

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos



DISSERTAÇÃO

Desenvolvimento de arroz integral de cozimento rápido: propriedades físico-químicas, tecnológicas e digestibilidade do amido

Cristian de Souza Batista
Engenheiro Agrônomo

Pelotas, 2019

Cristian de Souza Batista

Desenvolvimento de arroz integral de cozimento rápido: propriedades físico-químicas, tecnológicas e digestibilidade do amido

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Prof. Dr. Nathan Levien Vanier - Orientador

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias – Coorientador

Pelotas, 2019

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

B333d Batista, Cristian de Souza Cristian

Desenvolvimento de arroz integral de cozimento rápido: propriedades físico-químicas, tecnológicas e digestibilidade do amido / Cristian de Souza Cristian Batista ; Nathan Levien Vanier, orientador ; Moacir Cardoso Elias, coorientador. — Pelotas, 2019.

67 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. Arroz instantâneo. 2. Digestão in vitro. 3. Arroz danificado. 4. Cocção do arroz - Temperatura . I. Vanier, Nathan Levien, orient. II. Elias, Moacir Cardoso, coorient. III. Título.

CDD : 633.18

Cristian de Souza Batista

Desenvolvimento de arroz integral de cozimento rápido: propriedades físico-químicas, tecnológicas e digestibilidade do amido

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial

Data da defesa: 18 de fevereiro de 2019.

Banca examinadora:

Dr. Nathan Levien Vanier. Professor da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” da Universidade Federal de Pelotas. Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas.

Dr. Jose Manoel Colombari Filho. Pesquisador em genética e melhoramento de plantas da Embrapa Arroz e Feijão. Doutor em Ciências dos Alimentos pela Universidade de São Paulo.

Dra. Priscila Zaczuk Bassinello. Pesquisadora em Ciência de Alimentos da Embrapa Arroz e Feijão. Doutora em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) pela Universidade de São Paulo.

Dra. Rosana Colussi. Professora do Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos da Universidade Federal de Pelotas. Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, sem ele nada seria possível.

A minha namorada, Marcelle, que sempre esteve ao meu lado, em todos os momentos. Minha companheira.

A minha família, em especial a minha mãe, Jussara, aos meus irmãos, Douglas e Diego, que sempre foram grandes incentivadores e acreditaram em mim. Não tenho dúvidas que são fundamentais nessa conquista.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Nathan Levien Vanier e Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias, pelos ensinamentos que me fizeram crescer pessoalmente e profissionalmente durante esse período. No futuro serão sempre lembrados.

Aos colegas e amigos de Pós-graduação, Caroline Dittgen, Franciene Vilanova, Jaqueline Pozzada, Igor Lindemann, Aline Pereira, Suzane da Luz, Miriã Miranda da Silveira, Edimara Polidoro, Cristiano Ferreira, Gustavo Lang, Jorge Tiago Goebel, Wyller Max Ferreira da Silva, Lucas Nascimento, Adriano Ramos, Newton Timm, Bárbara Biduski, Bruno Rockembach, Caroline Tutchtenhagen, Dianini Kringel, Jeferson Rocha pelas conversas produtivas, pela oportunidade de trabalharmos juntos e por me ajudarem sempre que precisei, esclarecendo dúvidas.

Aos demais colegas, Estefania, Francine, Graziella, Jarine, Jean, Laura, Mariana, Milena, pela convivência agradável e a troca de conhecimento.

Aos bolsistas de iniciação científica Aline, Manuela, Rafaela, Adrian, David, Emílio, Ezequiel, Natiele, Thayná, James, Jean, João, José, Juciano, Vinícius, pela amizade e serviços prestados.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pelo profissionalismo e a atenção que me deram nesse período.

Aos Pós-Doutorandos, Ricardo Pohndorf, Rosana Colussi, Bianca Ávila, Shanise El Halal e Jessica Fernanda Hoffmann por estarem sempre dispostos a me auxiliar nas atividades.

À Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Polo de Inovação Tecnológica em Alimentos da Região Sul, muito obrigado.

A todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram com seu incentivo ou apoio para essa formação e conquista pessoal.

Resumo

Batista, Cristian de Souza. **Desenvolvimento de arroz integral de cozimento rápido: propriedades físico-químicas, tecnológicas e digestibilidade do amido**. 2019, 67f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

Nos últimos anos houve aumento exponencial no consumo de alimentos instantâneos, principalmente nos países desenvolvidos, onde se encontram os consumidores que mais buscam por este tipo de alimentos. Em conformidade com essa tendência de consumo de alimentos está o arroz instantâneo, que também é conhecido como arroz de cozimento rápido (ou QCR, do inglês *Quick Cooking Rice*), ou simplesmente “arroz instantâneo”. Neste estudo, a produção de arroz instantâneo seguiu as seguintes etapas: hidratação, cocção, pré-tratamento e secagem. As condições ideais de cada etapa para cada genótipo devem ser adequadamente estudadas e selecionadas, objetivando alta qualidade do produto final. No presente estudo foram testadas três temperaturas de cozimento (72, 80 e 88°C) na elaboração de arroz integral de cocção rápida utilizando dois genótipos de arroz (Puitá Inta CL e INOV CL). As seguintes variáveis foram analisadas: tempo de cozimento, cor, microscopia eletrônica de varredura (MEV), percentagem de grãos danificados, peso e volume úmido durante o cozimento, teor e taxa de liberação amilose, teor e capacidade de extração protéica, calorimetria diferencial de varredura (DSC), difração de raios-X (DRX), propriedades viscoamilográficas, propriedades sensoriais e digestibilidade do amido *in vitro*. O tempo de cozimento do arroz integral, sem a aplicação do tratamento para elaboração de QCR, variou de 23,0 a 23,6 min. Quando a cocção foi conduzida a 88°C, o tempo de cozimento foi reduzido para 5,5 a 6,9min, dependendo do genótipo. A maior deformação de grãos foi observada nos tratamentos de Puitá Inta CL. A análise de DRX mostrou maior capacidade de gelatinização na temperatura de cocção de 88°C do arroz integral Puitá Inta CL. A aparência, a textura e o sabor do arroz integral cozido a 88°C, preparado de maneira rápida, não diferiram estatisticamente de seus equivalentes de arroz integral que não sofreram o processo de QCR. A digestibilidade do amido foi reduzida em torno de 20-22% para o arroz integral de cozimento rápido preparado a 88°C. O valor mais baixo de digestibilidade *in vitro* do amido foi observado para o genótipo INOV CL cozido a 88°C, sendo este efeito relacionado com a integridade estrutural dos grãos, ou seja, grãos que não tiveram uma ruptura e exposição do endosperma.

Palavras-chave: arroz instantâneo, digestão in vitro, arroz danificado, temperatura de cocção do arroz.

Abstract

Batista, Cristian de Souza. **Development of quick-cooking brown rice: physico-chemical, technological properties and starch digestibility.** 2019, 67f. Dissertation (Master in Science and Technology of food) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

In recent years there has been an exponential increase in the consumption of instant foods, especially in the developed countries, where the consumers who are most looking for this type of food are. In line with this trend of food consumption is instant rice, which is also known as Quick Cooking Rice (QCR), or simply "instant rice." In this study, the production of instant rice followed the following stages: hydration, cooking, pre-treatment and drying. The conditions of each stage for each genotype should be adequately studied and selected, aiming at high quality of the final product. In the present study, three cooking temperatures (72, 80 and 88°C) were tested in the production of quick-cooking brown rice using two rice genotypes (Puitá Inta CL and INOV CL). The following variables were analyzed: cooking time, color, scanning electron microscopy (SEM), percentage of damaged grains, moist weight and volume during cooking, content and rate of amylose release, protein extraction content and capacity, differential calorimetry of scanning (DSC), X-ray diffraction (XRD), visco-amylographic properties, sensory properties and *in vitro* digestibility of starch. The cooking time of brown rice, without application of the treatment to elaborate QCR, ranged from 23.0 to 23.6 min. When the cooking was conducted at 88°C, the cooking time was reduced to 5.5 to 6.9min, depending on the genotype. The highest grain deformation was observed in the treatments of Puitá Inta CL. The XRD analysis showed higher gelatinization capacity at the cooking temperature of 88°C of Puitá Inta CL brown rice. The appearance, texture, and taste of cooked rice at 88 ° C, prepared quickly, did not differ statistically from its brown rice counterparts that did not undergo the QCR process. Starch digestibility was reduced by about 20-22% for ready-cooked brown rice prepared at 88°C. The lowest *in vitro* digestibility of starch was observed for the INOV CL genotype cooked at 88°C, this effect being related to the structural integrity of the grain, that is, grains that did not have a rupture and exposure of the endosperm.

Keywords: instant rice, in vitro digestion, damaged rice, rice cooking temperature.

Lista de Figuras

Figura 1 - Evolução da área plantada e da produção nacional de arroz no período de 1977/78 a 2017/18.	17
Figura 2 - Evolução da produção de arroz instantâneo (ton) no período de 2000 a 2017.	20
Figura 3 - Evolução e projeção do mercado de arroz instantâneo em milhões de dólares na Europa, no período de 2012 a 2022.	20
Figura 4 - Estrutura do grão de arroz.	22
Figura 5 - Organização estrutural de um grânulo de amido.	24
Figura 6 - Diagrama para a localização das cores no eixo colorimétrico.	29
Figura 7 - Microscopia eletrônica de varredura da superfície do arroz Puitá Inta CL antes e após a preparação do arroz de cozimento rápido em diferentes temperaturas de cozimento.	37
Figura 8 - Microscopia eletrônica de varredura da superfície do arroz INOV CL antes e após a preparação do arroz de cozimento rápido em diferentes temperaturas de cozimento.	38
Figura 9 - Percentual de grãos danificados de amostras de arroz de cocção rápida obtidos a partir de diferentes temperaturas de cozimento.	39
Figura 10 - Alterações no peso e no volume úmido do arroz durante o processo de cocção a 72, 80 e 88°C.	40
Figura 11 - Teores de amilose dos genótipos de arroz Puitá Inta CL e INOV CL antes e após a preparação do arroz de cozimento rápido em diferentes temperaturas de cozimento.	42
Figura 12 - Teor de proteína bruta (A) e capacidade de extração de proteína em SDS (B) e SDS + 2-mercaptoetanol (C).	43
Figura 13 - Difratogramas de raios-X das amostras dos genótipos Puitá Inta CL (A) e INOV CL (B).	44
Figura 14 - Curva de liberação de amilose.	49
Figura 15 - Digestibilidade do amido (%) de arroz integral de cozimento rápido: Puitá Inta CL (a) e INOV CL (b).	51
Figura 16 - Microscopia eletrônica de varredura da superfície do arroz integral de cozimento rápido do genótipo de arroz INOV CL preparado a 88°C e seu controle (arroz integral) durante a digestão gastrointestinal simulada.	52

Lista de tabelas

Tabela 1 - Delineamento experimental do estudo.	28
Tabela 2 - Tempo de cozimento obtido e variáveis colorimétricas do arroz integral de cozimento rápido.	35
Tabela 3 - Cristalinidade relativa e propriedades de gelatinização do arroz integral não cozido (controle) e do arroz integral de cozimento rápido.	45
Tabela 4 - Propriedades viscoamilográficas.	47
Tabela 5 - Resultados da avaliação sensorial em relação a aparência, textura e atributos de sabor de amostras selecionadas de arroz integral de cozimento rápido.	50

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Hipóteses	14
1.2. Objetivos gerais	14
1.3. Objetivos específicos	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. Aspectos gerais, econômicos e de cultivo do arroz	16
2.2. Mudanças no consumo de arroz brasileiro e mundial	18
2.3. Aspectos de produção de arroz de cozimento rápido (QCR)	21
2.4. Estrutura e características do grão de arroz frente aos processos de produção de QCR	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1. Material	27
3.2. Métodos	28
3.2.1. Delineamento experimental	28
3.2.2. Preparo do QCR	28
3.2.3. Cor	29
3.2.4. Tempo de cocção do arroz integral de cozimento rápido (QCR)	30
3.2.5. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	30
3.2.6. Percentual de grãos danificados.....	30
3.2.7. Alterações no peso úmido e no volume do arroz integral sob as temperaturas de cocção estudadas.....	30
3.2.8. Teor e taxa de liberação de amilose	31
3.2.9. Teor de proteína bruta e capacidade de extração de proteínas em diferentes meios	31
3.2.10. Propriedades de gelatinização (DSC).....	32
3.2.11. Cristalinidade relativa (Difração de raios-X).....	32
3.2.13. Propriedades viscoamilográficas (RVA).....	33
3.2.14. Avaliação sensorial dos melhores tratamentos selecionados	33
3.2.15. Digestão simulada do amido <i>in vitro</i>	33
3.2.16. Análise estatística	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35

4.1. Tempo de cocção, cor e características estruturais do arroz integral de cozimento rápido.....	35
4.2. Alterações no peso úmido e no volume do arroz integral sob as temperaturas de cocção estudadas	39
4.3. Teor de amilose aparente, teor de proteína bruta e capacidade de extração proteica	41
4.4. Difrátogramas de raios-X e cristalinidade relativa	44
4.5. Temperaturas de gelatinização e entalpia de gelatinização analisadas por calorimetria diferencial de varredura	46
4.6. Propriedades viscoamilográficas (RVA) e taxa de liberação de amilose....	46
4.7. Avaliação sensorial do arroz integral de cozimento rápido Puitá Inta CL INOV CL ambos preparados na temperatura de 88°C.....	50
4.8. Digestibilidade <i>in vitro</i>	50
5. CONCLUSÕES	54
6. REFERÊNCIAS.....	55

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial. Sua importância se destaca principalmente nos países em desenvolvimento, como o Brasil, desempenhando papel estratégico em níveis econômico e social.

O Brasil, além de ser o maior produtor dentre os países ocidentais, é também o maior consumidor *per capita* de arroz. O consumo de arroz branco (beneficiado polido) no Brasil é superior a 70%, seguido do arroz parboilizado polido que responde por quase 25%, e os outros 5% são divididos entre o arroz integral e os tipos especiais, como os grãos de cultivares aromáticas, de pericarpo preto e de pericarpo vermelho.

Por outro lado, países desenvolvidos possuem um baixo consumo *per capita* de arroz. Os Estados Unidos (EUA), por exemplo, apesar de serem um importante produtor de arroz, destinam quase a totalidade de sua produção à exportação.

Todavia, devido as mudanças sociais, culturais e econômicas que estão acontecendo na sociedade ao longo das últimas décadas, é possível observar o aumento exponencial no consumo de alimentos instantâneos, principalmente nos países desenvolvidos, onde se encontram os consumidores que mais buscam por este tipo de alimento.

Ao encontro desta tendência de consumo de alimentos está o arroz instantâneo, que também é conhecido como arroz de cozimento rápido (ou QCR, do inglês *Quick Cooking Rice*), ou simplesmente “arroz instantâneo”. Desta maneira é possível observar o grande potencial de mercado que este alimento pode oferecer, fazendo com que nos países desenvolvidos aumente de forma significativa o consumo de arroz.

Além do baixo tempo de preparo, que pode variar de 3 a 15 min, outros aspectos tornam este tipo de alimento atrativo ao consumo. Diversos componentes presentes no arroz integral de cozimento rápido têm sido relacionados a efeitos benéficos a saúde. Estudos indicam efeitos como: (1) auxílio no controle da taxa glicose sanguínea; (2) redução dos lipídios séricos e da pressão arterial; e (3) auxílio na prevenção e no controle de doenças crônicas, como diabetes do tipo II (este último devido a sua baixa digestibilidade). Esses efeitos estão relacionados à presença de compostos no grão, sendo, portanto, afetados por diferentes fatores, principalmente pela característica genotípica e pelo método de processamento do QCR.

Neste estudo, a produção de arroz instantâneo seguiu as seguintes etapas: hidratação, cocção, pré-tratamento e secagem. As condições ideais para cada etapa devem ser adequadamente estudadas e selecionadas, objetivando alta qualidade do produto final. Para o arroz integral, esse processo pode ser mais complicado em comparação com o arroz branco polido, devido a composição da camada de farelo do arroz integral, a qual apresenta componentes que são muito reativos aos processos hidrotérmicos de produção do QCR, como proteínas e lipídios, os quais podem interferir na qualidade do produto final.

Sendo assim, as temperaturas de gelatinização do amido foram consideradas como um dos fatores de maior importância no desenvolvimento do arroz integral de cozimento rápido. Durante o processo de cocção realizado em diferentes temperaturas, a água se difunde de maneira diferente nos grânulos de amido através da parede celular, fazendo com que o grânulo de amido passe por uma transformação estrutural e físico-química, alterando, assim, as características tecnológicas e sensoriais do QCR em função das temperaturas de cocção utilizadas.

As Novas tecnologias aplicadas a produção de arroz irrigado alcançam cada vez mais altos níveis de produtividade, otimizando o uso de terras e reduzindo os custos de produção. O melhoramento genético de plantas no desenvolvimento de cultivares híbridas tem um papel muito importante neste processo, devido ao seu vigor híbrido, que pode oferecer dentre outros fatores, maior tolerância e resistência a doenças, além de aumento de produtividade destas plantas. Apesar das cultivares híbridas de arroz poderem gerar produtividades elevadas, o que as torna uma ferramenta importante na produção de grãos, as características físico-químicas apresentadas pelos seus grãos atendem de forma parcial aos parâmetros de qualidade demandados pelo mercado brasileiro.

Alguns genótipos de cultivares híbridas carregam uma herança genética de linhagens mães as quais apresentam uma característica importante: alto percentual de grãos gessados, os quais associados à sua camada de farelo geralmente mais fina – outra característica destas linhagens - aumentam a capacidade de absorção de água por estes espaços de ar, acelerando a gelatinização do amido e reduzindo o tempo de cocção dos grãos integrais. Essa redução no tempo de cocção é muito desejada, pois pode gerar economia de tempo e de energia, já que o tempo de preparo destes grãos pode variar, em média, de 20 à 120 minutos, dependendo do tipo de preparo a ser utilizado.

Objetiva-se com este estudo compreender de maneira mais aprofundada o desempenho dos grãos integrais de arroz de uma cultivar híbrida e de uma cultivar convencional frente a diferentes temperaturas de cocção (72, 80 e 88°C).

1.1. Hipóteses

Maiores temperaturas de cocção dos grãos de arroz integral na elaboração de QCR melhoram a aparência, a qualidade tecnológica e sensorial dos produtos finais.

A utilização de retrogradação como uma etapa de pré-tratamento durante a produção de QCR, reduz a digestibilidade do amido destes grãos.

As etapas de cocção, retrogradação e secagem utilizadas para o preparo de QCR afetam o teor e a capacidade de extração das proteínas.

1.2. Objetivos gerais

Desenvolver um sistema de produção de QCR a partir de grãos de arroz de duas cultivares de arroz largamente produzidas no Brasil, utilizando diferentes temperaturas de cocção, além de aplicação de retrogradação e posterior secagem, a fim de reduzir a digestibilidade de carboidratos do QCR, seu tempo de cocção e melhorar seu aspecto visual e suas características sensoriais e tecnológicas.

1.3. Objetivos específicos

1.3.1. Determinar as melhores temperaturas de cocção para cada um dos genótipos estudados.

1.3.2. Compreender como o gessamento dos grãos de arroz e as interações ocorridas entre os componentes do amido – amilose e amilopectina – e as proteínas podem interferir na qualidade do QCR.

1.3.3. Analisar e compreender as modificações dos constituintes físico-químicos do QCR em função dos tratamentos aplicados para cada um dos genótipos estudados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos gerais, econômicos e de cultivo do arroz

O arroz (*Oryza sativa*) é uma planta anual, da família das poáceas, antiga família das gramíneas, sendo a segunda maior cultura cerealífera cultivada no mundo, ocupando uma área de aproximadamente 168 milhões de hectares. A produção de arroz em casca ficou em torno de 741 milhões de toneladas em 2017 (USDA, 2018; SOSBAI, 2018). É um dos principais alimentos para a nutrição humana, sendo a base alimentar para mais da metade da população mundial e majoritariamente produzido por países asiáticos, mas também largamente produzido no sul do Brasil (KORRES et al., 2016; ISHII et al., 2016; ELIAS et al., 2015).

No Brasil, a produção de arroz na safra 2017/18 foi de 16.450 toneladas, estando a maior parte da produção concentrada em cinco estados, Rio Grande do Sul (70%), seguido por Santa Catarina (9,9%), Tocantins (5,8%), Mato Grosso (4,1%) e Maranhão (2,5%) (CONAB, 2018).

Ao longo dos anos, as áreas de produção de arroz no Brasil têm diminuído e sua produção aumentado, evidenciando um aumento de produtividade como pode ser observado na Figura 1. Além disso, como citado anteriormente, aproximadamente 70% da totalidade do arroz são produzidos no estado do RS, o que demonstra uma grande importância econômica e social desta cultura para a região (ELIAS et al., 2012).

O aumento na produtividade pode ser evidenciado pela utilização de novas tecnologias e utilização de cultivares com melhores potenciais genéticos, que oferecem resistência a doenças, tolerância a seca, maior potencial produtivo, dentre outras características desejáveis (VIEIRA e CARVALHO 2009).

Somente o Brasil, com uma produção anual ao redor de 13,5 milhões de toneladas de arroz em casca, participa com 79,3% da produção do Mercosul, o que movimentou em torno de R\$ 6,3 bilhões no estado do RS no ano de 2016, correspondendo aproximadamente a 1,58% do PIB do estado. No RS, principal estado produtor, o arroz é produzido em 131 municípios localizados na metade sul do estado, gerando 232 mil empregos diretos e indiretos. Já o setor agroindustrial é formado por aproximadamente 198 indústrias de beneficiamento e responde por 50% do arroz

beneficiado no país (SOSBAI, 2018), o que denota a sua importância econômica e social, tanto regional, como nacional.

Nenhuma entrada de índice de ilustrações foi encontrada.

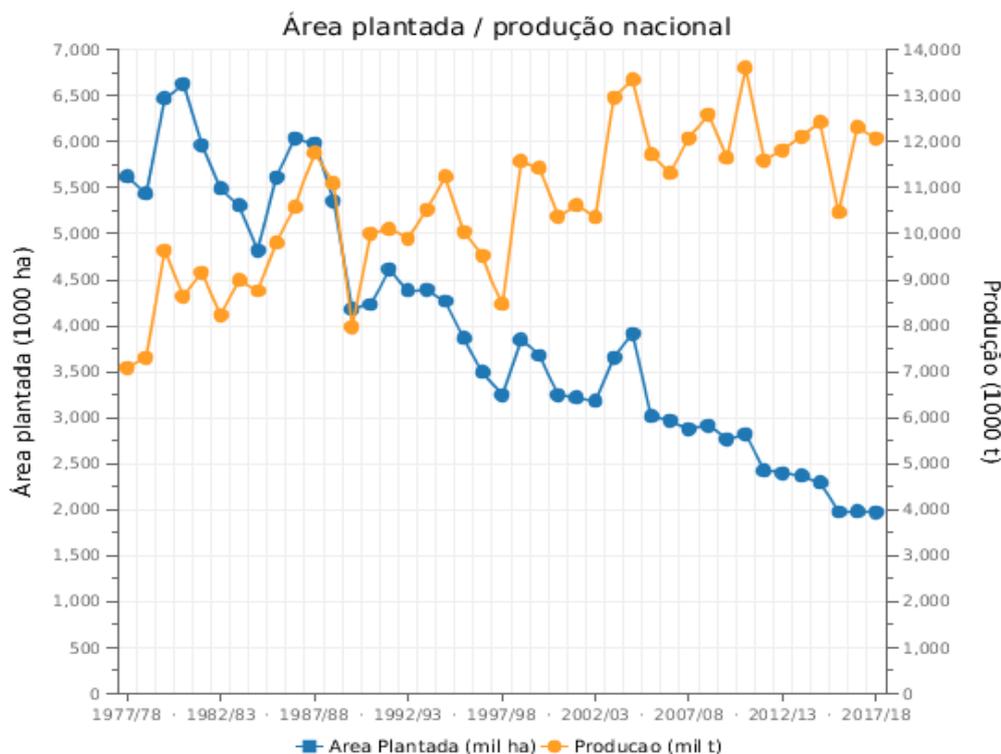


Figura 1 - Evolução da área plantada e da produção nacional de arroz no período de 1977/78 à 2017/18.

Fonte: CONAB, 2018.

O consumo médio de arroz no mundo varia de de 35 a 70kg/pessoa/ano, podendo chegar a 200kg/ano/pessoa em alguns países asiáticos, onde se encontra mais de 90% da produção mundial deste cereal. No Brasil são consumidos em torno de 45 kg/ano/pessoa, 15kg/ano/pessoa a mais que a média de consumo da América Latina (EMBRAPA, 2015), o que revela um grande potencial para as indústrias ligadas ao setor de alimentos. Nesse sentido, a adoção de novas tecnologias no beneficiamento de arroz e o desenvolvimento de produtos inovadores e diferenciados, que atendam a determinados grupos de consumidores, podem refletir em um aumento na geração de renda e de empregos para a região e para o país.

2.2. Mudanças no consumo de arroz brasileiro e mundial

O arroz é considerado pela FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) como o alimento mais importante para a segurança alimentar no mundo. É uma cultura de extrema rusticidade e ainda fornece um excelente balanço nutricional, o que faz dela a espécie de maior potencial de aumento de produção para o combate da fome no mundo (FAO, 2018).

Além disso, o arroz é um grão com alto valor energético, devido ao seu alto teor de carboidratos. Ademais, o arroz também apresenta na sua composição proteínas de alto valor biológico, lipídeos e minerais, sendo fonte de vitaminas do complexo B como o ácido fólico precursor da vitamina B9 e α -tocoferol, um precursor da vitamina E, sendo a primeira de extrema importância para gestantes, pois é responsável pelo correto desenvolvimento do tubo neural do feto (STORCK, 2004; PAIVA et al., 2014).

O Brasil se destaca como o principal produtor de arroz dentre todos os países ocidentais. Apesar das reduções de produção em algumas safras nos últimos anos, devido a adversidades climáticas, a produção brasileira de arroz vem apresentando uma tendência de crescimento mesmo com a redução das áreas cultivadas (Figura 1), devido, principalmente, ao constante incremento de produtividade, já citado anteriormente (SOSBAI, 2018).

Por outro lado, o consumo de arroz no Brasil vem aumentando em um ritmo bem inferior ao crescimento da produção. Nos últimos anos, o aumento da população brasileira vem sendo compensado por uma redução no consumo per capita do cereal, consequência de uma série de modificações nos padrões e hábitos de consumo que vem sendo observados na população (IBGE, 2019; CONAB, 2018)

Em razão desta situação, ações e esforços que direcionem a geração de um incremento na demanda, como a criação de novos produtos, levando em consideração as mudanças que estão acontecendo em nossa sociedade e no mundo. Os fenômenos de urbanização e globalização vêm tendo papel importante nessas mudanças, uma vez que as características associadas aos fatores culturais e socioeconômicos são fundamentais na definição desses hábitos (KIM-YOUNGOK e KIM, 2001; USDA, 2010).

Apenas uma pequena quantidade de arroz é consumida como ingrediente em produtos processados, sendo seu maior consumo na forma de grãos cozidos e na seguinte ordem: arroz branco polido, arroz parboilizado polido, arroz parboilizado integral e arroz integral (KENNEDY, 2002; PARAGINSKI et al., 2014).

Produtos alimentares que economizam tempo e esforço no preparo e consumo estão em todos os lugares. O estilo de vida de muitas pessoas levou a uma grande demanda por este tipo de alimento, devido ao aumento no número de indivíduos que moram sozinhos, maior número de mulheres que trabalham fora de casa, sociedades multiculturais que apresentam novos alimentos e mudanças de valores e normas. Estes são alguns dos muitos fatores que abriram as portas para os alimentos instantâneos (BUCKLEY et al., 2007, USDA 2010).

Logo, o ritmo acelerado da vida moderna promoveu novas formas de consumir arroz, como o arroz instantâneo, também conhecido como arroz de cozimento rápido (QCR, do inglês *Quick Cooking Rice*). O tempo de preparo de QCR leva apenas alguns minutos de reidratação e de cozimento para poder ser consumido (KANG et al., 2007; WANG et al., 2011).

Trabalhos recentes realizados por Jiao et al. (2014) mostraram que o QCR exibe tempo de cozimento variando de 3 a 15min, enquanto o arroz sem tratamento apresenta tempo de cozimento de até 60min.

O mercado de alimentos instantâneos movimenta mais de um trilhão de dólares em todo o mundo, e o arroz instantâneo está ganhando força nos mercados asiático e europeu, demonstrando o potencial econômico deste tipo de alimento, como é possível observar nas figuras 2 e 3 (RIVERA et al., 2014).

Ademais, além do grande potencial econômico, o arroz instantâneo pode trazer grandes benefícios à saúde. Um fator que torna o QCR atrativo para certos consumidores é a reduzida digestibilidade. De acordo com Hsu et al. (2015), o arroz polido de cozimento rápido apresenta liberação mais lenta de glicose no sangue do que o arroz polido, devido a formação de amido resistente e amido lentamente digerível durante a produção do QCR.

Amido resistente, é o tipo de amido que não é absorvido no intestino delgado e entra no intestino grosso, onde é fermentado. Já o amido lentamente digerível é

absorvido de maneira mais demorada, o que evita picos de glicemia no sangue e traz sensação de saciedade por mais tempo. Logo, o consumo deste tipo de alimento ajuda a manter a saúde do cólon e traz efeitos benéficos na prevenção de doenças relacionadas com distúrbios metabólicos, em particular a obesidade, diabetes do tipo 2 e câncer colorretal (TAMURA et al., 2015; LING et al., 2001; LUH et al., 1980), o qual é atribuído parcialmente pela produção de butirato, um dos ácidos graxos de cadeia curta produzidos a partir da fermentação de amido resistente por *Bifidobacterium spp.* no cólon (HAMAKER et al., 2014).



Figura 2 - Evolução da produção de arroz instantâneo (ton) no período de 2000 a 2017.

Fonte: Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries Japan, 2018.

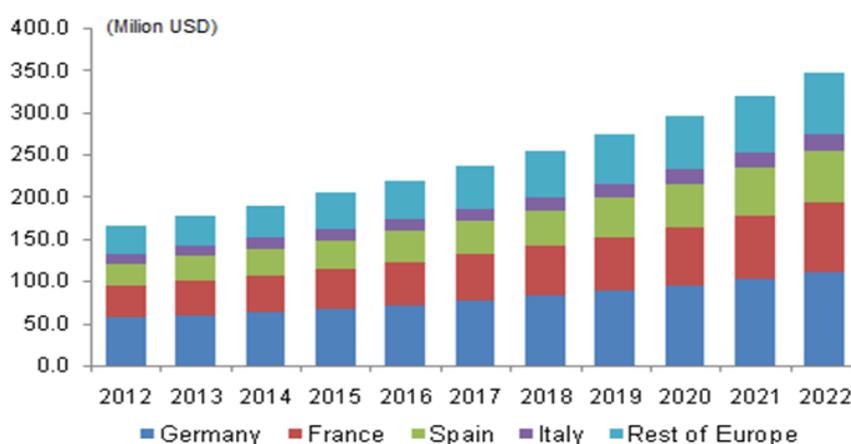


Figura 3 - Evolução e projeção do mercado de arroz instantâneo em milhões de dólares na Europa, no período de 2012 a 2022.

Fonte: Grand View Research, 2018.

2.3. Aspectos de produção de arroz de cozimento rápido (QCR)

O processo de produção de QCR torna prático e conveniente o consumo dos grãos de arroz, podendo conferir-lhes um menor ou maior índice glicêmico e melhores atributos sensoriais e tecnológicos dependendo das técnicas utilizadas para a sua produção (HSU et al., 2015; REWTHONG et al., 2011).

Para a obtenção do QCR os grãos de arroz precisam ser cozidos ou pré-cozidos para que, assim, ocorra a gelatinização do amido. Este processo de cocção pode se dar sob pressão, excesso de água, micro-ondas, panela elétrica, dentre outros (PRASERT e SUWANNAPORN, 2009; HSU et al., 2015; REWTHONG et al., 2011; LE e JITTANIT, 2015).

Diferenças na temperatura de cocção são um ponto chave na preparação do arroz de cozimento rápido, pois estas podem modificar de maneira significativa a qualidade final do QCR. A etapa de cozimento na preparação do QCR é realizada pelo aquecimento prévio a determinadas temperaturas do arroz já hidratado, além de se observar a adequada proporção arroz: água e diferentes períodos de cozimento, em função das diferentes taxas de gelatinização dos materiais (CHEN et al., 2006). A temperatura utilizada durante a etapa de cocção pode ser maior do que a necessária para a gelatinização do amido.

Leelayuthsoontorn e Thipayaratet (2006) usaram temperaturas de cozimento de 80, 100, 120 e 140°C para gelatinizar o amido de arroz Jasmine. Segundo esses autores, as altas temperaturas de cozimento afetaram o aspecto do arroz cozido, resultando em uma fração de endosperma com maior porosidade, produzindo grãos menos expandidos e curvos. Além disso, as mudanças de cor e textura foram dependentes da temperatura de cocção.

Após o procedimento preliminar de cozimento, o arroz passou por uma etapa de pré-tratamento, onde ele foi lavado com água fria e deixado em repouso por 24 h a 4°C, com o objetivo de realizar a retrogradação do amido, facilitar o seu manuseio, além de otimizar a subsequente etapa de desidratação, que é realizada para secar arroz cozido e provoca pequenas fissuras que favorecerão a sua reidratação durante a cocção do QCR. Todos os parâmetros mencionados podem ser severamente dependentes da composição do arroz e de suas características físicas, além de

poderem fornecer diferentes características sensoriais e tecnológicas ao QCR, tais como: sabor, cor, textura e menor tempo de reidratação (WONGSA et al., 2016; HSU et al., 2015; LUANGMALAWAT et al., 2008; XU et al., 2006).

2.4. Estrutura e características do grão de arroz frente aos processos de produção de QCR

O grão de arroz (Figura 4) é formado por uma cariopse e uma camada protetora, denominada comumente de casca. A casca, composta de duas folhas modificadas, a pálea e a lema, corresponde a cerca de 20% do peso do grão. A cariopse é formada por diferentes camadas, sendo as mais externas o pericarpo, o tegumento e a camada de aleurona, que representam 5-8% da massa do arroz integral. A camada de aleurona apresenta duas estruturas de armazenamento proeminentes, é onde se localizam os corpos proteicos e os corpos lipídicos. O embrião ou gérmen está localizado no lado ventral na base do grão, é rico em proteínas e lipídios, e representa 2-3% do arroz integral. O endosperma forma a maior parte do grão (89-94% do arroz integral) e consiste de células ricas em grânulos de amido e com alguns corpos proteicos (JULIANO, 1985).

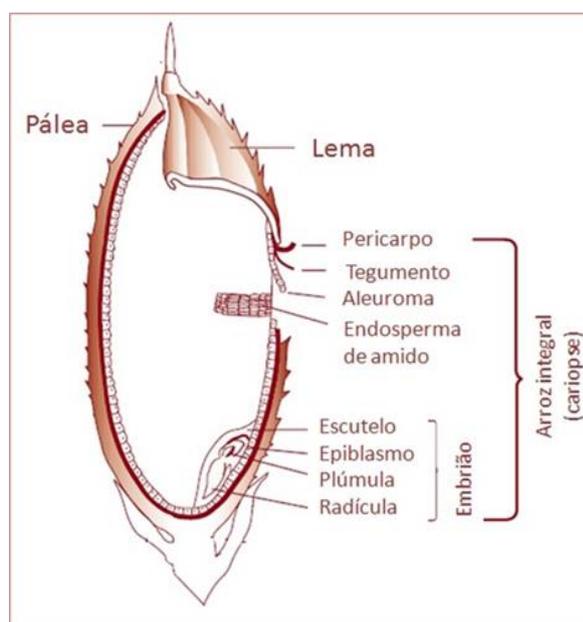


Figura 4 - Estrutura do grão de arroz.

Fonte: Adaptado de MCLEAN et al., 2002.

O amido é o principal componente do grão de arroz e uma importante fonte de calorias para os seres humanos. Ele desempenha um papel fundamental na determinação das propriedades físico-químicas e culinárias do arroz. Muitos fatores, incluindo a distribuição do tamanho dos grânulos, o teor de amilose e a cristalinidade afetam a qualidade do amido (LIN et al., 2011; YU et al., 2012).

Os grânulos de amido de arroz possuem estrutura poliédrica e são compostos por amilose e amilopectina. A amilose é uma molécula linear composta por unidades de glicose ligadas por ligações glicosídicas α -1,4, com um pequeno número de ramificações. Já a amilopectina é uma molécula formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6, formando uma estrutura ramificada (ZAVAREZE et al., 2012). Os grânulos de amido são semi-cristalinos, ou seja, apresentam lamelas semi-cristalinas e amorfas sobrepostas, num arranjo conhecido como “anéis de crescimento” (TESTER e KARKALAS, 2004), sendo que a forma como as duplas hélices de amilopectina estão organizadas no interior dos grânulos de amido pode ser classificada através dos picos de difração de raio-X (WANG e COPELAND, 2013).

A técnica de difração de raios-X detecta as repetições ordenadas regulares das hélices, refletindo a ordem tridimensional dos cristais de amido, servindo então, de instrumento para identificar estas zonas cristalinas, além de possibilitar a classificação e agrupamento dos amidos de acordo com as suas propriedades físicas (DONNALD, 2004). Já a técnica utilizada para estimar o teor de amilose aparente é baseada na complexação das moléculas de amido com iodo, principalmente a amilose. Logo, quanto maior a complexação do amido com o iodo, maior é a leitura do comprimento de onda no aparelho espectrofotômetro, e maior é o teor de amilose do amido (BAILEY e WHELAN, 1961). Além disso, os grânulos de amido são os principais responsáveis pela absorção de água durante a cocção, e exercem grande influência na qualidade do arroz cozido, devido as suas propriedades físico-químicas (ZHU et al., 2017). A organização estrutural dos grânulos de amido está apresentada na Figura 5.

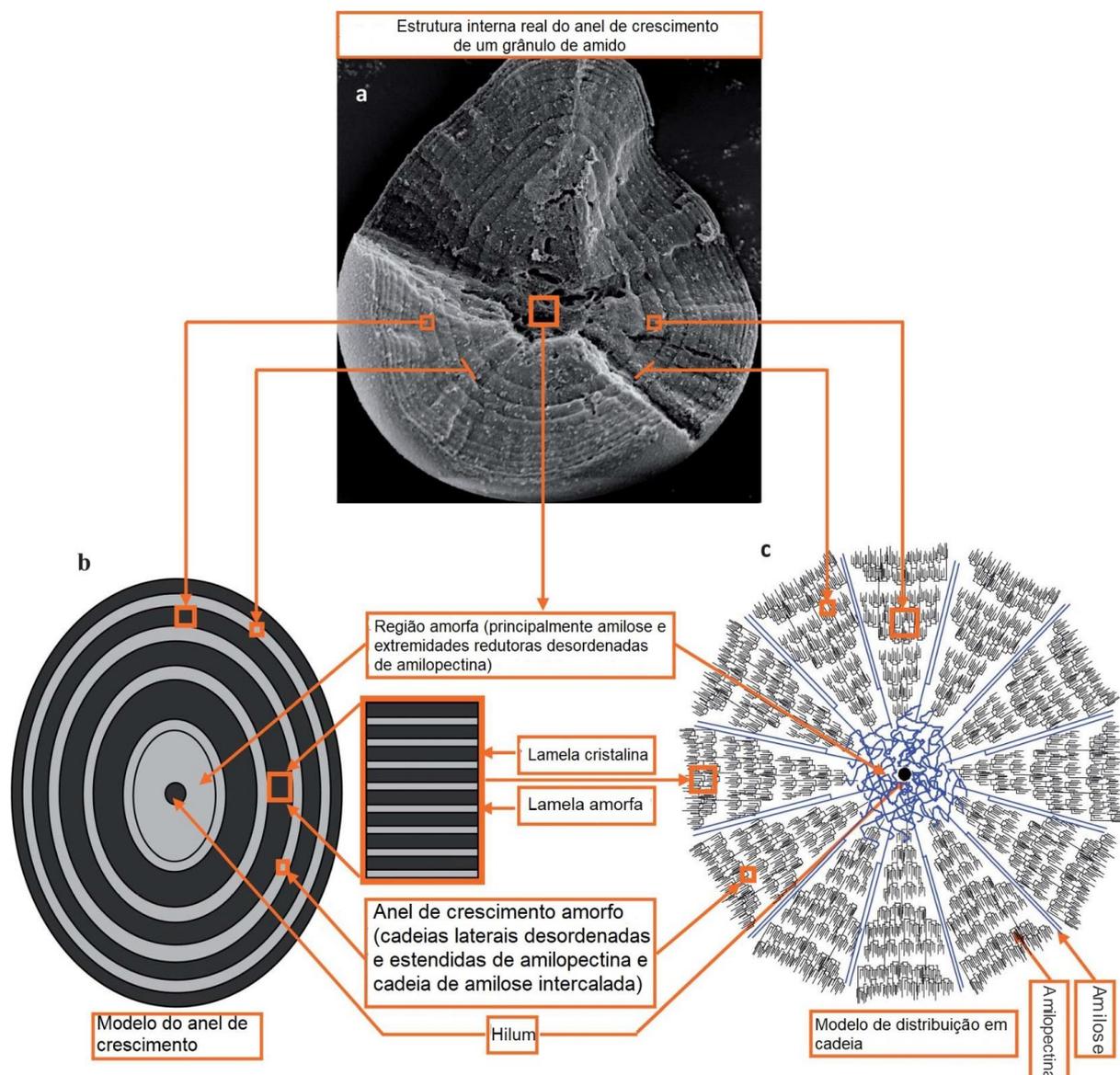


Figura 5 - Organização estrutural de um grânulo de amido.

Fonte: Adaptado de Wang e Copeland, 2013.

Os principais genótipos cultivados no Brasil, assim como em quase todos os países da América Latina, são classificados como subespécies de indica, os quais possuem grãos longos e alto teor de amilose, que atendem à preferência do consumidor por arroz cozido não pegajoso. Yadav e Jindal (2007a) demonstraram que o alto teor de amilose dos grãos de arroz estava relacionado com a maior dificuldade de absorção de água e proporcionou um maior tempo de cozimento, em comparação com o arroz de baixo teor de amilose.

Embora a estrutura do amido afete o consumo de arroz e a qualidade de cocção, apenas isso não explica toda a variação nos parâmetros de qualidade dos

grãos. Diferenças no teor de proteínas e na capacidade de extração proteica, as quais são determinadas por interações moleculares, podem ser significativas no contexto da qualidade sensorial e de cocção do QCR (BALINDONG et al., 2016).

Ju et al. (2001) mostraram que essas diferenças das proteínas podem ser usadas como uma ferramenta para monitorar a qualidade do grão, pois é possível analisar a desnaturação proteica durante a secagem, moagem, armazenamento e processamento do arroz. Da mesma forma, resultados obtidos por Meullenet et al. (1998) demonstraram que genótipos que possuíam uma camada mais espessa de farelo resultou em grãos com maiores teores de proteínas e lipídeos, o que dificultou a absorção de água e aumentou o tempo de cocção destes grãos.

Saleh (2017) analisou o comportamento da interação da matriz proteica junto aos grânulos de amido de arroz e relatou a formação de ligações dissulfídicas entre as proteínas durante o processo de gelatinização, o que conferiu rigidez aos grânulos de amido, devido à restrição da capacidade de absorção de água e inchamento destes grânulos.

Outro fator que afeta as características de cozimento do arroz é a porcentagem de grãos gessados. O gessamento é uma opacidade que se verifica nos grãos devido ao arranjo de forma não compacta entre os grânulos de amido e proteína nas células (ISHYMARU et al., 2009).

A área gessada e a transparência final são definidas majoritariamente pelos fotoassimilados que são acumulados durante o período de desenvolvimento do grão. No entanto, existe a dependência genética para que os fotoassimilados sejam acumulados na fase de enchimento (SHI et al., 2002).

Estudos como o de Lang et al. (2012) demonstram porcentagens de grãos opacos e gessados para cultivares híbridas até 58% maiores do que os valores encontrados para cultivares convencionais. Logo, a concentração de amido no arroz e as diferenças nas propriedades reológicas podem ser causados por fatores genéticos e ambientais, devido à variação no teor de amilose, ao comprimento de cadeia ramificada e a interação da amilose com as proteínas (PATINDOL et al., 2010; WANI et al., 2012).

Zonas opacas ou gessadas são locais onde não há compactação dos grânulos de amido - devido ao tipo de arranjo – o que forma espaços de ar entre si, por ocorrência de uma interação mais frouxa entre as moléculas de amilose e amilopectina do amido com as proteínas do grão (YOSHIOKA et al., 2007; ZHOU et al., 2009).

Esses grãos afetam diretamente as características sensoriais e de cocção do arroz, pelo fato dos grãos gessados aumentarem a capacidade de absorção de água, reduzindo a sua dureza, aumentando a sua capacidade de gelatinização e diminuindo seu tempo de cocção (LANG et al., 2012; ZHANG et al., 2009). Associado a isto, grãos de cultivares híbridas geralmente possuem uma camada de farelo mais fina, fazendo com que a hidratação dos grânulos de amido seja ainda mais rápida, o que pode alterar a qualidade final do QCR (LEETHANAPANICH et al., 2016).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos (Labgrãos), do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, da Universidade Federal de Pelotas (DCTA-FAEM-UFPe).

3.1. Material

Dois genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.) foram utilizados, sendo um convencional (Puitá Inta CL) e outro híbrido (INOV CL). Os grãos de ambos os genótipos são classificados como grãos longos, com alto teor de amilose (acima de 25,0%) e baixa temperatura de gelatinização (abaixo de 70,0°C).

Os grãos de arroz foram cultivados em uma fazenda localizada em Pelotas, Estado do Rio Grande do Sul (safra 2016/17), sob sistema de produção de terras baixas, seguindo as práticas de manejo adotadas para o cultivo de arroz no Brasil (SOSBAI, 2018).

A colheita foi realizada mecanicamente quando o teor de umidade estava em torno de 20,0%. Em seguida, os grãos foram transportados para o Labgrãos da UFPe, onde foram limpos e secos em estufa a 38°C até atingir 12,5% de umidade. Após a secagem, o arroz em casca foi armazenado a 15°C, antes do preparo do arroz integral de rápida cocção.

Ambos os genótipos de arroz foram caracterizados quanto à estrutura do endosperma, determinando visualmente a porcentagem de grãos gessados. O gessamento foi dividido em três categorias:

- (1) grãos com até 1/3 partes da área do endosperma opaca;
- (2) grãos com pelo menos metade da área do endosperma opaca; e
- (3) grãos com mais de 90% de área do endosperma opaca.

O genótipo Puitá Inta CL apresentou 1,0%, 1,2% e 0,2% de grãos com área opaca equivalente à 1/3, 50% e mais de 90%, respectivamente, enquanto o genótipo INOV CL apresentou 7,0%, 4,0% e 1,8% de grãos com a presença de áreas gessadas em cada uma das três categorias, respectivamente.

3.2. Métodos

3.2.1. Delineamento experimental

O delineamento experimental está apresentado na tabela 1. Foi utilizado o delineamento bifatorial 2 x 3, com dois controles, sendo um para a cultivar Puitá Inta CL e outro para INOV CL, ambos sem passar por processamento de QCR.

Tabela 1 - Delineamento experimental do estudo.

Tratamentos	Variáveis Independentes		Variáveis dependentes
	Genótipo	Temperaturas de cocção (°C)	
1	Puitá Inta CL	72	- Perfil colorimétrico
2			- Tempo de cocção
3			- Rendimento volumétrico e gravimétrico
...	INOV CL	80	- Análise sensorial
...			- Análise de danificações no QCR
...			- Microscopia eletrônica de varredura (MEV)
...	*Controle Puitá Inta CL integral	88	- Digestibilidade do amido in vitro
...			- Propriedades de pasta (RVA)
...			- Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) da farinha
...	*Controle INOV CL integral		- Determinação do teor amilose
...			- Difração de raio-X
...			- Proteína bruta
...			- Proteína solúvel
8			

3.2.2. Preparo do QCR

Os grãos de arroz foram descascados em engenho de provas Zaccaria (tipo PAZ-1-DTA, Zaccaria, Limeira, SP, Brasil) para obtenção de arroz integral. O QCR foi preparado em triplicata, seguindo o método descrito por Hsu et al. (2015), com modificações.

Amostras de arroz integral (150 g) de cada cultivar foram submetidas a hidratação por 1 hora na proporção arroz: água destilada de 1:6 (p / v), a 25°C. Após a etapa de hidratação, o material foi mantido em banho-maria (Dubnoff Microprocessado - Q226M, Quimis, São Paulo, SP, Brasil) até a completa gelatinização do amido, a 72°C por 2,06-2,11 h, a 80°C por 1,07-1,16 h e a 88°C por 0,77-0,84 h para a completa cocção dos grãos dos genótipos Puitá Inta CL e INOV CL, respectivamente.

No cozimento, o arroz foi considerado cozido quando pelo menos 90% dos grãos, em uma amostra de 10 grãos, não apresentavam mais um núcleo opaco ou um centro cru quando pressionados entre duas placas de vidro e observados com luz polarizada. No final destes períodos de cocção, a água foi drenada com auxílio de uma peneira, e logo após, os grãos foram lavados com água fria (4°C) e colocados em uma bandeja.

Em seguida, grãos de arroz cozidos foram deixados a 4°C por 24h para permitir a retrogradação do amido antes da etapa de secagem, que ocorreu em estufa (modelo 400-2ND, Nova Ética, São Paulo, SP, Brasil) a 50°C durante as primeiras 3 h com secagem adicional por 1 hora a 95°C até atingir 12% de umidade. Uma alíquota de cada tratamento foi moída utilizando um moinho de laboratório (Perten 3100, Perten Instruments, Suécia) equipado com uma peneira de malha 70 Mesh, para as análises subsequentes.

3.2.3. Cor

O perfil colorimétrico foi avaliado em um colorímetro (Minolta, modelo CR-310, Osaka, Japão), que realiza a leitura de cores em um sistema tridimensional, avaliando a cor em três eixos, onde o eixo L^* representa o valor para a luminosidade e avalia a amostra de branco (+) até o preto (-), o eixo a^* representa o valor que avalia a amostra do vermelho (+) até o verde (-) e o eixo b^* representa o valor que avalia a amostra de amarelo (+) até o azul (-).

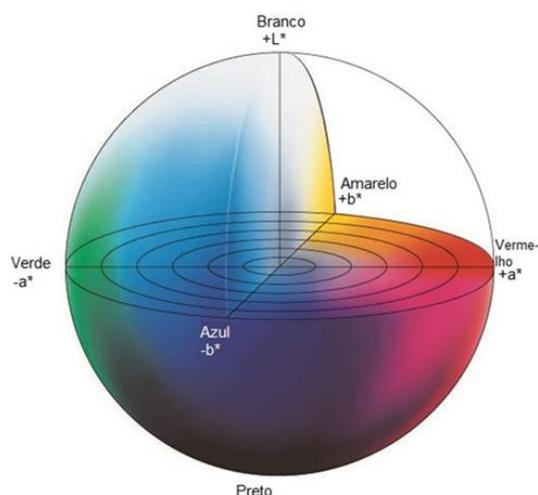


Figura 6 - Diagrama para a localização das cores no eixo colorimétrico.

3.2.4. Tempo de cocção do arroz integral de cozimento rápido (QCR)

O tempo ideal de cocção foi determinado pelo teste de Ranghino (MOHAPATRA e BAL, 2006). Em um becker de 250 mL, aproximadamente 100mL de água destilada foram aquecidos a temperaturas de 72, 80 e 88°C e 20g de grãos de arroz foram adicionados. A medição do tempo de cozimento foi iniciada quando as amostras foram lançadas na água. Após 10min e a cada minuto a partir de então, dez grãos foram removidos e pressionados entre duas placas de vidro limpas e observados com luz polarizada. O tempo de cocção foi registrado quando pelo menos 90% dos grãos não tinham mais um núcleo opaco ou um centro não cozido.

3.2.5. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A morfologia dos grãos de arroz QCR foi examinada usando um microscópio eletrônico de varredura (Shimadzu, SSX-550). Os grãos de arroz foram congelados em nitrogênio líquido e fraturados em seções transversais. O grão inteiro e as seções transversais de cada tratamento foram então colocados em uma fita adesiva dupla face, fixada na superfície de um cilindro de metal, e revestida com ouro. Subsequentemente, as amostras foram examinadas por MEV sob uma voltagem de aceleração de 15kV e ampliação de 20x e 30x.

3.2.6. Percentual de grãos danificados

Os grãos de QCR foram aleatoriamente escolhidos e pesados com aproximadamente 100g. Em seguida, os grãos com deformidades aparentes, como rupturas longitudinais e exposição do endosperma, foram observados, separados, pesados e calculados os percentuais de grãos danificados seguindo a metodologia de Leelayuthsoontorn et al. (2006).

3.2.7. Alterações no peso úmido e no volume do arroz integral sob as temperaturas de cocção estudadas

O peso úmido e o volume dos grãos de arroz durante a preparação do QCR a 72, 80 e 88°C foram determinados seguindo o método descrito por Yadav e Jindal, (2007b), com algumas modificações. 50 grãos de arroz integral foram selecionados aleatoriamente e imersos em 5 mL de água destilada em tubos falcon à temperatura ambiente por 1h.

Os tubos foram então imersos em banho maria a 72, 80 e 88°C. As amostras foram coletadas a cada 7, 10 e 17min durante a preparação do arroz cozido a 72, 80 e 88°C, a fim de se obterem dados para entender as mudanças no peso úmido e no volume do arroz submetido ao processamento de QCR. As amostras recolhidas foram transferidas para um banho de gelo e deixadas para arrefecer durante 2min. O peso úmido foi expresso em mg por 50 grãos. O volume foi expresso em cm³ de grãos cozidos por 50 grãos.

3.2.8. Teor e taxa de liberação de amilose

O teor e a taxa de liberação de amilose foi determinado pelo método de iodo descrito por McGrane, et al. (1998), com modificações. Aproximadamente 100mg de arroz integral e 100mg de arroz QCR foram moídos e logo após passados através de uma peneira de 100 Mesh. As amostras foram desengorduradas e colocadas em tubos falcon de 15mL e misturadas com 8mL de dimetilsulfóxido a 90% (DMSO). A mistura foi agitada durante 20min e depois foi mantida a 85°C em um banho maria até a completa gelatinização do amido e solubilização da farinha, o que ocorreu 3,5h após agitação mecânica a 85°C. No final deste período, as amostras foram removidas do banho de água. As amostras foram retiradas do banho a cada 30min até completar 3,5h para a completa gelatinização do amido e solubilização da farinha.

Após o resfriamento, as amostras foram transferidas para um balão volumétrico de 25mL, então, foi adicionada água destilada até completar o volume. Uma alíquota de 1mL desta solução foi coletada e misturada a 44mL de água destilada e 5mL de solução I₂/KI (0,0025 mol. L⁻¹ de I₂ e 0,0065 mol.L⁻¹ de KI). A solução resultante foi homogeneizada e deixada em repouso durante 15min, antes da leitura da absorvância a 600nm. A curva de calibração foi preparada usando amilose pura de batata (Sigma-Aldrich, Darmstadt, Alemanha).

3.2.9. Teor de proteína bruta e capacidade de extração de proteínas em diferentes meios

A análise do teor de proteína bruta foi determinada seguindo o método 46-13 da *American Association of Cereal Chemists* (AACC, 1995), e o teor de proteína foi obtido usando um fator de conversão de nitrogênio para proteína de 5,95.

O teor de proteína solúvel foi determinado de acordo com o método descrito por Buggenhout et al. (2013), com modificações. A água destilada foi substituída por uma solução de dodecilsulfato de sódio a 2% (SDS) e outra solução de 2% SDS + 1% de β -mercaptoetanol, para extração.

Foram pesados 10mg de farinha e adicionados 10mL de tampão fosfato de sódio ($0,05 \text{ mol.L}^{-1}$, pH 6,8) contendo 2,0% (p/v) de dodecil sulfato de sódio (SDS) ou adicionados 10mL de tampão fosfato de sódio ($0,05 \text{ mol.L}^{-1}$, pH 6,8) contendo 2,0% (p/v) de dodecil sulfato de sódio (SDS) + 1% de β -mercaptoetanol. Posteriormente a solução foi homogeneizada durante 30min e posteriormente coletados seus sobrenadantes para análise de proteínas pelo método de AACC 46-13 (AACC, 1995).

3.2.10. Propriedades de gelatinização (DSC)

As características de gelatinização da farinha de arroz integral de ambos os genótipos e as submetidas ao preparo do QCR em diferentes temperaturas de cozimento foram determinadas por Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC, do inglês *Differential Scanning Calorimetry*) em um equipamento (TA-60WS, Shimadzu, Kyoto, Japão). Cerca de 2,5mg de farinha (base seca) foram pesadas diretamente em panelas de alumínio (Mettler, ME-27331) e então foi adicionada água destilada e obtida uma suspensão a 75% de água. As panelas de alumínio foram hermeticamente seladas e assim permaneceram durante uma hora para estabilização antes da análise. Uma panela vazia foi usada como referência. As panelas de alumínio contendo a amostra foram aquecidas a 30-120°C à taxa de 10°C por minuto. A temperatura inicial de gelatinização (T_0), a temperatura de pico (T_p), a temperatura final ou de conclusão (T_c) e a entalpia de gelatinização (ΔH) foram determinadas.

3.2.11. Cristalinidade relativa (Difração de raios-X)

Os padrões de difração de raios-X foram obtidos utilizando um difratômetro de raios-X Bruker D8 Advance (Bruker Corporation, USA). A região de varredura de difração variou entre 5° e 45° com uma voltagem alvo de 15kV, corrente de 40mA e comprimento de onda (λ): 1,5418Å.

A cristalinidade relativa (CR) foi calculada como descrito por Rabek, (1980), usando a equação: $RC (\%) = [Ac / (Ac + Aa)] \times 100$, onde Ac é a área cristalina e Aa é a área amorfa no difratograma de raios-X.

3.2.13. Propriedades viscoamilográficas (RVA)

As propriedades viscoamilográficas dos amidos foram avaliadas por RVA - Rapid Visco Analyser (modelo RVA-4, Newport Scientific, Austrália), por meio do perfil Standard Analysis 1. Foram utilizados 3,0g de amostra corrigida para 14% de umidade. As amostras foram aquecidas a 50°C em 1min e, posteriormente, a 95°C em 3,5min, sendo mantidas a 95°C durante 2,5min. A seguir, foram resfriadas para 50°C em 3,8min e mantidas a 50°C por 2min. A velocidade de rotação foi mantida a 960rpm durante 10s e então mantida a 160rpm durante o restante do processo. Foram avaliadas a temperatura de pasta, o pico de viscosidade, a viscosidade final, a quebra de viscosidade, e a retrogradação.

3.2.14. Avaliação sensorial dos melhores tratamentos selecionados

O arroz integral de cozimento rápido preparado a partir de ambos os genótipos a 88°C de temperatura de cozimento foram selecionados para análise sensorial baseada em seus baixos tempos de cocção que representaram um produto potencial a ser comercializado.

Um método de escala hedônica com uma referência informada foi aplicado (Dutcoski, 2013). Os atributos avaliados foram aparência, textura e sabor. As amostras de referência foram representadas por arroz integral cozido de cada genótipo não tratado previamente. As amostras foram cozidas seguindo seu tempo ótimo de cozimento. Aproximadamente 5 g de cada amostra de arroz cozido foram colocados em um recipiente de plástico e apresentados ao painelista. Todas as amostras foram rotuladas por códigos e analisadas por 30 painelistas. Todos os atributos sensoriais foram avaliados utilizando escores variando de -4 (gostei muitíssimo menos que a amostra de referência), 0 não diferindo da amostra de referência, e 4 (gostei muitíssimo mais que a amostra de referência).

3.2.15. Digestão simulada do amido *in vitro*

Foi utilizado modelo de digestão *in vitro* de amido contendo dois estágios, os quais tem o objetivo de simular condições de digestão gástrica e intestinal, (Dartois et al., 2010).

Resumidamente, 25g de arroz integral e QCR (cozido a 100°C durante aproximadamente 30min e aproximadamente 8min, respectivamente) foram

adicionados em um reator de vidro encamisado (capacidade de 500ml) e agitados mecanicamente a 300rpm. A jaqueta do reator foi conectada a um banho de água circulatória para manter sua temperatura a $37 \pm 1^\circ\text{C}$. O arroz integral e o QCR foram digeridos por 30min no fluido gástrico simulado (SGF, contendo 0,24g de pepsina, pH 1,2).

Para realizar a segunda etapa da digestão, o fluido intestinal simulado (SIF, contendo 0,2g de pancreatina, 3mL de amiloglucosidase e 1,5mg de invertase) foi adicionado à mistura de reação para simular a digestão no intestino delgado por 90 min, mantendo o pH em 6,8 (DARTOIS et al., 2010).

Alíquotas (0,5mL) foram retiradas aos 0, 15 e 30min de digestão, durante a fase gástrica e aos 0, 5, 10, 20, 30, 60 e 90min de digestão durante a fase do intestino delgado, e misturadas com etanol absoluto (3mL). As amostras foram então incubadas com solução de amiloglucosidase/invertase conforme descrito por Dartois et al., (2010) antes da análise de glicose usando ensaio de D-glicose (GOPOD-FORMAT, K-GLUC, Megazyme International Ireland Ltd., Irlanda). Os resultados foram expressos como porcentagem de hidrólise do amido usando as Equações (1) e (2):

$$\%SH = Sh/Si \quad (1)$$

$$= 0.9 \times Gp/Si \quad (2)$$

Deste modo, o % SH é a hidrólise percentual de amido (total); Sh é a quantidade de amido hidrolisado; Si é a quantidade inicial de amido (g); e Gp é a quantidade de glicose produzida (g). Foi usado um fator de conversão (do amido para a glicose) de 0,9, que é geralmente calculado a partir do peso molecular do monômero de amido/peso molecular da glicose ($162/180 = 0,9$) (GOÑI, 1997).

3.2.16. Análise estatística

A análise dos dados foi realizada por análise de variância (ANOVA). A comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para os resultados da análise sensorial, os genótipos foram comparados pelo teste *t* ao nível de significância de 5%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Tempo de cocção, cor e características estruturais do arroz integral de cozimento rápido

O tempo de cocção e a cor do arroz de cozimento rápido e dos respectivos controles estão apresentados na Tabela 2.

O tempo de cocção do arroz integral de cozimento rápido variou de 5,5 a 10,9 min. Jiao et al. (2014) prepararam QCR utilizando arroz polido de arroz híbrido 9718 (23,16% de conteúdo de amilose) a 100°C de temperatura de cozimento e relataram tempos de cozimento variando de 3,8 a 12,1min.

Prasert e Suwannaporn (2009), utilizando arroz polido e não integral como no presente estudo, relataram tempo de cocção de 6min do produto final elaborado com uma cultivar de arroz da Tailândia, denominada cultivar “Khao Dawk Mali 105” (18,70% de amilose). Desta maneira, considerando que o tempo de cozimento do arroz integral é maior do que o tempo de cozimento do arroz polido, o tempo de cocção de 6,9 e 5,5 min, determinado no presente estudo para Puitá Inta CL e INOV CL preparados a 88°C, respectivamente, parece ser apropriado à produção de arroz integral de cocção rápida.

Tabela 2 - Tempo de cozimento obtido e variáveis colorimétricas do arroz integral de cozimento rápido.

* Valores são médias de três determinações \pm desvio padrão. Valores seguidos por letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P <0,05).

Amostras	Tempo de cocção (min)	Variáveis colorimétricas		
		L	a*	b*
Puitá Inta CL	23.0 \pm 1.13 a	61.79 \pm 0.78 abc	1.09 \pm 0.19 b	18.87 \pm 0.39 b
Puitá Inta CL-QCR 72 °C	9.2 \pm 1.68 bc	59.66 \pm 2.18 c	1.18 \pm 0.22 ab	17.06 \pm 1.00 d
Puitá Inta CL-QCR 80 °C	10.9 \pm 1.4 b	60.78 \pm 2.77 bc	1.06 \pm 0.31 b	18.21 \pm 0.85 bc
Puitá Inta CL-QCR 88 °C	6.9 \pm 0.56 cd	60.86 \pm 1.52 bc	0.98 \pm 0.50 b	20.68 \pm 0.60 a
INOV CL	23.6 \pm 1.01 a	61.90 \pm 1.74 abc	1.63 \pm 0.28 a	18.79 \pm 0.64 b
INOV CL-QCR 72 °C	9.0 \pm 0.44 bc	62.94 \pm 2.93 ab	1.37 \pm 0.39 ab	17.60 \pm 0.85 cd
INOV CL-QCR 80 °C	10.7 \pm 1.11 b	61.84 \pm 1.72 abc	1.41 \pm 0.42 ab	17.25 \pm 1.20 cd
INOV CL-QCR 88 °C	5.5 \pm 0.2 d	64.17 \pm 1.99 a	1.08 \pm 0.20 b	17.13 \pm 0.69 cd

Os grãos do genótipo Puitá Inta CL apresentaram maior amarelecimento do que os grãos do genótipo INOV CL após serem submetidos ao preparo rápido do arroz

(Tabela 2). Durante a etapa de cocção, açúcares, proteínas solúveis, lipídios e amilose podem lixiviar da cariopse do arroz (CHIANG e Yeh, 2002; PATINDOL et al., 2010). Tempos e temperaturas de cocção mais elevados podem favorecer a lixiviação dos compostos citados, originalmente presentes na cariopse do arroz (BELLO et al., 2004; CHIANG e Yeh, 2002; HAN e LIN, 2009).

Um estudo conduzido por Lamberts et al. (2006) mostrou que a reação de Maillard é a principal responsável pelo escurecimento do arroz durante a etapa de encharcamento e autoclavagem do arroz parboilizado, sendo favorecida pela presença de aminoácidos livres e açúcares redutores na cariopse do arroz.

A maior opacidade dos grãos de arroz híbrido INOV CL provavelmente favoreceu a maior lixiviação de compostos reativos para a reação de Maillard. Essa afirmação é corroborada pelos resultados dos estudos de Bhattacharya, (2011), que observaram que o arroz com maior percentual de gessamento possui um maior teor de material lixiviado durante as etapas de hidratação e cozimento.

Imagens de uma microscopia eletrônica de varredura (MEV) do arroz integral de cozimento rápido e do arroz não tratado, de ambos os genótipos, foram obtidas e estão apresentadas nas Figuras 7 e 8.

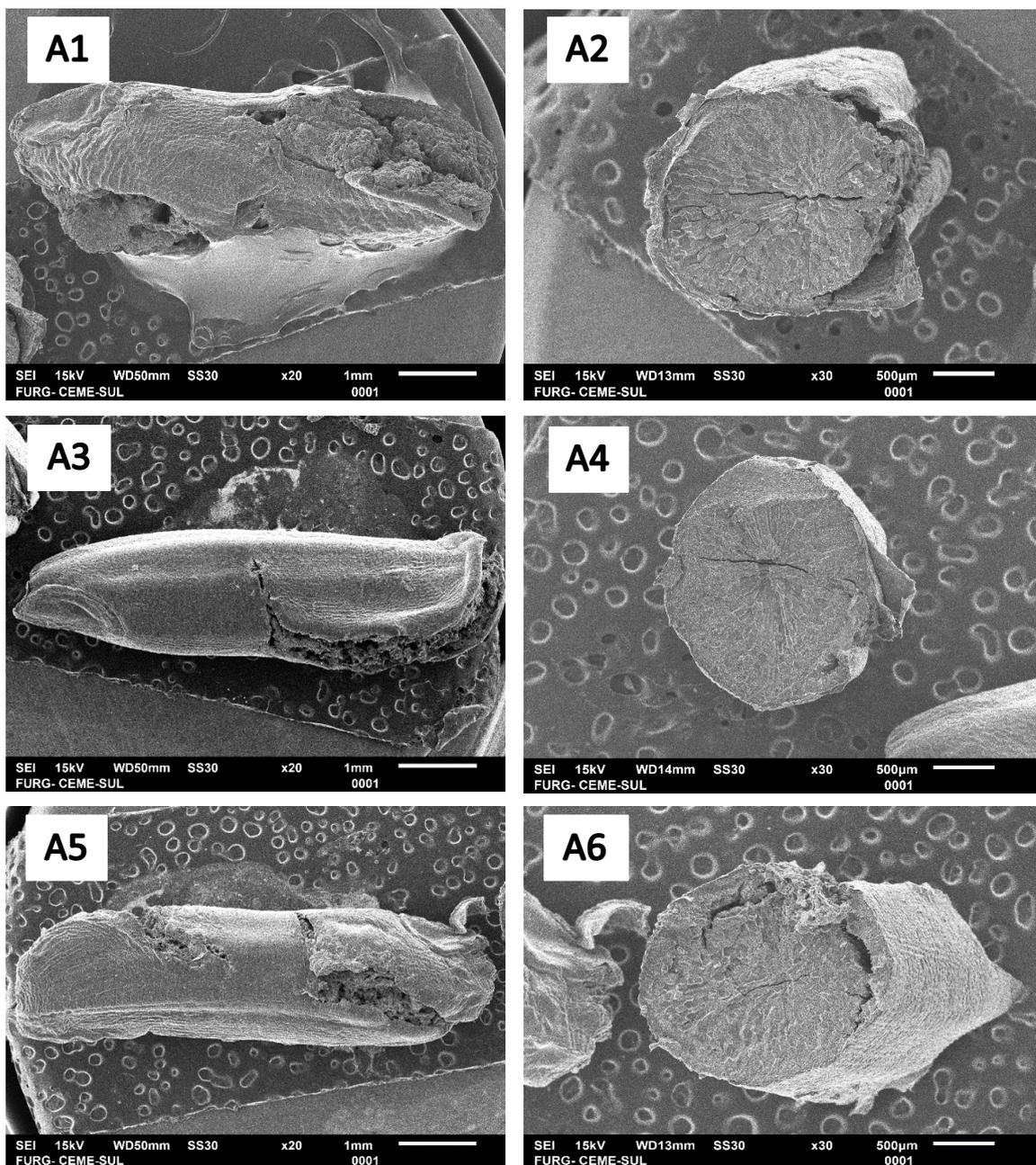


Figura 7 - Microscopia eletrônica de varredura da superfície do arroz Puitá Inta CL após a preparação do arroz de cozimento rápido em diferentes temperaturas de cozimento. A1 = 72; A2 = seção cruzada 72°C; A3 = 80°C; A4 = seção transversal 80°C; A5 = 88°C; A6 = seção transversal 88 ° C.

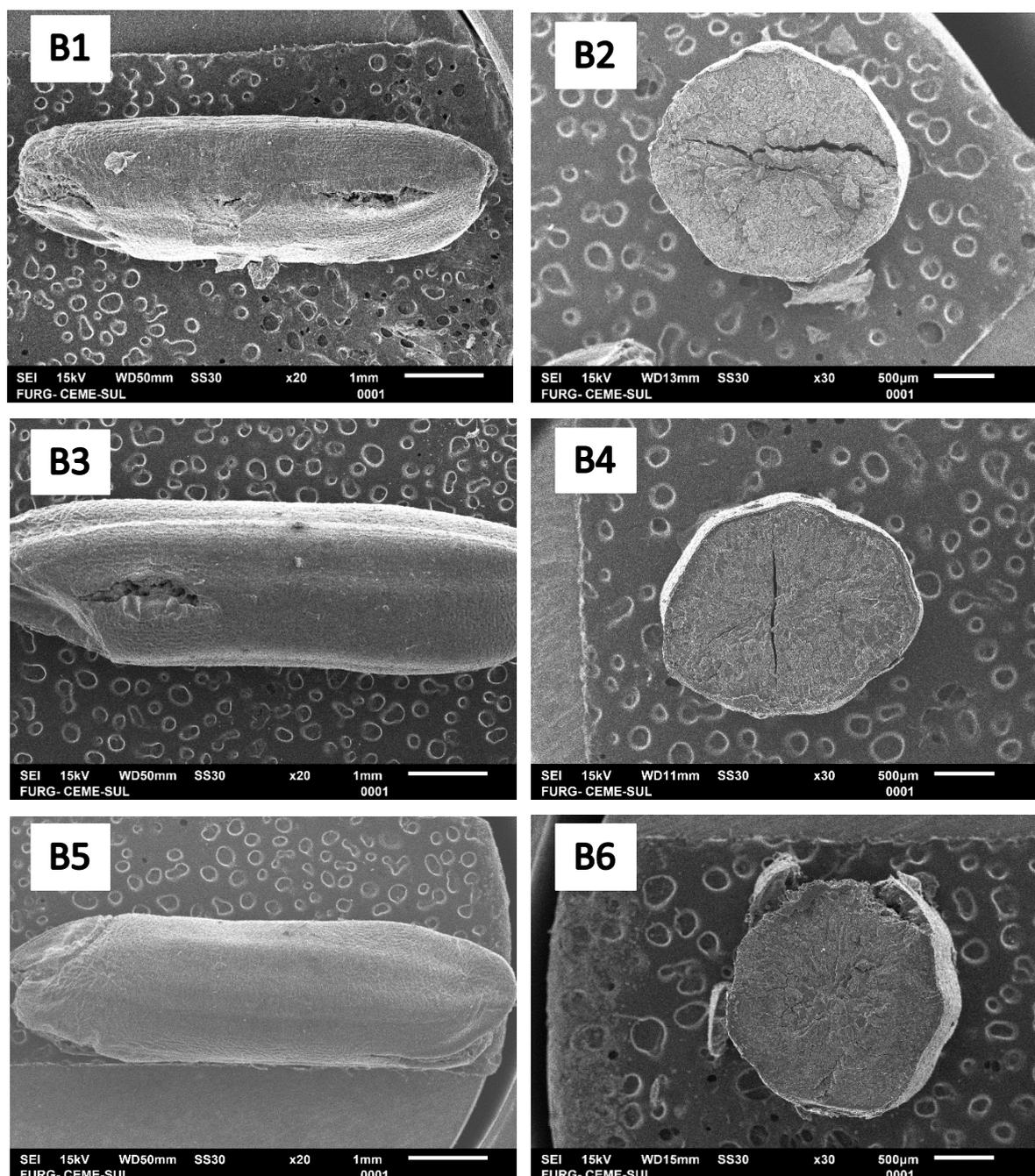


Figura 8 - Microscopia eletrônica de varredura da superfície do arroz INOV CL após a preparação do arroz de cozimento rápido em diferentes temperaturas de cozimento. A1 = 72°C; A2 = seção cruzada 72°C; A3 = 80°C; A4 = seção transversal 80°C; A5 = 88°C; A6 = seção transversal 88°C.

Os grãos da cultivar Puitá Inta CL foram mais propensos à ruptura do pericarpo e deformações durante o processo de preparo do arroz integral de cocção rápida, independentemente da temperatura de cozimento adotada (Figuras 7A1-6A6). Curiosamente, o genótipo INOV CL mostrou uma superfície lisa e uma estrutura quase intacta, independentemente da temperatura de cozimento (Figuras 8B1-6B6).

A porcentagem de grãos danificados das amostras de cocção rápida do genótipo Puitá Inta CL foi superior a 88%, enquanto que para o genótipo INOV CL os níveis de grãos danificados foram inferiores a 45%, quando a etapa de cocção foi conduzida a 72 ou 88°C (Figura 9). A maior homogeneidade e integridade do arroz integral de cozimento rápido obtido a partir do genótipo INOV CL aponta maior adequabilidade de uso para a preparação de QCR do que o genótipo Puitá Inta CL.

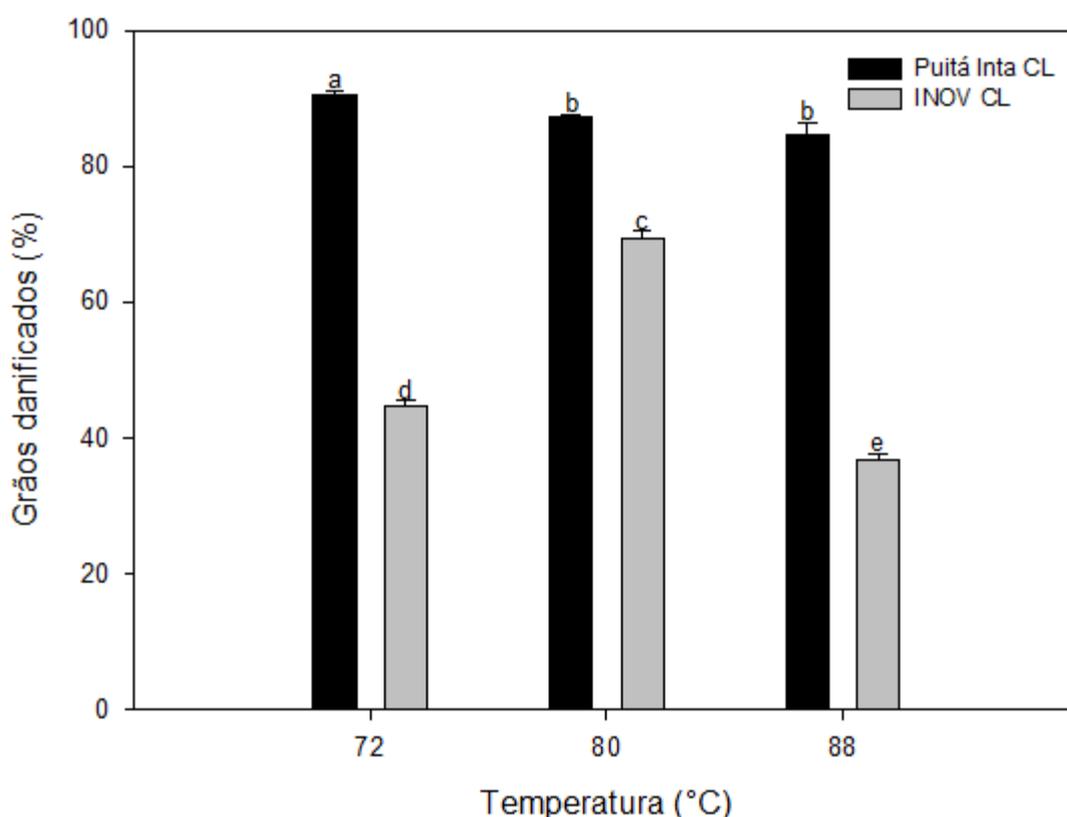


Figura 9 - Percentual de grãos danificados de amostras de arroz de cocção rápida obtidos a partir de diferentes temperaturas de cozimento. O arroz integral não tratado (controle) de cada genótipo apresentou 0% de grãos danificados.

4.2. Alterações no peso úmido e no volume do arroz integral sob as temperaturas de cocção estudadas

As alterações no peso e no volume úmido do arroz integral durante o cozimento a 72, 80 e 88°C estão apresentadas na Figura 8.

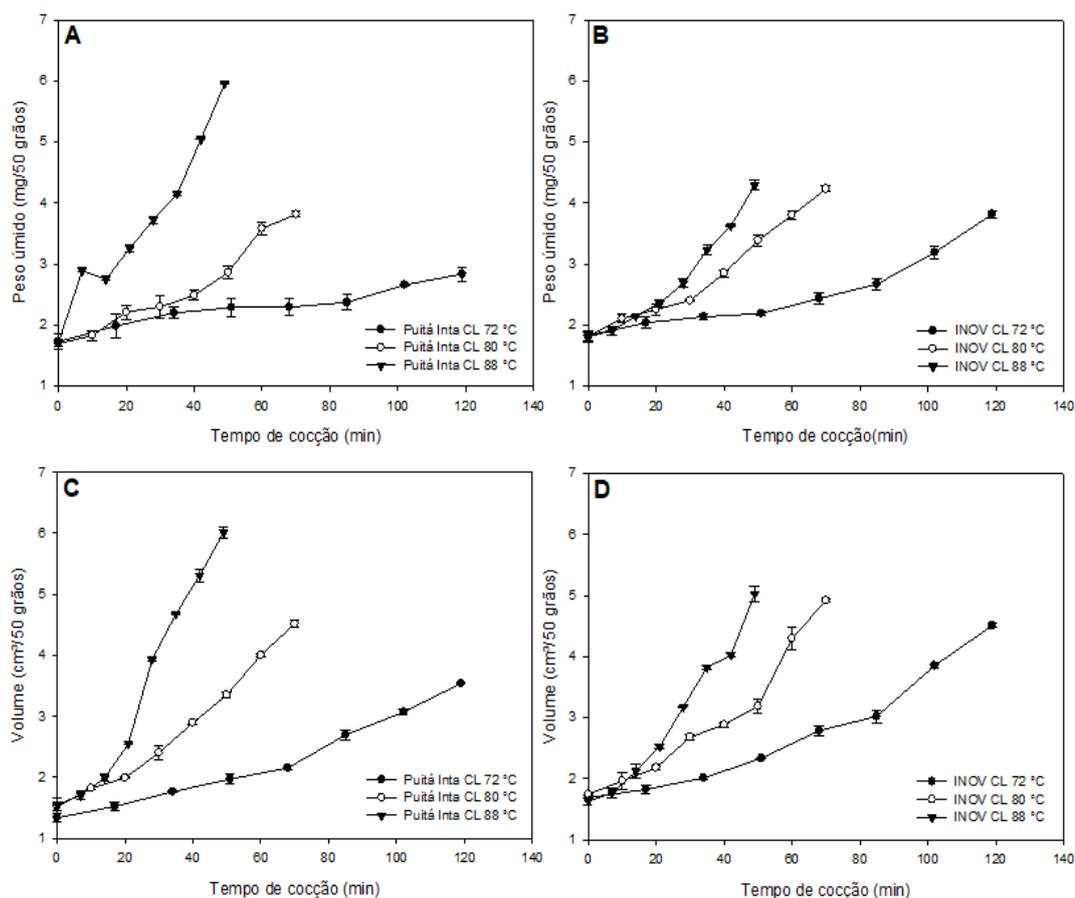


Figura 10 - Alterações no peso e no volume úmido do arroz durante o processo de cocção a 72, 80 e 88°C. As letras A e C indicam gráficos de peso úmido e volume do genótipo Puitá Inta CL, enquanto as letras B e D indicam os gráficos de peso úmido e volume do genótipo INOV CL, respectivamente.

O maior peso úmido e volume foram observados para o genótipo Puitá Inta CL (figura 10) submetido à maior temperatura de cozimento de 88°C. Como observado nas imagens de microscopia eletrônica de varredura (Figuras 7 e 8), o arroz do genótipo Puitá Inta CL mostrou-se mais propenso a apresentar ruptura do pericarpo e deformação da cariopse após o cozimento. Os resultados da análise de peso úmido desse genótipo demonstram que seu amido apresenta uma maior capacidade de inchamento e retenção de água durante o cozimento, quando comparado ao genótipo INOV CL, sendo este processo favorecido pela temperatura máxima de 88°C.

Embora a cariopse do arroz Puitá Inta CL tenha apresentado níveis de deformação variando de 84,55 a 90,68%, dependendo da temperatura de cocção (Figura 9), os resultados de massa úmida indicam que ocorreu baixa lixiviação de compostos solúveis. Nas temperaturas de 72 e 80 C, o peso úmido e o volume final dos grãos do genótipo Puitá Inta CL foram reduzidos, enquanto para o genótipo INOV

CL o peso úmido e o volume foram semelhantes aos observados em amostras preparadas a 88°C.

A maior opacidade dos grãos de arroz do genótipo INOV CL é resultado de espaços intercelulares maiores e uma matriz de endosperma amido/proteína mais fraca, que favorece a entrada de água no grão, permitindo uma transferência mais uniforme de calor e um maior relaxamento da matriz durante o cozimento no grão em diferentes temperaturas.

Além disso, esse comportamento é refletido no peso e no volume úmido do arroz INOV CL quando submetido às três temperaturas estudadas. Além da estrutura e organização do endosperma, pode-se considerar o teor de amilose e as características da proteína – como seu teor e solubilidade – para entender a maior facilidade de hidratação e as mudanças no peso e no volume úmido do arroz durante o cozimento.

Segundo Fitzgerald et al. (2009), a absorção de água, o aumento de volume e a resistência do arroz à desintegração durante o cozimento estão estritamente relacionados à relação de amilose e amilopectina. As maiores mudanças estruturais na cariopse do arroz, resultado do processo de cozimento, foram relatadas em arroz com teores mais baixos de amilose (YADAV e JINDAL, 2007a). Além disso, o maior conteúdo proteico e a maior extensão de ligações dissulfídicas nas glutelinas de arroz podem dificultar o processo de absorção de água e gelatinização do amido (DERYCKE et al., 2005).

4.3. Teor de amilose aparente, teor de proteína bruta e capacidade de extração proteica

O teor de amilose aparente foi determinado no arroz integral de cozimento rápido e nos respectivos controles. Os valores são inferiores ao esperado para genótipos classificados como “alto teor de amilose” porque a análise foi realizada em arroz integral (e não em arroz com 10% de grau de polimento, como recomendado no método oficial).

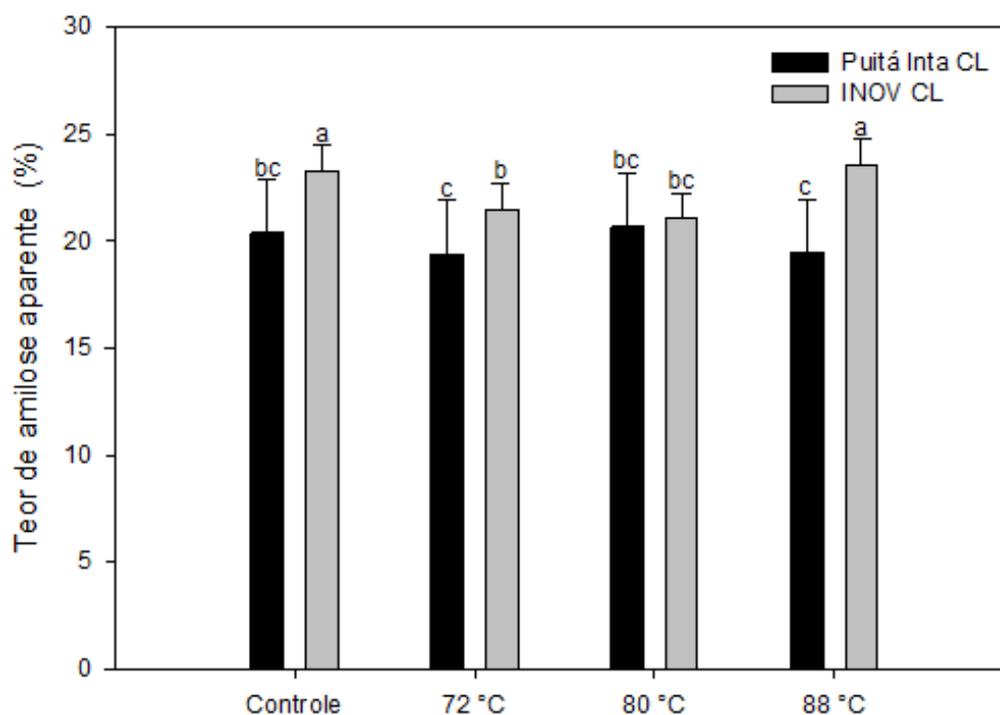


Figura 11 - Teores de amilose dos genótipos de arroz Puitá Inta CL e INOV CL antes e após a preparação do arroz de cozimento rápido em diferentes temperaturas de cozimento.

O teor de amilose foi semelhante ($P > 0,05$) entre amostras não tratadas e as amostras tratadas de Puitá Inta CL, enquanto diferenças ($P < 0,05$) ocorreram entre os tratamentos do genótipo INOV CL.

Nas temperaturas de cozimento mais baixas utilizadas durante a etapa de cocção para a produção de arroz integral de cozimento rápido houve uma diminuição no teor de amilose, comparado com a amostra não tratada do genótipo INOV CL, que pode ser resultado da lixiviação da amilose durante os períodos prolongados de cozimento a 72 e 80°C. A temperatura mais elevada, de 88°C, em um período de cozimento mais curto (0,84h), não foi suficiente para proporcionar uma lixiviação significativa da amilose do arroz INOV CL.

O teor de proteínas aumentou para a maior parte dos tratamentos em comparação com as amostras não tratadas (Figura 12).

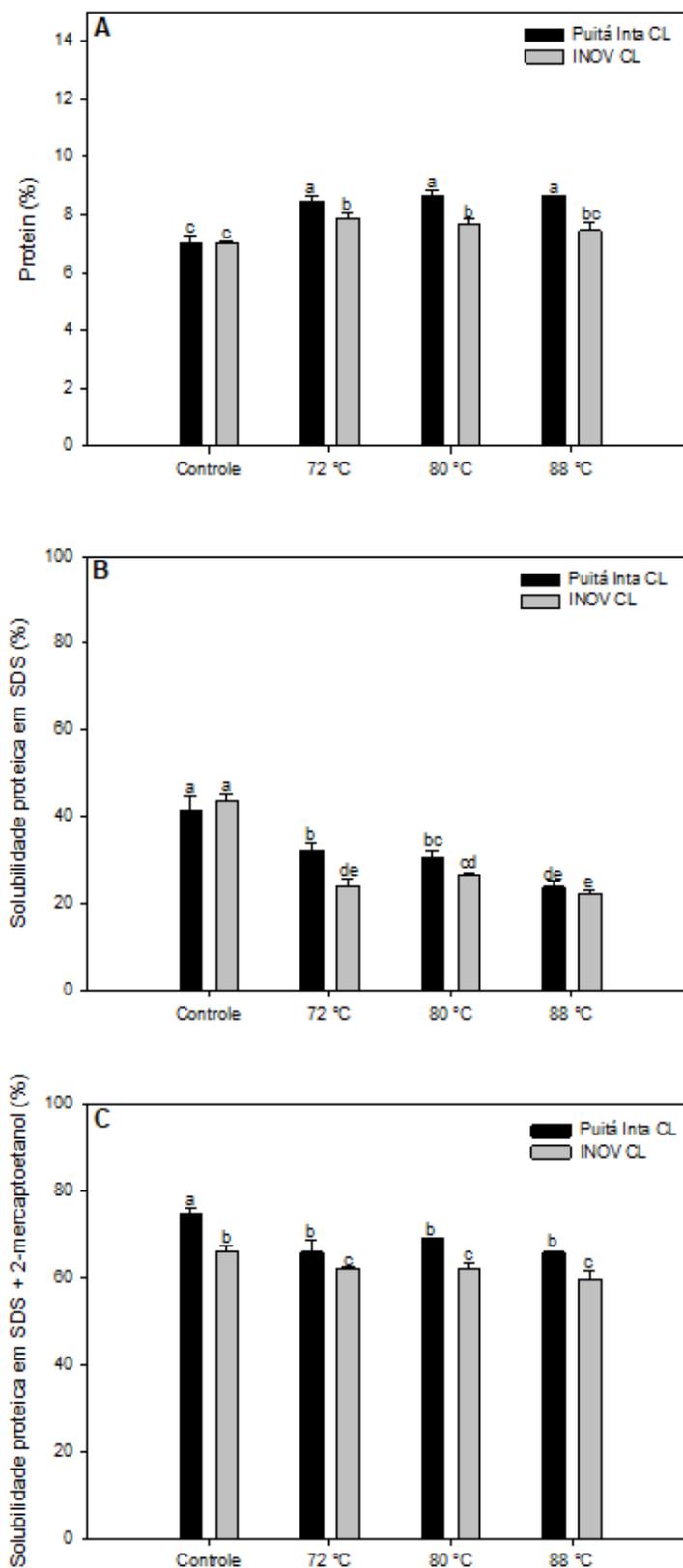


Figura 12 - Teor de proteína bruta (A) e capacidade de extração de proteína em SDS (B) e SDS + 2-mercaptoetanol (C). Barras acompanhados por letras diferentes em cada gráfico indicam médias que diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% do nível de significância.

Contudo, é possível observar que houve uma exceção para a amostra INOV CL preparada a 88°C, onde teor de proteínas semelhante ao INOV CL não tratado foi observado. O aumento no teor de proteínas no arroz integral de cozimento rápido pode surgir da lixiviação de compostos solúveis naturalmente distribuídos no pericarpo, na camada de aleurona e no endosperma amiláceo, enquanto o arroz é submetido ao cozimento. Isso altera a proporção de componentes do arroz na cariopse.

Os procedimentos (temperatura-tempo) aplicados para a preparação do arroz integral de cozimento rápido, independentemente do genótipo utilizado, proporcionaram uma redução na capacidade de extração de proteínas em solventes SDS e SDS + 2-mercaptoetanol, indicando que houve uma formação de uma matriz proteína-proteína e amido-proteína mais forte no arroz integral de cozimento rápido, quando comparado com os seus homólogos não tratados (Figura 12).

Segundo Derycke et al. (2005) e Ellepola e Ma, (2006), as glutelinas do arroz desnaturam quando submetidas a hidratação e aquecimento. A desnaturação favorece a ocorrência de uma rede de proteína-proteína e/ou amido-proteína com maior hidrofobicidade enquanto esfria e seca posteriormente, o que dificulta a sua extração.

4.4. Difratomogramas de raios-X e cristalinidade relativa

Os difratogramas de raios-X, a cristalinidade relativa e as características de gelatinização do arroz integral de cozimento rápido e de seus controles são apresentados na Figura 13 e na Tabela 3.

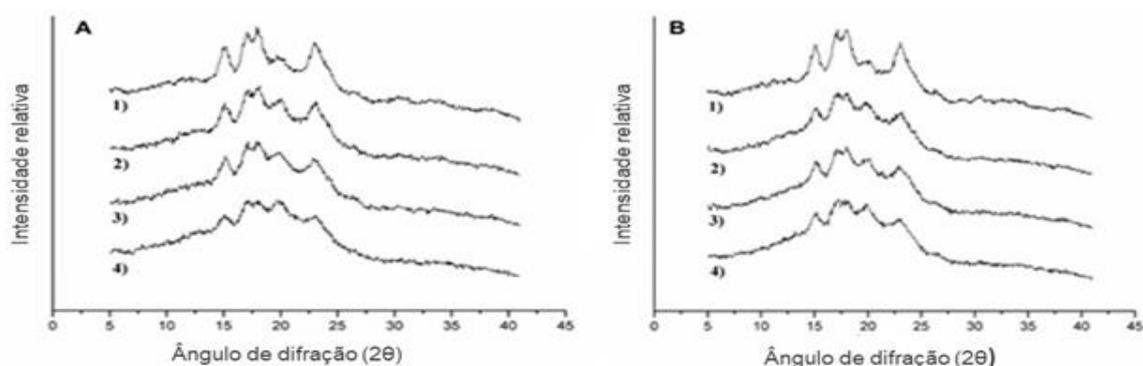


Figura 13 - Difratomogramas de raios-X das amostras dos genótipos Puitá Inta CL (A) e INOV CL (B). Os números 1, 2, 3 e 4 indicam arroz cozido não tratado e o arroz de cocção rápida preparado a 72°C, 80°C e 88°C, respectivamente.

Ambos os genótipos apresentaram uma estrutura semi-cristalina tipo A, típica de cereais, com os principais ângulos de difração 2θ em 15° , 17° , 18° , 20° e 23° .

Tabela 3 - Cristalinidade relativa e propriedades de gelatinização do arroz integral não cozido (controle) e do arroz integral de cozimento rápido.

Amostras	Cristalinidade relativa (%)	Temperaturas de transição ($^\circ\text{C}$)			ΔH (j/g)
		T_o	T_p	T_c	
Puitá Inta CL	31,37	63,73	67,70	71,74	-1,70
Puitá Inta CL-QCR 72°C	21,08	68,65	72,68	76,50	-2,23
Puitá Inta CL-QCR 80°C	18,25	68,46	72,75	77,07	-1,31
Puitá Inta CL-QCR 88°C	13,21	68,43	72,18	77,06	-1,22
INOV CL	27,21	64,85	69,29	72,79	-2,18
INOV CL-QCR 72°C	16,90	70,68	74,84	77,41	-1,40
INOV CL-QCR 80°C	17,23	70,08	74,53	77,67	-1,30
INOV CL-QCR 88°C	14,87	69,09	74,27	77,34	-1,34

A área cristalina observada em cada posição de pico diminuiu em função das temperaturas de cozimento estudadas, indicando gelatinização parcial do amido. A amilopectina apresenta camadas semi-cristalinas compostas por uma camada cristalina e uma camada amorfa, sendo assim responsáveis pela cristalinidade do amido (BERTOFT et al., 2016).

Inicialmente, o arroz Puitá Inta CL controle apresentou maiores intensidades de pico e, portanto, maior cristalinidade relativa do que o arroz INOV CL controle. O QCR de Puitá Inta CL seguiu tendência similar de maiores intensidades de pico e cristalinidade relativa do que o QCR do INOV CL.

A exceção foi o arroz cozido a 88°C , onde o genótipo Puitá Inta CL revelou um valor de cristalinidade relativa mais baixo do que o genótipo INOV CL. A maior capacidade do amido do genótipo Puitá Inta CL em gelatinizar a 88°C pode ser resultado de sua maior solubilidade protéica e capacidade de absorção de água nessa condição de cozimento, promovendo um maior rompimento de duplas hélices de amilopectina.

4.5. Temperaturas de gelatinização e entalpia de gelatinização analisadas por calorimetria diferencial de varredura

As temperaturas de gelatinização do genótipo Puitá Inta CL foram superiores às temperaturas do genótipo INOV CL (Tabela 3), que está relacionado ao menor teor de amilose e à maior solubilidade protéica do arroz Puitá Inta CL (conforme demonstrado nas Figuras 11 e 12 respectivamente).

A amilose e as proteínas associadas dificultam a entrada da água nos grânulos, e, assim, dificultam o processo de gelatinização do amido (SALEH, 2017). Houve um aumento nas temperaturas de gelatinização das amostras de arroz integral de cozimento rápido em comparação com o arroz sem tratamento, independentemente do genótipo de arroz utilizado, em função das temperaturas de cozimento (Tabela 3).

As maiores temperaturas de gelatinização observadas para o arroz integral de cozimento rápido podem ser resultado de: (1) formação de complexos amilose-lipídeos durante o resfriamento e a secagem do processamento de QCR, evidenciado pela presença de picos no ângulo de difração 2θ de 20° , conforme verificado na Figura 13 (LAMBERTS et al., 2006; PAIVA et al., 2016); e (2) uma maior extensão da interação entre o amido parcialmente gelatinizado e proteínas parcialmente desnaturadas (SALEH, 2017).

A diminuição da entalpia de gelatinização (ΔH) no QCR obtido é resultado da perda da ordem molecular devido à quebra de pontes de hidrogênio no interior do grânulo. A exceção foi a cultivar Puitá Inta CL submetida a cocção a 72°C , que apresentou maior valor de ΔH do que o genótipo Puitá Inta CL não cozido (controle). Pressupõe-se que a cristalinidade relativa ainda alta de 21,08% (Tabela 3) para este tratamento, aliada à ocorrência de complexos amilose-lipídios (Figura 13) e seu maior teor protéico (Figura 12) foram responsáveis pela maior entalpia (ΔH) de 2,23J/g determinado para Puitá Inta CL cozida a 72°C , em comparação com o ΔH de 1,70J/g determinado em arroz Puitá Inta CL não cozido.

4.6. Propriedades viscoamilográficas (RVA) e taxa de liberação de amilose

As propriedades viscoamilográficas do arroz de cozimento rápido e do arroz integral, analisadas em equipamento RVA, estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades viscoamilográficas.

Tratamento (°C)	Pico de viscosidade (RVU)	Quebra de viscosidade (RVU)	Viscosidade final (RVU)	Retrogradação (RVU)	Temperatura de pasta (RVU)
INOV CL 72	60,27 ± 1,23 ^e	-0,36 ± 0,05 ^c	74,33 ± 1,54 ^f	13,31 ± 0,39 ^{ef}	94,95 ± 0,35 ^{ab}
INOV CL 80	50,25 ± 0,17 ^f	0,58 ± 0,38 ^c	53,66 ± 0,29 ^g	4,28 ± 0,21 ^g	95,73 ± 0,06 ^a
INOV CL 88	56,39 ± 1,39 ^{ef}	-0,20 ± 0,39 ^c	65,96 ± 1,79 ^g	8,78 ± 1,13 ^{fg}	95,52 ± 0,18 ^a
INOV CL	215,94 ± 1,69 ^b	9,00 ± 0,79 ^b	345,67 ± 1,91 ^a	138,04 ± 3,21 ^a	88,78 ± 0,03 ^e
Puitá Inta CL 72	102,79 ± 0,29 ^c	-0,61 ± 0,33 ^c	152,14 ± 0,59 ^c	48,67 ± 0,59 ^c	92,33 ± 0,49 ^d
Puitá Inta CL 80	98,21 ± 0,29 ^c	-0,89 ± 0,97 ^c	137,66 ± 0,92 ^d	37,86 ± 0,85 ^d	92,93 ± 0,68 ^{cd}
Puitá Inta CL 88	81,93 ± 1,56 ^d	-0,42 ± 0,22 ^c	98,59 ± 1,34 ^e	16,84 ± 0,59 ^e	93,82 ± 0,96 ^{bc}
Puitá Inta CL	242,19 ± 1,63 ^a	39,13 ± 2,21 ^a	326,38 ± 0,80 ^b	122,46 ± 0,71 ^b	89,67 ± 0,08 ^e

Os valores de quebra de viscosidade de Puitá Inta CL a 72, 80, 88°C e Puitá Inta CL integral (controle) foram maiores do que os de INOV CL a 72, 80, 88°C e INOV CL integral (Tabela 4). Os resultados obtidos em relação aos picos de viscosidade na análise de RVA demonstram um menor grau de gelatinização do amido dos QCRs, pois nestes casos a gelatinização e retrogradação do amido já havia ocorrido durante a etapa de cocção e secagem. Essa afirmativa é ratificada pelos maiores valores de cristalinidade relativa observados na Tabela 3 para as amostras controle correspondentes.

A retrogradação está intimamente ligada ao grau de gelatinização e aos teores de amilose, pois, na medida em que se aumenta o grau de gelatinização e os teores de amilose, aumentam-se os valores de retrogradação (SINGH et al., 2003). Neste, estudo as amostras controle INOV CL e Puitá Inta CL apresentaram os maiores valores de retrogradação 138,04 e 122,46 respectivamente. Estes valores foram significativamente superiores aos valores encontrados para as amostras de QCR, pois, apesar dos tratamentos e dos controles apresentarem um teor de amilose parecido, INOV CL e Puitá Inta CL não sofreram o fenômeno de gelatinização e de retrogradação que os QCRs sofrem durante o seu processo de produção.

Tanto o genótipo Puitá Inta CL a 72°C quanto o genótipo INOV CL a 72°C possuem os maiores valores de picos de viscosidade (102,79 e 60,27RVU, respectivamente), e viscosidade final (152,14 e 74,33RVU, respectivamente), dentre

os QCRs, além de apresentarem os maiores valores de cristalinidade relativa (21,08 e 16,90%, respectivamente), e entalpia (2,23 e 1,40J/g, respectivamente), de acordo com a tabela 3.

Estes resultados indicam uma maior integridade e organização dos grânulos de amido, o que justifica tais valores, sendo também este o motivo dos maiores picos de viscosidade serem encontrados para Puitá Inta CL e INOV CL (controles). Neste estudo, à medida em que se aumentaram as temperaturas de tratamento dos QCRs para 80 e 88°C, houve uma redução na cristalinidade relativa e na entalpia, associada a uma diminuição dos valores do pico de viscosidade e da viscosidade final (Tabelas 3 e 4 respectivamente).

Essas reduções associadas demonstram uma correlação positiva destes fatores em função dos tratamentos aplicados. Estes efeitos estão mais relacionados à arquitetura dos grânulos de amido e à amilopectina, pois quanto maior a organização dos grânulos de amido e maior o teor de amilopectina, mais duplas hélices que estabilizam estas ligações precisam ser quebradas, aumentando assim a demanda de energia (CHUNG et al., 2011; JANE et al., 1999).

Jang et al. (2016) estudaram a correlação das propriedades físico químicas do amido de arroz de 6 cultivares de arroz japonico não ceroso (Baegjinju 1, Chucheong, Goami 3, Haiami, Yeongan e Hyangmi), 3 cultivares de arroz japonico ceroso (Dongjinchal, Aranghyangchal e Baekokchal) e 3 cultivares de arroz indica, sendo dois não cerosos (Jiangxi e Cop 18) e um ceroso (Remyline XS). Os pesquisadores correlacionaram de forma positiva o teor de amilose com a temperatura de pasta para àqueles genótipos, mas negativamente com o pico de viscosidade. Estes resultados estão de acordo aos obtidos no presente estudo, conforme está apresentado na Tabela 4.

Na Figura 14 são apresentadas as curvas de liberação de amilose. Para o genótipo Puitá Inta CL submetido ao QCR a 88°C, essa liberação foi mais lenta que para as outras amostras. Esta redução na taxa de liberação pode ser resultado de um menor teor de amilose aparente apresentado por Puitá Inta CL preparado a 88°C (Figura 11) combinado a maior complexação entre a matriz amido/proteína durante o processo de produção de QCR. Esta argumentação tem suporte científico nos resultados apresentados na Figura 12, onde ficou demonstrada a maior dificuldade

para a extração de proteínas em meio não desnaturante (dodecil sulfato de sódio – SDS) nas condições de 88°C.

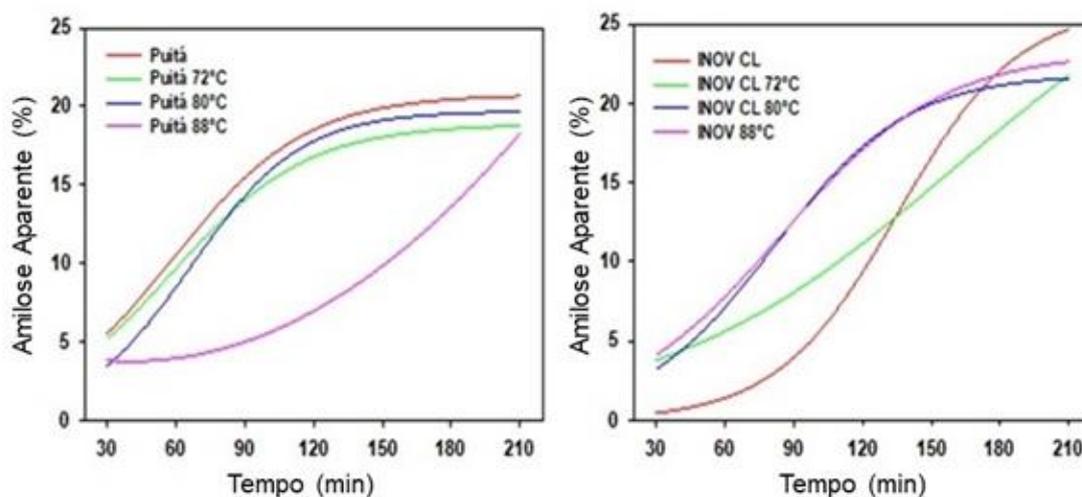


Figura 14 - Curva de liberação de amilose.

As propriedades físico-químicas da farinha são influenciadas pelo teor de amilose, bem como pela estrutura do grânulo e pelo tamanho das cadeias de amilopectina. Além disso, as proteínas presentes na farinha afetam de maneira significativa as propriedades viscoamilográficas (LIM et al., 1999).

Martin e Fitzgerald (2006) afirmam que as proteínas podem influenciar os parâmetros determinados por RVA, pois elas realizam ligações e interações com água, formando pontes dissulfídicas, o que dificulta a hidratação dos grânulos de amido. Devido a maior hidrofobicidade que as proteínas possuem com a água, a concentração de grânulos de amido que ficam dispersos aumenta, e com este aumento, há diminuição de sua gelatinização. Esses atributos são inerentes aos grãos de arroz e determinam suas características viscoamilográficas. Portanto, os resultados obtidos nesta análise devem-se as diferenças nas características físico-químicas das amostras que podem ser atribuídas às diferenças genéticas entre as cultivares e aos tratamentos hidrotérmicos aplicados, os quais determinaram suas propriedades de pasta (JANE et al., 1999; SINGH et al., 2003).

4.7. Avaliação sensorial do arroz integral de cozimento rápido Puitá Inta CL INOV CL ambos preparados na temperatura de 88°C

Amostras de QCR com os menores tempos de cocção foram selecionadas para a análise sensorial e seus resultados estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Resultados da avaliação sensorial em relação a aparência, textura e atributos de sabor de amostras selecionadas de arroz integral de cozimento rápido.

Atributos	Puitá Inta CL 88°C	INOV CL 88°C
Aparência	-0,73 ± 1,86 ^{ns}	-0,57 ± 1,70
Textura	-0,60 ± 1,63 ^{ns}	-0,43 ± 2,05
Sabor	-0,83 ± 1,91 ^{ns}	-0,57 ± 1,77

Médias na mesma linha seguidas por “ns” não são diferentes pelo teste *t* ($P > 0,05$). Todos os atributos sensoriais foram avaliados usando pontuações variando de “-4” = muito pior do que o controle, “0” = não possui diferença do controle, e “+4” = muito melhor do que o controle.

A aparência, a textura e o sabor do do arroz de cocção rápida após cozimento foram avaliados por 30 painelistas que compararam os atributos do QCR com seus respectivos genótipos cozidos não tratados (grãos de arroz beneficiado, subgrupo integral).

Não houve diferença estatística entre os dois genótipos utilizados para elaboração de arroz integral de cozimento rápido. Todos os valores médios observados foram negativos, indicando que todos os atributos foram um pouco inferiores do que o arroz integral (controle). Os resultados sensoriais indicam que os consumidores brasileiros podem não detectar diferenças na estrutura da cariopse, como apresentado nas Figuras 7 e 8, entre as amostras. No entanto, é importante considerar que o arroz integral de cozimento rápido não é comum no país e os consumidores podem se tornar mais exigentes assim que esse tipo de produto for mais comum no mercado.

4.8. Digestibilidade *in vitro*

Para a digestão gastro-intestinal *in vitro*, foram utilizados os tratamentos que apresentaram menor tempo de cozimento: Puitá Inta CL 88°C e INOV CL 88°C. Os genótipos de arroz integral (controles) foram também utilizados nesta avaliação. Todas as amostras foram avaliadas nos grãos cozidos.

A digestão gástrica durante os primeiros 30min foi capaz de liberar um maior teor de glicose nas amostras de arroz integral de cozimento rápido do que para suas respectivas amostras controle de arroz integral (Figura 15).

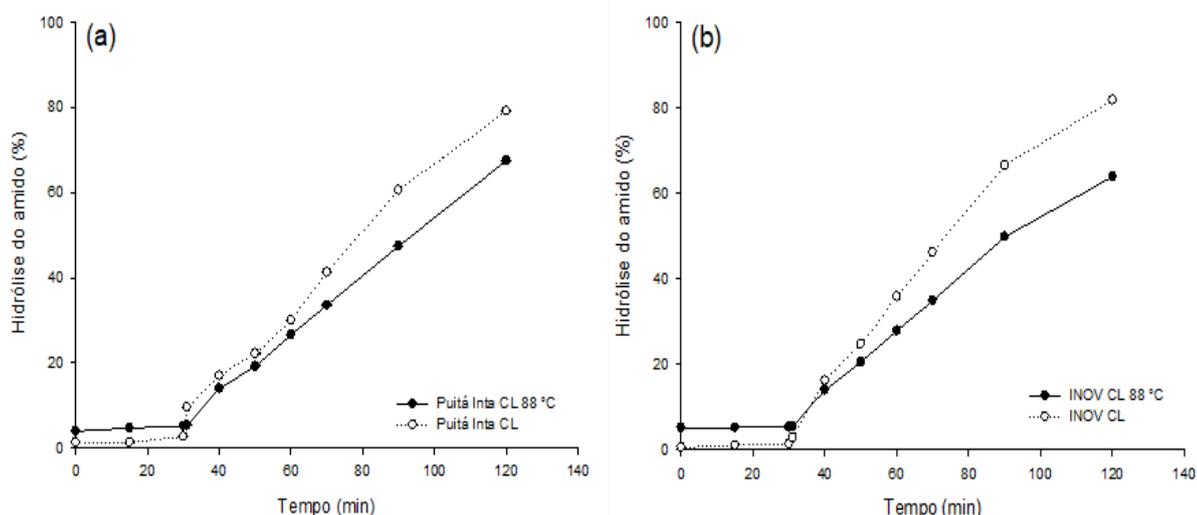


Figura 15 - Digestibilidade do amido (%) de arroz integral de cozimento rápido: Puitá Inta CL (a) e INOV CL (b).

Esta constatação pode ser explicada devido as alterações na estrutura e composição da cariopse do arroz que ocorre durante o processo de cocção na preparação do arroz integral de rápido cozimento. A amostra INOV CL preparada a 88°C apresentou 5,31% de digestibilidade, enquanto a amostra INOV CL apresentou apenas 1,44% aos 30min de digestão. Da mesma forma, a amostra do genótipo Puitá Inta CL preparado a 88°C apresentou 5,23%, enquanto o genótipo Puitá Inta CL apresentou 2,71% de digestibilidade no mesmo tempo de digestão.

Segundo Tamura et al. (2015), a menor taxa de digestão no intestino delgado para o arroz integral pode ser explicada pela baixa digestibilidade da fração de farelo rica em fibras do arroz integral, servindo como barreira à ação da enzima digestiva.

No caso do arroz integral de cozimento rápido obtido no presente estudo, essa barreira foi parcialmente alterada pela etapa de cozimento na preparação do QCR. Esta explicação é apoiada pela microestrutura da superfície dos grãos de arroz aos 30min de digestão apresentados na Figura 16.

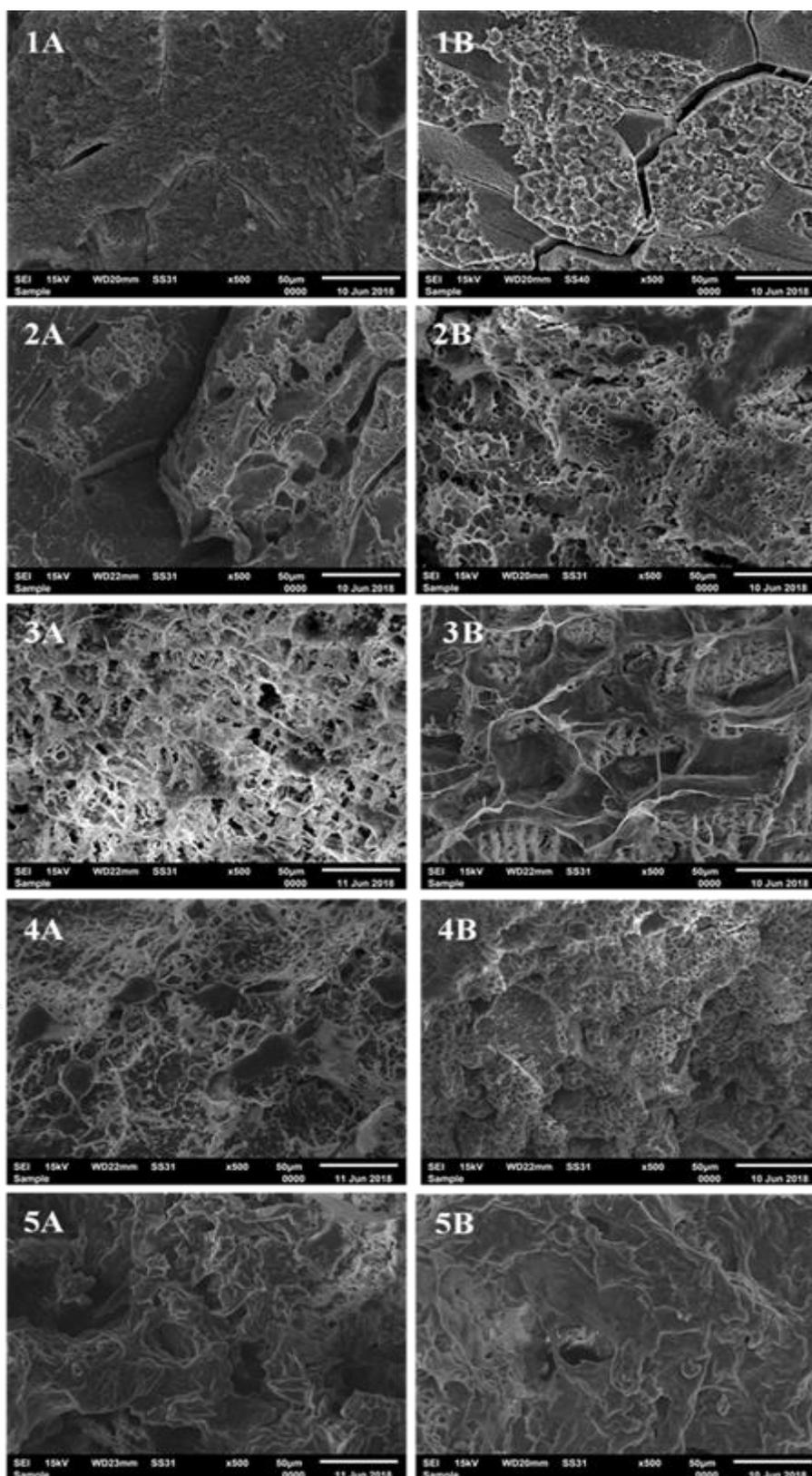


Figura 16 - Microscopia eletrônica de varredura da superfície do arroz integral de cozimento rápido do genótipo de arroz INOV CL preparado a 88°C e seu controle (arroz integral) durante a digestão gastrointestinal simulada. Grãos de arroz digeridos em condições gástricas simuladas por 0min (1) e 30min (2), e sob condições intestinais simuladas por 5min (3), 20min (4) e por 30min (5). A letra (A) indica o arroz integral do genótipo INOV CL, enquanto a letra B indicava o arroz integral de cozimento rápido do INOV CL preparado a 88°C (B). A barra de escala mostra 50 µm.

É possível observar que a amostra sem tratamento (Figura 16, 1B) está quase intacta aos 30min de digestão enquanto a amostra INOV CL de cocção rápida, preparada a 88°C, está parcialmente desestruturada (Figura 16, 2B). Durante a digestão intestinal esse comportamento foi alterado. Nesta fase, as enzimas digestivas possuíam maior capacidade de digerir os constituintes do arroz integral do que do arroz integral de cozimento rápido, independentemente do genótipo (Figura 15). Como exemplo, aos 70min de digestão a liberação de glicose foi cerca de 10% maior para os dois genótipos de arroz integral do que para as amostras de arroz integral de cozimento rápido.

Na fase intestinal, a matriz do arroz integral foi mais aberta que as amostras de QCR, permitindo, assim, maior hidrólise do amido pelo acesso mais fácil das enzimas neste período de digestão. Observações semelhantes foram relatadas por Chung et al. (2008) e Tamura et al. (2015).

Ao final de 120min de digestão, o arroz integral de cozimento rápido obtido a partir de Puitá Inta CL 88°C (Figura 15a) apresentou uma digestibilidade do amido 15% inferior ao arroz integral. Neste estágio, a digestibilidade foi ainda menor para o arroz integral de cozimento rápido obtido a partir do genótipo INOV CL 88°C, que apresentou digestibilidade do amido 22% inferior ao seu respectivo controle (Figura 15b). O principal fator responsável pela menor digestibilidade do amido de arroz integral de rápido cozimento, quando comparado ao arroz integral, é o processo de retrogradação que ocorre logo após o cozimento.

Hsu et al. (2015) observaram que, após um período de retrogradação de 24h a 4°C, o teor de amido rapidamente digerível (RDS) reduziu de 85,6% para 75,0% na variedade de arroz TK9. Além disso, os níveis de frações de amido de baixa digestibilidade (SDS) e amido resistente (RS) aumentaram em 4,6% e 6%, respectivamente.

De fato, a retrogradação favorece a associação entre as moléculas lineares de amilose, causando uma reorganização da estrutura, restringindo a hidratação das regiões amorfas dos grânulos de amido, dificultando a digestão enzimática (TAMURA et al., 2015; YADAV e JINDAL, 2007a). Espera-se, também, que as interações proteína-amido e proteína-proteína sejam favorecidas durante a retrogradação, o que pode contribuir para a baixa digestibilidade do amido do arroz integral de cozimento rápido.

5. CONCLUSÕES

A temperatura ótima para produção de arroz de cocção rápida é dependente do genótipo. O tempo de cocção do arroz integral reduziu de 23,0 e 23,6min para 6,9 e 5,5min quando a temperatura mais alta de 88°C foi aplicada aos genótipos Puitá Inta CL e INOV CL, respectivamente.

Aliado à conveniência da preparação de curta duração, estão os benefícios para a saúde da baixa digestibilidade do amido encontrada para o arroz integral de cozimento rápido tratado com 88°C, com valores de digestibilidade do amido em torno de 15 a 22% menores do que o arroz integral. O arroz integral de rápido cozimento INOV CL 88°C proporcionou uma digestibilidade do amido inferior a 63,9%.

A maior ruptura do endosperma, que resultou em uma maior deformação dos grãos, foi observada nos tratamentos preparados a partir do genótipo Puitá Inta CL, mas os consumidores tradicionais de arroz não foram capazes de discriminar a aparência de amostras cozidas de Puitá Inta CL 88°C e INOV CL 88°C.

O teor e a solubilidade das proteínas são afetados pela temperatura adotada na etapa de cocção da produção de arroz de cozimento rápido. A menor capacidade de extração de proteínas em solução de SDS e em solução de 2-mercaptoetanol para INOV CL 88°C indica a ocorrência mais forte de uma matriz proteína-amido e/ou proteína-proteína, que dificulta a digestibilidade *in vitro* do amido.

Os resultados da presente dissertação podem ajudar as indústrias de arroz na seleção de características genotípicas e parâmetros de processamento para a produção de arroz integral de cozimento rápido de alta qualidade.

6. REFERÊNCIAS

AACC, (1995). Approved Methods of Analysis of the American Association of Cereal Chemists. **American Association of Cereal Chemists**, V. 2, AACC International, Saint Paul, USA.

BAILEY, J. M.; WHELAN, W. J. Physical Properties of Starch : I. Relationship between iodine stain and chain length of Starch. *The Journal of Biological Chemistry*, 236, 969–973, 1961.

BALINDONG J. L.; LIU L.; WARD R. M.; BARKLA B. J.; DANIEL L. E. WATERS D. L. E. Optimisation and standardisation of extraction and HPLC analysis of rice grain protein. **Journal of Cereal Science**, v. 72, p.124-130, 2016.

BELLO, M.; TOLABA, M. P.; SUAREZ, C. Factors affecting water uptake of rice grain during soaking. **LWT- Food Science and Technology**, v. 37, p. 811–816, 2004.

BERTOFT, E.; ANNOR, G. A.; SHEN, X.; RUMPAGAPORN, P.; SEETHARAMAN, K.; HAMAKER, B. R. Small differences in amylopectin fine structure may explain large functional differences of starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 140, p. 113–121, 2016.

BHATTACHARYA, K. R. Cooking quality of rice. **Rice quality**, p.164–192, 2011.

BUCKLEY, M.; COWAN, C.; MCCARTH, M. The convenience food market in Great Brita convenience food lifestyle (CFL) segments. **Appetite**, v. 49, n. 3, p. 600–617, 2007.

BUGGENHOUT, J.; BRIJS, K.; DELCOUR, J. A. Impact of processing conditions on the extractability and molecular weight distribution of proteins in parboiled brown rice. **Journal of Cereal Science**, v. 58, p. 8-14, 2013.

BUI, L.; COAD, R.; STANLEY, R. Properties of rehydrated freeze dried rice as a function of processing treatments. **LWT - Food Science and Technology**, v. 91, p. 143–150, 2018.

CHEN, T. P.; LI, L.; QIAN, P. The re-hydration quality of freeze dried instant rice. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**, p. 0–4, 2006.

CHIANG, P. Y.; YEH, A. I. Effect of soaking on wet-milling of rice. **Journal of Cereal Science**, v. 35, p. 85–94, 2002.

CHUNG, H. J.; LIU, Q.; LEE, L.; WEI, D. Relationship between the structure, physicochemical properties and in vitro digestibility of rice starches with different amylose contents. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 968-975, 2011.

CHUNG, H.-J.; SHIN, D.-H.; LIM, S.-T. In vitro starch digestibility and estimated glycemic index of chemically modified corn starches. **Food Research International**, v. 41, p. 579–585, 2008.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2016/17**, v. 4, 2018.

DARTOIS, A.; SINGH, J.; KAUR, L.; SINGH, H. Influence of guar gum on the in vitro starch digestibility-rheological and Microstructural characteristics. **Food Biophysics**, v. 5, p. 149-160, 2010.

DERYCKE, V.; VERAVERBEKE, W. S.; VANDEPUTTE, G. E.; MAN, W. D.; HOSENEY, R. C.; DELCOUR, J. A. Impact of proteins on pasting and cooking properties of nonparboiled and parboiled rice. **Cereal Chemistry**, v. 82, p. 468–474, 2005.

DONNARD, A. M.; Understanding starch structure and functionality In: ELIASSON, A. C. Starch in food: structure function and applications. Boca Raton: CRC Press, cap.5, p.156-184, 2004.

DUTCOSKY, Sílvia Dutcosky. **Análise sensorial de alimentos**. 4ed. Curitiba: Editora Universitária Champagnat, 531 p., 2013.

ELIAS, M. C. OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L.; PARAGINSKI, R. T.; CASARIL, J. **Manejo tecnológico na pós-colheita e inovações na conservação de grãos de arroz**. In: ELIAS, M.C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N.L. (Org.). Qualidade de arroz da póscolheita ao consumo. 1ed. Pelotas: Editora Universitária da UFPel, v.1, p. 21-42. 2012.

ELIAS, Moacir Cardoso; OLIVEIRA, Maurício de; VANIER, Nathan Levien. **Qualidade de arroz na pós-colheita e na agroindústria: análise, conservação e tipificação**. Pelotas: Santa Cruz, 2015. 221 p.

ELLEPOLA, S. W.; MA, C.-Y. Thermal properties of globulin from rice (*Oryza sativa*) seeds. **Food Research International**, v. 39, p. 257–264, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Mercado, comercialização e consumo, 2015. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fok5vmke02wyi80bhgp5prthhjx4.html>, Acesso em: 19 Dez 2018.

FAO. Food; Agriculture Organization of the United Nations. Statistical database. 2018. <http://faostat.fao.org>. Acesso em 21 Dez 2018.

FITZGERALD, M. A.; MCCOUCH, S. R.; HALL, R. D. Not just a grain of rice: the quest for quality. **Trends in Plant Science – IRRI**, v. 14, p. 133–139, 2009.

GOÑI, I.; GARCIA-ALONSO, A.; SAURA-CALIXTO, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**, v. 17, p. 427-437, 1997.

GRAND VIEW RESEARCH. **Market Segmentation and Value Chain Analysis**, 2018. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry/ready-to-eat-processed-and-frozen-foods>, Acesso em: 12 Ago 2018.

HAMAKER, B. R.; TUNCIL, Y. E. A perspective on the complexity of dietary fiber structures and their potential effect on the gut microbiota. **Journal of Molecular Biology**, v. 426, p. 3838- 3850, 2014.

HAN, J.-A.; LIM, S.-T. Effect of presoaking on textural, thermal, and digestive properties of cooked brown rice. **Cereal Chemistry**, v. 86, p. 100–105, 2009.

HSU, R. J.-C.; CHEN, H.-J.; LU, S.; CHIANG, W. Effects of cooking, retrogradation and drying on starch digestibility in instant rice making. **Journal of Cereal Science**, v. 65, p. 154–161, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Projeções de população**, 2018 disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 22 Dez 2018.

ISHII, K.; FURUICHI, T.; FUJIYAMA, A.; WATANABE, S. Logistics cost analysis of rice straw pellets for feasible production capacity and spatial scale in heat utilization systems: A case study in Nanporo town, Hokkaido, Japan. **Biomass and Bioenergy**, v. 94, p. 155–166, 2016.

ISHYMARU, T.; RORIGANE, A. K.; IDA, M.; IWASAWA, N.; SAN-OH, Y.; NAKASONO, N.; NISHISAWA, N. K.; MASUMURA, T.; KONDO, M.; YOSHIDA, M. Formation do grain chalkiness and changes in water distribution in developing rice caryopses grown under high-temperature stress. **Journal of Cereal Science**, v. 50, n. 2, p.166-174, 2009.

JANE, J.; CHEN, Y. Y.; LEE, L. F.; MCPHERSON, A. E.; WONG, K. S.; RADOSAVLJEVIC, M. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, v. 76, p. 629-637, 1999.

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

JIAO, A.; XU, X., JIN, Z. Modelling of dehydration–rehydration of instant rice incombined microwave-hot air drying. **Food and Bioproducts Processing**, v. 92, p. 259–265, 2014.

JU, Z. Y.; HETTIARACHCHY, N. S.; RATH N. Extraction, Denaturation and Hydrophobic Properties of Rice Flour Proteins. **Journal of Food Science**, Vol. 66, 2001.

JULIANO, B. O.; BECHTEL, D. B. The rice grain and its gross composition. In: JULIANO, B. O. (Ed.). *Rice: chemistry and technology*. Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985. p.17-57.

KANG, D. F.; HE, J. F.; WANG, X. C. The actuality and prospect of instant rice production in China. **Cereal Process**, v. 32, p. 40–42, 2007.

KENNEDY, G. Nutrient impact assessment of rice in major rice-consuming countries. **International Rice Commission Newsletter**, v.51, p. 33-42, 2002.

KIM.-Y; KIM,Y.O. Changes in the rice consumption pattern of South Koreans since 1970. **Korean-Journal-of-Community-Nutrition**, V. 6, P. 854-861, 2001.

KORRES, N. E.; NORSWORTHY, J. K.; BURGOS, N. R.; OOSTERHUIS, D. M. Temperature and drought impacts on rice production: An agronomic perspective regarding short- and long-term adaptation measures. **Water Resources and Rural Development**, v. 9, p. 12–27, 2016.

LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W.; **Carbohidratos en alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo, Universidade de São Paulo, 648p., 2006.

LAMBERTS, L.; BRIJS, K.; MOHAMED, R.; VERHELST, N., DELCOUR, J. A. Impact of browning reactions and bran pigments on color of parboiled rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, p. 9924–9929, 2006.

LANG, Y. Z.; YANG, X. D.; WANG, M. E.; ZHU, Q. S. Effects of lodging at different filling stages on rice yield and grain quality. **Rice Science**, v. 19, p. 315–319, 2012.

LE, T. Q.; JITTANIT, W. Optimization of operating process parameters for instant brown rice production with microwave-followed by convective hot air drying. **Journal of Stored Products Research**, v. 61, p. 1-8, 2015.

LEELAYUTHSOONTORN, P.; THIPAYARATET, A. Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. **Food Chemistry**, v. 96, p. 606–613, 2006.

LEETHANAPANICH, K.; MAUROMOUSTAKOS, A.; WANG, Y-J. Impacts of parboiling conditions on quality characteristics of parboiled commingled rice. **Journal of Cereal Science**, v. 69, p. 283–289, 2016.

LIM, S. T.; LEE, J. H.; SHIN, D. H.; LIM, H. S. Comparison of protein extraction solutions for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties. **Starch**, v. 51, p. 120-125, 1999.

LIN, J. H.; SINGH, H.; CHANG, Y. T.; CHANG, Y. H. Factor analysis of the functional properties of rice flours from mutant genotypes. **Food Chemistry**, v. 126, p. 1108-1114, 2011.

LING, W. H.; CHENG, Q. X.; MA, J.; WANG, T. Red and black rice decrease atherosclerotic plaque formation and increase antioxidant status in rabbits. **Journal of Nutrition**, v.6, p.131-1421, 2001.

LUANGMALAWAT, P.; PRACHAYAWARAKORN, S.; NATHAKARANAKULE, A.; SOPONRONNARIT, S. Effect of temperature on drying characteristics and quality of cooked rice. **LWT – Food Science and Technology**, v. 41, p. 716–723, 2008.

LUH, B. S.; ROBERTS, R. L.; Li, C. F. Rice production and utilization. **AVI publishing Company**, p. 566-588, 1980.

MARTIN, M.; FITZGERALD, M. A.; Proteins in rice grains influence cooking properties. **Journal of Cereal Science**, v. 36, p. 285–294, 2002.

MCGRANE, S.; CORNELL, H.; RIX, C. A simple and rapid colourimetric method for the determination of amylose in starch products. **Starch: International Journal for the Investigation**, v. 50, p. 158–163, 1998.

MCLEAN, J.; DAWE, D.; HARDY, B.; HETTEL, G. Rice almanac: source book for the most important economic activity on earth. Los Baños: IRRI, 2002. p. 298.

MEULLENET, J.-F. C.; GROSS, J.; MARKS, B. P.; DANIELS, M. Sensory descriptive texture analyses of cooked rice and its correlation to instrumental parameters using an extrusion cell. **Cereal Chemistry**, v. 75, p. 714 –720, 1998.

MINISTRY OF AGRICULTURE, FORESTRY AND FISHERIES JAPAN. **State of the Food Industry**, 2018. disponível em: <https://www.nippon.com/en/features/h00202/>, Acesso em: 15 Ago 2018.

MOHAPATRA, D.; BAL, S. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 253–259, 2006.

PAIVA, F. F.; VANIER, N. L.; BERRIOS, J. J.; PAN, J.; VILLANOVA, F. A.; TAKEOKA, G.; ELIAS, M. C. Physicochemical and nutritional properties of pigmented rice subjected to different degrees of milling. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 35, p. 10–17, 2014.

PAIVA, F. F.; VANIER, N. V.; BERRIOS, J. J.; PINTO, V. Z.; WOOD, D.; WILLIAMS, T.; PAN, J.; ELIAS, M. C. Polishing and parboiling effect on the nutritional and technological properties of pigmented rice. **Food Chemistry**, v. 191, p. 105–112, 2016.

PARAGINSKI, R. T.; ZIEGLER, V.; TALHAMENTO, A.; ELIAS, M. C. Propriedades tecnológicas e de cocção em grãos de arroz condicionados em diferentes temperaturas antes da parboilização. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, p. 146–153, 2014

PATINDOL, J.; GU, X.; WANG, Y.-J. Chemometric analysis of cooked rice texture in relation to starch fine structure and leaching characteristics. **Starch e Stärke**, v. 62, p. 188–197, 2010.

PRASERT, W.; SUWANNAPORN, P. Optimization of instant jasmine rice process and its physicochemical properties. **Journal of Food Engineering**, v. 95, p. 54–61, 2009.

RABEK, J. F. Applications of wide-angle X-ray diffraction (WAXD) to the study of the structure of polymers. **Experimental methods in polymer chemistry**, p. 505–508, 1980.

REWTHONG, O.; SOPONRONNARIT, S.; TAECHAPAIROJ, C.; TUNGTRAKUL, P.; PRACHAYAWARAKORN, S. Effects of cooking, drying and pre-treatment methods on texture and starch digestibility of instant rice. **Journal of Food Engineering**, V. 103, P. 258–264, 2011.

RIVERA, X. C. S.; ORIAS, N. E.; AZAPAGIC, A. Life cycle environmental impacts of convenience food: Comparison of ready and home-made meals. **Journal of Cleaner Production**, v. 73, p. 294–309, 2014.

SALEH, M. I. Protein-Starch matrix microstructure during rice flour pastes formation. **Journal of Cereal Science**, v. 74, p. 183–186, 2017.

SHI, C. H.; WU, J. G.; LOU, X. B.; ZHU, J.; WU, P. Genetic analysis of transparency and chalkiness area at different filling stages of rice (*Oryza sativa* L.). **Field Crops Research**, v. 76, n.1, p. 1-9, 2002.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, p. 219-231, 2003.

SIRISOONTARALAK, P.; NAKORNPANOM, N. N.; KOAKIETDUMRONGKUL, K.; PANUMASWIWATH, C. Development of quick cooking germinated brown rice with convenient preparation and containing health benefits. **LWT - Food Science and Technology**, v. 61, p. 138–144, 2014.

SOSBAI, Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. Bento Gonçalves, 2018. 209 p.

STORCK, C. R. **Variação na composição química em grãos de arroz submetidos a diferentes beneficiamentos**. 2004. 108f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2004.

TAMURA, M.; SINGH, J.; KAUR, L.; OGAWA, Y. Impact of the degree of cooking on starch digestibility of rice – An in vitro study. **Food Chemistry**, v. 191, p. 98–104, 2015.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch Composition, Fine Structure and Architecture. **Journal of Cereal Science**, V. 39, P. 151-165, 2004.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Divergent Markets for U.S. Agricultural Exports**, 2010. Disponível em: www.fas.usda.gov/itp/china/India_Chinamarket022010.pdf. Acesso em: 26 Maio 2018.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **USDA Food Composition Databases**, 2018. Disponível em: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb>. Acesso em: 03 Maio 2018.

VIEIRA, N. R. A.; CARVALHO, L. V. Qualidade Tecnológica. In: **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás Embrapa: Arroz e Feijão. p.582-599, 1999.

WANG, J. P.; AN, H. Z.; JIN, Z. Y.; XIE, Z. J.; ZHUANG, H. N.; KIM, J. M. Emulsifier and thickeners on extrusion-cooked instant rice product. **Journal Food Science and Technology**, v.50, n. 4, p. 655-666, 2011.

WANG, S.; COPELAND, L. **Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review**, v. 4, p. 1564-1580, 2013.

WANI, A. A.; SINGH, P.; SHAH, M.; Rice starch diversity: effects on structural, morphological, thermal, and physicochemical properties - a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 11, p. 417-436, 2012.

WONGSA, J.; UTTAPAP, D., BUDDHI, P. L.; RUNGSARDTHONG, V. Effect of puffing conditions on physical properties and rehydration characteristic of instant rice product. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 672–680, 2016.

XU, Y.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A. S.; DUAN, X.; JIN.-C., S. A two-stage vacuum freeze and convective air drying method for strawberries. **Drying Technology**, v. 24, p.1019–1023, 2006.

YADAV, B. K.; JINDAL, V. K. Dimensional changes in milled rice (*Oryza Sativa L.*) kernel during cooking in relation to its physicochemical properties by image analysis. **Journal of Food Engineering**, v. 81, p. 710–720, 2007a.

YADAV, B. K.; JINDAL, V. K. Modelling changes in milled rice (*Oryzasativa L.*) kernel dimensions during soaking by image analysis. *Journal of Food Engineering*, v.80, p.359–369, 2007b.

YOSHIOKA, Y.; IWATA, H.; TABATA, M.; NINOMIYA, S.; OHSAWA, R. Chalkiness in rice: potential for evaluation with image analysis. **Crop Science**, v. 47, n. 5, p. 2113-2120, 2007.

YU, S.; MA, Y.; MENAGER, L.; SUN, D. W. Physicochemical properties of starch and flour from different rice cultivars, **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p. 626 – 637, 2012.

ZAVAREZE, E. R.; EL HALAL, S. L. M.; SANTOS, D. G.; HELBIG, E.; PEREIRA, J. M.; DIAS, A. R. G. Resistant starch and thermal, morphological and textural properties of heat-moisture treated rice starches with high, medium, and low-amylose content. **Starch**, v. 64, p. 45-54, 2012.

ZHANG, H.; TAN, G.; WANG, Z.; YANG, J.; ZHANG, J. Ethylene and ACC levels in developing grains are related to the poor appearance and milling quality of rice. **Plant Growth Regulation**, v. 58, n. 1, p. 85-96, 2009.

ZHOU, L.; CHEN, L.; JIANG, L.; ZHANG, W.; LIU, L.; LIU, X.; ZHAO, Z.; LIU, S.; ZHANG, L.; WANG, L.; WAN, J. Fine mapping of the grain chalkiness in rice (*Oryza sativa* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, v.118, n. 3, p. 581-590, 2009.

ZHU, D.; ZHANG, H.; GUO, B.; XU, K.; DAI, Q.; WEI, C.; ZHOU, G.; HUO, Z. Effects of nitrogen level on structure and physicochemical properties of rice starch. *Food Hydrocolloids*, v. 63, p. 525–532, 2017.