acompanhado de sabores e odores indesejáveis (ILO; BERGHOFER, 1999).

Os resultados obtidos para a luminosidade L^* dos produtos extrusados variaram de 82,17 a 90,75, indicando cor clara para todos os produtos independentes do tratamento sendo apresentado na figura 6.

A análise dos coeficientes de regressão mostrou ter ocorrido efeito da fécula de mandioca sobre este parâmetro. Nas condições de maior porcentagem de fécula de mandioca os produtos apresentaram menor luminosidade (Tabela 13 e 14, Figura 6).

O croma a^* dos produtos extrusados variou de 0,59 a 2,03, o que observa-se que o tratamento de extrusão independente das condições promoveu aumento da cor vermelha nos produtos quando comparado com os resultados obtidos nas matérias-primas e em suas misturas (Figura 7).

A análise dos dados mostrou terem ocorrido efeitos significativos da fécula de mandioca e da temperatura de extrusão sobre este componente de cromaticidade (Tabelas 15 e 16).

Conforme mostra a superfície de resposta traçada a partir do modelo ajustado nas condições intermediárias de temperatura e maior porcentagem de fécula de mandioca na mistura são observados os maiores valores para o croma a^* (Figura 7).

Tabela 13- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para a luminosidade (L^*) dos extrusados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	P valor	
Intercepto	86,497				
FM	-0,929	0,374	1		0,0253
T	-0,564	0,374	1		0,1519
U	0,031	0,374	1		0,9345
RR	0,419	0,374	1		0,2796
FM*FM	0,107	0,350	1		0,7631
T*T	-0,470	0,350	1		0,1990
U*U	-0,126	0,350	1		0,7230
RR*RR	0,343	0,350	1		0,3415
FM*T	-0,004	0,458	1		0,9925
FM*U	0,193	0,458	1		0,6793
FM*RR	-0,184	0,458	1		0,6930
T*U	-0,058	0,458	1		0,9007
T*RR	-0,246	0,458	1		0,5997
U*RR	0,274	0,458	1		0,5581
R ²	0,4861				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F calc.	Pr>F
Regressão	14	47,62	3,40	1,01	0,4876
Resíduos	15	50,36	3,36		
Total	29	97,98			

FM=fécua de mandioca; T= temperatura na 3ª zona;U= umidade; RR= rotação da rosca; R²= coeficiente de determinação, GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio

Tabela 14- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para a luminosidade (L^*) dos extrusados, após ajuste do modelo.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	P valor	
Intercepto	86,38033				
FM	-0,92875	0,33912	1		0,0106
R ²	0,2113				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F calc.	Pr>F
Regressão	1	20,702	20,702	7,50	0,0106
Resíduos	28	77,283	2,760		
Total	29	97,985			

FM=fécua de mandioca; T= temperatura na 3ª zona;U= umidade; RR= rotação da rosca; R²= coeficiente de determinação, GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio

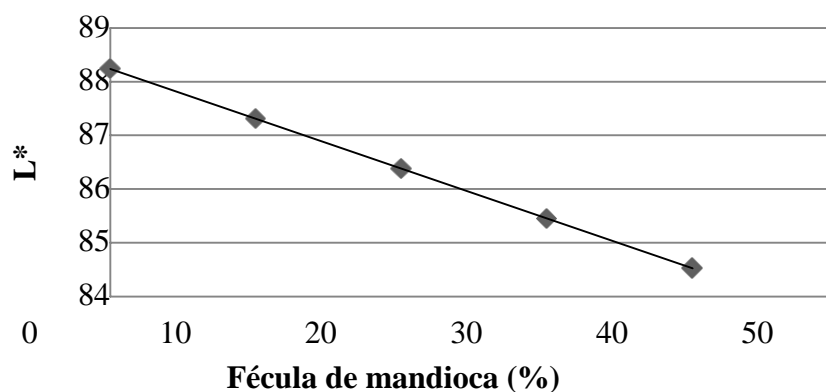


Figura 6- Efeito da porcentagem de fécula de mandioca sobre a luminosidade das misturas extrusadas de farinha de arroz e fécula de mandioca.

Tabela 15- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para coroma a* dos extrusados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	P valor	
Intercepto	1,450				
FM	0,323	0,060	1	<0,0001	
T	0,078	0,060	1	0,2122	
U	-0,050	0,060	1	0,4036	
RR	-0,040	0,060	1	0,5510	
FM*FM	-0,040	0,056	1	0,5058	
T*T	-0,121	0,056	1	0,0484*	
U*U	-0,034	0,056	1	0,5477	
RR*RR	0,050	0,056	1	0,4196	
FM*T	-0,050	0,073	1	0,5393	
FM*U	-0,022	0,073	1	0,7641	
FM*RR	0,036	0,073	1	0,6296	
T*U	0,072	0,073	1	0,3403	
T*RR	-0,006	0,073	1	0,9335	
U*RR	-0,004	0,073	1	0,5723	
R ²	0,7821				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F calc.	Pr>F
Regressão	14	3,48	0,25	2,87	0,0258
Resíduos	15	1,30	0,09		
Total	29	4,78			

FM=fécula de mandioca; T= temperatura na 3ª zona; U= umidade; RR= rotação da rosca; R²= coeficiente de determinação, GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio

Tabela 16- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o croma a* dos extrusados, após ajuste do modelo.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	P valor	
Intercepto	1,427				
FM	0,323	0,054	1	<0,0001	
T*T	-0,118	0,049	1	0,0234	
R^2	0,608				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F calc.	Pr>F
Regressão	2	2,91	1,455	20,96	<0,0001
Resíduos	27	1,87	0,069		
Total	29	4,78			

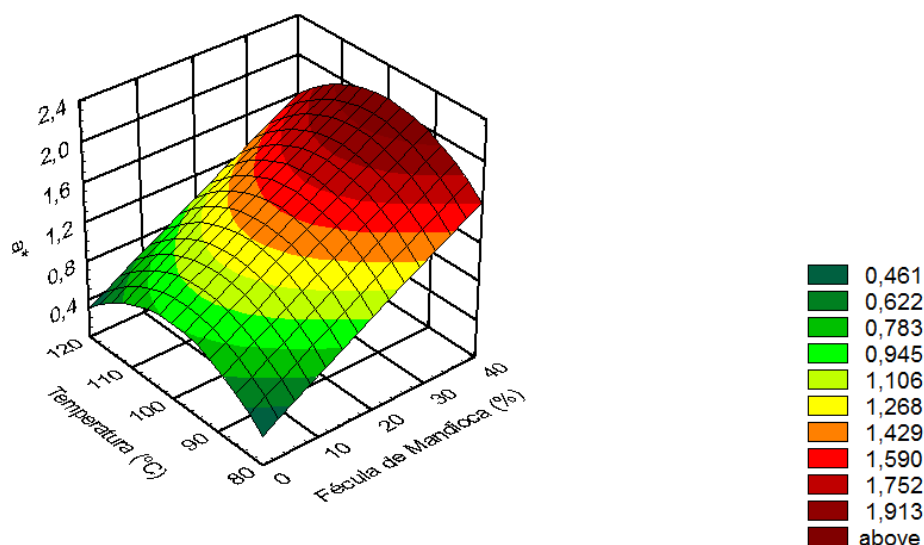


Figura 7- Efeito da porcentagem de fécula de mandioca e temperatura de extrusão sobre o croma a* das misturas extrusadas de farinha de arroz e fécula de mandioca.

Os resultados obtidos para o componente de cromaticidade b* mostram uma variação de 10,99 a 14,25 indicando a presença da cor amarela em todos os produtos extrusados. Da mesma forma que para o croma a* o tratamento por extrusão levou a um aumento deste componente quando comparado com os resultados obtidos antes da extrusão.

A análise estatística dos dados mostrou que não ocorreram efeitos significativos dos parâmetros estudados sobre este componente de cor. O modelo não foi significativo ($p > 0,05$) (Tabela 17).

Tabela 17- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para coroma b* dos

extrusados.	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	P valor	
Intercepto	13,20				
FM	0,227	0,154	1	0,1625	
T	-0,153	0,154	1	0,3361	
U	-0,260	0,154	1	0,1127	
RR	-0,092	0,154	1	0,5578	
FM*FM	-0,195	0,144	1	0,1963	
T*T	-0,123	0,144	1	0,2018	
U*U	-0,104	0,144	1	0,4825	
RR*RR	-0,295	0,144	1	0,0588	
FM*T	-0,170	0,189	1	0,3826	
FM*U	-0,181	0,189	1	0,3527	
FM*RR	-0,009	0,189	1	0,9637	
T*U	0,351	0,189	1	0,0828	
T*RR	-0,054	0,189	1	0,7800	
U*RR	-0,162	0,189	1	0,4034	
R ²	0,5533				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F calc.	Pr>F
Regressão	14	10,62	0,76	1,33	0,2962
Resíduos	15	8,57	0,57		
Total	29	19,19			

FM=fécula de mandioca; T=temperatura na 3ª zona; U=umidade; RR=rotação da rosca; R²=coeficiente de determinação, GL=graus de liberdade; SQ=soma dos quadrados; QM=quadrado médio.

4.3.2 Índice de Absorção de Água (IAA)

Um produto instantâneo geralmente se apresenta como uma mistura de pó e é caracterizado por ter preparo rápido quando imerso em um líquido (água ou leite). O termo instantâneo também pode ser utilizado para descrever alimentos em pó, que são facilmente miscíveis em água fria (VISSOTTO et al., 2006). Assim, importantes parâmetros de qualidade para estes produtos são a absorção e solubilidade em água.

Os resultados obtidos nas diferentes condições experimentais mostraram uma variação de 5,61 a 7,87g gel g⁻¹ para o IAA dos produtos extrusados. Comparado com os resultados obtidos antes do processo de extrusão verificou-se aumento deste índice com o processo de extrusão independente da condição utilizada.

Durante a extrusão, os grânulos de amido sofrem gelatinização e as proteínas são desnaturadas. 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 a diminuição do IAA (MAIA et al., 1999).

A análise dos dados mostrou efeito da porcentagem de fécula de mandioca e da temperatura de extrusão sobre este parâmetro (Tabelas 18 e 19). O gráfico traçado a partir do modelo ajustado mostra que nas condições de baixa porcentagem de fécula de mandioca em mistura com a farinha de arroz e menor temperatura de extrusão foram obtidos produtos com maior IAA (Figura 8).

Tabela 18- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o índice de absorção de água (IAA) das farinhas extrusadas.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	P valor	
Intercepto	6.3066				
FM	-0,3679	0,084	1	0,0006	
T	0,1595	0,084	1	0,0792	
U	0,0571	0,084	1	0,5107	
RR	-0,0704	0,084	1	0,4189	
FM*FM	0,2353	0,079	1	0,0096	
T*T	-0,0447	0,079	1	0,5812	
U*U	-0,0997	0,079	1	0,2277	
RR*RR	0,0541	0,079	1	0,5055	
FM*T	0,3006	0,103	1	0,0111	
FM*U	-0,2344	0,103	1	0,0392	
FM*RR	0,0706	0,103	1	0,5065	
T*U	0,2031	0,103	1	0,0692	
T*RR	-0,1444	0,103	1	0,1844	
U*RR	0,1606	0,103	1	0,1425	
R2	0.7954				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F calc.	Pr>F
Regressão	14	10,05	0,718	4,17	0,0047
Resíduos	15	2,58	0,172		
Total	29	12,63			

FM=fécula de mandioca; T= temperatura na 3ªzona; U= umidade; RR= rotação da rosca; R²= coeficiente de determinação, GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio.

Tabela 19- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o índice de absorção de água (IAA) das farinhas extrusadas, após ajuste do modelo.

	Coeficientes de regressão	Erropadrão	GL	P valor	
Intercepto	6,226				
FM	-0,368	0,094	1	0,0006	
FM*FM	0,245	0,086	1	0,0086	
FM*T	0,301	0,115	1	0,0152	
FM*U	-0,234	0,115	1	0,0530	
R2	0.5785				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F calc.	Pr>F
Regressão	4	7,307	1,826	8,58	0,0002
Resíduos	25	5,325	0,213		
Total	29	12,632			

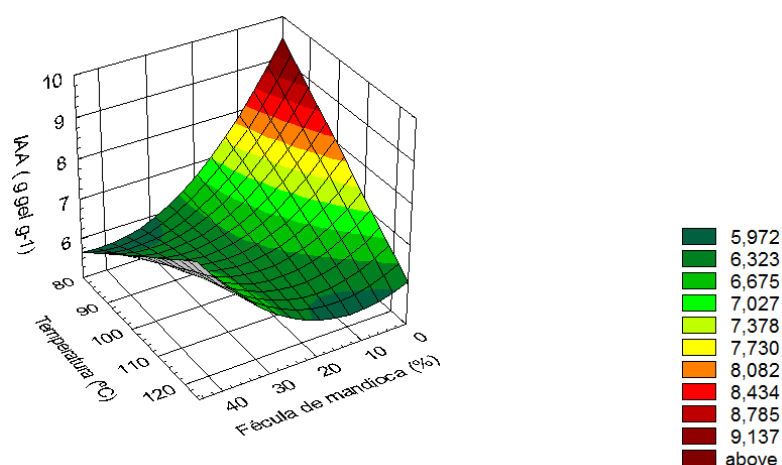


Figura 8- Efeito da porcentagem de fécula de mandioca sobre o índice de absorção de água(IAA) das misturas extrusadas de farinha de arroz e fécula de mandioca.

4.3.3 Índice de Solubilidade em Água (ISA)

O índice de solubilidade em água (ISA) normalmente é utilizado em produtos extrusados como indicador da degradação dos componentes moleculares.

A solubilidade em água do amido está também relacionada com a expansão e segue as mesmas variações com as condições de extrusão. Sabe-se que, dependendo da matéria-prima, o ISA aumenta com a severidade do tratamento e com o decréscimo da umidade.

Os resultados obtidos para o índice de solubilidade em água dos extrusados mostraram variação de 11,16 a 45,88%. Esta variação evidenciou o aumento deste índice com o processo de extrusão tendo em vista os baixos valores obtidos para as misturas antes do processo.

A análise dos dados evidenciou o efeito linear significativo da porcentagem de fécula de mandioca e da temperatura de extrusão sobre este índice, conforme pode ser observado na Figura 9.

Tabela 20- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o índice de solubilidade em água (ISA) das farinhas extrusadas.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	P valor	
Intercepto	20,170				
FM	-2,009	1,535	1		0,0210
T	-0,263	1,535	1		0,0563
U	-2,439	1,535	1		0,1329
RR	1,235	1,535	1		0,4336
FM*FM	0,772	1,436	1		0,5987
T*T	1,286	1,436	1		0,3847
U*U	0,623	1,436	1		0,6679
RR*RR	1,664	1,436	1		0,2645
FM*T	-1,676	1,880	1		0,3869
FM*U	2,409	1,880	1		0,2195
FM*RR	-0,969	1,880	1		0,6137
T*U	-2,634	1,880	1		0,1815
T*RR	-0,216	1,880	1		0,9102
U*RR	-1,158	1,880	1		0,5472
R2	0,743				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F calc.	Pr>F
Regressão	14	26,41	1,89	2,92	0,0239
Resíduos	15	9,68	0,65		
Total	29	36,09			

FM=fécula de mandioca; T= temperatura na 3ª zona; U= umidade; RR= rotação da rosca; R²= coeficiente de determinação, GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio.

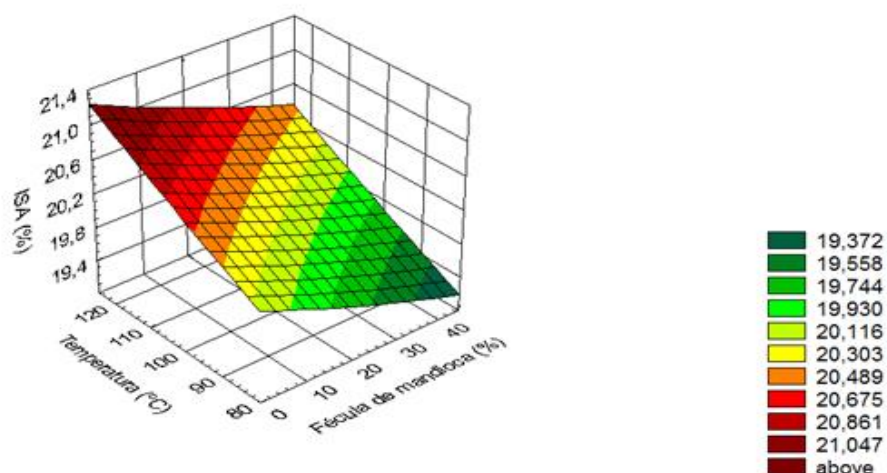


Figura 9- Efeito da porcentagem de fécula de mandioca sobre o índice de solubilidade em água (ISA) das misturas extrusadas de farinha de arroz e fécula de mandioca.

De acordo com Grossmann (1986), o IAA e o ISA variam de acordo com o grau de gelatinização e dextrinização sofridos pelo amido durante o processo por extrusão. O IAA aumenta com o aumento da gelatinização, já que ao gelatinizar aumenta o número de hidroxilas livres para formar ligações de hidrogênio com a água. Enquanto que o aumento do ISA acontece quando há maior dextrinização, ou seja, quanto maior a degradação das moléculas de amido em moléculas menores (dextrinas), que são mais solúveis em água.

As características de solubilidade servem para aperfeiçoar os efeitos do calor nas proteínas durante os processos, de modo que sejam mostradas as vantagens e desvantagens de seus usos nos alimentos. Quanto maior for o valor de solubilidade para uma proteína, melhor será a indicação do potencial de seu uso em sistemas alimentares (FERNANDES et al.,2003).

Os IAA e ISA podem ser usados para estimar a conveniência de usarem ou não produtos amiláceos extrusados em suspensões ou soluções.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostraram que os parâmetros do processo de maior efeito foram à porcentagem de fécula de mandioca e umidade. Os fatores determinantes para a aceitação de produtos expandidos são: maior expansão, menor densidade, maior crocância. Para atingir esta qualidade as condições de obtenção encontrados foram baixa porcentagem de fécula de mandioca na mistura (5 a 10%) baixa umidade (14 a 16%) menor rotação da rosca (203 a 218 rpm) temperatura intermediária (100°C)

Já em misturas pré-cozidas e instantâneas são parâmetros tecnológicos desejados: cor clara, elevada absorção de água e menor solubilidade, o que

pode ser obtido com o processamento de misturas contendo baixa porcentagem de fécula de mandioca e umidade, e a rotação da rosca e a temperatura de extrusão nas condições intermediárias.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R.M.L.; GROSSMANN, M.V.E. Parâmetros de extrusão para produção de “snacks” de farinha de cará (*Dioscorea alata*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22, p.32-38, 2002.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. St. Paul, 11.ed. 2003.
- ANDERSON R. A.; CONWAY, V.F.P.; GRIFFIN, E. L. Gelatinization of corn grits by rolland extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, v. 14, n. 1, p. 4-7, 1969.
- AOAC INTERNATIONAL - ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 18th ed. Current through revision 2, Gaithersburg, 2007.
- ARAÚJO, W. M. C. et al. **Alquimia dos alimentos**. Brasília: SENAC, 2007. 557p.
- ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C. W. P. **Processo de extrusão de alimentos**: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal. Rio de Janeiro: Embrapa, 2008. 89p. (Apostila do curso).
- ASCHERI, D.P.R.; ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W.P. de. Caracterização da farinha de bagaço de jabuticaba e propriedades funcionais dos extrusados. **Ciência Tecnologia. Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, Dec. 2006.
- ASSOCIAÇÃO DOS CELÍACOS DO BRASIL - ACELBRA. Disponível em: <www.acebra.org.br/2004/index.php>. Acesso em: 24 out. 2015.
- AUGUSTO-RUIZ, W. et al. Caracterização da farinha pré-gelatinizada de arroz integral produzida a partir de grãos quebrados. **VETOR: Revista de Ciências Exatas e Engenharias**, Rio Grande, v. 13, p. 25-46, 2003.
- BARBOSA, L. N.; GARCIA, L. V.; TOLOTTI, K. D.; GOELLNER, T.; AUGUSTO-RUIZ, W.; SANTO, M. E. Elaboração de embutido tipo mortadela com farinha de arroz. **VETOR: Revista de Ciências Exatas e Engenharias**, Rio Grande, v. 16, n. 1/2, p. 11-20, 2006.
- BELLO-PÉREZ, L.A.; MONTEALVO, M. G. M.; ACEVEDO, E. G. Almidón: definición, estructura y propiedades. In: LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos en alimentos regionale siberio-americanos**. São Paulo: Edusp, 2006. p. 646.
- BENINCA, C. **Emprego de técnicas termoanalíticas na análise de amidos nativos e quimicamente modificados de diferentes fontes botânicas**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

BLENNOW, A. et al. The distribution of covalently bound phosphate in the starch granule in relation to starch crystallinity. **International Journal of Biological Macromolecules**, Maryland Heights, v. 27, n. 3, p. 211-218, Jun. 2000.

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

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.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 12 de 1978. Aprova NORMAS TÉCNICAS ESPECIAIS, do Estado de São Paulo, revistas pela CNNPA, relativas a alimentos (e bebidas), para efeito em todo território brasileiro. **Diário Oficial da União**; Poder Executivo, Brasília, DF, 24 jul. 1978.

_____. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Aprova "REGULAMENTO TÉCNICO PARA PRODUTOS DE CEREAIS, AMIDOS, FARINHAS EFARELOS", constante do Anexo desta Resolução. **Diário Oficial da União**. Poder Executivo, Brasília, DF, 23 set. 2005.

BUTTERWORTH, J. R. et al. Factors relating to compliance with a glutenfree diet in patients with coeliac disease: comparison of white Caucasian and South Asian patients. **Clinical Nutrition**., v.23, n. 5.p. 1127-1134, 2004.

CAMIRE, M. E. Chemical and nutritional changes in food during extrusion. In: RIAZ, M. N. **Extruders in food applications**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 127-147.

_____.; CAMIRE, A.; KHRUMAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.19, n.1, p. 35-57, 1990.

CAMPBELL, M. R. et al. Variation of starch granule size in tropical maize germ plasm. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 73, n. 5, p. 536-538, 1996.

CAROLINO, F. T. et al. Elaboração do nhoque de inhame sem glúten. Desenvolvimento do rótulo e propaganda do nhoque de inhame sem glúten. In: SIMPÓSIO DE ENSINO DE GRADUAÇÃO. 5., 2007. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: UNIMEP, 2007, 6 p. Disponível em: <<http://www.unimep.br/phpg/mostraacademica/anais/5mostra/backup/4/432.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2015.

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

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

_____.; ASCHERI, J. R. A.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de pellets (3g) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, 2002.

CASTIGLIONI, G. L.; DORS, G. C.; AUGUSTO-RUIZ, W. Utilização da farinha de arroz na elaboração de sobremesa. **VETOR: Revista de Ciências Exatas e Engenharias**, Rio Grande, v. 16, n. 1, p. 63-67, 2006.

CASTRO, A. F. **Estudio de retrogradación del almidón presente em lãs tortillas, utilizando diversas técnicas**. 2006. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Desenvolvimento de Produtos Bióticos)-Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, Morelos, 2006.

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

CEREALLE. **Processo de fabricação de farinha de arroz**. Disponível em: <<http://www.cerealle.com.br/>>. Acesso em: 10 maio 2014.

CICLITIRA, P. J.; KING, A. L.; FRASER, J. S. American Gastroenterological Association technical review on Celiac Sprue. **Gastroenterology**, v. 120, n. 6, p. 1526-1540, May 2001.

CHAMPAGNE, E. T. Rice starch composition and characteristics. **Cereal Foods World**, v. 41, p. 833-838, 1996.

CHANG, Y. K. Influence of extrusion conditions on cassava starch and soybean protein concentrate blends. **Acta Alimentaria**, Budapest, v. 30, n. 2, p. 189-203, 2001. Disponível em: <<http://www.akademai.com/content/119693/>>. Acesso em: 26 jan. 2014.

_____.; EL-DASH, A. A. Effects of acid concentration and extrusion variables on some physical characteristics and energy requirements of cassava starch. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 20, p. 129-137, 2003.

CHAROENKUL, N.; UTTAPAP, D.; PATHIPANAWAT, W.; TAKEDA, Y. Physicochemical characteristics of starches and flours from cassava varieties having different cooked root textures. **LWT-Food Science and Technology**, v. 44, p. 1774-1781, 2011.

CHÁVEZ-JÀUREGUI, R. N. **Produção e avaliação sensorial de alimento expandido pela extrusão termoplástica de amaranto**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, São Paulo, 1999.

CHEFTEL, J. C. Nutritional effects of extrusion-cooking. **Food Chemistry**, v. 20, n. 1, p. 263-283, 1986.

CHRISTOFIDES, V. et al. Physical evaluation of maize-based extruded snack with curry powder. **Nahrung**, v. 48, n. 1, p. 61-64, 2004.

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

COLLARES, F. P. et al. Snacksextrudados funcionais à base de farinha de arroz com a incorporação de polidextrose e farinha de linhaça. (Poster). In; SLACA - SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIAS DE ALIMENTOS, 7. Campinas, 04/11/2007 a 07/11/2007. **Anais...** Campinas, SP, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira**: grãos: nono levantamento: jun. 2013. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_06_06_09_09_27_boletim_graos_-_junho_2013.pdf>. Acesso em: 02 set. 2014.

COTTRELL, J. E. et al. Properties of potato starch: effects of genotype and growing conditions. **Phytochemistry**, v. 40, n. 4, p. 1057-1064, 1995.

DEBET, M.; GIDLEY, M.J. Three classes of starch granule swelling: Influence of surface proteins and lipids. *Carbohydrate Polymers*, v 64, p. 452-465, 2007.

DEL CASTILLO, V.; LESCANO, G.; ARMADA, M. Formulación de alimentos para celíacos con base en mezclas de harinas de quínoa, cereales y almidones. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 59, n. 3, p. 332-336, 2009.

DEMIATE, I. M.; PEDROSO, R. A. Avaliação da influência de amido e carragena nas características físico-químicas e sensoriais de presunto cozido de peru. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, p. 24-31, jan./mar. 2008.

_____. et al. Viscographic characteristics of chemically modified cassava starches assessed by RVA. **Publicatio UEPG**, Ponta Grossa, v. 11, n. 1, p. 7-17, 2005.

DING, Q. et al. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 3, p. 283-289, 2005

EGGLESTON, G., SWENNEN, R., AKONI, S. Physicochemical studies on starches isolated from plantain cultivars, plantain hybrids and cooking bananas. **Starch/Stärke**, Weenheim, v. 44, n. 4, p. 121-128. 1992.

EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L. **Cereals a renewable resource**: theory and practice. St. Paul: AACC, 1982. p. 165-216.

_____.; 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 Publishers, 1984. p. 51-74.

ELIASSON, A. C. (Ed.). **Starch in food: structure, function and applications**. Boca Raton: CRC, 2004. 605 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAAGROPECUÁRIA. 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.

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

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Statistics division**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/S>>. Acesso em: 2 set. 2014.

FAUBION, J. M.; HOSENEY, R. C. High temperature and short time.Extrusion-cooking ofwheat starch and flour. I- Effect of moisture and flour type on extrudate properties. *Cereal Chemistry*,v. 59, n. 6, p. 529-533, 1982.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FERNANDES, M.S.; WANG, S.H.; ASCHERI, J.L.R.; OLIVEIRA, M.F.; COSTA, S.A.J. Efeito da temperatura de extrusão na absorção de água, solubilidade e dispersibilidade da farinha pré cozida de milho e soja (70:30). **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v.23, n.2, p. 234-239, 2003.

FERNÁNDEZ-MUÑOZ, J. L.et al. Effectofcalciumcontent in thecornflouron RVA profiles. **Journal of Food Engineering**, London, v. 102, n. 1, p. 100-103, 2011.

FOX, P. F. The milk protein system. In: FOX, P. F. (Ed.). **Developments in dairy chemistry**. 4.ed. London: Elsevier, 1989. p. 1-55.

FRANCO, C. M. L. **Propriedades gerais dos amidos**. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. 221 p. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, 1).

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.

_____.;DEMIATE, I. M.; ROCHA, T. S. Características estruturais e físico químicasde amidos de mandioquinha-salsa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 3, n. 28, p. 620-628, jul./set.2008.

GALERA, J. S. **Substituição parcial da farinha de trigo por farinha de arroz (Oryza sativa L.) na produção de sonho: estudo modelo**. 2006. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GOMES, M. H.; AGUILERA, J. M. Changes in the starch fraction during extrusion-

cooking of corn. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, n. 2, p. 378-381, 1983.

GROSSMANN, M. V. E. **Efeito da extrusão termoplástica na gelatinização do amido de mandioca, visando a produção de álcool**. 1986. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1986.

GUTKOSKI, L. C.; EL-DASH, A. A. Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded products. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 54, n. 4, p. 315-325, 1999

GUY, R. Introduction. In: _____ (Ed.). **Extrusion cooking: technologies and applications**. CRC Press, 2001a. p.3-4.

_____. Raw materials for extrusion cooking. In: _____ (Ed.). **Extrusion cooking: technologies and applications**. CRC Press, 2001b. p.5-28.

HARPER, J. M. Extrusion processing of food. **Food Technol.**, v.32, n.7, p.67-72, Jul. 1978.

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

_____. Extrusion processing of starch. In: ALEXANDER, R. J.; ZOBEL, H. F. **Developments in carbohydrate chemistry**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1994. p.37-64.

_____. Extrusion texturization of foods. **Food Technology**, v. 40, n. 3, p. 70-76, 1986.

HEISLER, G. E. R. et al. Viabilidade da substituição da farinha de trigo pela farinha de arroz na merenda escolar. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.19, n.3, p. 299-306, jul./set. 2008.

HOUSSON, P.; AYENOR, G. S. Appropriate processing and food functional properties of maize flour. **African Journal of Science Technology**, v.3, n.1, p.126-131, 2002.

HUBER, G. R. Snack foods from cooking extruders. In: LUSAS, E. W.; ROONEY, R. W. **Snack foods processing**. Boca Raton: CRC Press, 2001. p. 315-368.

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.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola 2014**. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_la_[mensal]/Comentarios/lspa_201408comentarios.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2014.

JANE, J. et al. Effects of amylopectin branch length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 76, n. 5, p. 629-637, 1999.

JANG, E-H; LEE, S-J.; HONG, J-Y.; CHUNG, H-J.; LEE, Y-T.; KANG, B-O.; LIM, S-T. Correlation between physicochemical properties of japonica and indica rice starches. **LWT - Food Science and Technology**, v.66, p.530-537, 2016.

KADAN, R. S. et al. Texture and other physicochemical properties of whole rice bread. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 66, n. 7, p. 940-944, Sep. 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb08216.x>>. Acesso em: 18 fev. 2014.

KAGNOFF, M. F. Overview and pathogenesis of celiac disease. **Gastroenterology**, v.128, p. S10 – S18, 2005.

KRABBE, E. L.; LOIOLA, A. Perdas nutricionais durante a secagem do alimento extrusado. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO, 5. 2005. Campinas. **Anais...** Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2005, p. 115-120.

KRIEGER, K. M. et al. Thermal properties of corn starch extracted with different blending methods: micro blender and homogeneizer. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 74, n. 5, p. 553-555, 1997.

LABELL, F. **Modified tapioca starches provide smoother textures (brief article)**. 2009. Disponível em: <http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m3289/is_3_169/ai_61759522>. Acesso em: 15 nov. 2014.

LAGARRIGUE, S.; ALVAREZ, G. The rheology of starch dispersions at high temperatures and high rates: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 50, n. 4, p. 189-202, 2001.

LEE, K. M. et al. Physical and biochemical properties of maize hardness and extrudates of selected hybrids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Davis, v. 54, n. 12, p. 4260-4269, 2006.

LELOUP, V.M., COLONNA, P., BULEON, A. Influence of amylose-amylopectin ratio on gel properties. **Journal of Cereal Science**, London, v. 13, n. 1, p. 1-13, 1991.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 65-69, 2002.

LEONEL, M.; SOUZA, L.B.; MISCHAN, M.M. Produção de snacks extrusados à base de polvilho doce e fibra de laranja. **Ciência Rural**, v.40, n.6, p.1411- 1417, 2010.

LEONEL, M.; FELTRAN, J.C.; AGUIAR, E.B.; FERNANDES, A.M.; PERESSIN, V.A.; BICUDO, S.J. Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). In: LEONEL, M.; FERNANDES, A.M.; FRANCO, C.M.L. **Culturas amiláceas: batata-doce, inhame, mandioca e mandioquinha-salsa**. Botucatu: CERAT/UNESP, 2015. p.183-303.

LEVINE, L. Estimating output and power of food extruders. **Journal of Food Processing**

Engineering, v. 6, n.1, p.1-13, 1983.

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.

LUSTOSA, B.H.B. et al. Produção de farinha instantânea de mandioca: efeito das condições de extrusão sobre as propriedades térmicas e de pasta. **Acta Scientiarum Technology**, v.31, n. 2, p.231-238, 2009. Disponível em: Acesso em: 2 abr. 2014.

LYONS, P. H. et al. The influence of added whey protein/carrageenan gels and tapioca starch on the textural properties of low fat pork sausages. **Meat Science**, Oxford, v. 51, n. 1, p. 43-52, 1999.

MADSEN, M.; CHRISTENSEN, D.H. Changes in potato starch quality during growth. **Potato Research**, v. 39, p. 43-50, 1996.

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**, v. 19, n. 3, p. 391- 396, 1999.

MAGALHÃES, K.T.; DRAGONE, G.; PEREIRA, G.V.M.; OLIVEIRA, J.M.; DOMINGUES, L.; TEXEIRA, J.A.; SILVA, J.B.A.; SCHWAM, R.F.F. Comparative study of the biochemical changes and volatile compound formation during the production of novel whey based kefir beverages and traditional milk kefir. **Food Chemistry**, v.126, p.249-253, 2010.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory evaluation techniques**. 3rd ed. Boca Raton: CRC, 1999. 390p.

MELO, S. B. C. et al. Prevalence and demographic characteristics of celiac disease among blood donors in Ribeirão Preto, São Paulo. **Digestive Diseases and Sciences**, v. 51, n. 5, p. 1020-1025, maio 2006.

MENDONÇA, S.; GROSSMANN, M. V.E.; VERHÉ, R. Corn bran as a fibre source in expanded snacks. **Lebensmittelwissenschaft and Technologie**, Zürich, v.33, n.1, p.2-8, Feb.2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643899906011>>. Acesso em: 24 jan. 2014.

MENEGASSI, B. et al. Efeito de parâmetros de extrusão na cor e propriedades de pasta de farinha de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1780-1792, 2007.

MITCHEL, 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: Marcel Dekker, 1992. p. 345-360.

MITCHELL, C. R. Rice starches: production and properties. In J. N. BeMiller, & R. L.

Whistler (Eds.), **Starch: Chemistry and technology**. New York: Academic Press, p.569-577, 2009.

MOORTHY, S. N. Tuber crops starches. **Technology Bulletin:Central Tuber Crops Research Institute, Triruvananthapuram**, n. 18, 1994, 40p.

MORIKAWA, K.; NISHINARI, K. Rheological and DSC studies of gelatinization of chemically modified starch heated at various temperatures. **Carbohydrate Polymers**, v. 43, n.3. p.241-247, Nov. 2000.

MURAKAMI, F. Y. Impacto da adição de água no processo de extrusão sobre a digestibilidade e propriedades físico-químicas da dieta para cães. **2010. 37f.** Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

NEWPORT SCIENTIFIC.**Applications manual for the Rapid ViscoAnalyser**. Warriewood, Austrália, 1998. 123 p.

NODA, T. et al. Physicochemical properties of starches from purple and orange fleshed sweet potato roots at two levels of fertilizer. **Stärke**, v. 48, p. 395- 399, 1996.

NOGUEIRA, A. M. P. et al. Efeito da extrusão sobre o índice de expansão e volume específico em produtos à base de polvilho azedo, milho e mandioca. **RAT: Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 5, 2009. Disponível em:<<http://energia.fca.unesp.br/index.php/rat/article/view/1459/777>>. Acesso em 15 out. 2014.

NUNES, L.B.; SANTOS, W. de J.; CRUZ, R. S. Rendimento de Extração e Caracterização Química e Funcional de Féculas de Mandioca da Região do Semi-Árido Baiano. **Alimentos e Nutrição: Brazilian Journal of Food and Nutrition**, v.20, n.1, p. 129-134,jan./mar. 2009.

ONITILLO, M. O.; SANNI, L. O.; OYEWOLE, O. B.; MAZIYA-DIXON, B.

Physicochemical and functional properties of sour starches from different cassava varieties. **International Journal of Food Properties**, 10, 607–620,2007.

ORMENESE, R. D. C. S. C.; CHANG, Y. K. Massas alimentícias de arroz: uma revisão. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 20, n. 2, p. 175-190, 2002.

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

PARANA. (Estado). Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento- SEABE. Departamento de Economia Rural - DERAL. **Mandiocultura: análise da conjuntura agropecuária**. out. 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/mandiocultura_2012_1

3.pdf>. Acesso em: 02 set. 2014.

POLANCO I. et al. Dieta y enfermedad celíaca. **Alimentaria**, v. 33, n. 264, p. 91-93, 1995.

RIAZ, M. N. Introduction to extruders and their principles. In: _____. **Extruders in food applications**. Boca Raton: CRC Press. 2000. p.1-23.

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.

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 Agrônômicas, Universidade Estadual de Botucatu, Botucatu, 2005.

SÁNCHEZ, T., SALCEDO, E., CEBALLOS, H., DUFOUR, D., MAFLA, G., MORANTE, N. et al. Screening of starch quality traits in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Starch-Stärke**, v.61, p.12–19, 2009.

SEBIO, L. **Desenvolvimento de plástico biodegradável a base de amido de milho e gelatina pelo processo de extrusão: Avaliação das propriedades mecânicas, térmicas e de barreira**. 2003. 158f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, 2003.

SDEPANIAN, V. L.; MORAIS, M. B.; FAGUNDES-NETO, U. Celiac disease: evaluation of compliance to gluten-free diet and knowledge of disease in patients registered at the Brazilian Celiac Association (ACA). **Arquivos de Gastroenterologia**, v. 38, n.4, p. 232-239, 2001

SILVA, E. M. M. **Produção de macarrão pré-cozido à base de farinha mista de arroz integral e milho para celíacos utilizando o processo de extrusão**. 2007. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007.

SIMI, C. K.; ABRAHAM, T. E. Physicochemical rheological and thermal properties of Njavara rice (*Oryza sativa*) starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56.n 24, p. 12105–12113, Dec. 2008.

SINGH, N. et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, p. 219-231, 2003.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. In: REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 28., 2010, Bento Gonçalves. **Anais...** Porto Alegre, 2010.

SOUZA, L. B. et al. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de

extrusados de misturas de fécula de mandioca e polpa cítrica. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, p. 83-91, 2007. Disponível em: <<http://200.145.71.150/seer/index.php/alimentos/article/view/138/147>>. Acesso em: 20 nov. 2014

SRICHUWONG, S. et al. Starches from different botanical sources I: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. **Carbohydrate Polymers**, v. 60, n. 4, p. 529-538, 2005.

SRIROTH, K. et al. Cassava starch granule structure-function properties: influence of time and conditions at harvest on four cultivars of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 38, n. 2, p. 161-170, 1999.

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

TESTER, R.F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch: composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, London, v.39, n. 2, p.151-165, 2004.

_____. Starch: The polysaccharide fractions. In: FRAZIER, P.J.; RICHMOND, P.; DONALD, A.M. **Starch: structure and functionality**. London: Royal Society of Chemistry, 1997. p.163-171.

THOMAS, M.; VANDER POEL, A. F. B. Physical quality of pellet animal feed. 1. Criteria for pellet quality. In: _____. **Physical quality of pellet animal feed: a feed model study**. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 1998. p.19-46.

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, p.178-184, 2013.

VAN DER BURGT, Y. E. M. et al. Structural studies on methylated starch granules. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 52, n. 2/3, p. 40-43, 2000.

VISSOTTO, F. Z.; MONTENEGRO, F. M.; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, S. J. R. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n.3, p. 666-671, 2006.

WANG, L. Z.; WHITE, P. J. Structure and properties of amylose, amylopectin, and intermediate materials of oat starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.71, n.3, p.263-268, 1994.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. Starch. In: _____. **Carbohydrate chemistry for food scientists**. AACC. St Paul: Eagan Press, 1997. p.117-151.

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

YUAN, R. C.; THOMPSON, D. B.; BOYER, C. D. Fine structure of amylopectin in

relation to gelatinization and retrogradation behavior of maize starches from three wx-containing genotypes in two inbred lines. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.70, n. 1, p.81-89, 1993.

ZAVAREZE, E. R. et al Teor de amido resistente e perfil de textura de amidos de arroz com diferentes níveis de amilose modificados hidrotermicamente. In: Simpósio de Segurança Alimentar, 3., Campinas. **Anais...** Campinas, v. IISSA, 2010. p.96-101.

ZHU, F. Composition, structure, physicochemical properties and modifications of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**, v.122, p.456-480, 2015.