

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS  
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
MESTRADO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**QUALIDADE DA FARINHA DE QUIRERA DE ARROZ (*Oryza sativae*, L) PRÉ  
GELATINIZADA POR EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA**

Florence Rios Serra

ANÁPOLIS – GO  
Novembro de 2014

**QUALIDADE DA FARINHA DE QUIRERA DE ARROZ (*Oryza sativae*, l) PRÉ  
GELATINIZADA POR EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA**

FLORENCE RIOS SERRA

Orientador: PROF. D.S. DIEGO PALMIRO RAMIREZ ASCHERI

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas de Anápolis como parte das Exigências do Programa de Pós – Graduação *Stricto Senso* em Engenharia Agrícola Engenharia de Sistemas Agroindustriais, para obtenção do título de MESTRE.

**Anápolis**

Goiás

2014

Serra, Florence Rios

Qualidade da farinha de quirera de arroz (*oryza sativae*.) Pré gelatinizada por extrusão termoplástica - 2014. 69 f. il.

Orientador: Prof. Dr. Diego Palmiro Ramirez Ascheri

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Goiás. Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2014. Bibliografia.

1. amido Gelatinizado. 2. Arroz 3. Extrusão. 4. viscosidade. I. Título.

**QUALIDADE DA FARINHA DE QUIRERA DE ARROZ (*Oryza sativa*) PRÉ  
GELATINIZADA POR EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA**

Por

Florence Rios Serra

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de  
MESTRA EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Aprovada em: 07/11/2014



---

Prof. Dr. Diego Palmiro Ramirez Ascheri  
Orientador  
UEG / UnUCET



---

Prof. Dr. André José de Campos  
Membro  
UEG / UnUCET



---

Prof. Dr. Eduardo Ramirez Asquieri  
Membro  
UEG / FARMÁCIA

*Aos meus avós maternos Rita e Geraldo, pessoas simples e de pouco estudo mas que sempre reconheceram o valor do conhecimento e da educação. Aos avós paternos Maria Vânia e José Antônio pela inspiração, apoio e subsídio. Ao meu pai, Ubaldino e aos meus irmãos José Geraldo, Selva, U. Filho, M<sup>a</sup> Rita e João Antônio pelo amor e incentivo incansável.*

DEDICO

*À minha mãe in memoria, professora e estudiosa entusiasmada*

OFEREÇO

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, saúde, luz e por estar sempre comigo não me deixando desistir nunca;

Ao professor e orientador Diego, pelo apoio, incentivo e paciência, durante a realização deste trabalho;

Ao professor André pela paciência, apoio, sugestões e contribuições na realização deste trabalho;

A todos os professores do mestrado que transmitiram seus conhecimentos, contribuindo para a minha formação;

Ao seu Waldeir, Igor, João, Eliete, Oswaldo, Waldomiro e a todos os funcionários da UEG, pela prontidão e pela amizade adquirida durante o curso;

Aos funcionários e Pesquisadores da EMBRAPA CTA, em especial ao Dr. Jose L. R. Ascheri e Dr. Carlos Piller pela ajuda na realização da extrusão da farinha;

A todos os estagiários da EMBRAPA RIO de JANEIRO, Douglas, Daniela, Mariana, Jorge, Janaína e tantos outros que ajudaram na execução do experimento, e as estagiárias Juliana e Luciana que sempre me deram suporte na UEG.

À Áthina pela amizade e companheirismo, à Maria Olívia por me receber tantas vezes em sua casa, ao Gustavo e ao Sanchez pela ajuda e orientações extraordinárias, ao Danilo pela amizade e boas conversas nas tardes do laboratório de engenharia agrícola, à Aline pela ajuda, principalmente durante a primeira ida ao Rio de Janeiro para realização do meu projeto e a todos os colegas (Camila, Flívia, Raniele, Lucas Roberto...) do programa de mestrado que estiveram comigo em algum momento dessa trajetória.

A todos colegas de trabalho da CONAB que compreenderam e possibilitaram o término desse trabalho.

A Universidade Estadual de Goiás, e ao Programa de pós graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do mestrado;

Aos membros da banca pela disponibilidade em corrigir a dissertação;

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa;

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho;

**Muito obrigada**

*Desistir... eu já pensei seriamente nisso, mas nunca me levei realmente a sério; é que tem mais estrada no meu coração do que medo na minha cabeça.*

*(Cora Coralina)*

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>LISTA DE FIGURA.....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>XIII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XIV</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Arroz.....</b>	<b>3</b>
<i>1.1.1 Produção e indicadores do arroz.....</i>	<i>3</i>
<i>1.1.2 Arroz (Oryza sativae, L.) – Composição e Morfologia.....</i>	<i>4</i>
<b>1.2 O arroz: Beneficiamento e a Indústria de alimentos.....</b>	<b>7</b>
<i>1.2.1 Farinha de Arroz.....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.2 Gelatinização do Amido.....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.3 Processos de Gelatinização por extrusão.....</i>	<i>11</i>
<b>1.3 Propriedades Tecnológicas.....</b>	<b>13</b>
<i>1.3.1 Poder de inchamento ou absorção.....</i>	<i>13</i>
<i>1.3.2 Solubilidade.....</i>	<i>15</i>
<i>1.3.3 Propriedades de Pasta.....</i>	<i>16</i>
<i>1.3.4 Características Morfológicas do Amido.....</i>	<i>18</i>
<b>MATERIAL E MÉTODO.....</b>	<b>20</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Índice de absorção e Índice de solubilidade.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Temperatura de Gelatinização.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3 Propriedades de pasta.....</b>	<b>32</b>
<i>3.3.1 Viscosidade inicial a 25°C.....</i>	<i>34</i>
<i>3.3.2 Viscosidade Máxima.....</i>	<i>35</i>
<i>3.3.3 Viscosidade Final (V<sub>fin</sub>).....</i>	<i>37</i>
<b>3.4 Características morfológicas.....</b>	<b>40</b>
<b>3.5 Aplicação na indústria de alimentos.....</b>	<b>42</b>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>44</b>



<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>45</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>51</b>

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1-	Variáveis reais e seus níveis codificados a serem estudados no processo Extrusão termoplástica da quirera de Arroz.....	20
TABELA 2-	Variação dos valores de índices de solubilidade em água (ISA), absorção de água (IAA) e viscosidades inicial de pasta (V <sub>inic</sub> ), máxima (V <sub>max</sub> ) e final (V <sub>fin</sub> ) e temperatura de gelatinização (T <sub>g</sub> ) das farinhas pré-gelatinizadas de quirera de arroz obtidas por extrusão em função do teor de água na formulação (U) e da temperatura(T) da terceira zona de aquecimento da extrusora.....	25
TABELA 3 -	Estimativa dos coeficientes do modelo polinomial aplicado às respostas índices de solubilidade em água (ISA), absorção de água (IAA) e viscosidades inicial de pasta (V <sub>inic</sub> ), máxima (V <sub>max</sub> ) e final (V <sub>fin</sub> ) e temperatura de gelatinização (T <sub>g</sub> ) das farinhas pré-gelatinizadas de quirera de arroz obtidas por extrusão em função do teor de água da formulação (U) e da temperatura (T) da terceira zona de aquecimento da extrusora.....	26

**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1 -	Produção, Consumo e Importação de Arroz.....	4
FIGURA 2 -	Grão de arroz.....	5
FIGURA 3-	Efeito das variáveis do processo de extrusão umidade da formulação e temperatura da terceira zona de aquecimento da extrusora nos índices de solubilidade em água e absorção de água de farinhas pré-gelatinizadas de quirera de arroz.....	30
FIGURA 4-	Efeito das variáveis do processo de extrusão umidade da formulação e temperatura da terceira zona de aquecimento da extrusora na temperatura degelatinização das farinhas pré-gelatinizadas de quirera e arroz. A) Viscosidade inicial, B) Viscosidade máxima e C) viscosidade final.....	31
FIGURA 5-	Efeito das variáveis do processo de extrusão umidade da formulação e temperatura da terceira zona de aquecimento da extrusora nas propriedades de pasta das farinhas pré-gelatinizadas de quirera de arroz. A) Viscosidade inicial, B) viscosidade máxima e C) viscosidade final.....	39
FIGURA 6-	Microfotografias de farinha de quirera de arroz pré gelatinizada por extrusão termoplástica em função da umidade da farinha e da temperatura da 3ª zona da extrusora: A) a 14,2% e 120,3 °C, B) a 19,8% e 120,3 °C, C) a 14,2% e 169,8 °C, D) a 19,8% e 169,8 °C e E) 17,0% e 145,0°C, respectivamente.....	40

## RESUMO

A maior parte da população mundial obtém mais da metade das calorias diárias a partir do arroz. Apesar de ser um dos grãos mais produzidos em todo o mundo, os resíduos de seu beneficiamento são subempregados e, a maioria das vezes, destinados para alimentação animal. No entanto, estudos demonstraram que a quirera (resíduo obtido do beneficiamento do arroz) pode ser usado como substituto do trigo na elaboração de produtos sem glúten e aditivo para a agroindústria. O processo de pré gelatinização do amido contido na quirera ocasiona algumas mudanças em suas propriedades tecnológicas, que são desejáveis para a agroindústria. O presente trabalho tem avaliar as propriedades físico químicas e tecnológicas de farinhas pré gelatinizadas de quirera de arroz: As farinhas pré-gelatinizadas foram elaboradas com quirera de arroz da variedade BRS Primavera. Um delineamento experimental fatorial central rotacional  $2^2$ , ao acaso, foi adotado para verificar efeitos dos parâmetros de extrusão (temperatura e umidade) sobre as propriedades das farinhas elaboradas. Das farinhas pré-gelatinizadas serão analisadas suas e tecnológicas (viscosidade de pasta, Microscopia Eletrônica de Varredura, índices de absorção e solubilidade em água). Adotou-se um modelo polinomial de segunda ordem para os resultados de cada processo, aplicando análise de variância a nível de 5% de probabilidade. Menores valores de umidades combinados com temperaturas mais brandas proporcionaram produtos com maiores índices de solubilidade; Maiores valores de umidade estabeleceram uma relação positiva com IAA, menores valores de umidade resultam em produtos com maior Vinic, valores intermediários de umidade combinados com temperaturas mais brandas resultaram em produtos com maior  $V_{máx}$  e final, produtos com baixos valores de umidade apresentaram grânulos de amido mais danificados. Os diferentes parâmetros de processo resultaram em diferentes propriedades físico químicas e tecnológicas e como consequência em produtos diferenciados.

**Palavras – chave:** amido gelatinizado, propriedades tecnológicas, viscosidade



## ABSTRACT

The Most of world's population gets more than half of daily calories from rice. Despite being one of the most produced grain worldwide, the waste of its processing are underemployed and, most times, intended for animal feed. However, studies have shown that grits (residue obtained from processing rice) can be used as a substitute for wheat in developing gluten-free and additive for agribusiness. The pre gelatinization of starch contained in grits causes some changes in their technological properties, which are desirable for agribusiness. This study aims to compare the quality of pre gelatinized flours of rice grits extruded: The pre-gelatinized flours were prepared with broken rice variety BRS Primavera. A central rotational factorial  $2^2$  experimental design, randomly, was adopted to verify the effects of extrusion parameters (temperature and humidity) on the properties of flours prepared. Of pre-gelatinized flours are analyzed and their technological (viscosity paste, Scanning Electron Microscopy, rates of absorption and water solubility). Adopted a second-order polynomial model to the results of each process, using analysis of variance at 5% level of probability. Lower humidity values combined with milder temperatures yielded products with higher solubility; Higher moisture values established a positive relationship with IAA, lower water contents result in products with higher  $V_i$ , milder temperatures also contribute to the increase of initial viscosity, intermediate values of moisture combined with milder temperatures resulted in products with higher  $V_{max}$  and end products with low levels of moisture were more damaged starch granules.

**Key words:** gelatinized starch, technological properties, viscosity,

## INTRODUÇÃO

O arroz é um dos cereais mais consumidos e produzidos mundialmente, faz parte da dieta humana de forma abrangente. Para suprir tamanha demanda, todos os elos da cadeia produtiva de arroz estão sempre em intensa atividade, desde o plantio, passando pela colheita, beneficiamento e industrialização, contudo apesar do espaço que esse produto ocupa no mercado de alimento, os resíduos de seu beneficiamento são subempregados e, a maioria das vezes, destinados para alimentação animal (EMBRAPA, 2012).

Uma alternativa que tem se mostrado muito interessante para o uso dos resíduos oriundos do beneficiamento de arroz é direcioná-lo para a produção de farinha. Estudos demonstraram que a quirera (resíduo obtido do beneficiamento do arroz) pode ser usado como substituto do trigo na elaboração de produtos sem glúten (HEISLER *et al.*, 2008) por ser não alergênico e atóxico para portadores de doença celíaca. A granulometria fina do seu amido proporciona aos produtos textura extremadamente suave após o cozimento e sabor brando.

O apelo comercial da farinha de arroz tem crescido, principalmente por estar relacionado à obtenção de produtos sem glúten. Contudo, não existem linhas de produção bem definida para produção de farinhas à base de quirera de arroz, uma vez que esta precisa ser tratada termicamente, com o objetivo de melhorar suas propriedades tecnológicas, para torna-se apta a ser usada como sucedâneo da farinha de trigo e aditivo alimentar (espessante).

Tal cenário sugere a necessidade de uma estratégia para ampliar seu mercado por meio do desenvolvimento de farinhas com alto valor agregado. Por isso, há a necessidade da procura de novas tecnologias que permitem diversas formas de utilização e obtenção de farinhas pré-gelatinizadas a base de quirera de arroz, posto que a aplicação de diferentes processos sobre a quirera pode ter como consequência a elaboração de produtos de diferentes propriedades.

A extrusão termoplástica tem sido uma alternativa explorada em relação ao método usual de cocção para pre-gelatinizar materiais, que geram grande volume de resíduo, já a extrusão é um processo mais versátil, eficiente de baixo custo e tempo, e alta produtividade além de não gerar resíduo o que a torna uma opção bem mais vantajosa.

Atualmente, o processo de extrusão tem sido alvo de investigação para a transformação da farinha de arroz (CHAKRABORTY & BANERJEE, 2009; ORTIZ *et al.*, 2010;

CHOUDHURY *et al.*, 2011). Esse processo combina tratamento térmico, agitação mecânica e curto tempo para a elaboração de novos produtos alimentares tal como snacks, amidos modificados, sopas instantâneas, ração animal, alimentos dietéticos e bebidas.

Para que a farinha de arroz se torne um produto com propriedades tecnológicas desejáveis, o amido, componente majoritário, precisa passar por um processo denominado gelatinização, o qual destrói completa ou parcialmente a estrutura cristalina e fragmenta as moléculas da amilose e amilopectina, bem como a desnaturação de proteínas.

Assim, é possível obter produtos específicos em condições diferenciadas do processo. Portanto tendo em vista a necessidade de traçar uma linha de processamento para farinha de arroz, averiguando os melhores parâmetros de extrusão termoplástica, justifica-se a realização desse projeto.

O presente trabalho teve por objetivo geral avaliar morfológicas, físico químicas tecnológicas como viscosidade, índices de absorção e solubilidade de farinhas pre-gelatinizadas de quirera de arroz obtidas por extrusão termoplástica, variando os parâmetros do processo de extrusão,



## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 Arroz

#### 1.1.1 Produção e indicadores comerciais do arroz (*Oryza sativae*, L.)

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2012), o arroz pode suprir 20% da energia e 15% da proteína da necessidade diária de um adulto, além de vitaminas, sais minerais, fósforo, cálcio e ferro. Nos países da Ásia, por exemplo, o consumo de arroz corresponde a metade do aporte energético e protéico, no Brasil, o consumo anual médio é de 25 kg por habitante, podendo chegar a 70 kg, considerando suas diferentes formas de consumo (MAPA, 2013; NUNES *et al.*, 2003).

A grande importância nutricional do arroz reflete no impacto que a produção desse grão projeta a economia mundial e nacional. Atualmente o Brasil, é o nono produtor mundial desse grão, e o primeiro fora da Ásia. A maior produção de arroz irrigado se concentra na região sul (Rio Grande do Sul), já a área plantada com arroz de serqueiro em terras altas, fica concentrada na região Centro-Oeste (Mato Grosso e Goiás); Nordeste (Piauí e Maranhão) e Norte (Pará e Rondônia) (MAPA, 2013).

Nas últimas décadas a área de plantio de arroz vem diminuindo gradualmente, mesmo assim a produção de arroz aumentou significativamente devido ao aumento na produtividade desses grãos. O crescimento da produção permitiu ao país tornar-se autossuficiente em arroz na safra 2003/2004. Em 2005, o Brasil chegou a exportar 272 mil toneladas de arroz. Hoje apenas 5% da produção nacional é destinada à exportação (MAPA, 2013).

Segundo Projeções do agronegócio – Brasil 2012/2013;2022/2023, estudo elaborado pela Coordenação-Geral de Planejamento Estratégico, vinculada à Assessoria de Gestão Estratégica do MAPA (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento) a produtividade deverá ser a principal variável no comportamento desse produto nos próximos anos, alcançando um índice de 5,5 toneladas por hectare, cerca de 600 kg a mais do que a produtividade atual, de 4,9 toneladas por

hectare. A Figura 1 mostra a variação dos indicadores de produção, consumo e importação do arroz até a safra de 2022/23.

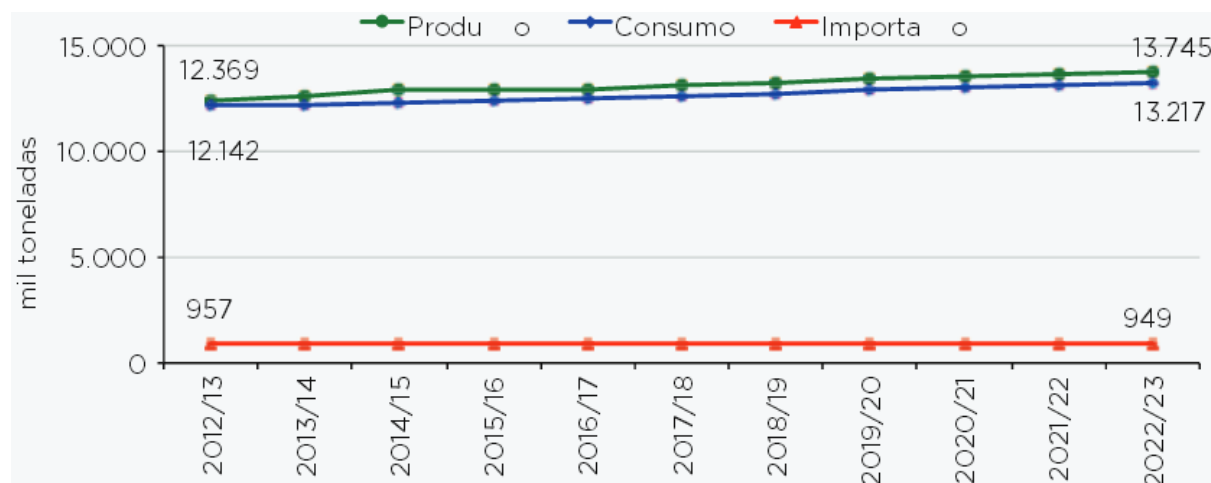


FIGURA 1 - Produção, Consumo e Importação de Arroz

Fonte: (MAPA, 2013)

Tais indicadores corroboram a força e importância que a produção e beneficiamento de arroz têm no cenário do agronegócio e para área de produção de alimentos e mostra dimensão econômica e nutricional do arroz, sendo o Brasil um dos maiores produtores do mundo vem se dedicando a pesquisa de novos cultivares, ao estudo características físico-química (ASCHERI *et al.*, 2010), além de aspectos ligados ao processo de produção, beneficiamento e desenvolvimento de novos produtos do arroz e seus subprodutos.

### 1. 1. 2 Arroz (*Oryza sativae*, L.) – Morfologia e Composição

O arroz é basicamente um produto amiláceo, sendo o amido o seu principal constituinte, podendo representar até 90% de seu peso seco (ELIAS *et al.*, 2012; BORTOLINI, 2010).

No que tange as proteínas do arroz, estas podem ser classificadas em albumina, globulina, prolamina e glutelina. A composição em proteína do endosperma difere do farelo, sendo que no endosperma a glutelina forma a principal fração, correspondendo a aproximadamente 80% das proteínas. Já o farelo apresenta 60% de albumina. (WALTER *et al.*, 2008; VIEIRA, 2004).

É um dos cereais com menor teor proteico, aproximadamente 7%, e similar a outros cereais apresenta a lisina como aminoácido limitante, contudo, possui uma proteína de alta qualidade, a metionina, ou seja, neste sentido, pode-se concluir que o aumento do teor de proteína bruta do arroz é acompanhado pelo aumento nos teores de glutelina o que implica, conseqüentemente, no aumento na qualidade nutricional do grão (SILVA *et al.*, 2008; WALTER *et al.*, 2008).

No arroz, os lipídeos podem ser encontrados na camada de aleurona, no embrião e no endosperma, ou associados a grânulos de amido, porém a maior concentração ocorre no gérmen e na camada do aleurona (SILVA *et al.*, 2008; WALTER *et al.*, 2008; SULAIMAN e DOLAN, 2012). Os principais ácidos graxos no arroz são o palmítico, oléico e linoléico, que correspondem aproximadamente 95% do total, portanto o arroz possui proporções relevantes de ácidos graxos insaturados, que desempenham papel importante em vários processos fisiológicos (ELIAS *et al.*, 2012; WALTER *et al.*, 2008; SULAIMAN e DOLAN, 2012).

Também os minerais diferem quanto às frações no grão, o silício na casca é o mineral dominante, enquanto que no arroz polido destacam-se fósforo potássio e magnésio. De modo geral, os minerais se apresentam em maior concentração nas camadas externas do grão, chegando a 72% no farelo (GUIMARÃES, 2011).

As principais vitaminas do arroz são as do complexo B e  $\alpha$ -tocoferol (vitamina E), sendo que o polimento reduz significativamente a concentração de vitaminas posto que a maior proporção desses elementos está nas camadas externas (ELIAS *et al.*, 2012; GUIMARÃES, 2011).

O grão integral é composto pela cariopse (o grão ou semente propriamente ditos) e a casca, está formada por duas folhas modificadas, a pálea e a lema (glumas), corresponde a 20% do peso do grão. A cariopse é formada por diferentes camadas, o pericarpo, que é a mais externa, o tegumento e a camada de aluerona, estas representam de 5 à 8% da massa do arroz intergral e são ricas em proteínas e lipídios. O gérmen ou embrião fica localizado frontalmente, representando 2-3% do arroz integral. O endosperma corresponde a maior parte do grão (89-94% do arroz integral), sendo constituído basicamente por amido (WALTER *et al.*, 2008). A figura 2 traz a representação do grão de arroz e suas camadas.

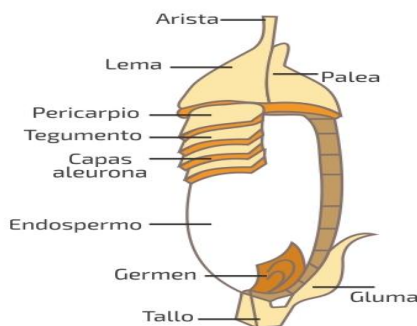


FIGURA 2 – Grão de arroz (GUIMARÃES, 2011)

De acordo com os padrões de comercialização o arroz pode ser classificado em função de alguns parâmetros como tamanho, forma, ocorrência de defeitos e etapas de beneficiamento (arroz polido, beneficiado e parboilizado). (BRASIL, 1988)

O arroz integral ou esbramado é o arroz onde é retirada somente a casca durante o beneficiamento, mantendo-se intacto o germe e as manchas internas e externas do grão ; ELIAS *et al.*, 2012).

O arroz parboilizado é obtido por meio de um processo hidrotérmico no qual o arroz em casca é submetido. Registra-se que a matéria prima pode ser, além do arroz em casca integral ou esbramado, obtida pela primeira etapa do beneficiamento, resultando de simples retirada da casca (ELIAS *et al.*, 2012; BORTOLINI, 2010; BRASIL,1988).

O arroz branco polido é obtido por meio da descascagem e da remoção do farelo (pericarpio, tegumento e camada de aleurona) germen, que representa 8,5-14,8% do arroz integral. O grau de polimento do arroz expressa maior ou menor intensidade de remoção do germe e das camadas externas e internas dos grãos. (WALTER *et al*, 2008; BRASIL,1988)

A composição do grão e de suas frações está sujeita a diferenças varietais, variações ambientais, de manejo, de processamento e de armazenamento, além disso os nutrientes não estão distribuídos de forma regular e homogênia nas diferentes frações do grão (WALTER *et al*, 2008; VIEIRA 2004). O polimento resulta em redução no teor de nutrientes, exceto de amido, posto que as camadas externas, apresentam maiores concentrações de proteínas, lipídios, fibra, minerais e vitaminas, enquanto o centro é rico em amido (GUIMARÃES, 2011; SILVA *et al.*, 2008; VIEIRA, 2004).

Nutricionalmente, o arroz integral pode trazer mais vantagens, quando comparado ao arroz polido, uma vez que mantém sua integridade estrutural, sendo uma excelente fonte de

minerais e vitaminas, contendo quantidades apreciáveis de tiamina, riboflavina e niacina, bem como fósforo, ferro e potássio, respectivamente. De modo geral, o arroz é um cereal versátil, e seu valor nutricional é função, principalmente de seu conteúdo proteico, pois apresenta proteína de boa qualidade e que contem os oito aminoácidos essenciais ao homem, além de ser excelente fonte de carboidratos complexos, que por serem de absorção lenta, são capazes de promover o organismo energia por longos períodos (VIEIRA, 2004; BORTOLINI, 2010;).

Por outro lado, o arroz integral pode apresentar algumas características indesejáveis do ponto de vista tecnológico, por exemplo, apresenta poder de conservação inferior ao arroz beneficiado, devido a manutenção das camadas externas ricas em lipídeos, isso pode refletir também no desempenho tecnológico do arroz e seus subprodutos, uma vez que propriedades de solubilização, inchamento e de pasta podem ser alteradas por diferenças na composição físico-química do arroz (ELIAS, 2012; VIEIRA 2004).

Por ser o componente majoritário no arroz, as alterações sofridas pelo amido, refletem grandemente no desempenho do arroz e seus subprodutos dos ponto de vista tecnológico (SILVA *et al.*, 2008; ELIAS 2012).

## **1.2 Beneficiamento e Industrialização de alimentos**

O beneficiamento do arroz consiste, basicamente, na retirada da casca e remoção do germe e das camadas externa e interna do tegumento do grão, durante esse processo são produzidos em média 14% de grãos quebrados e quíleras, este fato se traduz em um problema econômico para a indústria arroseira, tendo em vista que esses subprodutos representam apenas a quinta parte do que é obtido na comercialização do grão inteiro (SILVA e ASCHERI, 2009).

Apesar de constituir um dos grãos mais produzidos em todo o mundo, os resíduos de seu beneficiamento são subempregados e, na maioria das vezes, destinados à alimentação animal, apesar de apresentar a mesma composição centesimal média do grão inteiro, além de ser uma fonte rica em amido (ELIAS *et al.*, 2012; SILVA e ASCHERI, 2009).

Uma alternativa para o emprego desse subproduto é a produção de farinha de arroz, uma vez que é bastante versátil pode ser incorporada como espessante em produtos doces ou salgados, e usada como ingrediente substituo da farinha de trigo na panificação. Devido à baixa alergenicidade de suas proteínas, ela pode ser usada inclusive por pacientes celíacos, que

apresentam intolerância às proteínas do trigo, aveia, centeio e cevada (CLERICI e EL-DASH, 2008)

Contudo o Brasil ainda não possui com uma linha de produtos bem definida à base de farinha de arroz, uma vez que esta não conta com volume de produção expressiva por não apresentar aplicação competitiva com a farinha de trigo (LIMA *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2008; SILVA e ASCHERI, 2009).

Para Silva *et al.*, 2008 as características funcionais e tecnológicas da farinha de arroz deveriam ser mais bem exploradas. Lima *et al.*, (2012), afirma que existe a necessidade de se adotar estratégias para ampliar seu mercado por meio do desenvolvimento de farinhas com alto valor agregado.

A farinha de arroz é um produto multifacetado, com uma extensa gama de aplicações na produção de alimento, seja como ingrediente, seja como aditivo alimentar. 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 (CLERICI e EL-DASH, 2008; BARBOSA *et al.*, 2006; DORS, *et al.*, 2006).

### *1.2.1 Caracterização Farinha de Arroz*

Segundo Dors, *et al.*, (2006), farinha de arroz era um item praticamente desconhecido e inexistente no mercado, porém nos últimos anos este subproduto do beneficiamento do arroz tem atraído a atenção de pesquisadores e agentes da indústria de alimentos, como consequência vários trabalhos sobre propriedades, aplicação e parâmetros de processamento da farinha de arroz têm sido desenvolvidos.

O arroz apresenta características que o diferenciam dos outros cereais, o grânulo do amido é pequeno e na farinha encontra-se formando grumos, apresenta textura extremamente suave com o cozimento e sabor brando existem variedades com ampla faixa de teor de amilose, o que permite a seleção de acordo com a finalidade, a temperatura de gelatinização é outro fator que pode variar em função do cultivar, em alguns cultivares o amido apresenta alta temperatura de gelatinização isto permite obter, através do pré-cozimento, diferentes graus de gelatinização (LIMA *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2008; RUIZ *et al.*, 2003; SILVA e ASCHERI, 2009).

A pesquisa de produtos comerciais elaborados com farinha de arroz, disponíveis no mercado local, permitiu verificar que aproximadamente 50% são destinados para alimentação infantil, 22% são produtos empanados onde a farinha de arroz é utilizada como meio auxiliar, 15% são iogurtes que utilizam a farinha de arroz como espessante, e 13% são produtos instantâneos. Esses resultados confirmam a utilização da farinha de arroz em produtos alimentícios principalmente para crianças, nessa perspectiva, a farinha pré-gelatinizada de grãos quebrados de arroz poderia ser substituto da farinha de arroz comum (CLERICI e EL-DASH, 2008).

As características reológicas da farinha de arroz são interessantes, por exemplo, não apresentam alta viscosidade permitindo desse modo que pastas com alto teor de sólidos possam ser bombeadas facilmente. Outra característica tecnológica importante desse subproduto, é que permite ser processado termicamente para produção de farinha com textura extremamente suave ou uma textura variando do firme ao seco e do flocoso ao suave e pegajoso (ASCHERI *et al.*, 2010; CLERICI e EL-DASH, 2008; AUGUSTO-RUIZ, 2003).

O Tamanho das partículas é outro fator de repercussão nas propriedades tecnológicas da farinha, Dors *et al.* (2006) citaram estudos cujos resultados permitiram constatar que o menor diâmetro de partícula na farinha de arroz parece ter um papel relevante na consistência do produto, em que o menor diâmetro (0,341 mm) teve melhores resultados que os diâmetros maiores (1,341 e 0,666 mm).

Alguns requisitos devem ser levados em conta quanto ao emprego da farinha de arroz como ingrediente ou aditivo alimentar. Na forma nativa, o amido presente na farinha de arroz apresenta algumas propriedades indesejáveis tais como: pouca absorção e insolubilidade em água fria, instabilidade frente a ciclos de congelamento e descongelamento e tendência a retrogradação, o que limita muito o uso da farinha de arroz, principalmente como ingrediente (SILVA e ASCHERI, 2009; HEISLER *et al.*, 2008; AUGUSTO-RUIZ, 2003).

Contudo, tais desvantagens podem ser compensadas com alterações químicas ou físicas induzidas na estrutura do amido modificações químicas como a fosfatação do amido ou físicas através da extrusão termoplástica e cocção, resultando num fenômeno conhecido como gelatinização do amido (ZAVAREZE *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2008).

A gelatinização do amido determina as propriedades da farinha de arroz como textura, poder espessante, e capacidade de absorção de água em função de variáveis como temperatura do

processo, umidade ou quantidade de água da mistura, além do tamanho das partículas da farinha, o nível dos danos causados na estrutura do amido durante a moagem (cristalinidade do amido), proporção de amilose e amilopectina do grânulo de amido, entre outros (HASJIM *et al.* 2013; SILVA e ASCHERI, 2009).

Farinhas com amido pre-gelatinizado têm sido largamente usadas em muitos alimentos como espessante, emulsificante ou como ingrediente principal (panificação), e as características funcionais ou tecnológicas para cada tipo de aplicação demandam um desempenho diferenciado do amido da farinha (DORS *et al.*, 2006; AUGUSTO-RUIZ, 2003).

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

Essas características podem ser manipuladas pelas condições do processo de gelatinização, além dos parâmetros estruturais da matéria prima. Variáveis como temperatura, umidade, configuração de equipamentos são responsáveis pela extensão da quebra estrutural do amido, da qual depende, entre outros fatores, o perfil da solubilidade e viscosidade de produtos (LAI, 2000; HEISLER *et al.*, 2008; EMBRAPA, 2012).

A farinha de arroz pré-gelatinizada é produzida a partir de grãos quebrados de arroz que sofrem processo de extrusão, cocção ou tratamento infravermelho provocando a pré-gelatinização do amido. Este subproduto tem diversas propriedades tecnológicas associadas que inclusive podem sofrer mudanças em função do processo de obtenção, que combinam diversas operações unitárias como cocção e homogeneização (DORS *et al.*, 2006; LAI, 2000).

Apesar do reduzido custo, a farinha de quirera de arroz é produzida em baixa escala por não apresentar propriedades tecnológicas competitivas em relação ao trigo. Entretanto, o arroz apresenta características especiais que devem ser mais bem aproveitadas (LIMA *et al.*, 2012; DORS *et al.*, 2006; AUGUSTO-RUIZ, 2003).

Por sua versatilidade, tanto no que diz respeito a aplicação na indústria quanto o alcance de desempenho diferenciado em função dos diferentes parâmetros de processo, a farinha de arroz se apresenta como um produto promissor na elaboração de novos produtos, uma oportunidade que surge inclusive pela falta de uma linha de produtos bem definida, vinculada ao delineamento dos parâmetros de processo pré determinados.



### 1.2.2 Gelatinização do Amido

A gelatinização do amido consiste em um processo de transição irreversível que se desenvolve a nível molecular, porém reflete de maneira pronunciada nas características tecnológicas de produtos a base de farinhas pré gelatinizadas (HASJIM *et al.*, 2012; ZAVAREZE, *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2008).

Do ponto de vista físico-químico, o amido de arroz se torna gelatinizado após sofrer uma série de modificações que repercute em suas propriedades físico-químicas e provoca mudanças visíveis na aparência do grânulo. Tal fenômeno é caracterizado pelo inchaço dos seus grânulos, perda da birrefringência e cristalinidade e rompimento da estrutura do grânulo quando este é cozido sob condições suficientes de umidade e de temperatura (ZAVAREZE *et al.*, 2009; GOMES *et al.*, 2005; LAI, 2000).

A estrutura do grânulo de amido é formada por amilose e amilopectina associadas entre si por pontes de hidrogênio, que constituem a área cristalina radialmente ordenada no interior do grânulo, entre as quais existem regiões amorfas sem orientação particular. As áreas cristalinas mantêm a estrutura do grânulo e controlam o comportamento do amido fazendo com que este absorva uma quantidade limitada de água. Por outro lado o conteúdo de amilose determina propriedades de pasta e se correlacionam com a solubilidade (ASCHERI *et al.*, 2010; ZAVAREZE, *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2008).

À medida que o grânulo de amido absorve água, a estrutura cristalina no seu interior vai se rompendo, induzindo a fragmentação molecular dos polímeros do amido, assim como a desnaturação das proteínas e a formação de complexos entre o amido e entre proteínas e lipídeos (HAGENIMANA *et al.*, 2006; KANG, 2003)

A gelatinização do amido é um processo que ocorre gradativamente ao longo de uma faixa de variáveis que pode ser manipulada em função do grau que se deseja obter ocorrendo de forma diferenciada para cada tipo de fonte do amido e do ambiente no qual ocorre a gelatinização (parâmetros do processo) (KANG, 2003; CAI e WEI, 2012).

O processo de gelatinização pode ser parcial ou completo, o que também depende da estrutura do grânulo e relação amilose/amilopectina, além das condições de processo. Os parâmetros operacionais e estruturais do sistema determinam reações muito complexas, que

resultam na diferenciação limitada da influência individual das variáveis, nas mudanças finais do amido (CAI e WEI, 2012; PUNCHA-ARNON E UTTAPAP, 2012).

### *1.2.3 Processos de Gelatinização por extrusão*

A gelatinização é um fenômeno que pode ser obtido por meio de diferentes processos, tais como extrusão, cocção ou tratamento infravermelho envolvendo várias operações unitárias (ZAVAREZE, *et al.*, 2009).

O processo de extrusão tem se mostrado um dos mais vantajosos para substituir o processo convencional na produção de farinhas pré-gelatinizadas, uma vez que permite um controle mais rigoroso do processo, já que discretas modificações nos equipamentos e/ou matéria prima refletem de maneira bastante pronunciadas na qualidade do produto, levando a diferentes resultados finais. A extrusão é um processo mais versátil, eficiente, de baixo custo e tempo, e alta produtividade além de não gerar resíduo o que a torna uma opção bem mais vantajosa (SANTOS *et al.*, 2010; SILVA e ASCHERI, 2009; CLERICI e EL-DASH, 2008).

A extrusão termoplástica consiste em um tratamento térmico a uma temperatura elevada em curto período de tempo, cujo princípio é converter um material sólido em fluído pela aplicação de calor e trabalho mecânico e comprimi-lo através de uma matriz, tal processo por sua versatilidade pode ser usado para diversos fins como gelatinização do amido, a desnaturação e reorientação das proteínas, a inativação enzimática, a destruição de substâncias tóxicas, tais como os inibidores das proteases e a diminuição da contagem microbiana para formar um produto de características físicas e geométricas pré-determinadas (SANTOS *et al.*, 2010).

Modificações físicas no amido por meio da extrusão é uma alternativa para melhorar as propriedades do amido nativo, sem modificações químicas, e também sem influenciar negativamente a retrogradação do amido durante o armazenamento dos produtos alimentícios amiláceos (CLERICI & EL-DASH, 2008).

Segundo Zavareze, *et al.*, (2009) as variáveis do processo de gelatinização que controlam diretamente os atributos de qualidade do alimento são designadas como variáveis independentes. Estas incluem a composição dos ingredientes alimentares, sua umidade, o tamanho das partículas, no caso da extrusão, a velocidade de alimentação do parafuso, a configuração do

parafuso e da matriz, a temperatura, a pressão e o tempo de residência do alimento no cilindro extrusor.

Silva *et al* (2008) relata que a propriedade funcional pode ser definida como uma propriedade tecnológica específica que influencia na aparência física e no comportamento de um produto alimentar de maneira característica e que resulta na natureza intrínseca das propriedades do produto.

As variáveis dependentes ou respostas mudam como consequência das variáveis independentes e servem para avaliar as propriedades físicas, químicas e funcionais dos extrusados. Entre elas pode-se citar a densidade; o volume específico; a umidade; a expansão; os atributos sensoriais como aparência, sabor, crocância e textura; o grau de cozimento, avaliado através da susceptibilidade enzimática; a viscosidade; os índices de absorção e de solubilidade em água; a difração de raios-X; e a calorimetria (PUNCHA-ARNON e UTTAPAP, 2012; YACU, 1990).

Por exemplo, a cinética de hidratação dos grânulos de amido que por sua vez está relacionada com a capacidade de absorção e solubilidade, é diretamente influenciada pela proporção de amilose/amilopectina, outros fatores como peso molecular, composição de aminoácidos, estrutura e reatividade de proteínas são determinantes na quantidade de água difundida para o interior do produto, além da temperatura, que como já foi dito, é um dos principais fatores. As propriedades viscoelásticas da pasta também são influenciadas por tais fatores, entre outras características tecnológicas (BOTELHO *et al.*, 2010; LIMA *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2008).

## **1.3 Propriedades Tecnológicas**

### *1.3.1 Poder de inchamento ou absorção*

A estrutura do grânulo é mantida pelas áreas cristalinas que controlam a quantidade de água absorvida pelo amido, com o aquecimento de suspensões de amido em excesso de água a estrutura cristalina é desfeita e as moléculas de água interagem com os grupos hidroxilas da amilopectina e da amilose e da, causando um aumento do tamanho dos grânulos e solubilização

parcial do amido, tal fenômeno é refletido pelos índices de absorção e solubilidade de água (CAI e WEI, 2012; ZAVAREZE *et al.*, 2009).

No caso do índice de absorção em água, este indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos de amido de uma determinada amostra submetida a um tratamento térmico.

A capacidade de intumescimento dos grânulos de arroz é determinada grandemente pela relação amilose/amilopectina, isso deve ao fato de que a absorção da água se dá, como já dito, pelos grupos hidroxilas que se tornam disponíveis devido a quebra da estrutura cristalina formada por pontes de hidrogênio, que ao se romperem ficam disponíveis para se ligarem às moléculas de água, estrutura essa composta pela porção de amilopectina no interior do grão. Assim, infere-se que a proporção desse elemento no grânulo será determinante para a cinética de hidratação do amido (BARBOSA, 2006; FELLOWS, 2006).

Cai e Wei, (2012) afirmam que a absorção é primeiramente uma propriedade da amilopectina e que a amilose age como diluente. Segundo mesmo autor, a amilose distribuída na fase amorfa deve restringir o rompimento da estrutura cristalina e o consequente inchamento dos grãos.

No entanto, o índice de absorção de água (IAA) que está ligado à capacidade de formação de gel das moléculas de amido, se relaciona de forma direta com o índice de solubilidade uma vez que a medida que a água vai penetrando no grânulo, as moléculas de água fixam-se deixando livres grupos hidroxila e os grânulos continuam a intumescer, a amilose vai sendo liberada do interior, resultando no aumento da solubilidade do amido (SILVA *et al.*, 2008; ZAVAREZE *et al.*, 2009)

As temperaturas do tratamento térmico, além do teor de água, são os principais fatores que orientam o poder de inchamento (SILVA *et al.*, 2008). O grau de gelatinização do amido é determinado pela quantidade de hidroxilas livres, formadas à medida que estrutura cristalina vai se rompendo.

Grau de gelatinização é um termo utilizado para se referir a evolução de fenômenos físico-químicos que determinam a gelatinização do amido. Tempo e temperatura são uma das principais variáveis que estabelecem graduação desse fenômeno.

Existem diversos estudos nos quais o tratamento hidrotérmico tem sido utilizado para reduzir o poder de inchamento dos grânulos de amido de batata, mandioca (NAKAZAWA e

WANG, 2004), trigo (HOOVER e VASANTHAN, 1994; TESTER *et al.*, 2000) e milho (NAKAZAWA e WANG, 2004; QI *et al.*, 2005).

Segundo Zavareze *et al.* (2009), o poder de inchamento dos amidos tratados com calor e umidade foi sucessivamente reduzido conforme o aumento do teor de umidade do tratamento sendo o maior efeito evidenciado nas temperaturas acima de 80 °C, em que o amido nativo apresentou o maior poder de inchamento.

Clerici e El-Dash, (2008) encontraram que um aumento da umidade aumenta o IAA, mas o aumento da temperatura diminui o IAA, o que foi constatado durante a produção de snacks de arroz, num extrusor dupla rosca.

Somente os grânulos de amido gelatinizados absorvem água em temperatura ambiente e incham a temperatura de gelatinização e isso varia em função da fonte e do tipo de modificação a que ele é submetido. A facilidade de absorção de água dos grânulos de amido é afetada pelos diferentes tipos de amidos que exibem diferentes densidades granulares (LIMA *et al.*, 2012; BRIFFAZ *et al.*, 2013, HOOVER, 2001).

O grau de disponibilidade de grupos hidroxilas formados durante a gelatinização do amido determinam o perfil higroscópico das farinhas de arroz, isto é, a tendência em absorver água com grande facilidade até alcançar a umidade de equilíbrio em determinadas condições de temperatura e umidade relativa do ar (HOOVER, 2001).

Segundo Briffaz *et al.*, (2013) a taxa de hidratação do amido aumenta com o aumento da temperatura. Quando a temperatura excede a temperatura de gelatinização, a absorção de água aumenta significativamente.

Uma vez que, a temperatura influencia o grau de gelatinização, e esta por sua vez depende das transformações na estrutura granular do amido, o IAA indica a integridade dos grânulos de amido, ou seja, reflete também a severidade do tratamento térmico aplicado e até que ponto esse manteve a estrutura amilácea capaz de absorver água em temperatura ambiente, o que pode orientar sua aplicabilidade e a estabilidade dos produtos a base de farinha durante o armazenamento (OLAYINKA *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2008; ONWULATA *et al.*, 2001).

Por exemplo, os tratamentos indicados para produtos de preparo rápido são os que apresentam alta viscosidade a frio e alto IAAe sendo os obtidos com temperatura de extrusão acima de 180 °C (CLERICI & EL-DASH, 2008).

### 1.3.2 Solubilidade

Segundo Gomes *et al.* (2005), a solubilidade é consequência do lixiviamento da amilose devido a desramificação da estrutura amilácea, sendo que ISA é o índice que expressa a intensidade do tratamento térmico através da percentagem de matéria seca recuperada após a evaporação do sobrenadante da determinação de absorção de água, está relacionado com a quantidade de moléculas solúveis na amostra seca e mede a dextrinização.

É sabido que assim como a capacidade de absorção do amido, a solubilidade também é função do grau de gelatinização, que por sua vez aumenta com incremento na temperatura do tratamento térmico, ou seja, maiores graus de gelatinização induzem maior solubilidade do amido na fase líquida. Outro fator que também contribui para maiores valores de ISA é que altas temperaturas aumentam a difusão de pigmentos e microelementos do interior para o exterior do grânulo (BRIFFAZ *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2008).

Alguns estudos mostram que maiores valores de solubilidade são obtidos quando combinadas altas temperaturas com baixos valores de umidade (BRIFFAZ *et al.*, 2013; ZAVAREZE *et al.*, 2009; CLERICI & EL-DASH, 2008).

De acordo com estudo realizado por Zavareze *et al.*, 2009, os maiores valores de solubilidade dos amidos foram obtidos a 90°C, quando grande parte dos grânulos está gelatinizada ou intumescida. Nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, não ocorreu mudança na solubilidade dos amidos tratados hidrotérmicamente em relação ao amido nativo.

Clerice e El-Dash (2008), extrusando farinha de arroz pura, constataram que os menores teores de umidade e as mais altas temperaturas foram as variáveis que mais influenciaram o valor de ISA. Observaram uma maior degradação dos grânulos de amido, o que contribuiu para o aumento do ISA.

Silva *et al.*, (2008), cita estudos envolvendo diferentes parâmetros de extrusão e sua influência no processo, tais estudos relataram que a quantidade de amido solúvel aumentou com o aumento da temperatura de extrusão e com redução do conteúdo de umidade do produto antes da extrusão e inversamente diminuiu com o aumento do conteúdo de amilose.

Apesar de vários estudos demonstrarem que maiores graus de gelatinização implicam em valores de solubilidade maiores, e que esta propriedade é consequência do lixiviamento da amilose, pesquisas recentes revelaram que a taxa de gelatinização, bem como sua energia de

ativação aumentam dramaticamente com a diminuição do conteúdo de amilose no interior do grânulo (SULAMAIN e DOLAN, 2012; ZAVARESE *et al.*, 2009).

Comparando a distribuição da amilose com o início do rompimento da estrutura cristalina e inchamento do grânulo, OLAYINKA *et al.*, (2008), concluíram que a amilose na fase amorfa restringe a quebra da estrutura cristalina e o intumescimento dos grânulos, e seu consequente lixiviamento para fase aquosa do sistema, especialmente quando complexadas com lipídios.

A solubilidade é uma propriedade que está fundamentada na migração da água e de componentes sólidos para dentro e fora do grânulo, esta migração é governada pelo coeficiente de difusão causada pelo gradiente entre superfície e o centro do grânulo. A taxa de difusão na direção do fluxo depende do gradiente de concentração, que por sua vez relaciona-se com fatores como temperatura, umidade inicial e composição dos grãos (BRIFFAZ *et al.*, 2013).

No arroz segundo, Onuwlatá *et al.*, (2001), o principal fator de controle desse fluxo é a temperatura, no entanto, o conteúdo de amilose do grão e o grau de dextrinização repercutem grandemente na viabilidade e estabelecimento do fluxo, uma vez que altas concentrações de amilose restringem o acesso inicial das moléculas de água à rede cristalina no interior do grão, que deverá ser rompida para que então seja possível a diluição da amilose na fase aquosa e a formação de dextrinas, mais solúveis em água.

Como no IAA, a solubilidade também é dependente do grau de gelatinização sofrido pelo amido porém por diferentes razões. Enquanto que o IAA aumenta devido à disponibilidade de grupos hidrofílicos que surgem a medida que a cadeia cristalina vai sendo rompida, a solubilidade é resultado da liberação da amilose dispersa na fase amorfa, retida entre os anéis formados pela amilopectina (SULAMAIN e DOLAN, 2012; BARBOSA, 2005).

A amilose, de modo geral, desempenha um papel condual para solubilidade, uma vez que se faz necessário a dispersão desse elemento na fase aquosa para que o amido se torne solúvel, mas ao mesmo tempo em altas concentração dificulta o acesso das moléculas de água para o interior do grãos, fundamental para o rompimento das cadeias e início do fenômeno da gelatinização (BRIFFAZ *et al.*, 2013).

### 1.3.3 Propriedades de Pasta

Amidos ou farinhas pré gelatinizadas são formadores de pasta e todas as condições do processo apresentam essas características. As mudanças que ocorrem durante o processo de gelatinização e retrogradação são os principais determinantes do comportamento da pasta do amido (BOTELHO *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2008).

A viscosidade é um parâmetro que permite determinar e estudar o grau de cozimento do material extrusado e avaliar o comportamento do amido em meio aquoso, aplicando-se diferentes temperaturas. Esta variável pode ser avaliada ao longo de uma faixa de tempo e temperatura e se relaciona às propriedades tecnológicas do amido (MÓDENES *et al.*, 2009; KANG *et al.*, 2003).

Viscosidade a frio ou inicial, a 25 °C indica a capacidade da farinha absorver água e formar pasta, gel ou líquido viscoso (CLERICI, 2008; SILVA *et al.*, 2008). Já a viscosidade de pasta a 95 °C reflete a resistência do amido ao colapso resultante da temperatura e do atrito mecânico no viscoamilógrafo, uma vez que ocorre o intumescimento e a gelatinização dos grânulos de amido atingindo o pico nesta etapa (SILVA *et al.*, 2008). Neste caso, a viscosidade está diretamente relacionada com o nível de degradação sofrido pelo grânulo de amido, todavia, quando a estrutura do amido é completamente destruída, ele perde sua capacidade de inchar quando aquecido e apresenta baixa viscosidade à 95°C (SULAMAIN E DOLAN, 2012; CLARICI E EL DASH, 2008; SILVA *et al.*, 2008)

O grau de gelatinização do amido reflete-se de maneira pronunciada nas propriedades de pasta do amido, ou seja, oscilações na maneira como a viscosidade da pasta vai se desenvolvendo ao longo do processo são o reflexo da variação no perfil de gelatinização e de intumescimento do grão, isso explica por que quanto mais gelatinizado estiver o amido, maior será a viscosidade a frio da pasta de amido (ZAVARESE *et al.*, 2009; KANG *et al.*, 2003; ONWULATA *et al.* 2001), .

RUIZ, (2003), afirma que a viscosidade da farinha de arroz parboilizado é diferente que a do arroz não parboilizado, por exemplo, a viscosidade de uma pasta fria é maior na farinha de arroz parboilizado que na farinha não gelatinizada, assim pasta fria de farinha de arroz "instantâneo" apresenta maior viscosidade e maior capacidade de absorção de água.

Estudo realizado por CLERICI E EL DASH, (2008) relata que a viscosidade inicial, apresentou maiores valores quando as farinhas foram processadas em maiores temperaturas,



observou também que a viscosidade a 50°C apresentou a tendência para maiores valores quando as farinhas foram processadas sob temperatura e umidade em valores extremos opostos.

Apesar do amido ser o principal componente responsável pela viscosidade e esta variar em função do grau de gelatinização, outros fatores também podem contribuir, incrementar ou diminuir a viscosidade, como por exemplo o teor de água disponível, a concentração de proteínas, além da proporção de amilose.

SILVA *et al.*, (2008), cita estudo no qual foi verificado que os extrusado com menor teor de amilose sob alta temperatura, apresentam menor grau de retrogradação, enquanto que amido extrusado com moderado aumento na umidade extrusado a uma temperatura moderada, produziram extrusados com alto grau de retrogradação, implicando em aumento na viscosidade final.

A capacidade de formar pastas das farinhas pré gelatinizadas do amido explica a sua utilização em produtos alimentícios. O amido é amplamente utilizado em alimentos e aplicações industriais devido a sua capacidade de gelatinização e de atuar como agente espessante (RUIZ *et al.*, 2003).

Claricee EL Dash, (2008), afirmam que Farinhas e amidos pre-gelatinizados podem ser usados para obter espessamento ou retenção de água sem emprego do calor, por exemplo, em pudins, misturas lácteas instantâneas e alimentos para desjejum; para preparar misturas prontas panificáveis, onde o aumento da absorção e retenção de água melhora a qualidade do produto explicando por que quanto mais gelatinizado estiver o amido, maior será a viscosidade a frio da pasta de amido.

Henrique *et al.*, (2008) relataram que essas propriedades de pasta têm sido medidas principalmente pelas mudanças de viscosidade durante o aquecimento e resfriamento de dispersões de amido usando equipamentos como viscoamilógrafo Brabender e mais recentemente o *Rapid Visco Analyser* (RVA). Este último é uma ferramenta útil porque a medição pode ser realizada durante um tempo de ensaio de curta duração e apenas uma pequena quantidade de amostra é necessária (LAI, 2000). Os gráficos gerados durante as leituras no RVA traduzem as alterações na viscosidade ao longo do tempo e de uma faixa de temperatura, o que reflete o peso e conformação de amidos, que por sua vez são afetadas por fontes de cereais, condições de processamento e formulações (LAI, 2000; (ASCHERI *et al.*, 1995; CLERICI EL DASH, 2008).

Soluções de alta concentração resfriadas rapidamente tendem a formar gel, enquanto que soluções mais diluídas precipitam, uma vez que a amilose dispersa na fase aquosa apresenta tendência à formação de ligações intermoleculares (BOBBIO e BOBBIO, 2003). Essa fase é descrita como região de tendência à retrogradação e está relacionada com reorganização das moléculas de amido (ONWULATA *et al.* 2001).

O que ocorre é que com o passar do tempo as moléculas de amido vão perdendo energia (calor) e os enlaces de hidrogênio tornam-se mais fortes, assim, as cadeias começam a reassociar-se num estado mais ordenado, o que culmina com a formação de simples e dupla hélice resultando no enredamento ou formação de zonas de junção entre moléculas, o resultado disso é a formação de áreas cristalinas que alteram o índice de refração, tornando o gel mais opaco a medida que a retrogradação se processa.

A amilose exudada dos grânulos inchados forma uma rede, por associação, aumentando a viscosidade da pasta (viscosidade de setback), convertendo-se num sistema viscoelástico turvo, e às vezes pode ocorrer precipitação de cristais insolúveis de amido, levando a separação de fases. Outro fenômeno que pode ocorrer devido à retrogradação do amido é a sinerese, que se trata da expulsão da água do sistema causada pela forte interação das cadeias de amido entre si (DENARDIN, 2008).

#### *1.3.4 Características Morfológicas do Amido*

Substâncias sólidas e até mesmo líquidas podem estar estruturadas, espacialmente organizadas, a esta regularidade estrutural denominamos cristais. Alteração, ruptura ou fragmentação nesta regularidade implicam em mudanças em propriedades físicas e físico-químicas dos materiais (CAI e WEI, 2012; HASJIM *et al.*, 2012).

Neste sentido, além das propriedades de hidratação e de pasta, mudanças em características físicas e morfológicas do amido também refletem transição irreversível denominada gelatinização, que pode ser caracterizada por uma endoterma obtida através de calorimetria diferencial de varredura (DSC), pela perda da birrefringência, observada por microscopia de luz polarizada (perda da cruz de malta), pelo desaparecimento da cristalinidade evidenciada pela difração de raio X e pela investigação detalhada da morfologia da estrutura

interna do amido por meio de técnicas microscópicas (ZAVAREZE *et al.*, 2009; CAI e WEI, 2012).

Lai, (2000), relatam em seu estudo que três fases de transição foram observadas nas amostras de arroz cru e a maioria do arroz tratado apresentou poliformismo na estrutura do amido.

## MATERIAL E MÉTODO

Os experimentos foram realizados na planta piloto e laboratório de reologia da Embrapa Agroindústria de Alimentos do Rio de Janeiro, entre os meses de maio a julho de 2014.

A quirera de arroz BRS Primavera foi adquirida no comércio local da cidade de Goiânia, com aproximadamente 12% de umidade em base seca. Inicialmente, ela foi moída em moinho de disco (Laboratory Mill 3600) e em seguida em um moinho granulador de facas e martelo (TREU) provido de peneira de 1mm, obtendo-se uma farinha de quirera de arroz com granulometria mais fina.

O delineamento utilizado para estabelecer o experimento foi o composto central rotacional (DCCR) que consiste em um grupo de procedimentos, estatísticos e matemáticos, que podem ser usados no estudo das inter-relações entre uma ou mais respostas (variáveis dependentes) com inúmeros fatores (variáveis independentes). É uma técnica estatística baseada no emprego de planejamentos fatoriais.

A Tabela 1 traz diferentes níveis de umidade empregados para o condicionamento da farinha crua, conforme delineamento experimental estabelecido.

TABELA 1. Variáveis reais e seus níveis codificados a serem estudados no processo de extrusão termoplástica da quirera de arroz.

Tratamento	Variáveis codificadas		Variáveis reais	
	$x_1$	$x_2$	Umidade (%)	Temperatura (°C)
T1	-1	-1	14,2	120,3
T2	1	-1	19,8	120,3
T3	-1	1	14,2	169,8
T4	1	1	19,8	169,8
T5	0	0	17,0	145,0
T6	0	0	17,0	145,0
T7	0	0	17,0	145,0

$x_1$ = Umidade,  $x_2$ = Temperatura

A porcentagem de umidade adicionada a farinha crua foi obtida de acordo com a Equação 1 :

$$Y = (U_f - U_i) \times P_a / 100 \quad (1)$$

em que: Y = Quantidade de água a ser adicionada; U<sub>f</sub> = Umidade a ser obtida; U<sub>i</sub> = Umidade inicial da amostra; P<sub>a</sub> = Peso da amostra.

Para o condicionamento das amostras foram pesados 500 g de farinha para cada tratamento e então adicionado a quantidade de água destilada anteriormente calculada. Após condicionadas, as amostras foram homogeneizadas manualmente colocadas em sacos plástico e armazenadas sob refrigeração *overnight*, o que permitiu obter distribuição e absorção mais uniforme da água. Após esse período a farinha crua foi submetida ao processo de extrusão.

A extrusão foi feita em extrusora Brabender (20 DN), com parafuso único, taxa de compressão de 1:3, matriz circular de 3 mm e uma taxa de alimentação de 2,5 kg h<sup>-1</sup>, rotação do parafuso 200 rpm. As temperaturas de aquecimento mantidas fixas foram de 45 °C e na 1<sup>a</sup> zona e de 110 °C na 2<sup>a</sup> zona da extrusora. A temperatura (T) da terceira zona de aquecimento e a umidade (U) da extrusora variaram de 120,3-169,8 °C e 14,2 -19,8%, respectivamente, ao acaso, conforme Tabela 1, em esquema fatorial 2<sup>2</sup> com ponto central, com três repetições.

A extrusão das amostras foi iniciada após as zonas de alimentação, transição e alta pressão, atingirem as temperaturas desejadas de acordo com o delineamento. Foram identificadas bacias para coleta de extrusados, o produto foi coletado três minutos após o início do processamento, quando as zonas encontraram-se em equilíbrio de temperatura e o material homogêneo.

O material extrudado foi desidratado em estufa com circulação de ar à temperatura de 60 °C, por 4 h. Em seguida, as amostras foram moídas de mesmo modo que a quireira de arroz para obtenção das farinhas cruas obtendo-se as farinhas pré-gelatinizadas (FPQA). Após moagem, as FPQA foram peneiras em agitador de peneiras RO-TAP modelo RX-29 -10, equipado com um conjunto de 7 peneiras arredondadas e vibratórias, com malhas de 850 a 750 μm, para obtenção de farinha com granulometria específica entre 106 e 202 μm, o produto remanescente dessa operação foi acondicionado e armazenado em temperatura ambiente.

A determinação do ISA (Índice de Solubilidade em Água) e IAA (Índice de Absorção em Água) foi realizada conforme metodologia descrito por Anderson *et al*, (1969). As análises

foram realizadas em triplicata, com o objetivo de avaliar a capacidade de absorção e a solubilidade do material extrusado.

Para esta análise foram pesados cerca de 1 g de amostra em base seca, de cada tratamento (granulometria 106 mm e 202 mm), em tubos de centrífuga previamente tarados. Foram adicionados 5 mL de água destilada (pipeta volumétrica) ao tubo, que foi agitado em agitador mecânico tipo vortex que permite a homogeneização completa das amostras por 10 segundos em seguida foram adicionados mais 5 mL e o tubo agitado novamente pelo mesmo período de tempo. Logo após, os tubos foram colocados em banho – maria com agitação por 15 minutos e em seguida levado para centrífuga (marca Herme modelo Z 383) durante 20 minutos.

Após a centrifugação das amostras, os líquidos sobrenadantes foram transferidos para pesa-filtros previamente identificados previamente tarados e identificados.

O cálculo do Índice de solubilidade em água (ISA) foi realizado de acordo com equação 2:

$$\text{ISA} = \frac{\text{Peso do resíduo evaporado}}{\text{Peso da amostra}} \quad (2)$$

A farinha remanescente nos tubos de ensaio após a retirada do sobrenadante foi pesada para obtenção do índice de absorção, que foi calculado de acordo com equação (3) adaptada por Hashimoto e Grossman (2003):

$$\text{IAA} = \frac{\text{Peso do resíduo centrifugado (g)}}{\text{Peso da amostra}} \quad (3)$$

A viscosidade de pasta foi determinada em RVA (Rapid Visco Analyzer 4, Newport Scientific PTY LTD, Sydney, Austrália), e analisadas as viscosidades inicial (V<sub>inic</sub>), máxima (V<sub>max</sub>) e final (V<sub>fin</sub>).

O tamanho das partículas refletem nas propriedades de pastas de farinhas, alguns autores recomendam granulometria específica entre 106 mm e 202 mm. Para a análise no RVA recomenda-se que as partículas das amostras utilizadas estejam dentro desse intervalo.

A umidade das farinhas extrusadas foram corrigidas para 14%. Para tanto, determinou-se a umidade de cada amostra em aparelho infravermelho, e com os resultados obtidos calculou-se a

quantidade exata de amostra e de água que deveria ser adicionada. As equações (4) e (5) foram usadas para o cálculo da quantidade de amostra e de água, respectivamente.

$$M2 = (100 - 14) * M1 / (100 - U_i) \text{ onde,} \quad (4)$$

M2 = Valor corrigido da massa a ser pesado (g);

M1 = Valor da massa a ser pesado sem a correção de umidade (3g);

U<sub>i</sub> = Umidade inicial de cada amostra (g).

$$W = 25,0 + (M1 - M2) \text{ onde,} \quad (5)$$

W = Quantidade de água a ser adicionada (g);

M2 = Valor corrigido da massa a ser pesado (g);

M1 = Valor da massa a ser pesado sem a correção de umidade (3g);

O perfil da análise foi “extrusion 1 no-alcohol” caracterizada da seguinte maneira: inicialmente o sistema se manteve a 25°C durante 2 minutos, logo em seguida iniciou-se a corrida ao longo de uma faixa de temperatura, até atingir a temperatura máxima de 95°C aos sete minutos onde permaneceu por 3 minutos. Após teve início o resfriamento até a temperatura de 25° C novamente, num total de 20 minutos de análise. Os resultados obtidos gráficos específicos denominados amilogramas, que descrevem as curvas de viscosidade no RVA,

Para interpretação dos amilogramas, foram utilizados os seguintes parâmetros:

a) Temperatura da Viscosidade máxima: é a temperatura em °C , calculada em base do tempo de funcionamento do viscoamilógrafo, corresponde ao ponto mais alto da curva do amilograma durante o ciclo de aquecimento;

b) Viscosidade inicial ou viscosidade a frio: é o valor da viscosidade em cP (centipoise), na temperatura de 25°C;

c) Viscosidade máxima: é o valor de viscosidade no ponto máximo da curva, obtido durante o ciclo de aquecimento, também expresso em cP;

d) Viscosidade final no ciclo de resfriamento (25°C): é o valor da viscosidade em cP, ao final da análise (a 25 °C).

As estruturas microscópica das farinhas pre gelatinizadas de arroz (FPGA) dos melhores tratamentos foram observadas por meio de microscópio eletrônico de varredura M 3000 (Hitachi, Tokio, Japao).

Os resultados foram analisados por meio de Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) (BOX, HUNTER & HUNTER, 1978). Através de análise de variância a nível de 5% de probabilidade foi analisada a adequação de uma equação de segunda ordem para estabelecer um modelo matemático polinomial preditivo (KHURI e CORNELL, 1987) (equação 6) para as respostas dos índices de solubilidade e de absorção de água e viscosidade de pasta obtidas das farinhas pré gelatinizadas em função dos parâmetros de extrusão.

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x + b_4x^2 + b_5x^3 + \epsilon \quad (6)$$

em que: y- função resposta genérica; x- variável estudada, b- coeficientes estimados pelos métodos dos mínimos quadrados, sendo sua significância avaliada pelo valor da probabilidade (valor-p), adotando-se valor de  $p \leq 0,05$  para todos os ensaios,  $\epsilon$ - erro experimental.

A adequação do modelo matemático polinomial foi avaliada comparando-se a proporção da variação explicada, isto é, pela análise do coeficiente de determinação ajustado. Foi utilizado o software Statística 8.0 para realização dos cálculos estatísticos.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Índice de absorção e Índice de solubilidade

Os resultados dos índices de solubilidade em água e de absorção de água, viscosidades inicial, máxima e final estão na Tabela 2.

TABELA 2 - Variação dos valores de índices de solubilidade em água (ISA), absorção de água (IAA) e viscosidades inicial de pasta (V<sub>inic</sub>), máxima (V<sub>max</sub>) e final (V<sub>fin</sub>) e temperatura de gelatinização (T<sub>g</sub>) das farinhas pré-gelatinizadas de quirera de arroz obtidas por extrusão em função do teor de água da na formulação (U) e da temperatura (T) da terceira zona de aquecimento da extrusora.

U (%)	T (°C)	ISA (%)	IAA (g/g)	V <sub>inic</sub> (cP)	V <sub>max</sub> (cP)	V <sub>fin</sub> (cP)	T <sub>g</sub> (°C)
14,2	120,3	13,9 ± 0,2	7,8 ± 0,3	947 ± 10,0	348 ± 10,0	659 ± 19,0	57,5 ± 2,8
19,8	120,3	12,1 ± 0,2	7,3 ± 1,1	780 ± 12,0	519 ± 14,0	1245 ± 20,0	50,1 ± 3,6
14,2	169,8	7,3 ± 0,3	7,4 ± 3,4	892 ± 7,0	549 ± 14,0	1156 ± 8,0	54,3 ± 5,2
19,8	169,8	8,8 ± 0,4	6,2 ± 0,2	497 ± 11,0	541 ± 9,0	1309 ± 17,0	47,4 ± 3,1
17,0	145,0	10,9 ± 0,1	7,6 ± 0,3	288 ± 4,0	906 ± 7,6	1825 ± 7,6	49,0 ± 4,5

Na Tabela 3 se encontram os coeficientes do modelo matemático e respectivos coeficientes de determinação ajustados. De acordo com o modelo proposto se ajustou bem aos dados experimentais o que podendo ser utilizados para prever as respostas estudadas em função dos parâmetros de extrusão aplicados

TABELA 3 - Estimativa dos coeficientes do modelo polinomial aplicado às respostas índices de solubilidade em água (ISA), absorção de água (IAA) e viscosidades inicial de pasta (V<sub>inic</sub>), máxima (V<sub>max</sub>) e final (V<sub>fin</sub>) e temperatura de gelatinização (T<sub>g</sub>) das farinhas pré-gelatinizadas de quirera de arroz obtidas por extrusão em função do teor de água da formulação (U) e da temperatura (T) da terceira zona de aquecimento da extrusora.

Variáveis	ISA (%)	IAA (g/g)	V <sub>inic</sub> (cP)	V <sub>max</sub> (cP)	V <sub>fin</sub> (cP)	T <sub>g</sub> (°C)
Intercepto	41,42	-9,65	17785,28	-16626,8	-30991,4	204,08
U	-0,07	2,07	-2069,62	1916,0	3471,5	-15,68
U <sup>2</sup>	-0,05	-0,05	62,90	-53,2	-93,5	0,42
T	-0,31	0,03	10,57	13,2	32,2	-0,09
U T	0,01	-0,01	-0,82	-0,6	-1,6	0,01
	0,873	0,848	0,999	0,999	0,999	0,987

O ISA está relacionado à quantidade de sólidos solúveis em uma amostra seca, permitindo verificar efeito enérgico dos tratamentos, em função da degradação, gelatinização, dextrinização e consequente solubilização do amido.

Este índice pode ser utilizado para medir o grau de solubilização do amido extrusado em bebidas, sopas farinhas para fins de solubilização em meio aquoso.

O valor deste parâmetro diminui com o aumento da temperatura e apresenta ligeiro incremento com o teor de água em altas temperaturas. O maior valor de ISA de 13,9% foi obtido em 14,2 % de água e 120,3 °C. Sob a mesma temperatura, porém com o teor de umidade consideravelmente maior a solubilidade sofreu ligeira redução, apresentando valor de 19,8 %. O menor ISA foi de 7,3 % obtido com a menor temperatura 169,8°C e umidade de 14,2%.

Observou-se que para os mesmos valores de umidade ou aproximados, a solubilidade diminuía com o aumento da temperatura. De modo geral, sob altas temperaturas o ISA apresentou valores menores, sendo que nestas circunstâncias o aumento no percentual de umidade implicou também em um ligeiro aumento da solubilidade. Já sob temperaturas mais brandas a diminuição no teor de água resultou no acréscimo da solubilidade.

De acordo com os resultados, para os parâmetros estudados no processo de extrusão, a temperatura de 120° C foi a que mais contribuiu para o aumento da solubilidade, uma vez que extrusados obtidos sob temperaturas maiores e menores apresentaram valores de ISA menores.

Verificou-se que para o índice de solubilidade as variações devido à regressão foram significativas estatisticamente ao nível de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ), entretanto observou-se que as mudanças sofridas pela variável resposta ISA foram maiores em função da variação dos níveis de temperatura, o efeito da umidade sobre a solubilidade das FPGAs foi notado de maneira mais nítida quando as temperaturas eram iguais ou similares.

Sobre a repercussão das variáveis independentes sobre as dependentes Augusto-Ruiz *et al.*, 2003 diz que o efeito principal de uma variável sobre a resposta de interesse é a mudança que sofre a resposta quando se muda o nível da variável de seu menor para o seu maior valor.

O efeito da interação entre variáveis é estimado pela mudança na resposta em função da mudança dos níveis da primeira variável, do seu menor para o seu maior valor, em cada um dos dois outros níveis da segunda variável.

Clerice e El-ash, (2008), realizaram estudo com extrusado de farinha de arroz pura e constataram que os menores teores de umidade e as mais altas temperaturas foram as variáveis que mais influenciaram no valor de ISA, esses autores concluíram que uma maior degradação dos grânulos de amido contribuiu para o aumento do ISA. Os resultados obtidos por este estudo foram relativamente divergentes daqueles obtidos por Clerice e El-Dash (2008), já que as maiores solubilidades, segundo estes autores, foram alcançadas sob temperaturas mais elevadas.

Porém, o referido estudo avaliou também o efeito da variável rotação da rosca (rpm) sobre a resposta solubilidade e verificou que os valores determinados para a variável ISA mostram que o maior e o menor valor médio foram obtidos a uma temperatura de 160 °C, com 18% de umidade, 126 e 194 rpm da rosca extrusora, com 12,76 e 7,24% de solubilidade da farinha em água. Os resultados do ISA não apresentaram variação significativa pela MSR, logo o valor médio do ISA foi de 14,22%, na região analisada.

Tais resultados levam ao entendimento que o nível de degradação do grânulo de amido deve ser o foco para o entendimento de como a solubilidade do amido pode oscilar em função das alterações provocadas pelas variáveis independentes.

Possivelmente, um nível ou padrão de degradação específico do amido pode resultar em um maior valor de solubilidade, esse padrão não implica necessariamente que o grânulo deve estar altamente danificado ou que se deve trabalhar com altas temperaturas e rotação da rosca,

deve-se entender e avaliar primeiramente a conjugação dos parâmetros do processo e como esses refletem sobre a resposta estudada.

Via de regra, estudos que avaliaram o índice de solubilidade de FPG (farinhas pré gelatinizadas) relacionam o aumento desse índice à altas temperaturas e a um maior grau de destruição do grânulo porque quanto maior a degradação, maior a dextrinização das moléculas de amido, ou seja, formação em moléculas menores (dextrinas), que são mais solúveis em água e, conseqüentemente, maior o ISA (LIMA *et al*, 2012; SULAMAIN e DOLAN, 2012; BOTELHO *et al*, 2010, MÓDENES *et al* 2009; ZAVAREZE, 2009; SILVA *et al* 2008; KANG *et al*, 2003).

Contudo Diniz *et al.*, (2008) explica que a força de cisalhamento aplicada ao material no momento da extrusão, aliada à altas temperaturas, podem causar o rompimento da estrutura amilácea mesmo antes que se complete todo o ciclo da gelatinização o que, por sua vez, reflete de maneira diferenciada nos índices de solubilidade e absorção dos amidos extrusados.

Por isso, se tratando de extrusão, deve-se considerar e controlar todos os parâmetros envolvidos nesse processo, já que o reflexo desses na estrutura do amido podem implicar no desenvolvimento da gelatinização de forma diferenciada se comparado com o método convencional de cocção.

Já o IAA (índice de absorção em água) está relacionado com a disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) em se ligar às moléculas de água e à capacidade de formação de gel das moléculas de amido. A capacidade de absorção do sistema é radicalmente elevada a medida que a temperatura do sistema aumenta até alcançar a temperatura de gelatinização do amido em questão, a partir da qual haverá uma quebra na estrutura amilácea fazendo com que este índice diminua (GUHA, BHATTACHARYA, 1998).

O amido cru é capaz de absorver apenas, aproximadamente, 30% do seu volume em água, sendo que essa capacidade vai sendo aumentada gradativamente à medida que se aplica calor ao material em meio úmido.

A temperatura e a taxa de cisalhamento são fatores que podem afetar o índice de absorção, pois podem provocar rompimento na estrutura amilácea, diminuindo assim os valores de IAA.

De acordo com as condições do presente estudo, os resultados mostraram que o IAA das farinhas extrudadas alcançaram maior resposta de 7,8 g g<sup>-1</sup> nas condições intermediárias do processo de extrusão à temperatura de 120,3 °C e umidade de 14,2%. Os maiores IAA seguintes

foram obtidas à temperaturas mais brandas, sendo que os menores valores de absorção foram verificados à temperaturas mais elevadas.

Apesar dessa tendência ocorreu que os dois menores IAA foram obtidos sob condições dos extremos opostos de temperaturas. Como dito já a capacidade de absorção de água do grânulo de amido esta relacionada à sua integridade. Se a estrutura cristalina permanece intacta ou pouco danificada, haverá pouco sítios hidrofílicos capazes de absorver moléculas de água e portanto baixa absorção, por outro lado, se o dano sofrido pelo amido for extremo a ponto de ocasionar o rompimento do grânulo a capacidade e absorção também será comprometida, apresentando baixos IAA (LIMA *et al.*, 2012).

Desse modo, as farinhas cruas ou ainda em estágio inicial de gelatinização adsorveram menos água que as farinhas pré-gelatinizadas. Essas, por sua vez, adsorveram quantidade mais elevada de água quanto maior foi o tempo de cocção do arroz, indicando que nessas farinhas a adsorção ocorreu nas regiões amorfa e cristalina devido ao desarranjo molecular causado pela cocção do arroz que expõe maior quantidade de sítios de adsorção (LIMA *et al.*, 2012; MÓDENES *et al.*, 2009).

Altas temperaturas tendem a provocar maior desarranjo na estrutura do grânulo de amido, tornando-a uma variável de efeito mais pronunciado sobre a absorção (nesse caso reposta), porém a umidade pode mitigar os efeitos dessa variável (temperatura) e também do atrito do parafuso e da parede interna do tubo extrusor sobre as moléculas de amido do arroz reduzindo assim os níveis de degradação e gelatinização sofridos pelo amido, uma vez que água funciona como lubrificante no meio (HEGENIMANA *et al.*, 2006).

Respostas como o IAA vão variar dependendo da forma de interação dos parâmetros do processo. Assim, através da análise do IAA pode-se determinar o grau de severidade ao qual o amido foi submetido pelas variáveis empregadas no processo de extrusão.

Clerici e El Dash, 2008, encontraram que um aumento da umidade aumenta o IAA, mas o aumento da temperatura diminui o IAA, durante a produção de snacks de arroz, num extrusor dupla rosca Mercier & Feillet (1975) verificaram, em vários amidos extrusados, que o IAA aumentou com a temperatura até um máximo, que ocorreu por volta de 180-200°C e diminuiu a seguir.

Hegenimana *et al.*, (2006) em estudo de extrusão de farinha de arroz relatou que para umidades de 16 % e altas temperaturas (160°C) houve um decréscimo no índice de absorção.

Esse autor também relatou que de modo geral, um aumento no IAA ocorre em paralelo com a elevação da temperatura de extrusão, esse aumento na capacidade de absorção de água do amido ocorre até um pico a uma dada temperatura depois da qual se observa um decréscimo do IAA, provavelmente devido ao incremento da dextrinização do amido.

Os resultados do presente estudo confrontados com resultados obtidos de pesquisas similares permitem deduzir que a temperatura em que se dá o pico de absorção do amido varia e pode ser controlada por outros fatores como umidade e cisalhamento da rosca extrusora.

A partir do que foi exposto, compreende-se que tanto o IAA e o ISA variam de acordo com o grau de gelatinização e dextrinização sofridos pelo amido durante o processo por extrusão, porém por motivos específicos distintos. Assim quanto maior a gelatinização, maior o número de hidroxilas disponíveis para formar ligações de hidrogênio com a água e, como consequência, maior o IAA. Já quanto maior a dextrinização, maior a degradação das moléculas de amido em moléculas menores (dextrinas), que são mais solúveis em água e, conseqüentemente, maior o ISA.

Os gráficos representados na figura 3 trazem os gráficos de superfície de resposta que mostram a variação dos índices de solubilidade e absorção em função da umidade de temperatura.

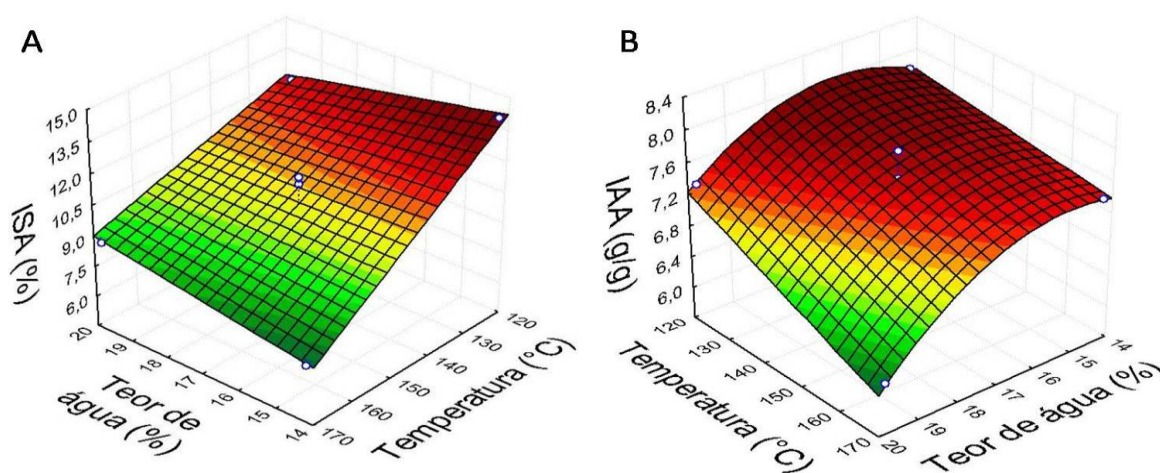


FIGURA 3 - Efeito das variáveis do processo de extrusão umidade e temperatura da terceira zona de aquecimento da extrusora nos índices de solubilidade em água (A) e absorção de água de farinhas pre-gelatinizadas de quirera de arroz (B).

Os gráficos reproduzem o que foi discutido mostrando que o IAA das farinhas extrudadas alcança a maior resposta nas condições mais reduzidas de temperatura e umidade (120,3 °C e 14,2%), já a menor resposta para esta variável foi obtidas nas maiores valores de temperatura e umidade, mostrando uma correlação negativa entre o IAA e as variáveis independentes estudadas.

O ISA apresenta maiores valores à temperatura de 120°C e menores teores de umidade, sendo que os valores mais baixos dessa variável resposta foram obtidos em altas temperaturas.

### 3.2 Temperatura de Gelatinização

A análise dos dados mostrou ter ocorrido diferença significativa para a temperatura de gelatinização. Estes resultados evidenciam a interferência das quantidades de umidade e temperatura do processo de extrusão (Tabela 2). As farinhas pré gelatinizadas utilizando as variáveis de umidade e temperatura de 14,2% e 120,3 °C; 19,8% e 120,3 °C e 14,2% e 169,8 °C apresentaram valores de Tg de 57,5; 50,1 e 54,3 °C, sendo próximos ao encontrado por Chakraborty e Banerjee, (2009); Ortiz *et al.*, (2010); Choudhury *et al.*, (2011) para farinha de arroz extrudada nas condições do processo de extrusão de 11% de umidade a uma temperatura de 150 °C.

Amidos que consistem em grande parte de amilopectina com elevadas proporções de cadeias ramificadas podem apresentar temperatura de gelatinização elevada (FRANCO *et al.*, 2001). Isso pode explicar o comportamento das farinhas deste estudo, que apresentaram temperaturas de pasta menores que as temperaturas de 95°C e 82,2°C, relatadas por Ragaee & Abdel-aal (2006) e Leon *et al.* (2010),

O efeito do processo de extrusão na variação de Tg também pode ser notado na figura 4. Um modelo matemático polinomial de segundo grau foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais com  $R^2 = 0,987$ , indicando que o erro experimental foi menor que 2%, o que permite dizer que o modelo é adequado para prever os dados experimentais.

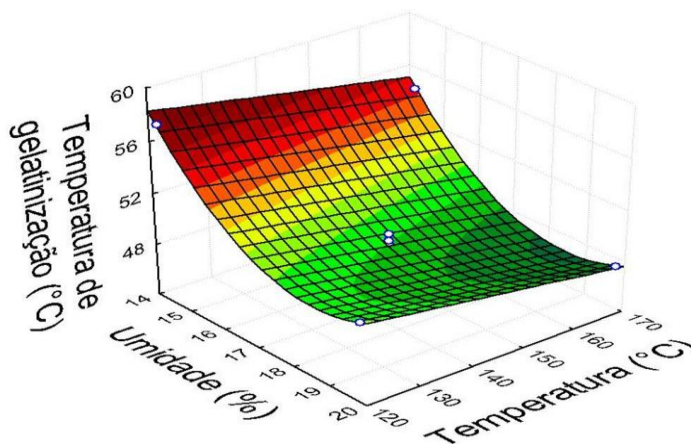


FIGURA 4 - Efeito das variáveis do processo de extrusão umidade da formulação e temperatura da terceira zona de aquecimento da extrusora na temperatura de gelatinização das farinhas pré-gelatinizadas de quirera de arroz.

A temperatura de pasta ou temperatura de gelatinização indica a temperatura na qual a viscosidade começa a aumentar durante o período de aquecimento (ONWULATA *et al.*, 2001).

A temperatura de gelatinização diminui com o aumento da quantidade de umidade contida na farinha de quirera de arroz crua de aproximadamente 58 a 48 °C, entretanto, pouca variação se observa nos valores de Tg em função da temperatura, maior Tg se observa aproximadamente em 120 °C. Isto indica que a temperatura de gelatinização de farinha de quirera de arroz pré gelatinizada por extrusão termoplástica se vê influenciada pela quantidade de água inicial da farinha de quirera de arroz.

As temperaturas de gelatinização das FPGAs foram similares as Tg encontradas para farinha mescladas de trigo integral e refinada segundo estudo realizado por Oro *et al.*, 2013 os valores encontrados foram de 50,2°C e 53,87°C, esse resultado sugere que as farinhas de trigo e as farinhas pré gelatinizadas de arroz são semelhantes quanto às características de gelatinização, um indicativo prévio de que as FAPG poderiam ser usadas como sucedâneas das farinhas de trigo.

Outros trabalhos dessa natureza avaliaram diferentes temperaturas de gelatinização do amido cru no arroz em grão. Bakshi e Singh (1980), observaram para o arroz integral e para o arroz em casca, a temperatura de gelatinização de 85 °C; Igathithane, Chattopadhyay e Pordesimo (2005) verificaram para arroz em casca, variedade Pankaj, a temperatura de gelatinização de 72 °C, e Bello, Tolaba e Suarez (2006) observaram uma temperatura de gelatinização para o arroz integral de 60 °C, tais resultados sugerem que o amido intacto ainda



em sua forma ativa apresenta temperatura de gelatinização maior que a de amidos gelatinizados já que será necessário um gasto energético maior para iniciar o rompimento de estruturas cristalinas ainda completamente intactas.

No presente estudo, observou-se que a maior Tg coincide com maiores valores de IAA e ISA, assim deduz-se que as condições de processamento que culminam em maiores capacidade de absorção e solubilidade resultam num incremento da temperatura de gelatinização, o que por sua vez implicaria num maior gasto energético para o início de formação de pasta na suspensão.

### 3.3 Propriedades de pasta

A viscosidade é uma das propriedades mais importantes de misturas instantâneas. A curva de viscosidade representa o comportamento durante o aquecimento e permite avaliar as características da pasta formada, devido às modificações estruturais das moléculas de amido, e de outros componentes (ORO *et al.*, 2013; MÓDENES *et al.*, 2009).

A viscosidade de pasta é reflexo do estado de integridade dos grânulos, visto que a viscosidade pode variar em função de diferentes graus de gelatinização e de despolimerização e do desarranjo molecular resultante das condições de processamento térmico.

A V<sub>in</sub> indica a capacidade das farinhas de absorver água em temperatura ambiente e formar pasta, gel ou líquido viscoso como resultado da gelatinização do amido durante o processo de extrusão (FERNANDES *et al.*, 2002). A viscosidade máxima, ou viscosidade a quente, indica as possibilidades de utilização da farinha extrusada, e se trata do maior valor de viscosidade da pasta à 95°C. Torna-se importante quando, por exemplo, a farinha for destinada ao preparo de sopas, tortas ou outros alimentos em que é necessário conservar a viscosidade em temperaturas acima da ambiente (TORRES *et al.*, 2005). A viscosidade final, obtida após o resfriamento da pasta a uma temperatura de 50°C, permite avaliar o comportamento da pasta após o seu resfriamento (MENEGASSI *et al.*, 2007); isto é, durante o ciclo de resfriamento, as pastas de amido normalmente tendem à retrogradação implicando no aumento da viscosidade de pasta, que vai depender modificações que ocorreram nas estruturas do grânulo e das moléculas (CLERICI e EL-DASH, 2008; ASCHERI e CARVALHO, 2006).

Esses gráficos fornecem informações sobre a trajetória da viscosidade submetida a variação de temperatura e nos permite avaliar a performance das pastas em diferentes condições

de temperatura. As curvas geradas nos gráficos de viscosidades mostram picos e vales de viscosidade à temperatura de 95°C bem como a viscosidade no início do processo e ao final (PUNCHA-ARNO E DUDSADEE UTTAPAP, 2012). Contudo o perfil dessas curvas pode variar em função das condições de processamento (SILVA *et al*, 2008). Essas características determinam as propriedades funcionais das matérias-primas amiláceas e suas diversas aplicações industriais.

Por exemplo, alguns autores sugerem que farinhas de arroz extrusadas a baixas temperaturas demonstram maiores valores e viscosidade a 95°C e viscosidade final o que amostras extrusadas a temperaturas elevadas. Autores também observaram que a variável umidade foi altamente significativa quanto ao coeficiente linear ( $p > 0,01$ ), pois elevados valores de umidade implicaram em um aumento de viscosidade, porém em baixas umidades ocorreu um decréscimo da viscosidade. Assim a variável resposta pode ser afetada de forma diversificada pelos efeitos quadráticos e lineares dos parâmetros envolvidos (SILVA *et al*, 2008, HEGENIMANA *et al.*, 2006; CARVALHO *et al.*, 2002).

### 3.3.1 Viscosidade inicial a 25°C

A viscosidade da suspensão a temperatura de 25° C é tida como a frio. A análise dessa propriedade é importante principalmente porque está relacionada ao uso em produtos instantâneos, uma vez que estes são de preparo rápido e à temperatura ambiente, assim indica a capacidade das farinhas em absorver água e formar gel ou líquido viscoso sob estas condições (CARVALHO *et al.*, 2002).

A análise de variância para Vinic encontra-se na tabela 3e são significativas para as regressões quadráticas ( $p < 0,05$ ), mostrando que as variáveis independentes temperatura e umidade contribuíram para esta variável resposta.

Clarici e El Dash, 2008 encontraram que viscosidade inicial (Vinic) de amostras de farinhas de arroz extrusadas apresentou maiores valores quando as farinhas foram processadas em maiores temperaturas. Esse fato pode ser explicado, segundo os mesmos autores, por que quanto mais gelatinizado estiver o amido, maior será a viscosidade a frio da pasta de amido, por outro lado, quando ocorrer também a dextrinização, a viscosidade irá diminuir, porque a

capacidade de retenção de água tem uma relação inversa com o tamanho das moléculas de amilose e amilopectina.

Wang *et al.* (2002), também encontraram resposta similar avaliando as propriedades de pasta e absorção de água das farinhas de trigo e soja (90:10), pré-cozidas por extrusão em diferentes umidades e temperaturas de barril, observaram que a viscosidade a frio, a 25 °C, das farinhas de trigo e soja (90:10) pré-cozidas, aumentaram com o aumento da temperatura de extrusão.

Silva e Ascheri (2009), observaram que o maior valor de viscosidade inicial a 25 °C foi encontrado em amostras processadas com 16% de umidade, temperaturas de 140 e 180 °C e velocidade da rosca extrusora de 140 rpm.

Neste estudo a viscosidade inicial das farinhas de arroz pré gelatinizadas alcançou maior resposta à temperatura de 120 °C e umidade de 14%. Estes parâmetros podem ter gerado um maior grau de gelatinização dos grânulos de amido, o que segundo alguns autores é teor responsável por valores de viscosidade iniciais elevados (CARVALHO *et al.*, 2002)

De modo geral, alguns estudos apontam que menores valores de Vinic são obtidos em condições mais brandas e, que valores elevados de Vinic podem ser explicados pelo aumento da temperatura e umidade relativamente alta o que favorece a maior proporção de amidos gelatinizados (ONWULATA *et al.*, 2001; LUSTOSA e LEONEL, 2010; CARVALHO *et al.*, 2002)

Maiores valores de temperatura associados a elevadas umidades permitem sua gelatinização sem danificar sobremaneira o grânulo, já que a água exerce ação lubrificante impedindo a alta degradação do amido. Altas viscosidades são típicas de um produto gelatinizado, enquanto que baixas viscosidades, com umidade menor, indicam quebra de polímeros (LIMA *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2008).

No presente estudo, o valor máximo de Vinic se deu com percentuais de umidade mais reduzidos, contudo em temperaturas mais branda, assim combinação inversa desses dois parâmetros também pode ter induzido também uma maior grau de gelatinização.

### 3.3.2 Viscosidade Máxima

A viscosidade máxima ( $V_{max}$ ) é um índice que se torna importante quando a farinha será destinada ao preparo de sopas, tortas e outros alimentos cuja viscosidade deve ser conservada em temperatura acima da ambiente.  $V_{max}$  corresponde ao maior valor da viscosidade a 95°C.

Verificou-se que as variações da resposta viscosidade máxima foram significativas. O coeficiente de variação expressou um valor de 0,999, indicando que 99% da variação total da variável resposta está em torno da média e menos de 1% atribuídos aos resíduos.

$V_{max}$  teve seu valor máximos em 17% de umidade em todas as temperaturas aplicadas, alcançando viscosidades aproximados de 1000 e 2000 cP, respectivamente.

Segundo Clarici e El-dash, (2008), a viscosidade a quente ( $V_{95}$ ) está diretamente relacionada com o nível de degradação sofrido pelo grânulo de amido. Quando a estrutura do grânulo é destruída, ele perde sua capacidade de inchar quando aquecido em água e, conseqüentemente, apresenta baixa viscosidade. Resultados encontrados por esses autores indicam que a  $V_{95}$  de farinhas de arroz extrusadas apresentou tendência para os maiores valores quando temperatura e umidade estavam em valores extremos opostos.

Lustosa e Leonel, (2010), avaliando as condições operacionais na extrusão de misturas de farinhas de arroz, trigo e milho, com a temperatura variando de 160 a 190 °C e a rotação mantida em 200 rpm, observaram que a diminuição da umidade de 29 para 15% resultou em redução significativa do pico de viscosidade das amostras. No caso de tratamentos de extrusão não tão severos, determinada porcentagem de grânulos de amido pode conservar parte da estrutura amilácea, apresentando um pico no perfil amilográfico, que significa amido não gelatinizado ou parcialmente gelatinizado.

Silva e Ascheri, (2009) também trabalhando com farinha de arroz extrusada encontraram que a viscosidade máxima, foi obtida a uma temperatura de 180 °C, 16%, de umidade e 180 rpm, alcançando um valor médio de 1208 unidades centipoise (cP). Entretanto, amostras de farinha extrusadas a temperatura de 140 °C, velocidade do parafuso de 180 rpm e mantendo a umidade de 16% resultaram no menor valor médio de viscosidade máxima, 855 unidades centipoise (cP). Esses autores constataram que existe uma tendência de os valores médios de viscosidade máxima manterem-se próximos quando as amostras são processadas com valores de umidade variando de 15% a 21%, temperatura de 126 a 194 °C.

Em estudo realizado por Carvalho *et al* (2002), a umidade exerceu grande influência na viscosidade de pasta. O maior valor de viscosidade máxima (654,5 cP) foi verificado no tratamento que apresentou menor temperatura de processamento (70°C), menor umidade (30%) e menor percentual de farinha de milho (20%). Ao contrário, o menor valor de viscosidade máxima (284,5cP) foi constatado no tratamento que apresentou maior temperatura de processamento (90°C), maior umidade (40%) e maior percentual de farinha de milho (40%). Assim, verificou-se relação inversamente proporcional entre as variáveis de extrusão e viscosidade máxima.

Avaliando o efeito das condições de extrusão sobre a viscosidade de farinha de mandioquinha-salsa, Menegassi *et al.* (2007), observaram que com o aumento da umidade na farinha ocorreu uma tendência à maiores picos de viscosidade após a extrusão, o que pode ser devido ao menor atrito promovido nestas condições.

Como já mencionado, a viscosidade máxima esta relacionada com o nível de degradação sofrido pelo grânulo de amido. Tratamentos menos severos estão normalmente relacionados à valores maiores de viscosidade máxima a 95°C, indicando que maior proporção dos grânulos não foram danificados, porém que a gelatinização se desenvolveu de forma satisfatória.

No presente estudo, o percentual de 17% de umidade aliado à temperatura de 145°C foram as condições de processamento que culminaram em maior Vmax, esse resultado indica que, provavelmente, sob estas condições de processamento a proporção de grânulos danificados em relação ao grau de gelatinização foi o mais satisfatório, quando o objetivo for a produção de farinhas com propriedades de viscosidade máxima elevada.

Por outro lado, o menor valor de viscosidade máxima foi obtido sob condições de baixa umidade, apesar das temperaturas usadas não serem tão severas.

Os resultados para essa variável resposta mostraram que a umidade teve grande influência na formação dos picos de viscosidade, principalmente quando associada à temperaturas intermediárias, condições de processo que possivelmente permitem a gelatinização satisfatória do grânulo porém sem danificá-lo de forma severa.

### 3.3.3 Viscosidade Final ( $V_{fin}$ )

A viscosidade final representa o valor da viscosidade após a amostra ser resfriada a 50°C e mantida nesta temperatura. Esta é, após o cozimento, uma medida da retrogradação do amido e é avaliada durante o ciclo de resfriamento. Em produtos extrusados, a viscosidade final vai depender das modificações que ocorreram nas estruturas do grânulo e das moléculas e das condições de resfriamento (CLERICI e EL DASH, 2008; DING *et al.* 2005)

A viscosidade final, associada à tendência à retrogradação, é calculada pela diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima à temperatura constante, representam uma medida da tendência do amido em retrogradar (ONWULATA *et al.* 2001).

A variação da resposta  $V_{fin}$  também foi significativa ao nível de 5 % e o coeficiente de determinação apresentou um valor elevado 0,999, similar ao valor encontrado para as variáveis  $V_{inc}$  e  $V_{max}$ , explicando que mais 99% da variação total está torno da média e menos de 1 % atribuídos aos resíduos.

De acordo com o estudo de Ragaee e Abdel-aal (2006), baixos valores de tendência à retrogradação indicam baixa razão de retrogradação do amido e sinerese.

Para a viscosidade final, Clerici e El-dash (2008) constataram que a  $V_{fin}$  a 50 °C apresentou a tendência para maiores valores quando as farinhas foram processadas em temperatura e umidade em valores extremos opostos. Uma característica marcante de misturas extrusadas é a de não apresentar aumento de viscosidade com o abaixamento da temperatura de 95°C para 50°C. Esse fenômeno talvez possa ser explicado pela baixa retrogradação do amido após a extrusão e pela incapacidade das proteínas, já desnaturadas, formarem géis, mediante aquecimento e resfriamento.

Os resultados da viscosidade final a 50 °C encontrados por Silva e Ascheri, 2008 mostram que o menor e o maior valor de  $V_{fin}$  foram obtidos quando as amostras foram processadas com valor de umidade de 18%, temperatura de 160 °C.

Neste estudo a  $V_{fin}$  também apresentou maior valor em 17% de umidade. Podemos observar que o menor valor de  $V_{fin}$  se dá em à umidade mais baixa e temperatura intermediária de 120,3 ° C á medida que o percentual de umidade vai se elevando juntamente com a temperatura ocorre concomitantemente um acréscimo na viscosidade final que atinge seu maior

valor (1825 cP) em 17 % de umidade e temperatura e 145°C. A partir daí os valores de  $V_{fin}$  apresentam um decréscimo, independentemente da temperatura.

Estes resultados foram mais compatíveis com os encontrados por Silva e Ascheri, (2008), uma vez que a  $V_{fin}$  não apresentou uma tendência diametralmente oposta aos valores de umidade e temperatura como o que foi descrito por Clarici e El Dash, 2008.

Como explicado, a retrogradação e o aumento da viscosidade final da pasta estão relacionados com o reagrupamento das cadeias de amido e a rede formada pela amilose, compreende-se então que dois fatores são importantes na predisposição da pasta à retrogradação e aumento de viscosidade, seriam eles a concentração de amilose no meio aquoso e a disposição das cadeias do amido bem como seu grau de fragmentação.

Tais fatores são governados, como já explicitado, pelas variáveis independentes do processo. As condições que resultaram maior  $V_{fin}$  certamente implicaram em graus de degradação de amido que associados ao teor de amilose dispersa na fase aquosa relativamente elevado (ISA = 10,9%) propiciaram maior enredamento das ligações entre as moléculas de amido.

Apesar do fenômeno da retrogradação estar associado ao aumento de viscosidade causado pela rede formada entre as moléculas de amilose, não se pode associar diretamente maiores índices de solubilidade à elevados valores de tendência à retrogradação, uma vez que outros fatores também são determinantes para tal propriedade. De acordo com os valores encontrados para o ISA neste estudo, os maiores índices não implicaram necessariamente em altas  $V_{fin}$  que por sua vez indicam uma forte tendência à retrogradação.

Aplicando-se análise de variância ao modelo selecionado (Eq. 1), utilizando a MSR, verificou-se que as variações devido à regressão foram significativas estatisticamente ao nível de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ). O valor dos  $R^2$  foram maiores de 0,83, explicando que mais de 83% da variação total da variável resposta está em torno da média e menos de 17% foram atribuídos aos resíduos. Portanto, o modelo matemático selecionado serve para prever os dados experimentais obtidos pelas medidas do RVA para as propriedades de viscosidade de pasta da farinha de quirera de arroz extrusada.

Os gráficos de superfície de resposta obtidos com os coeficientes significativos (Figura 4A, 4B e 4C) mostraram que o  $V_{inicial}$ ,  $V_{max}$  e  $V_{fin}$  das farinhas extrudadas alcançaram a maior resposta na temperatura de 169,8 °C, porém, sendo o maior valor de  $V_{inicial}$  (800-1000 cP) em umidades aproximadamente de 14 e 20% e temperatura de 120 °C. Entretanto,  $V_{max}$  e  $V_{fin}$

tiveram seus valores máximos em 17% de umidade em todas as temperaturas aplicadas, alcançando viscosidades aproximados de 1000 e 2000 cP, respectivamente.

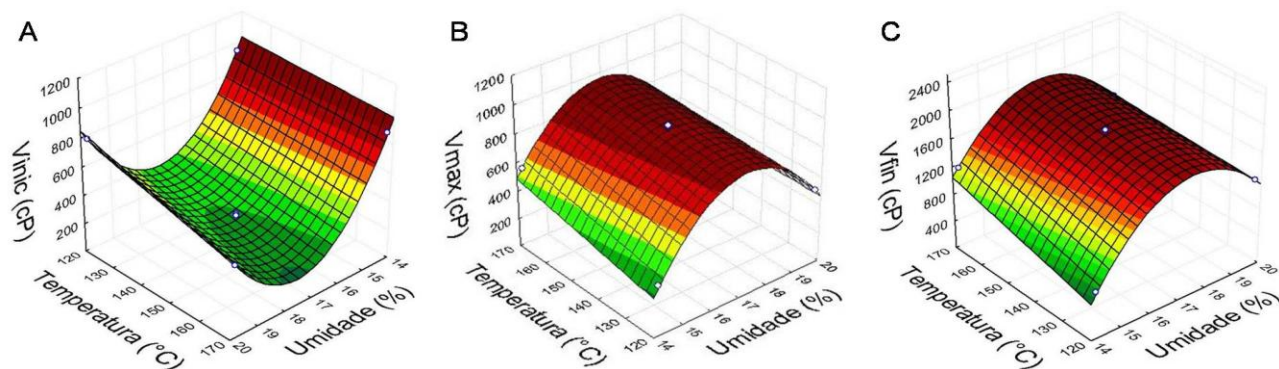


FIGURA 5 - Efeito das variáveis do processo de extrusão umidade da formulação e temperatura da terceira zona de aquecimento da extrusora nas propriedades de pasta das farinhas pré-gelatinizadas de quirera de arroz. A) Viscosidade inicial, B) Viscosidade máxima e C) viscosidade final.



### 3.4 Características morfológicas

Na Figura 5 se encontram as microfotografias do amido das farinhas de quirera de arroz pré gelatinizada por extrusão em função da umidade e temperatura de extrusão.

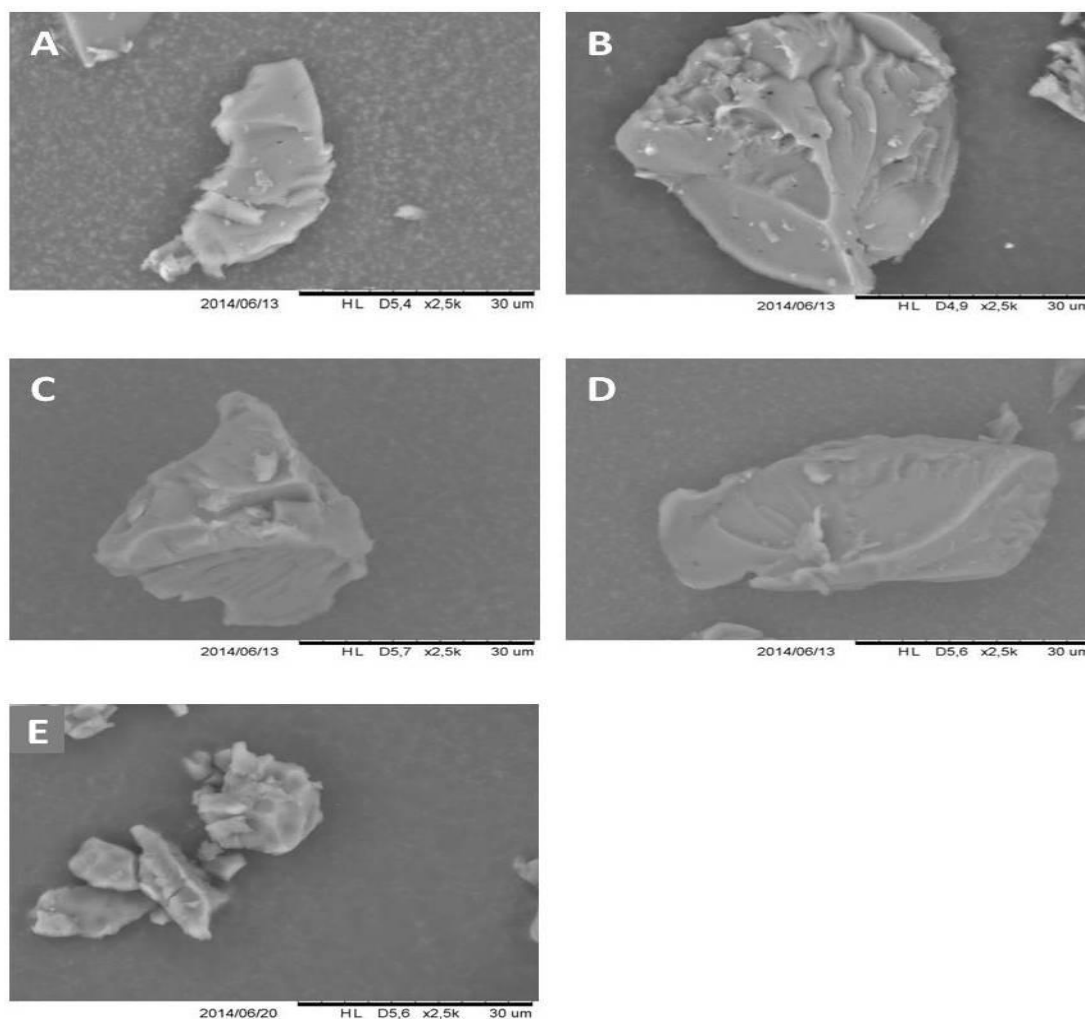


FIGURA 6 - Microfotografias de farinha de quirera de arroz pré gelatinizada por extrusão termoplástica em função da umidade da farinha e da temperatura da 3<sup>a</sup> zona da extrusora: A) a

14,2% UR e 120,3 °C, B) a 19,8% UR e 120,3 °C, C) a 14,2% UR e 169,8 °C, D) a 19,8% UR e 169,8 °C e E) 17,0% UR e 145,0 °C, respectivamente.

De modo geral, as propriedades tecnológicas dos produtos amilácios são determinadas pelas características e transformações sofridas pelo amido. A estrutura do grânulo e os danos sofridos por esta são o reflexo dessas transformações, e por sua vez podem ser associados às respostas obtidas. (CAI e WEI, 2012; CHO *et al*, 2012; KANG *et al*, 2003)

Nas Figuras 6A a 6E é possível observar os diferentes efeitos que os parâmetros do processo de extrusão causam na estrutura externa do produto extrudado. A uma temperatura de 120,3 °C com 14,2 e 19,8% de umidade o material extrudado (Figura 6A e 6b) apresentaram superfície homogêneo e lisa, isto é, o processo de gelatinização se demonstra permanente, a quantidade de água utilizada no aquecimento foi suficiente para a ruptura das ligações de hidrogênio que estabilizam a estrutura cristalina interna do grânulo de amido do arroz, sem porém causar danos excessivos à estrutura do amido.

Essa estrutura coincide com os maiores valores de ISA, IAA e Vinc e menor valor de V<sub>fin</sub> e V<sub>max</sub>. Alguns autores afirmam que a viscosidade a quente está diretamente relacionada com o nível de degradação sofrido pelo grânulo de amido. Quando a estrutura do grânulo é destruída, ele perde sua capacidade de inchar quando aquecido em água e, conseqüentemente, apresenta baixa viscosidade a quente.

Neste estudo, não se observou relação direta entre maiores valores de V<sub>max</sub> e IAA, o que pode ser explicado pela grande quantidade de amidos não gelatinizados nas farinhas que apresentaram altos valores de viscosidade a quente.

No caso de tratamentos de extrusão não tão severos, determinada porcentagem de grânulos de amido pode conservar parte da estrutura amilácea, apresentando um pico no perfil amilográfico, que significa amido não gelatinizado ou parcialmente gelatinizado.

Na Figura 6C e 6D se observam que no material extrudado com 14,2 e 19,8% de umidade a 169,8 °C a superfície mostra aparência quebradiça e rugosa que caracterizam o processo de retrogradação ou de recristalização que ocorre quando, após a solubilização durante a gelatinização, as cadeias de amilose agregam-se formando duplas hélices estabilizadas por meio de ligações de hidrogênio antes da amilopectina (BHATTACHARYYA *et al.*, 1999 ).

Quando se utiliza uma alta porcentagem de água durante o processo de extrusão, esta age como um lubrificante fazendo com que o atrito seja menor, ou seja, por consequência o aquecimento será menos eficiente. Tal efeito é observado na imagem 6B onde o grânulo é quebradiço e de superfície rugosa. O tratamento ideal foi de 14,2% de água e 120,3°C onde a baixa umidade auxilia em maior atrito e por consequência maior aquecimento, gerando um produto extrudado mais homogêneo<sup>2</sup>. Houve maiores danos na estrutura nos extrudados a 145°C variando o teor de água, onde observa-se no tratamento 3E uma estrutura extremamente fragmentada.

### **3.5 Aplicação na indústria de alimentos**

Segundo Rossi e Neves (2004), a qualidade do trigo é um conceito relativo, pois os atributos considerados para essa análise não são os mesmos nos diferentes “elos da cadeia” e para os diferentes tipos de aplicação. A qualidade de grãos e farinhas de cereais é determinada por uma variedade de características que assumem diferentes significados dependendo da designação de uso ou tipo.

No caso do produtor rural, o trigo de qualidade superior é aquele que possui boas características agronômicas, como resistência a doenças e pragas, alto potencial produtivo e alto peso do hectolitro. Para os moinhos, a qualidade será medida pela uniformidade do tamanho e forma da matéria-prima, alto peso específico, alto rendimento em farinhas e baixos teores de cinza. Já o panificador, busca adquirir uma farinha de boa qualidade, com alta capacidade de absorção de água, boa tolerância ao amassamento e alta porcentagem de proteína. Desta forma, para que se possa garantir a qualidade geral exigida em todos os “elos da cadeia”, devem ser considerados diversos atributos, balanceando-se a qualidade produtiva com as características desejadas pelos consumidores (MÓDENES *et al.*, 2009).

No presente estudo a qualidade das FPGA foram definidas em função de suas propriedades tecnológicas e funcionais, em função destas avaliou-se a melhor aplicação ou uso na indústria de alimentos.

De acordo com Clerici e El-Dash (2006), para produtos de preparo rápido, os tratamentos que apresentam alta viscosidade a frio e alto IAA, são os mais indicados, sendo os obtidos com temperatura de extrusão acima de 180°C. De acordo com os resultados encontrados a farinha

mais adequada para esta aplicação foi a FPG obtida no tratamento 1, extrusada à temperatura de 120,3°C e 14,2 % de umidade.

Os produtos de panificação requerem um alto índice de absorção e viscosidade a frio associados à baixa tendência à retrogradação e uma boa retenção de umidade, considerando estes aspectos a FPG obtida no tratamento 1 também seria a mais indicada, pois além de apresentar altos índices de  $V_{inc}$  e  $V_{max}$  tem o menor  $V_{final}$  o que indica baixa retrogradação, no entanto apresenta alto índice de solubilidade. Um baixo índice de solubilidade também é uma característica desejável em farinhas sucedâneas empregadas na panificação, assim o tratamento 3 ( $T = 169,8 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $U = 14,2\%$ ) é o mais indicado pois combina todos os requisitos requeridos de maneira mais equilibrada. Pães sem glúten, com textura semelhante ao pão de trigo, foram obtidos usando FPG extrusadas a 180°C e 20% de umidade.

Guha *et al.* (1988) sugerem que FPG com baixa viscosidade podem ser usadas para produtos com alto teor de sólidos, como fórmulas infantis para lactentes e alimentos para dietas especiais. Farinhas com essa característica combinadas à uma alto ISA, baixas  $V_{max}$  e  $V_i$  são ideais para aplicação como espessante em bebidas, como sucos de fruta e bebidas lácteas, pois promovem um produto mais encorpado porém com uma viscosidade característica, ideal para bebidas. Assim, o tratamento ( $T=120,3 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $U= 14,2 \%$ ) foi o mais adequado para este fim com maior ISA e menores  $V_i$  e  $V_{max}$  de todos os tratamentos.

Produtos como sopas e mingaus de preparo rápido com aquecimento, mas que necessitam baixa velocidade de retrogradação do amido, demandam farinhas que apresentam alta viscosidade a quente porém baixo espessamento a frio, ou seja, principalmente, elevados valores de  $V_{max}$  e baixa viscosidade durante o resfriamento.

O tratamento 5, que traz os valores de ponto central do delineamento ( $T=145^\circ\text{C}$  e  $U=17\%$ ), foi o que apresentou maior índice de viscosidade máxima, contudo também alto valor, atributo não desejável, nesse sentido o tratamento 4 seria o mais adequado uma vez que os valores de viscosidade máxima e final estão mais ajustados.

## CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos concluí-se que com cada tratamento aplicado se elabora um produto extrudado com diferentes propriedades físico-químicas e tecnológicas.

Os parâmetros do processo de extrusão influenciam nos valores nas propriedades de absorção de água, solubilidade em água, reológicas e estruturais das farinhas pré-gelatinizadas de quirera de arroz.

Menores valores de umidades combinados com temperaturas mais brandas ( $T_1 = 120,3 \text{ }^\circ\text{C}$   $U = 14,2\%$ ) proporcionaram produtos com maiores índices de solubilidade, absorção, viscosidade inicial e temperatura de gelatinização. Maiores valores de umidade e temperatura estabeleceram uma relação negativa com IAA. Valores intermediários de umidade e temperaturas mais brandas resultaram em produtos com maior  $V_{\text{máx}}$  e final;

A estrutura do grânulo e seu grau de degradação relacionaram-se com as propriedades tecnológicas dos grãos de modo que os grânulos mais intactos, com a superfície lisa e homogênea apresentaram maior capacidade de absorção, solubilidade, viscosidade inicial. Grânulos mais danificados, com a superfície mais quebradiça e rugosa, apresentaram maior tendência a retrogradação.

Os testes permitiram avaliar e selecionar as propriedades que melhor determinam a qualidade da farinha pré gelatinizada e seu emprego na indústria de alimentos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, E. L. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. *Cereal Science Today*, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 44-11, 1969.

ASCHERI, J.L.R.; CIACCO, C. F.; RIAZ, M. N.; LUSAS, E. W.; Efecto de La formulación sobre la expansión e viscosidad de snacks (pellets) producidos por extrusion termoplástica. **Alimentaria**. Madri, v. 286, n. 12, p. 111 – 116, 1995.

ASCHERI, D.P.R.; ANDRADE, C.T.; CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI, J.L.R. Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. **CEPPA**, Curitiba, v.24, n.1, p. 115-144, jan/jun, 2006.

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

ASCHERI, D.P.R.; PEREIRA, L. D.BASSINELLO, P. Z.; CARVALHO, C. W. P. ; ASCHERI, J. L. R.; CALIDAD DEL RROZ DE TIERRAS ALTAS EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE COCCIÓN Y DEL CULTIVAR DE ARROZ.**Scientia Agraria**, Curitiba, v.11, n.2, p.163-173, Mar./Apr. 2010.

AUGUSTO - RUIZ, W.; BONATO, S.; ARRIECHE, L.; RISSO, F.. Caracterização da farinha pré-gelatinizada de arroz integral produzida a partir de grãos quebrados. **VETOR - Revista de Ciências Exatas e Engenharias**, América do Sul, 13 8 12 2003.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. São Paulo:Varela, 2003.

BAKSHI, A. S.; SINGH, R. P. Kinetics of water diffusion and starch gelatinization during rice parboiling. **Journal of Food Science**, v. 45, n. 5, p. 1387-1392, 1980.

BARBOSA, C. O. Conteúdo de minerais dos ingredientes e da multimistura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 916-920, 2006.

BASSINELLO, P.Z.; CASTRO, E.M. Arroz como Alimento. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 108, 2004.

BELLO, M.; BAEZA, R.; TOLABA, M. P. Quality characteristics of milled and cooked rice affected by hydrothermal treatment. **Journal of Food Engineering**, New York, v. 72, n. 2, p.124-133, 2006.

BHATTACHARYA, M. et al. Physicochemical properties related to quality of rice noodles. *Cereal Chemistry*, v.76, p.861-867, 1999.

BRIFFAZ, A., BOHUON, P., MÉOT, J.M., DORNIER, M., MESTRES, C., 2013. Modelling of water transport and swelling associated with starch gelatinization during rice cooking. **Journal of Food Engineering**, 2013

BORTOLINI, V. M. S. Determinação da composição centesimal do arroz parboilizado (*Oriza Sativa*) e seu subproduto. **Resumo expandido**. 8ª Jornada de Pós Graduação/ Educação e Sustentabilidade. Revista Congrega URCAMP – BAGÉ – Rio Grande do Sul. 2010.

BOTELHO, F. M; CORRÊA, P. C; GONELI, A. L. D; MARTINS, M. A; BAPTESTINI, F. M. Análise da Hidratação do Arroz na parbolização. **Ciênc. Tecnol. Alimento.**, Campinas 30(3): 713 – 718, jul.-set. 2010.

BOX, G.E.P., HUNTER, W.G., AND HUNTER, J.S. **Statistics for Experimenters. An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building**. John Wiley & Sons. 1978.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Comissão Técnica de Normas e Padrões. Normas de identidade, qualidade, embalagem e apresentação do arroz. Brasília, 1988. 25p

CAI, C.; WEI, C. In situ observation of crystallinity disruption patterns during starch gelatinization. **Carbohydrate Polymers**. V. 92. 2013. p. 469– 478.

CARVALHO, R.V. et al. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados (3G) de mistura de farinhas de trigo, arroz e banana. *Ciência e Agrotecnologia*, v.26, n.5, p.1006-1018, 2002.

CHINNASWAMY, R.; HANNA, M.A. Optimum extrusion cooking conditions for maximum expansion of corn starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v.53, n.3, p. 834-840, 1988.

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

DENARDIN, C. C. Influência do teor de amilose e beneficiamento do arroz na resposta biológica de ratos. 2008. 162p. **Dissertação**. Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008

DING, Q. B.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, Barking, v. 66, p. 283-289, 2005.

DINIZ, I. P.; PIROZI, M. R.; GERMANI, R. **Comportamento reológico de polvilho azedo do Estado de Minas Gerais observadas em análise de RVA**. Viçosa: Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFV, 2008, 4p

DORS, G. C; CASTIGLIONI, G. L.; AUGUSTO-RUIZ, W. Utilização Da Farinha De Arroz Na Elaboração De Sobremesa. **Vetor**, Rio Grande, 16(1/2): 63-67, 2006.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L. **Qualidade de arroz da pós-colheita ao consumo** Pelotas: Editora Universitária da UFPEL, 638, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA - **Embrapa Arroz e Feijão**, 2012. Disponível em: [www.embrapa.br/pesquisa/tecnolog](http://www.embrapa.br/pesquisa/tecnolog)> Acesso em 12 de março de 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Productions indices**. 2012. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em: 25 agosto 2014.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2ª ed., Porto Alegre: Artmed, 2006.602p.

FERNANDES, M. S. et al. Produtos extrusados expandidos de misturas de canjiquinha e soja para uso como petiscos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1495-1501, 2002

FRANCO, C. M. L.; et al. Propriedades do Amido, In: **Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, Propriedades Gerais do Amido**. Campinas: Fundação Cargill, v.1. 2001

FREITAS, D. Z.; SILVA, P, M.; GULARTE, M. A. Farinha Pré-Gelatinizada De Arroz Em Massa De Lasanha Sem Glúten. XVII Congresso de Iniciação Científica e X Encontro de Pós Graduação. **Resumo Expandido**, 2008.

GOMES, A. M. M.; SILVA, C. E. M.; RICARDO, N. M. P. S. Effects of annealing on the physicochemical properties of fermented cassava starch (polvilho azedo). **Carbohydrate Polymers**, Kidlington Oxford, v. 60, n.1, p. 1-6, 2005.

GUHA, M.; ALI, S. Z.; BHATTACHARYA, S. Effect of barrel temperature and screw speed on rapid viscoanalyzer pasting behavior of rice extruded. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 33, p. 259-266, 1998.

GUIMARÃES, C. M. et al. **Sistema radicular do arroz de terras altas sob deficiência hídrica**. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 126-134, 2011.

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

HASJIM, J.; LI,E.; DHITAL,S.; Milling of rice grains: Effects of starch/flour structures on



gelatinization and pasting properties , **Carbohydrate Polymers**, 682 –690, 92, 2013

HEISLER, G. E. R.; ANTÔNIO; G. de A.; MOURA, R. S.; MENDONÇA, C. R. B.; GRANADA, G. G. Viabilidade da substituição da farinha de trigo pela farinha de arroz na merenda escolar. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 3, p. 299-306, 2008.

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

HOOVER, R.; VASANTHAN, T. The effect of annealing on the physicochemical properties of wheat, oat, potato and lentil starches. **Journal of Food Biochemistry**, v. 17, n. 303-325, 1994.

IGATHINATHANE, C.; CHATTOPADHYAY, P. K.; PORDESIMO L. O. Combination soaking procedure for rough rice parboiling. **Transactions of the ASAE**, v. 48, n. 2, p. 665-671, 2005.

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

KANG, H. J.; HWANG, I. K.; KIM, K. S.; CHOI, H. C. Comparative Structure and Physicochemical Properties of Ilpumbyeo, a High-Quality Japonica Rice, and Its Mutant, Suweon 464. **J. Agric. Food Chem.** 2003

KHURI, A. Z.; CORNELL, J. A. **Response Surface Design and Analysis**. New York: Marcel Dekker, 1987. pp. 405.

LAI, H.-M. Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. **Food Chemistry** 72 (2001) 455±463. Elsevier 2000.

LAWTON, B. J.; HENDERSON, G. A.; DERLATSKA, E. J. The effects of extruder variables on the gelatinization of corn starch. **Can. J. Chem. Eng.**, v. 50, n. 4, p. 168-172, 1972.

LEON, E. et al. Pasting properties of transgenic lines of a commercial bread wheat expressing combinations of HMW glutenin subunit genes. **Journal of Cereal Science**, v.51, p.344-349, 2010.

LIMA, C. H. A. M.; ASCHERI, D. P. R.; BASTOS, S. M. C. Características de adsorção de água de farinhas cruas e pré-gelatinizadas de duas variedades de arroz de terras altas. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 91-102, 2012.

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

MAPA, BRASIL, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio – Brasil 2013/14 a 2023/24**. Disponível em:

<http://www.agricultura.gov.br/ministerio/gestao-estrategica/projecoes-do-agronegocio>. Acesso em 15 de julho de 2014.

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

MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of Carbohydrate Components by Extrusion- Cooking of Cereal Products. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 52, n. 3, p 283 – 297,1975.

MÓDENES, A.N.; SILVA, A.M.; TRIGUEROS, D.E.G. Avaliação das propriedades reológicas do trigo armazenado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, p.508-512, 2009

NAKAZAWA, Y.; WANG, Y. J. Effect of annealing on starch-palmitic acid interaction. **Carbohydrate Polymers**, Kidlington Oxford, v. 57, n. 3, p. 327-335, 2004

NUNES, I. L. et al. Arroz comercializado na região sul do Brasil: aspectos micotoxicológicos e microscópicos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 190-194, 2003.

OLAYINKA, O. O.; ADEBOWALE, K. O.; OLU-OWOLABI, B. I. Effect of heat-moisture treatment on physicochemical properties of white sorghum starch. **Food Hydrocolloids**, Kidlington Oxford, v. 22, n. 2, p. 225-230, 2008.

ONWULATA, C. I.; SMITH, P. W.; KONSTANCE, R. P.; HOLSINGER, V. H. Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. **Food Research International**, v.34, p.679-687, 2001.

PUNCHA-ARNON, S.; UTTAPAP, D. Rice starch vs. rice flour: Differences in their properties when modified by heat–moisture treatment. **Carbohydrate Polymers**. P. 85 – 91, 2012.

QI, X.; TESTER, R. F.; SNAPE, C. E.; ANSELL, R. The effect of annealing on structure and gelatinization of maize starches with amylose dosage series. **Progress in Food Biopolymer Research**, New York, v. 1, n. 1, p. 1-27, 2005.

RAGAEI, S.; ABDEL-AAL, EL-S. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry**, v.95, p.9-18, 2006.

ROSSI, R. M.; NEVES, M. F. **Estratégias para o Trigo no Brasil**. São Paulo: Atlas, 2004.

RUIZ, A. W.; BONATO, S. R.; ARRIECHE, L. S.; ALVES, F. V. Caracterização da farinha pré-gelatinizada de arroz integral produzida a partir de grãos quebrados. **Vetor**, Rio Grande do Sul, v. 13, p. 25 - 46, 2003.

SANTOS, D. M; BUKZEM, A. L.; COUTINHO, N. D.; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. P. R. Principais Considerações da Extrusão Termoplástica de Alimentos. **Revista Processos Químicos**. P. 38 – 44, Jul / Dez de 2010.

SILVA, E. M. M.; ASCHERI, J. L. R. I; ASCHERI, D. P. R.; CARVALHO, L. M. J. **Efeito dos parâmetros de extrusão nas características de viscosidade de pasta e índice de absorção de água de macarrões pré-cozidos elaborados a partir de farinha mista de arroz integral e milho obtidos por extrusão.** Boletim do CEPPA, Curitiba, v. 26, n. 2, p. 239-254, jul./dez. 2008

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

SULAIMAN, R.; DOLAN, K.D. Effect of amylose content on estimated kinetic parameters for a starch viscosity model **Journal of Food Engineering.** Elsevier Ltd, 2012.

TESTER, R. F.; DEBON, S. J. J. Annealing of starch a review. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 27, n. 1, p.1-12, 2000.

TORRES, L. L. G.; EL-DASH, A. A.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R.;GERMANI, R.; MIGUEZ, M. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (Musa acuminata , Grupo AAA) por extrusão termoplástica. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Curitiba, v. 23, n. 2, p. 273 - 290, 2005.

VIEIRA, N. R. A. **Qualidade de grãos e padrões de classificação de arroz. Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 94-100, 2004

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L.A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.4, p.1184-1192, jul, 2008.

WANG, S. H.; OLIVEIRA, M. F.; COSTA, P. S.; ASCHERI, J. L. R.; ROSA, A. G. Farinhas de trigo e soja pré-cozidas por extrusão para massas de pizza. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.40, n.4, p.389-395, 2005.

YACU, W. **Process instrumentation and control in food extruders.***Cereal Foods World*, St. Paul, v. 35, n. 9, p. 919-926, Sept.1990

ZAVAREZE, E. R.; RODRIGUES, A. O.; STORCK C. R.; ASSIS, L. M.; WALLY, A. P. S. Poder de inchamento e solubilidade de amido de arroz submetido ao tratamento térmico com baixa umidade.**Braz. J. Food Technol**, II SSA, janeiro 2009.

## ANEXO

### Delineamento

A tabela 1 apresenta o delineamento experimental para o estudo dos efeitos de alguns parâmetros de extrusão, definidos com base em valores da literatura relacionada a extrusão de farinha de arroz.

Foram consideradas as variáveis, temperatura (°C), umidade de processamento (%). Para analisar o efeito combinado dessas variáveis na características tecnológicas dos extrusados, estabeleceu-se um delineamento do tipo central composto rotacional de 2ª ordem (BOX, HUNTER e HUNTER, 1978). Os resultados obtidos das análises estatísticas foram analisados por meio da metodologia de superfície de resposta com o objetivo de representar graficamente. Utilizou-se três níveis codificados (-1 0 +1) para estudar os parâmetros do processo, calculados de acordo com a equação 1:

$$x_i = X_i - Z/\Delta x_i \text{ (equação 1)}$$

onde:

$x_i$  = valor codificado da variável  $X_i$ ;

$X_i$  = Valor real da variável no ponto central;

$\Delta x_i$  = valor do intervalo da variação do  $x_i$ ;

Este delineamento apresenta também dois níveis de variáveis axiais que são codificados como (- $\Delta$ ) e (+ $\Delta$ ). O  $\Delta$  depende do número fatorial ( $F=2^k$ ) do delineamento e do número de variáveis independentes ( $k=2$ ) definido pela equação 2:

$$\Delta = (F)^{1/4} = (2^k)^{1/4} = 1,41421$$

A escolha do número de ensaios em um experimento central composto baseado em um experimento fatorial completo é  $n=2^k + 2k + m$ , onde:

$2^k$  = número de pontos fatoriais;

$2K$  = número de pontos axiais;

$m$  = número de replicações do ponto central;

Os parâmetros máximos e mínimos foram estabelecidos dentro das possibilidades operacionais do processo de extrusão com base em referências literárias de outros estudos similares.