

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



DISSERTAÇÃO

**Impacto do tratamento térmico com baixa umidade no arroz em casca
sobre as qualidades tecnológicas, digestibilidade do amido e peso
molecular de proteínas**

Wyller Max Ferreira da Silva
Tecnólogo em Alimentos

Pelotas, 2016

Wyller Max Ferreira da Silva

**Impacto do tratamento térmico com baixa umidade no arroz em casca
sobre as qualidades tecnológicas, digestibilidade do amido e peso
molecular de proteínas**

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.

Comitê de Orientação:

Prof. Dr. Álvaro Renato Guerra Dias - UFPel

Prof^a. Dr^a. Elessandra da Rosa Zavareze - UFPel

Prof^a. Dr^a. Vania Zanella Pinto - UFFS

Pelotas, 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação: Bibliotecária
Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

S111i Silva, Wyller Max Ferreira da

Impacto do tratamento térmico com baixa umidade no arroz em casca sobre as qualidades tecnológicas, digestibilidade do amido e peso molecular de proteínas / Wyller Max Ferreira da Silva ; Alvaro Renato Guerra Dias, orientador ; Elessandra da Rosa Zavareze, Vania Zanella Pinto, coorientadoras. — Pelotas, 2016.

77 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2016.

1. Arroz em casca. 2. Tratamento térmico com baixa umidade. 3. Amido resistente. 4. Glutelinas. I. Dias, Alvaro Renato Guerra, orient. II. Zavareze, Elessandra da Rosa, coorient. III. Pinto, Vania Zanella, coorient. IV. Título.

CDD : 633.18

Banca examinadora:

Prof. Dr. Álvaro Renato Guerra Dias – FAEM/UFPeI

Prof. Dr. Nathan Levien Vanier – FAEM/UFPeI

Dr^a. Rosana Colussi – FAEM/UFPeI

Prof^a. Dr^a. Elizabete Helbig – Faculdade de Nutrição /UFPeI

Dedicatória

**A Deus e aos meus familiares que sempre estiveram me ajudando
nessa caminhada e aos meus amigos que sempre estiveram perto e
prontos para me ouvir.**

Agradecimentos

A Deus por me manter psicologicamente centrado nos meus objetivos de vida e me proteger.

Aos meus familiares por me proporcionar neste período de estudo o carinho, a atenção, o auxílio que tens me dado todos esses anos. Por me incentivar e permanecer no meu caminho mediante todos os percalços da vida.

Agradeço ao meu orientador e Professor Dr. Álvaro Renato Guerra Dias por ter me dado esta oportunidade e ter acreditado na minha capacidade da pesquisa. A minha coorientadora Dr^a. Elessandra da Rosa Zavareze por me auxiliar nos momentos da pesquisa; a minha mentora Dr^a. Vânia Zanella Pinto por estar sempre nos momentos de desespero do “amido resistente” e poder ter me auxiliado no melhor caminho a seguir.

Aos meus amigos do DCTA, que entraram juntamente comigo, de estarmos sempre próximos nos momentos de desespero, comemoração, alegrias e apresentações. Aos amigos do LabGrãos que sempre estiveram prontos para me ajudar, em especial a Bárbara Biduski que me manteve aberto as oportunidades, de compartilharmos da ajuda um do outro, nas correções de trabalhos, no momentos de desespero, nos ombros para ouvir e brigar; a Karina Lima por juntamente no processo de estresse da vida de pós graduando estivemos sempre nos ajudando, ouvindo, reclamando, discutindo, mas sempre um perto do outro.

Aos professores do DCTA pelas contribuições ao longo do período de mestrado aos estagiários dos Laboratórios de Grãos e de Cereais pela amizade e auxílio nas análises.

Aos amigos(as) que fiz ao longo desse período em Pelotas, estes que quero sempre muito perto de mim por fazer parte de cada momento e segundo da minha vida, seja para ouvir minhas lamúrias diárias, alegrias e até mesmo podermos festejar sempre. Em especial ao Lucas Cruz que sempre esteve perto, ajudando, correndo de um lado para o outro, me levando e trazendo para laboratório para que tudo ocorresse da melhor forma possível no mestrado, por estar sempre ao alcance dos favores, das reclamações da vida, de ouvir, opinar e apontar os erros; ao meu amigo Junior Borella por escutar, partilhar, ajudar e corrigir meu erros idiomáticos.

O meu mais sincero, MUITO OBRIGADO!!!

RESUMO

SILVA, Wyller Max Ferreira da. **Impacto do tratamento térmico com baixa umidade no arroz em casca sobre as qualidades tecnológicas, digestibilidade do amido e peso molecular de proteínas**. 2016. 77p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais de maior importância no mundo, e metade da população mundial consome este grão que é constituído principalmente de amido e proteínas. O amido é uma importante fonte de nutrição para os seres humanos; e as proteínas possui alto valor biológico, destacando as glutelinas. Neste sentido, as modificações hidrotérmicas vêm sendo aplicadas a fim de aumentar a fração de amido resistente e amido lentamente digerível, reduzindo o risco à saúde, como doenças cardiovasculares e doenças renais. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do tratamento térmico de baixa umidade (TTBU) aplicado em grãos de arroz em casca sobre as propriedades tecnológicas e formação da fração de amido resistente e peso molecular das proteínas. Os grãos de arroz foram beneficiados e a partir deste obtida a farinha que foram avaliadas quanto às propriedades tecnológicas, composição química, teor de amilose, poder de inchamento e solubilidade, cristalinidade relativa, morfologia, propriedades de pasta e térmicas, amido resistente, solubilidade de proteína e peso molecular de proteína. De forma geral, o TTBU ocasionou a redução do teor de amilose, do poder de inchamento e da solubilidade, e alterações na cristalinidade relativa, e na superfície dos grânulos de arroz. Os diferentes métodos de quantificação de amido resistente resultaram em distintas frações de amido resistente. O TTBU aplicado em grão de arroz a 18% de umidade por 60 min promoveu um aumento no teor de amido resistente e o TTBU aplicado em grãos de arroz em casca a 16% de umidade por 60 min promoveu um aumento no amido lentamente digerível nas farinhas de arroz. Em condições controladas, o TTBU pode ser usado com o intuito de aumentar o amido resistente de digestão lenta.

Palavras-Chaves: arroz em casca; TTBU; amido resistente; glutelinas.

Abstract

SILVA, Wyller Max Ferreira da. **Impact of heat-moisture treatment in the rice paddy on the technological qualities, starch digestibility and molecular weight of proteins.** 2016, 77p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the most important cereal in the world, and half the world's population consumes this grain consists mainly of starch and protein. Starch is an important source of nutrition for humans; and the proteins have high biological value, highlighting the glutelin. In this sense, hydrothermal modifications have been applied in order to increase the fraction of resistant starch and slowly digestible starch, reducing the risk to diseases such as cardiovascular and renal disease. The objective of this study was to evaluate the effect of the heat moisture treatment (HMT) applied to grains of rice in paddy on the technological properties and formation of resistant starch fraction and molecular weight of the proteins. The grains rice were obtained from the flour obtained and evaluated for technological properties, chemical composition, amylose content, swelling power and solubility, relative crystallinity, morphology, thermal properties and pasting, resistant starch, solubility of Protein and molecular weight of protein. In general, HMT caused reduction of amylose content, swelling power and solubility, and changes in relative crystallinity, as well as changing the surface of rice granules. HMT applied to rice grain at 18% moisture for 60 min promoted an increase in resistant starch content and TTBU applied to 16% moisture paddy rice for 60 min promoted an increase in the slowly digestible starch in the flours of rice. Under controlled conditions, TTBU can be used in order to increase starch resistant to slow digestion.

Keywords: paddy rice; physical modification; resistant starch; protein; HPSEC.

Lista de Tabelas

Tabela 1. Peso de mil grãos e peso volumétrico dos grãos de arroz beneficiado controle e modificados por TTBU.....	38
Tabela 2. Desempenho industrial dos grãos de arroz beneficiado controle e modificados por TTBU.....	39
Tabela 3. Perfil colorimétrico dos grãos de arroz beneficiado controle e modificados por TTBU.....	39
Tabela 4. Perfil branquimétrico dos grãos de arroz beneficiado controle e modificados por TTBU.....	40
Tabela 5. Tempo de cocção dos grãos de arroz beneficiado controle e modificadas por TTBU.....	41
Tabela 6. Composição química das farinhas dos grãos de arroz beneficiado controle e modificadas por TTBU.....	43
Tabela 7. Propriedade de pasta das farinhas grãos de arroz beneficiado controle e modificadas por TTBU.....	46
Tabela 8. Propriedades térmicas das farinhas de grãos de arroz beneficiado controle e modificadas por TTBU.....	48

Lista de Figuras

Figura 1. Estrutura do grão de arroz.	16
Figura 2. Corte transversal de um grânulo de amido e níveis de ordem estrutural do granulo. As letras “a”, “b” e “c” mostram anéis de crescimento. As letras “d” e “e” apresentam arranjos das lamelas semicristalinas e as ligações glicosídicas, respectivamente.	20
Figura 3. Condições hidrotérmicas do tratamento térmico com baixa umidade (TTBU) e do <i>annealing</i> (ANN).	22
Figura 4. Poder de inchamento (a) e solubilidade (b) das farinhas de arroz controle e modificadas.	50
Figura 5. Difratogramas de raio-X e cristalinidade relativa (CR) das farinhas de grãos de arroz: controle (a) e modificadas a 13% 30 min (b), 13% 60 min (c), 16% 30 min (d), 16% 60 min (e), 18% 30 min (f) e 18% 60 min (g).	51
Figura 6. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): controle (a), 13 % 30 min (b), 13 % 60 min (c), 16 % 30 min (d), 16 % 60 min (e), 18 % 30 min (f), 18 % 60 min (g).	53
Figura 7. Amido Total (AT), Amido Rapidamente Digerível (ARD), Amido Lentamente Digerível (ALD) e Amido Resistente (AR) determinado pelo método Englyst et al., (1992).	54
Figura 8. Amido Resistente (AR) e Amido disponível (AD) determinado pelo método da AOAC 996.11 (AOAC, 1995).	56
Figura 9. Amido Resistente (AR) e Amido disponível (AD) determinado pelo método <i>Megazyme</i> (2011).	57
Figura 10. Rendimento de extração proteica (%) de amostras de farinha de arroz solubilizadas com tampão fosfato de sódio contendo SDS e SDS+ β -Met; T1 (controle), T2 (13% 30 min), T3 (13% 60 min), T4 (16% 30 min), T5 (16% 60 min), T6 (18% 30 min) e T7 (18% 60 min).	59
Figura 11. Perfis cromatográficos de proteínas de farinhas de grãos de arroz controle e modificados, extraída com tampão de fosfato de sódio (50 mmol.L ⁻¹ , pH 6,8) contendo (a) 2,0% de SDS e (b) 2,0% de SDS /1.0% β -Met.	61

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS ESPECÍFICO	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1. Arroz	15
3.2. Proteínas	17
3.3. Amido de arroz	18
3.4. Estrutura do amido	19
3.5. Modificação hidrotérmica	21
3.6. Digestão alimentar	23
3.7. Amido resistente	25
4. Delineamento experimental	26
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
5.1. Material	28
5.2. Métodos.....	28
5.2.1. Tratamento térmico com baixa umidade (TTBU).....	28
5.2.2. Peso de mil grãos de arroz polido	29
5.2.3. Peso volumétrico de grãos de arroz polido	29
5.2.4. Desempenho industrial.....	29
5.2.5. Perfil colorimétrico	29
5.2.6. Perfil branquimétrico	30
5.2.7. Tempo de cocção.....	30
5.2.8. Composição físico-química	30
5.2.9. Propriedades de pasta	31
5.2.10. Propriedades térmicas	31
5.2.11. Poder de inchamento e solubilidade	31
5.2.12. Difração de raio X e cristalinidade relativa	32
5.2.13. Determinação de amilose.....	32
5.2.14. Morfologia.....	33
5.2.15. Determinação da digestibilidade	33
5.2.15.1. Método proposto por Englyst et al. (1992).....	33
5.2.15.2. Método descrito pela AOAC 996.11.	34

5.2.15.3. Método descrito pelo Kit <i>Megazyme</i> (2011)	35
5.2.16. Determinação de solubilidade de proteína	36
5.2.17. Determinação dos pesos moleculares das proteínas por cromatografia líquida (SE-HPLC)	36
5.2.18. Análise estatística	37
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6.1. Peso de mil grãos e peso volumétrico	38
6.2. Desempenho industrial	38
6.3. Perfil colorimétrico	39
6.4. Perfil branquimétrico	40
6.5. Tempo de cocção	41
6.6. Composição físico-química	42
6.7. Propriedades de pasta	44
6.8. Propriedades térmicas	47
6.9. Poder de inchamento e solubilidade	49
6.10. Difração de Raio-X e cristalinidade relativa	51
6.11. Morfologia	52
6.12. Determinação da digestibilidade	53
6.12.1. Método Englyst et al., (1992)	53
6.12.2. Método AOAC 996.11	55
6.12.3. Método Kit <i>Megazyme</i>	57
6.13. Solubilidade de proteínas em SDS e SDS + β -Met	58
6.14. Impacto das condições de extração de proteína em tampão fosfato contendo SDS e β -Met	60
7. CONCLUSÕES	64
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
APÊNDICES	75

1. INTRODUÇÃO

As recentes pesquisas na área de alimentos tem como um dos objetivos o desenvolvimento de alimentos funcionais, devido à população demonstrar interesse por alimentos que apresentem benefícios à saúde e que ao mesmo tempo reduzem riscos às doenças. A fim de melhorar a qualidade fisiológica e nutricional dos alimentos, tem-se utilizado diferentes técnicas, dentre as quais se destacam as modificações genéticas, as suplementações e as modificações físicas no processamento de alimentos. Estas técnicas alteram um ou vários componentes dos alimentos, tanto em disponibilidade como na forma em que estes se apresentam.

O tratamento térmico de baixa umidade (TTBU) é uma modificação física que altera as propriedades físico-químicas do amido, sem acarretar mudanças na estrutura molecular. O TTBU é uma modificação que caracteriza-se pela utilização de baixa umidade (15 - 30%) por um período de tempo que varia de 15 min a 16 h) e apresenta vantagens em relação à modificação química, uma vez que não utiliza reagentes químicos. A partir do TTBU no amido, altera-se a digestibilidade e consequentemente a taxa de liberação de glicose para o trato gastrointestinal após sua digestão.

A modificação por TTBU é usualmente aplicada em amido isolado (Puncha-Arnon e Uttapap (2013) ou em grãos de arroz em casca com posterior extração de amido somente foi relatada por Arns et al. (2015). O arroz branco é rico em carboidratos na forma de amido e caracteriza-se como um alimento energético com elevado índice glicêmico, alto teor de amido rapidamente digerível e baixo teor de amido resistente. O TTBU influencia as regiões amorfas e cristalinas dos grânulos de amido, degradando as cadeias lineares de amilopectina e promove a recristalização ao qual está associada a cadeia de amilose, favorecendo a propriedade de resistência a digestibilidade.

O comportamento, relacionado com a fração de amido rapidamente digerível e amido resistente de farinha de grãos de arroz em casca modificadas por TTBU não foram relatados em estudos prévios. A aplicação do TTBU em arroz pode diminuir o amido rapidamente digerível e aumentar o amido resistente. O amido resistente possui efeito prebiótico servindo como substrato para a microflora durante a fermentação no intestino grosso produzindo

substratos secundários associados à redução de casos de obesidade, diabetes, câncer de cólon e doença cardiovascular.

Diante disso, o objetivo neste estudo foi investigar os efeitos do TTBU aplicado em grãos de arroz em casca sobre as frações de amido rapidamente digerível, amido lentamente digerível e amido resistente, assim como propriedades tecnológicas, físico-química e peso molecular.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICO

Estudar a influência do TTBU em grãos de arroz em casca sobre o rendimento industrial e a qualidade tecnológica;

Avaliar o efeito do TTBU sobre as características físicas, térmicas, de cristalinidade, morfológicas;

Avaliar o efeito do TTBU sobre a digestibilidade *in vitro* da farinha de arroz por diferentes métodos;

Avaliar a solubilidade da proteína da farinha de arroz obtida de grãos de arroz em casca modificados por TTBU

Avaliar o peso molecular das proteínas por cromatografia líquida por exclusão de tamanho da farinha de arroz obtida de grãos de arroz com casca modificados por TTBU.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Arroz

O arroz está entre os cereais mais consumidos no mundo. As estimativas de produção brasileira para 2015/16 são de 10.998 milhões de toneladas, quantia inferior à safra de 2014/15 que foi de 12.432 milhões de toneladas. Para o estado do Rio Grande do Sul estima-se para a safra 2015/16 a quantia de 7.697,7 milhões toneladas (CONAB, 2016). A redução nas safras se deve a redução da área plantada, atraso na semeadura e excesso de chuvas, ocasionando uma redução nacional de 11,6% entre as safras.

A maior parte do consumo de arroz é na forma de grãos inteiros, descascados e polidos; uma pequena parte é destinada a ração animal (ZHOU et al., 2002). Uma parte significativa dos grãos tem sido usada industrialmente para produção de farinha de arroz que pode ser aplicada como aditivo em géis, pudins, sorvetes e outros produtos similares devido à suas propriedades nutricionais e hipoalergênicas, e por apresentar sabor agradável e não interferir na cor do produto final (SHIH e DAIGLE, 2000). O consumo de arroz fornece cerca de 20% da energia *per capita* e 15% de proteína para a população humana. Segundo as projeções da *Food and Agriculture Organization* – FAO (2015), o consumo de arroz para o próximo decênio é de 40 kg/hab/ano.

Contudo, os progressos para a melhoria do conteúdo nutricional de arroz têm sido limitado, em parte por não é este o foco principal do melhoramento de arroz (BHULLAR e GRUISSEM, 2013).

O grão de arroz descascado é denominado cariopse, o qual é constituído por diversos tecidos que apresentam estrutura, composição química e funções distintas. A casca é o material que envolve o grão e representa cerca 22% do peso do cereal, tem como a função de proteção, e esta possui a composição de celulose (25%), lignina (30%), pentoses (15%) e cinzas (21%) (AMATO e ELIAS, 2005).

O grão descascado ou esbramado contém três camadas externas, o pericarpo, o tegumento e a aleurona (Figura 1), as quais podem representar de 5 a 8% da massa de arroz integral, compreendendo, principalmente, lipídios, proteínas, fibras, vitaminas e minerais. A maior fração do grão de arroz é o

endosperma (70%), rico em amido e com alguns corpos proteicos. Na base do grão encontra-se o embrião ou gérmen, que é retirado durante o processo de polimento e representa 2 a 3% do arroz integral, sendo rico em lipídios e proteínas (HOSENEY, 2013). Assim, as diferenças na composição entre o arroz integral e o arroz polido se dão devido ao polimento, causando redução no valor nutricional do grão.

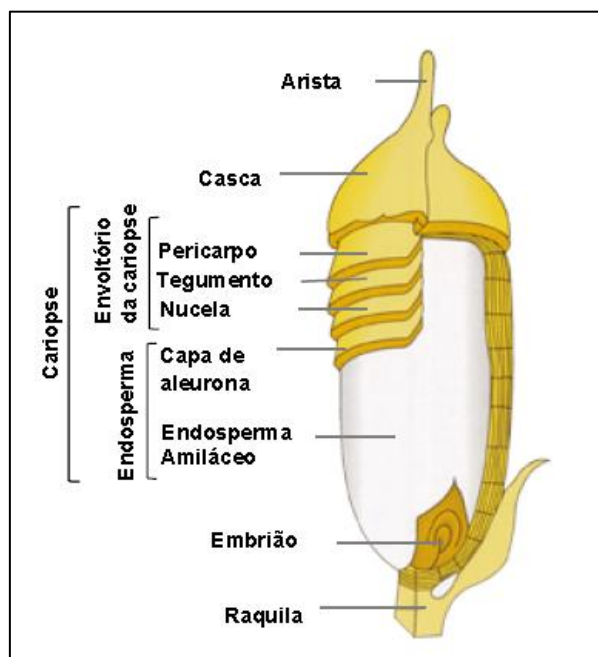


Figura 1. Estrutura do grão de arroz.

Fonte: USA RICE® FEDERATION.

O farelo de arroz obtido a partir do processo de beneficiamento possui compostos benéficos à saúde, tais como fibras dietéticas e minerais (SLAVIN, 2004; ABDUL-HAMID e LUAN, 2000). Além de conter vários componentes menores, como lipídeos, γ -orizanol (9 - 12%) e vitamina E (17 - 24%), estudos apresentam vantagens no seu consumo, como ação antitumoral, antioxidante e propriedades laxativas (LIN e LAI, 2011; NAGENDRA et al., 2011; ZHOU et al., 2002).

Os carboidratos são os principais constituintes do arroz e são representados basicamente pelo amido (VANDEPUTTE e DELCOUR, 2004), correspondendo a aproximadamente 90% da matéria seca do arroz polido, ficando presente principalmente no endosperma (BAO et al., 2004). O amido

contém dois tipos de macromoléculas, amilose e amilopectina. O teor de amilose constitui uma variável de grande interesse no processamento tecnológico do arroz, sendo o maior determinante da adesividade e dureza dos grãos (NAVES, 2007; KENNEDY e BURLINGAME, 2003).

Os teores de lipídios decrescem com o aumento do grau de polimento, pois esses constituintes estão concentrados em maior proporção nas camadas externas do grão (GOMES e MAGALHÃES, 2004; ZHOU et al., 2002). O arroz polido possui baixo teor de lipídios (menos de 1%). No entanto, o grão integral pode conter até 3%, pois cerca de 80% dos lipídios do grão se encontram em suas camadas periféricas (ZHOU et al., 2002).

As características do arroz cozido, como textura, maciez, cor, entre outras, possuem uma forte relação com seu teor de amilose. Cultivares de arroz com baixo teor de amilose apresentam um grãos de arroz mais pegajosos no cozimento. Aqueles que apresentam um teor de amilose intermediário possuem grãos mais soltos e macios e as cultivares com altos teores de amilose, apresentam grãos mais secos, soltos e mais firmes (PEREIRA e RANGEL, 2001).

3.2. Proteínas

Os conteúdos de proteínas diminuem linearmente com o aumento do grau de polimento, sendo que estes componentes concentram-se principalmente nas camadas periféricas (ZHOU et al., 2002).

As proteínas do endosperma compreendem de 7% a 18% das frações de albuminas e globulinas, 5% a 12% de prolaminas e o restante são glutelinas que podem corresponder a aproximadamente 80% (LI et al., 2016b; GOMES e MAGALHÃES, 2004; ZHOU et al., 2002)

As proteínas são estruturas de macromoléculas biológicas constituídas por uma ou mais cadeias de aminoácidos que desempenham papéis importantes nas necessidades da dieta dos seres humanos (DELANEY et al., 2008). As proteínas são degradadas no sistema digestivo em peptídeos e aminoácidos, que são absorvidas pelo organismo (WALRAND et al., 2014; DELANEY et al., 2008).

A digestão proteica fornece a liberação de peptídeos antioxidante ao organismo; estes peptídeos exercem atividades benéficas a saúde, como a capacidades de eliminação de radicais livres e ação fisiológica sobre os níveis de colesterol no plasma e no fígado (YANG et al., 2013; SAMARANAYAKA e LI-CHAN, 2011; KORHONEN e PIHLANTO, 2003).

3.3. Amido de arroz

Dentre as principais fontes mundiais de amido consumido no mundo, se destacam os amidos de milho, trigo, arroz, batata e mandioca. No grão de arroz, o amido chega a constituir 90% em base seca (BAO et al., 2004). A extração de amido de arroz não possui uma produção expressiva, no entanto, possui algumas características especiais que devem ser analisadas e exploradas.

O amido de arroz tem grande potencial não só para a alimentação humana e animal, mas possui grande potencialidade na indústria não alimentícia. A exploração deste potencial depende do conhecimento de algumas propriedades do amido como a estrutura, morfologia, absorção de água, solubilidade, poder de inchamento e viscosidade (CEREDA et al., 2002). Este amido pode, além de outras funções, conferir para a indústria a facilitação do processamento, alterando as características de textura, servir como espessante, aumentar teor de sólidos em suspensão e proteger os alimentos durante o processamento. Além disso, o amido de arroz é utilizado como ingrediente em vários alimentos e produtos industriais, tais como sobremesas, produtos de panificação e substituto de gorduras (PUCHONGKAVARIN et al., 2005).

Dentre os demais amidos de cereais, o grânulo do amido de arroz é o de menor tamanho, em média, seu tamanho varia entre 2 μm a 10 μm e possui forma poligonal irregular (ZHOU et al., 2002). Seu pequeno tamanho confere uma textura extremamente suave com o cozimento e sabor brando; não é um produto alergênico, podendo ser consumido por portadores de doença celíaca como substituto do trigo na elaboração de produtos sem glúten (NABESHIMA e EL-DASH, 2004).

3.4. Estrutura do amido

O amido é um polissacarídeo natural. É a principal fonte de reserva de carboidratos em plantas e constitui fonte de energia essencial para muitos seres vivos (RICHARDSON e GORTON, 2003). Sua síntese é a partir de glicoses produzidas nas folhas e armazenadas nos amiloplastos presentes em tubérculos, caules, raízes e grãos (SMITH, 2001). A formação estrutural do amido permite que as moléculas de glicose sejam empacotadas em estruturas muito densas, insolúveis e fisiologicamente inertes chamados grânulos (HANNAH e JAMES, 2008), sendo, portanto, a principal forma de reserva de carbono em plantas (DENYER e SMITH, 2003). O consumo de amido pelos seres humanos, fornece cerca de 70 a 80% das calorias consumidas e dentre as diversas formas de alimentos a fonte de maior potencial são os grãos de cereais (40 a 90% do seu peso seco), legumes (30 a 70% do seu peso seco) e os tubérculos (65 a 85% do seu peso seco) (FREITAS et al., 2003).

O polissacarídeo (amido) é o único produzido em plantas na forma de pequenos agregados individuais que recebe o nome de grânulos e apresentam tamanhos variados, na qual é composto pelas macromoléculas de amilose e amilopectina. A forma, estrutura e o tamanho desses grânulos variam de acordo com a fonte botânica, com o estágio de desenvolvimento da planta e apresenta diâmetros geralmente entre 1 a 100 μm , e são encontrados nas formas regulares ou irregulares (LIU, 2005). A Figura 2 fornece uma visão geral das estruturas que compõem o grânulo de amido.

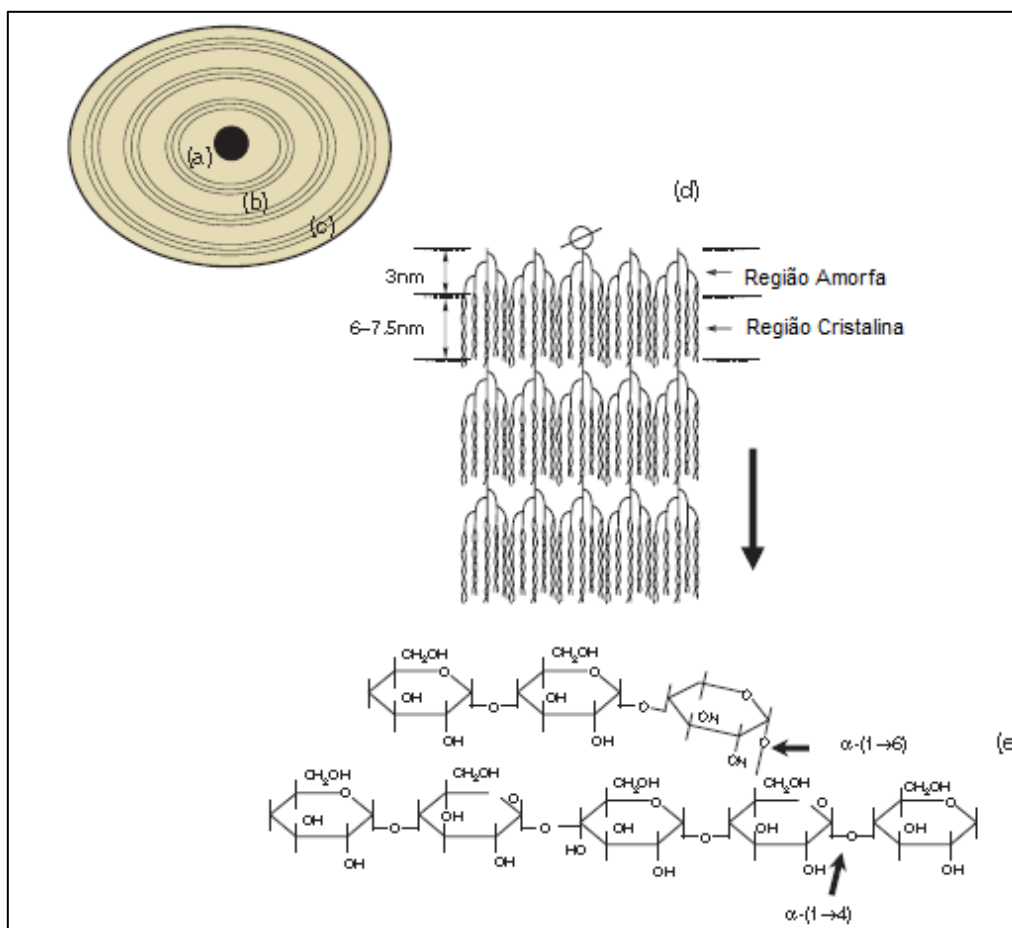


Figura 2. Corte transversal de um grânulo de amido e níveis de ordem estrutural do granulo. As letras “a”, “b” e “c” mostram anéis de crescimento. As letras “d” e “e” apresentam arranjos das lamelas semicristalinas e as ligações glicosídicas, respectivamente.

Fonte: Adaptado de TETLOW e EMES (2011).

Os grânulos apresentam um hilo central (Fig. 2a), que constitui do núcleo e, ao redor deste se desenvolve o grânulo. Este hilo pode estar no centro do grânulo ou deslocado lateralmente. As lamelas dos grânulos de amidos são semicristalinas (Fig. 2b) e (Fig. 2c) compostas de macromoléculas lineares e ramificadas arranjadas na direção radial. A região semicristalina é composta pelas regiões de lamelas amorfa e cristalina (Fig. 2d), com uma unidade de repetição de cerca de 9 nm, que formam aglomerados e compõem a região semicristalina. A região (Fig. 2e) corresponde a estrutura de amilose e amilopectina, formada de unidades ligadas por ligações glicosídicas α -1 $\rightarrow$ 4 (amilose) e ramificações α -1 $\rightarrow$ 6 (amilopectina) (TETLOW e EMES, 2011).

A ordenação das ligações ao qual fornece a estrutura dos grânulos são responsáveis pelas propriedades de birrefringência e cristalinidade (MATSUGUMA, 2006). A amilopectina contém cerca de 5% dos pontos de ramificação em comparação com a amilose (BEMILLER e WHISTLER, 2009).

Dentre as frações que compreendem os homopolímeros, a amilose é uma molécula essencialmente linear e com pequenos números de ramificação, demonstrando sua diferença em relação a amilopectina que apresenta uma macromolécula altamente ramificada. A cadeia de amilose apresenta em média um tamanho de aproximadamente 10^3 g.mol⁻¹ unidades de glicose e sua forma linear resulta na formação de hélices com interior hidrofóbico, podendo acomodar moléculas pequenas como ácidos graxos e iodo (BULÉON et al., 1998).

O teor de amilose presente nos amido varia de acordo com a fonte botânica, mas, geralmente, são encontrados valores médios entre 20 - 30% em amidos de cereais. O arroz pode apresentar diferentes quantidades de amilose na qual são encontrados valores entre 0 - 37% e são classificados em quatro grupos de amilose: ceroso (nenhum teor de amilose ou 12 - 20%), quantidade intermediária (20 - 25%), alto teor (>25%) (TECHAWIPHARAT et al., 2008).

Os homopolímeros são encontrados nos grânulo de amido e sua distribuição não é uniforme. A amilose é encontrada de forma mais concentrada na periferia e a amilopectina de cadeias longas no centro do grânulo (PAN et al., 2000).

3.5. Modificação hidrotérmica

As modificações hidrotérmicas são modificações físicas que alteram as propriedades físico-químicas do amido, sem que ocorra mudança molecular (ZAVAREZE e DIAS 2011; ADEBOWALE et al., 2009; MAACHE-REZZOUG et al., 2008; HORMDOK e NOOMHORM 2007; JACOBS e DELCOUR 1998). Na Figura 3 estão apresentadas as condições de tratamento das modificações hidrotérmicas, onde o TTBU envolve baixos teores de umidade (10 - 30%) em temperaturas altas e constantes (90 - 120 °C), por períodos que podem chegar até 16 horas (ZAVAREZE e DIAS, 2011; CHUNG et al., 2009).

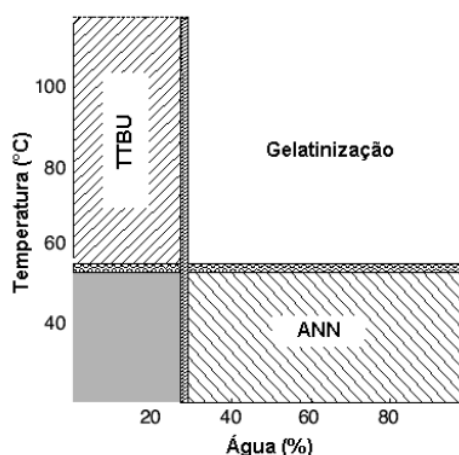


Figura 3. Condições hidrotérmicas do tratamento térmico com baixa umidade (TTBU) e do *annealing* (ANN).

Fonte: ELIASSON e GUDMUNDSSON (2006).

As modificações físicas apresenta respostas distintas relacionadas à origem botânica (CHIU e SOLAREK, 2009), desde a ocorrência das alterações no padrão de difração de raio-X, na cristalinidade, nas interações entre as cadeias, no intumescimento dos grânulos, na viscosidade e na suscetibilidade à hidrólise enzimática e ácida, entre outros (ZAVAREZE e DIAS, 2011; ADEBOWALE et al., 2009; MIAO et al., 2009; GUNARATNE e HOOVER, 2002).

A busca pela modificação hidrotérmica tem sido apresentada como uma opção de modificação física dos amidos, sem que ocorra a utilização de produtos químicos (modificação química), sendo considerado natural e mais seguro (HORMDOK e NOOMHORM, 2007; ADEBOWALE et al., 2005; JACOBS e DELCOUR, 1998). O grande interesse na utilização de tratamentos mais naturais em farinha de arroz vem crescendo e os métodos mais utilizados são os recozimentos e o tratamento de calor e umidade (CHAM e SUWANNAPORN, 2010).

A aplicabilidade de amidos e farinhas modificados por TTBU tem sido amplamente utilizada em diversas áreas, como na produção de massas, pães, produtos enlatados, congelados e na produção de filmes comestíveis e biodegradáveis, com a finalidade de redução da utilização de fontes não renováveis (ARNS et al., 2015). Além da aplicação dos amidos modificados,

existe outro benefício da modificação que é a produção de amido resistente e lentamente digerível. Este amido resistente, no processo de digestão não sofre ação enzimática no estômago e no intestino delgado sendo posteriormente fermentado no intestino grosso (ENGLYST et al., 1992).

A influência dos efeitos do TTBU sobre as propriedades do amido de arroz têm sido amplamente pesquisadas (ZAVAREZE et al., 2010; HORMDOK e NOOMHORM, 2007; KHUNAE et al., 2007), enquanto pouco se sabe sobre a aplicação de TTBU em farinha de arroz (PUNCHA-ARNON e UTTAPAP, 2013; CHAM e SUWANNAPORN, 2010). Não há relatos sobre os efeitos do TTBU aplicado em grãos de arroz em casca sobre os teores de amido resistente e lentamente digerível.

3.6. Digestão alimentar

O desempenho nutricional e funcional por toda a etapa de digestão é amplamente estudado e conhecido (NICOLAI e DURAND, 2013; MCCLEMENTS e LI, 2010). Os alimentos sofrem diversas alterações físico-químicas por todo o trato gastrointestinal. A investigação deste processo tem demonstrado significativa importância para a taxa de biodisponibilidade dos nutrientes até o final do processo digestivo (DRECHSLER e FERRUA, 2016; FEUNTEUN et al., 2014). Após a ingestão de um alimento o mesmo passa por diversos meios de modificação e condições físicas e químicas à medida que passa pelo sistema digestivo, como boca, estômago, intestino delgado e intestino grosso. O processo de digestão tem sua maior eficiência no estômago, onde ocorre a principal desintegração de alimentos durante a digestão pelos sucos gástricos. O comportamento do processo de quebra das macromoléculas, estejam elas em fase sólida ou líquida, determinará sua área de superfície ao qual afetará no nível de degradação química, no tempo de digestão, na liberação de nutrientes e na taxa de liberação para o intestino delgado (KONG e SINGH, 2008; URBAIN et al., 1989).

Na dieta humana o amido é fonte de carboidrato e sua ingestão é um componente chave para aumentar os níveis de glicose no sangue (CHEN et al., 2016). Segundo Zaefarian et al. (2015), de um ponto vista nutricional, as frações do amido podem se dar pela taxa de liberação de glicose, a qual é

absorvido no intestino delgado. Através da taxa de digestão o amido é classificado em três frações: amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e o amido resistente (AR).

Segundo Englyst et al. (1992), as frações de ARD e ALD são de amido que são hidrolisados em dextrinas por α -amilase dentro de 20 a 120 minutos após a ingestão, respectivamente; depois de passado este tempo a fração que não sofre digestão é denominado como AR, a qual resiste à hidrólise no intestino delgado, passando para o intestino grosso, onde é fermentada pela microflora intestinal (NUGENT, 2005).

Os alimentos que apresentam alto índice da fração de ARD, digeridos em 20 min, têm geralmente um índice glicêmico mais elevado; ao ser consumido, os níveis de glicose no sangue aumentam imediatamente após a ingestão. O rápido aumento da glicose causa, conseqüentemente, o aumento dos níveis de insulina no sangue e essa elevação contribui para várias complicações à saúde, tais como diabetes, doenças cardiovasculares e obesidade (KITISUBAN et al., 2014). Os alimentos com um elevado índice glicêmico estão associados com a diminuição da saciedade e tem sido correlacionado com o estímulo a ingestão excessiva de comida por dia, o que pode contribuir para o risco de obesidade (ZHANG e HAMAKER, 2009).

Os alimentos que apresentam alto índice da fração de ALD, o qual é digerido em até 120 min, apresenta uma liberação lenta e prolongada de glicose no sistema trato gastrointestinal durante o processo digestivo, e este apresenta uma baixa resposta glicêmica. Esta fração pode ser útil no controle e prevenção de doenças cardíacas, diabetes tipo II e obesidade (VILLAS-BOAS e FRANCO, 2016; KITISUBAN et al., 2014). As características nutricionais do ALD incluem saciedade, o aumento da tolerância à glicose e redução do nível de lipídios no sangue em indivíduos saudáveis e com hiperlipidemia (JENKINS et al., 2002).

O ALD vem sendo pesquisado como um novo componente de alimentos funcionais no desenvolvimento de produtos inovadores, nos quais diversos estudos demonstram o aumento da fração do ALD através de modificações química, física, enzimática, genética e/ou combinada (MIAO et al., 2014; LEE et al., 2011; MIAO et al., 2009; SHIN et al., 2007).

3.7. Amido resistente

O amido resistente (AR) é a fração que resiste às enzimas digestivas e tem atuação semelhante às fibras dietéticas (ENGLYST et al., 1992). A característica do AR em chegar intacto ao intestino grosso, faz com que após a sua ingestão aumente a saciedade, que, por sua vez, ajuda a regular o peso corporal, além de servir como substrato para a microflora durante a fermentação intestinal produzindo substratos secundários como os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) (FERGUSON et al., 2015; WILLIS et al., 2009). Os principais AGCC produzidos pela fermentação são os acetatos, propionatos e butiratos (TOPPING e CLIFTON, 2001). Vários estudos têm reportado os efeitos positivos do amido resistente em casos de obesidade (HUNG e MORITA, 2005), diabetes (ZHOU et al., 2014), câncer de cólon (LIU e XU, 2008) e doença cardiovascular (HUNG e MORITA, 2005). O ácido butírico, particularmente, age como um substrato de energia para as bactérias do cólon. Além disso, estes AGCC são metabolizados no organismo formando corpos cetônicos (SCHEPPACH et al., 1992), que, por sua vez, pode ser utilizado pelo cérebro e coração como fonte de energia (ROBINSON e WILLIAMSON, 1980). Estudos demonstram que o AR pode ajudar a inibir a formação de câncer de cólon e outros cânceres no corpo, que é creditado ao aumento da produção de butirato e seus efeitos positivos sobre colonócitos (HAMER et al., 2008). Quando a ingestão de AR for acima de 5,4% da ingestão diária total de hidratos de carbono, a oxidação lipídica será aumentada de forma significativa, diminuindo, assim, o acúmulo de gordura a longo prazo (HIGGINS et al., 2004).

Segundo Dupuis et al. (2014), Luckett e Wang (2012) e Fuentes-Zaragoza et al. (2011), o amido resistente pode ser dividido em 5 classes. O AR1 é o que não está disponível para ser digerido devido a limitações físicas, tais como uma membrana envolta do grânulo de amido, ao qual compreende resistência ao ataque enzimático na digestão, deixando o grão parcialmente intacto. AR2 é composto por grânulos de amido nativo, tais como batatas, bananas verdes, milho de alta amilose entre outros. Os amidos AR2 apresentam moléculas de amilopectina em proporção maior de ramificações e cadeias longas, resultando numa estrutura mais rígida, e menos susceptível a hidrólise enzimática (JIANG

e JANE, 2013). AR3 é o amido retrogradado, no qual o amido sofreu uma gelatinização seguido por um período de arrefecimento, quando ocorre a retrogradação. O AR4 são amidos que foram modificados por métodos químicos, tais como, eterificação ou esterificação; devido à formação de interações existentes entre seus componentes à presença de algumas substituições dos grupos hidroxila no anel de glicose (ROMBO et al., 2004). Por último, o AR5 é caracterizado por complexação, na qual o lipídeo complexa com a estrutura helicoidal presente na amilose, formando uma complexação amilose-lipídeo tendo sua estrutura resistente a digestão (HASJIM et al., 2013).

4. Delineamento experimental

Foi realizado 1 (um) experimento com aplicação de TTBU em grãos de arroz em casca, conforme Tabela 1.

Experimento 1: TTBU aplicados nos grãos em casca nas propriedades do arroz branco polido.

O tratamento Térmico de Baixa Umidade utilizado no experimento está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Efeitos do tratamento térmico de baixa umidade nas propriedades dos grãos de arroz aplicado em grãos com diferentes teores de umidade e diferentes tempos de aplicação.

Variáveis dependentes			Variáveis independentes			
Tratamentos	Tempos de TTBU (minutos)	Teor de Umidade do Grão (%)	Avaliações			
1	Controle*		1. Peso de mil grãos			
	30	13	2. Peso volumétrico			
2	60	13	3. Desempenho industrial			
			4. Perfil colorimétrico			
3	30	16	5. Perfil branquimétrico			
			6. Tempo de cocção			
4	60	16	7. Composição físico-química			
			8. Propriedade de pasta			
5	30	18	9. Propriedade térmica			
			10. Perfil de textura			
6	60	18	11. Poder de inchamento e solubilidade			
			12. Difração de raio-X e cristalinidade relativa			
7			13. Determinação de amilose			
			14. Morfologia			
			15. Determinação da digestibilidade			
			16. Determinação de solubilidade proteína			
			17. Determinação do peso molecular			

* sem tratamento com TTBU e umidade a 13%.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos no Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, da Universidade Federal de Pelotas, RS, Brasil.

5.1. Material

Foram utilizados grãos de arroz em casca (*Oryza sativa* L.) da cultivar GURI CL (30% de amilose). O arroz foi cultivado em sistema de irrigação com adubação química com nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) na semeadura e nitrogênio na forma de ureia durante o ciclo vegetativo. O local de plantio foi realizado em coordenadas de latitude S 31°48'34.09" e longitude W 52°29'31.79" e 21 m de altitude, no município de Capão do Leão, RS, Brasil. Os grãos de arroz com casca foram mantidos a 16 °C, até à realização do TTBU. Os reagentes químicos utilizados foram de grau analítico ou superior.

5.2. Métodos

5.2.1. Tratamento térmico com baixa umidade (TTBU)

Os grãos de arroz em casca foram tratados com calor e baixa umidade pelo método descrito por Horndok e Noomhorm (2007), com modificações. Os grãos de arroz em casca com grau de umidade inicial de 18% foram secos a 40 °C para atingir as umidades de 13% e 16%. Para as modificações, os grãos com as umidades de 13%, 16% e 18% foram colocadas em vidro hermeticamente fechados e autoclavados em autoclave vertical (modelo A-50, Bioeng, São Paulo, Brasil) a 120 °C e 1 kPa por 30 e 60 min. As amostras tratadas foram secas em estufa de ar forçado a 40 °C até 13% de umidade. Uma amostra com 13% de umidade não tratada por TTBU foi utilizada como um controle. O grau de umidade dos grãos foi determinado por um medidor capacitivo de umidade Gehaka (modelo G800, São Paulo, Brasil) e confirmado pelo método da AOAC (2006). Após o TTBU, as amostras foram mantidas

durante 24h a 15 °C para a estabilização das forças intermoleculares dos grãos. Após este período, os grãos foram descascados e polidos em engenho de provas Zaccaria (modelo PAZ-1-DTA; Industrias Machina Zaccaria S/A, São Paulo, Brasil), de acordo com a Instrução Normativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil Nº 06/2009 (Brasil, 2009). Os grãos de arroz polidos foram moídos em moinho de facas (Perten 3100, Perten Instruments, Hugginge, Suécia) e peneirados em peneira de 80 mesh para obtenção das farinhas de arroz, estas foram armazenadas a 16 °C até a realização das análises.

5.2.2. Peso de mil grãos de arroz polido

O peso de mil grãos foi realizado segundo Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), com contagem de três repetições de 1000 grãos íntegros cada e pesagem em balança de precisão.

5.2.3. Peso volumétrico de grãos de arroz polido

O peso volumétrico foi realizado segundo as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), realizado com grãos íntegros, com oito repetições, em equipamento Dalle Molle (Balanças Dalle Molle, Caxias do Sul, Brasil) e pesagem em balança de precisão.

5.2.4. Desempenho industrial

Os grãos polidos, inteiros e quebrados foram avaliados conforme as Normas de Identidade, Qualidade, Embalagem e Apresentação do Arroz (BRASIL, 2012).

5.2.5. Perfil colorimétrico

O perfil colorimétrico dos grãos de arroz branco foi avaliado em colorímetro (Minolta, modelo CR-310, Osaka, Japão), utilizando um sistema CIEL*a*b*, onde os valores de luminosidade (L*) variam entre zero (preto) e

100 (branco), os valores das coordenadas de cromaticidade a^* e b^* , variam de: $-a^*$ (verde) até $+a^*$ (vermelho), e de: $-b^*$ (azul) até $+b^*$ (amarelo).

5.2.6. Perfil branquimétrico

O perfil branquimétrico foi avaliado com branquímetro Zaccaria (MBZ-1, Indústria de Máquinas Zaccaria S/A, São Paulo, Brasil), operado de acordo com recomendações do fabricante, determinando os parâmetros de brancura, transparência e grau de polimento dos grãos.

5.2.7. Tempo de cocção

Os parâmetros de cocção foram avaliados de acordo com o método proposto por Martinez e Cuevas (1989), com as adaptações realizadas por Gularte (2005). O tempo de cocção foi avaliado utilizando um Becker de 250 mL contendo 150 mL de água destilada aquecida a temperatura de 80 °C. Uma colher de sopa rasa de arroz foi adicionada ao Becker tampado, iniciando-se a contagem do tempo de cocção. Após 10 min de cocção, a cada minuto verificava-se 10 grãos amassando-os em placas de vidro, quando 90% dos grãos não apresentassem mais o hilo branco no centro do grão a amostra era considerada cozida.

5.2.8. Composição físico-química

A proteína total foi quantificada de acordo com o método de Bradford (Bradford (1976). O teor de carboidratos foi calculado pela diferença entre 100 e a soma das percentagens de proteína, lipídeos e de cinzas de acordo com a metodologia proposta pela *AOAC International* (AOAC, 1995). Os métodos de lipídeos, cinzas e teor de umidade da farinha de arroz foram determinados de acordo com os métodos descritos pela *AOAC International* (AOAC, 2006).

5.2.9. Propriedades de pasta

As propriedades de pasta das farinhas de arroz foram avaliadas em Analisador Rápido de Viscosidade (Rapid Visco Analyser, modelo RVA-4, Newport Scientific, Austrália), utilizando o perfil Standard Analysis 1. Amostras de 3,0 g de farinha de arroz, corrigida para 14% de umidade foram homogeneizadas com 25 mL de água destilada. Foram avaliadas a temperatura de início de formação de pasta, o pico de viscosidade, a quebra da viscosidade, a viscosidade final e a tendência à retrogradação.

5.2.10. Propriedades térmicas

As propriedades térmicas das farinhas de arroz foram avaliadas em calorímetro diferencial de varredura (DSC, TA-60WS, Shimadzu, Kyoto, Japão). Aproximadamente 2,5 mg de farinha de arroz foram pesadas em cadinhos de alumínio e adicionada água destilada na proporção de 1:3. Após, os cadinhos foram hermeticamente fechados e deixados estabilizar por 24 h antes da análise. Os cadinhos contendo as amostras foram aquecidos, juntamente com um cadinho vazio usado como referência, sob atmosfera de nitrogênio de 30 a 120 °C com uma taxa de aquecimento de 5 °C.min⁻¹. As temperaturas de início, pico e final de gelatinização foram obtidos automaticamente e a variação de temperatura calculada pela subtração das temperaturas final pelas temperaturas de início.

5.2.11. Poder de inchamento e solubilidade

O poder de inchamento e a solubilidade das farinhas de arroz foram determinados conforme método descrito por Leach, Mcoowen e Schoch (1959). A determinação envolveu a suspensão em tubos de centrifuga de 1 g de farinha em 50 mL de água aquecida. Em seguida os tubos foram aquecidos em banho maria, nas temperaturas de 60°, 70°, 80° e 90°C por 30 min, os tubos foram resfriados à temperatura ambiente e centrifugados a 1000 g por 20 min. O sobrenadante foi coletado e seco em estufa (105°C) até peso constante para a quantificação da fração solúvel. Os tubos, previamente tarados, contendo a

farinha de arroz intumescida, foram pesados para determinar o poder de inchamento. A solubilidade foi calculada pela relação da massa solúvel e a massa inicial de farinha, expressa em porcentagem, enquanto o poder de inchamento foi obtido pela relação da massa final intumescida pela massa inicial de farinha, sendo descontada a quantidade de farinha solúvel.

5.2.12. Difração de raio X e cristalinidade relativa

Os difratogramas de raios-X das farinhas de arroz foram obtidos com difratômetro de raios-X (XRD-6000, Shimadzu, São Paulo, Brasil). A região de difração variou de 5° a 50°, com uma tensão de 30 kV, corrente de 30 mA e velocidade de varredura de 1° min⁻¹. A cristalinidade relativa (CR) foi calculada conforme descrito por Rabek (1980) pela seguinte equação $CR (\%) = ((Ac/Ac+Aa)*100)$, onde CR é a cristalinidade relativa dos amidos; Ac é a área cristalina, Aa é área amorfa do difratograma de raio-x.

5.2.13. Determinação de amilose

O teor de amilose das farinhas foi determinado pelo método colorimétrico com iodo, conforme método descrito por McGrane; Cornell e Rix (1998) com adaptações. Aproximadamente 20 mg de amido desengordurado (b.s) e 8 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) à 90% foi agitado e posteriormente condicionado em banho à 85 °C durante 2 h. Após arrefecimento, o conteúdo foi transferido para balão volumétrico de 25 mL, homogeneizado e o volume ajustado. Uma alíquota de 1 mL da solução foi adicionada de 5 mL de solução de I₂/KI (0,0025 mol.L⁻¹ de I₂ e 0,0065 mol.L⁻¹ de KI) e o volume completado para 50 mL. A solução resultante foi homogeneizada e mantida em repouso por 15 min previamente a leitura da absorbância em 600 nm. Para a realização da curva padrão de amilose, foi utilizado 20 mg de amilose de batata pura (Sigma) e submetida ao mesmo processo descrito para o amido, sendo retirados alíquotas de 0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1,0 mL para determinação da absorbância em espectrofotômetro (Jenway, modelo 6705, Reino Unido) e construção da curva padrão.

5.2.14. Morfologia

A morfologia dos grânulos de amido presente na farinha de arroz foi analisada utilizando um microscópio eletrônico de varredura (MEV, modelo XRD-6000, Shimadzu, São Paulo, Brasil) de acordo com o método descrito por VANIER et al. (2012). As imagens foram obtidas nas magnificações de 1000x.

5.2.15. Determinação da digestibilidade

A digestibilidade do amido foi determinada pelos métodos descritos por ENGLYST et al. (1992), com algumas modificações, AOAC 996.11 (AOAC, 1995), com modificações sugeridas por Walter; Silva e Perdomo (2005) e pelo ensaio fornecido pelo Kit *Megazyme* (Megazyme International Ltd., Co. Wicklow, Ireland (2011)).

5.2.15.1. Método proposto por Englyst et al. (1992)

A digestão das farinhas de arroz foi baseada em um processo de hidrólise *in vitro* do amido proposto por Englyst et al., (1992). As amostras (0,5 g base seca), foi adicionada de 20 mL de tampão acetato (0,1 M e pH 5,2) contendo 4 mM de CaCl_2 e levados ao banho térmico a 37° C por 5 min. Em seguida foi adicionado 5 mL de solução enzimática contendo α -amilase pancreática (Termamyl® 2X), amiloglucosidase (Sigma - A9913) e invertase (Sigma – I4504), e imediatamente foi retirada uma alíquota de 0,5 mL em tempo zero (glicose livre) e colocado em tubo contendo 4 mL de etanol absoluto. Foram retiradas duas outras alíquotas (0,5 mL) após 20 min e 120 min, G20 e G120, respectivamente, e colocadas em tubos contendo 4 mL de etanol absoluto. Os tubos foram centrifugados por 1-2 min até obter um sobrenadante claro. Foi retirado 1 mL do sobrenadante e transferido para um tubo contendo 9 mL de água destilada.

Para determinação da glicose total (GT) a partir dos centrifugados, agitou-se vigorosamente e levou-se ao banho fervente por 30 min, e resfriado em banho de gelo. Em seguida foram adicionados 10 mL de KOH 7M, homogeneizados, e incubados em banho de gelo por 30 min. Foi removido 1

mL do hidrolisado e colocado em tubos de centrifuga contendo 10 mL de ácido acético 0,5 M e homogeneizado. Imediatamente foi adicionado 0,2 mL de amiloglicosidase (50 AGU/mL) e incubado a 70°C por 30 min. Em seguida transferido para banho fervente por 10 min e resfriado a temperatura ambiente. Então, foram adicionados 40 mL de água destilada e levados para centrifugação a 1500 g por 5 min e quantificada glicose com kit glicose oxidase-peroxidase (Kit Enzimática Colorimétrica - GOD – PAP, da BioClin – Belo Horizonte /Brasil). Os valores obtidos para glicose livre (GL), G20, G120 e GT foram utilizados para calcular para AT, RDS, SDS e RS como segue:

$$AT = (GT - GL) \times 0,9$$

$$ARD = (G20 - GL) \times 0,9$$

$$ALD = (G120 - G20) \times 0,9$$

$$AR = AT - (ARD + ALD) \text{ ou } (GT - G120) \times 0,9.$$

Onde:

AT= Amido total

GT= Glicose Total

5.2.15.2. Método descrito pela AOAC 996.11.

As frações de amido resistente (AR) e amido rapidamente digerível (ARD) foram determinadas de acordo com o método descrito pela AOAC 996.11, com modificações sugeridas por Walter et al. (2005), que recomenda a utilização de maior quantidade de amostra (300 mg ao invés de 100 mg), tampão fosfato pH 6,8, ao invés de MOPS (ácido 4-morfolino propano sulfônico), pH 7,0, e adição de enzima protease após incubação com α -amilase termoestável a 95°C por 5 minutos. As enzimas utilizadas para determinação de amido disponível e resistente foram α -amilase termoestável (Termamyl 2X) e Amiloglicosidade (AMG®) produzidas pela Novozymes Latin American Limited (Araucária/Brasil). A amostra foi pesada e adicionada de etanol aquoso 80%, sendo submetida a hidrólise com 0,1 mL de α -amilase termoestável, em tampão fosfato pH 6,8 e incubada a 95 °C por 5 min, hidrólise com 0,1 mL de protease, em tampão fosfato pH 6,8 e incubada a 55°C por 30 min e a hidrólise com 0,1 mL de amiloglicosidase, em tampão acetato de sódio 0,2 M, pH 4,5 e incubada a 50°C por 30 minutos. As amostras foram centrifugadas e o resíduo foi lavado com

solução tampão acetato de sódio 0,05 M, pH 4,5, e centrifugado novamente. No sobrenadante foi determinado o teor de amido disponível, sendo o volume completado para 100 mL em balão volumétrico. Para determinação do amido resistente, após a lavagem do resíduo, foi adicionado 2 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) (95 °C por 5 min) e novamente submetido à hidrólise com α -amilase e amiloglicosidase nas condições de reação anteriormente mencionadas. As amostras foram centrifugadas e o sobrenadante foi transferido para balão volumétrico de 10 mL, sendo o volume completado com água destilada e homogeneizado. Uma alíquota da suspensão dos balões foi transferida para tubo de ensaio, sendo adicionado reagente glicose oxidase-peroxidase (Kit Enzimática Colorimétrica - GOD – PAP, da BioClin – Belo Horizonte /Brasil) para determinar a glicose liberada durante a hidrólise do amido. Em seguida as amostras foram lidas em espectrofotômetro a 505 nm. A fração de amido disponível (AD) e AR foram calculados multiplicando o resultado final de glicose por 0,9, para converter glicose livre em amido.

5.2.15.3. Método descrito pelo Kit *Megazyme* (2011)

A determinação do amido resistente pelo Kit *Megazyme*, consiste na pesagem da amostra 100 mg $\pm$ 5 mg em tubo. Foi adicionado 4,0 mL de solução de α -amilase pancreática contendo amiloglicosidase e incubado em banho a 37 °C por 16 horas sob agitação constante. Os tubos foram retirados do banho e adicionado 4,0 mL de álcool etílico 99% e agitado por 15 segundos em agitador de tubos. Os tubos foram centrifugados a 3.000 g por 10 min e retirado, cuidadosamente, o sobrenadante e transferido para balão volumétrico de 100 mL, para quantificar a fração de amido não resistente. O precipitado foi ressuspenso em 8,0 mL de álcool etílico 50% e agitado por 10 seg. Os tubos foram novamente centrifugados a 3.000 g por 10 min e retirado o sobrenadante e transferido para o balão volumétrico de 100 mL, este sendo a fração de amido não resistente. Após as lavagens, os tubos contendo o precipitado, foi colocado em capela de exaustão para evaporação do álcool remanescente. Em seguida foi colocado o tubo em banho de gelo sobre um agitador magnético e adicionado, sob agitação, 2,0 mL de solução de hidróxido de potássio 2,0 mol L⁻¹ e agitado por 20 min. A amostra foi retirada do banho de gelo e, ainda sob

agitação, acrescentado 8,0 mL de tampão acetato de sódio $1,2 \text{ mol L}^{-1}$ (pH 3,8) e 100 μL de amiloglicosidase concentrada (3.300 U mL^{-1}) e incubada em banho a 50°C por 30 minutos (agitado a cada dez minutos). Após este período, os tubos foram centrifugados a 3.000 g por 10 min e quantificado a glicose com glicose oxidase-peroxidase. Para o amido não resistente, o balão volumétrico foi completado (100 mL) com tampão acetato de sódio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (pH 4,5) e transferido uma alíquota de 100 μL , em duplicata, para o tubo de ensaio contendo 10 μL amiloglicosidase diluída (300 U mL^{-1}) e agitado manualmente e quantificado com reagente glicose oxidase-peroxidase. Os cálculos foram de acordo com a tabela fornecida pela *Megazyme*.

5.2.16. Determinação de solubilidade de proteína

A extração de proteína por solução tampão com a presença de solventes desnaturantes e redutoras, foi realizada de acordo com a método proposto por Buggenhout et al. (2013) com modificações, onde 1,0 mg de amostras seca foram extraídos com 1,0 mL de tampão de fosfato de sódio ($0,05 \text{ mol/L}$; pH 6,8) contendo (i) 2,0% (m/v) de Dodecil sulfato de sódio (SDS); (ii) 2,0% (m/v) de SDS, 1,0% (m/v) de β -Mercaptoetanol (β -Met). Foram homogeneizadas por 30 min e centrifugadas (10 min, 3000 RPM), após a centrifugação foi recolhido o sobrenadante e determinado o teor de proteína.

5.2.17. Determinação dos pesos moleculares das proteínas por cromatografia líquida (SE-HPLC)

A extração de proteína por solução tampão com a presença de solventes desnaturantes e redutoras, seguiu-se a metodologia proposta por Buggenhout et al. (2013) utilizando solução tampão de fosfato de sódio (50 mM pH 6,8) contendo 2% de Dodecil sulfato de sódio (SDS) e outra solução contendo 1% de mercaptoetanol (β -Met). Retirou-se uma alíquota de 10 μL do sobrenadante e foi injetado em cromatógrafo líquido (Prominence UFLC system, Shimadzu, Tokyo, Japão). A separação por exclusão de tamanho foi realizada na coluna Yarra 3 μ SEC-2000 (300 mm x 4.6 mm) (Phenomenex). Foi utilizado tampão fosfato de sódio 50 mM pH 6,8 com 2% de SDS como fase móvel. O fluxo foi

de 0,35 mL/min e a temperatura da coluna foi mantida a 30°C. Foram utilizados os padrões de fosforilase (97 kDa), albumina (66 kDa), pepsina (34 kDa), citocromo (12 kDa), blue dextran (2 kDa) e citidina (0,24 kDa) para determinas as faixas de exclusão de tamanho tempo (min) e peso (kDa).

5.2.18. Análise estatística

Determinações analíticas para as amostras foram feitas em triplicata e desvios-padrão foram relatados, exceto para as análises de propriedades térmicas e cristalinidade relativa das farinhas. Uma comparação entre o meio foi verificada pelo teste de Tukey, para o nível de significância de 5% através de uma análise da variância (ANOVA).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Peso de mil grãos e peso volumétrico

Na Tabela 1 estão apresentados os valores de peso de mil grãos e peso volumétrico do arroz em casca, submetidos o tratamento térmico com baixa umidade. Existe uma relação direta entre o peso de mil grãos e o peso volumétrico. As perdas quantitativas totais, tanto do peso de mil grãos quanto da massa específica aparente, resultam dos processos depreciativo, oriundos, primordialmente da atividade metabólica intrínseca dos grãos (ELIAS, 2009).

Tabela 2. Peso de mil grãos e peso volumétrico dos grãos de arroz beneficiado controle e modificados por TTBU

Umidade (%)*	Tempo (min)	Peso de mil grãos (g)	Peso volumétrico (kg.m ⁻³)
Controle		24,8 ± 0,5 ^{ab}	544,5 ± 2,9 ^{ab}
13%	30	25,4 ± 0,4 ^a	544,1 ± 2,5 ^{ab}
	60	24,9 ± 0,1 ^{ab}	545,2 ± 1,5 ^a
16%	30	24,6 ± 0,4 ^b	536,9 ± 2,8 ^b
	60	24,8 ± 0,2 ^{ab}	539,3 ± 3,9 ^{ab}
18%	30	24,4 ± 0,3 ^b	540,8 ± 6,2 ^{ab}
	60	24,7 ± 0,0 ^{ab}	536,8 ± 1,3 ^b

* Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem estatisticamente entre as médias submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância.

A partir dos dados (Tabela 1) é possível verificar que o peso de mil grãos sofreu pequenas alterações com o uso do TTBU, assim como observado no peso volumétrico em relação ao tratamento controle.

6.2. Desempenho industrial

Na Tabela 2 está apresentado o desempenho industrial dos grãos de arroz submetido ao tratamento térmico com baixa umidade. A renda de

beneficiamento foi menor nos tratamentos em que se utilizou o maior tempo de TTBU, e no tratamento com 16% de umidade e 30 minutos.

Tabela 3. Desempenho industrial dos grãos de arroz beneficiado controle e modificados por TTBU

Umidade (%)*	Tempo (min)	Renda de beneficiamento (%)	Inteiros (%)	Quebrados (%)
Controle		$64,6 \pm 0,8^{ab}$	$61,7 \pm 1,4^a$	$2,8 \pm 0,9^e$
	30	$67,7 \pm 1,3^{ab}$	$50,6 \pm 1,5^d$	$16,9 \pm 0,5^a$
13%	60	$61,2 \pm 0,1^b$	$50,7 \pm 0,2^d$	$10,4 \pm 0,2^{cd}$
	30	$61,6 \pm 1,3^b$	$55,1 \pm 1,2^{bc}$	$6,2 \pm 0,5^{de}$
16%	60	$68,2 \pm 1,2^{ab}$	$52,5 \pm 0,5^{cd}$	$15,7 \pm 1,1^{ab}$
	30	$69,4 \pm 0,2^a$	$57,7 \pm 0,4^b$	$11,6 \pm 0,2^{bc}$
18%	60	$61,1 \pm 6,7^b$	$52,5 \pm 2,6^{cd}$	$8,5 \pm 4,3^{cd}$

* Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem estatisticamente entre as médias submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância.

O tratamento térmico conferiu aos grãos de arroz, nos diferentes graus de umidade, uma menor porcentagem de rendimento de grãos inteiros (Tabela 2) em relação ao arroz sem tratamento (controle). O rendimento dos grãos quebrados está de acordo com a instrução normativa Nº 6, de 16 de fevereiro de 2009 para enquadramento em Tipo.

6.3. Perfil colorimétrico

O perfil colorimétrico dos grãos de arroz está apresentado na Tabela 3. A cor do grão é um dos principais fatores envolvidos na aceitabilidade por parte dos consumidores.

Verificou-se que com o aumento da umidade e tempo de modificação hidrotérmica, os valores da luminosidade (L^*) aproximam de uma tonalidade mais clara, com diferença significativa entre as amostras.

Tabela 4. Perfil colorimétrico dos grãos de arroz beneficiado controle e modificados por TTBU

Umidade (%)**	Tempo (min)	Perfil colorimétrico
---------------	-------------	----------------------

		L*	a*	b*
Controle		73,6 ± 0,1 ^{bc}	-0,4 ± 0,0 ^a	7,9 ± 0,4 ^e
13%	30	74,8 ± 0,6 ^b	-0,7 ± 0,1 ^{ab}	9,3 ± 2,0 ^{de}
	60	77,6 ± 0,4 ^a	-0,8 ± 0,3 ^{ab}	14,0 ± 0,6 ^b
16%	30	77,0 ± 0,6 ^a	-1,4 ± 0,1 ^b	16,4 ± 1,3 ^a
	60	72,4 ± 0,7 ^c	-1,2 ± 0,2 ^{ab}	11,9 ± 0,6 ^{bc}
18%	30	72,7 ± 0,4 ^c	-0,6 ± 1,0 ^{ab}	10,6 ± 1,1 ^{cd}
	60	74,7 ± 1,5 ^b	-1,5 ± 0,8 ^b	12,5 ± 0,8 ^{bc}

** Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem estatisticamente entre as médias submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância.

Para o parâmetro (b*) os valores obtidos demonstram que os grãos apresentam tendência à coloração amarela. A mudança na coloração dos grãos pode ser causada pela migração de pigmentos da casca para o interior do grão ou escurecimento não enzimático, como reação de Maillard durante a modificação hidrotérmica (LAMBERTS et al., 2008).

Durante as etapas do processamento térmico com baixa umidade ocorrem modificações estruturais, como as glicosídicas, onde a reação de Maillard, confere aos grãos uma coloração amarelada e/ou pela formação das melanoidinas devido à oxidação de fenóis (ZANÃO et al., 2009; SIRISOONTARALAK e NOOMHORM, 2006).

6.4. Perfil branquimétrico

O perfil branquimétrico de arroz em casca submetido ao tratamento térmico com baixa umidade em diferentes condições estão apresentados na Tabela 4. Verificou-se redução da transparência, bem como redução do grau de polimento dos grãos de arroz, após a modificação.

Tabela 5. Perfil branquimétrico dos grãos de arroz beneficiado controle e modificados por TTBU

Umidade (%)*	Tempo (min)	Perfil branquimétrico		
		Brancura	Transparência	Polimento

	Controle	$42,5 \pm 1,7^{ab}$	$3,6 \pm 0,1^a$	$109,7 \pm 7,5^a$
13%	30	$43,8 \pm 1,0^a$	$3,5 \pm 0,1^{ab}$	$115,0 \pm 4,4^a$
	60	$41,8 \pm 1,7^{abc}$	$3,3 \pm 0,3^{abc}$	$105,3 \pm 6,6^{ab}$
16%	30	$37,4 \pm 1,0^d$	$3,1 \pm 0,1^c$	$84,3 \pm 4,2^d$
	60	$40,1 \pm 1,4^{bc}$	$3,3 \pm 0,4^{abc}$	$97,7 \pm 5,0^{bc}$
18%	30	$40,3 \pm 1,6^{bc}$	$3,2 \pm 0,2^{abc}$	$98,2 \pm 6,2^{bc}$
	60	$39,5 \pm 1,6^{cd}$	$3,1 \pm 0,2^{bc}$	$94,0 \pm 6,3^{cd}$

*Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem estatisticamente entre as médias submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância.

As alterações na coloração dos grãos de arroz após a modificação hidrotérmica, tenderam do branco para a amarela, pode ser em decorrência de alterações nas estruturas glicosídicas ocasionada pela reação de Maillard (ZANÃO et al., 2009; SIRISOONTARALAK e NOOMHORM, 2006). Também foi verificado que após a modificação hidrotérmica ocorreu uma diminuição dos valores do perfil branquimétrico, entretanto está não apresentou um perfil linear. A redução da transparência nos grãos de arroz, como foi salientado no perfil colorimétrico (Tabela 3).

6.5. Tempo de cocção

Na Tabela 5 são apresentados os tempos de cocção dos grãos de arroz polidos. O tempo de cocção do arroz polido é definido como o tempo necessário, em água fervente, para o arroz tornar-se translúcido quando observado sob luz polarizada.

Tabela 6. Tempo de cocção dos grãos de arroz beneficiado controle e modificadas por TTBU

Umidade (%)*	Tempo (min)	Tempo de cocção (min)
Controle		$13,4 \pm 0,0^c$
13%	30	$12,4 \pm 0,0^d$
	60	$12,5 \pm 0,1^d$
16%	30	$14,1 \pm 0,1^b$
	60	$14,6 \pm 0,1^a$
18%	30	$13,5 \pm 0,0^c$

60	14,5 ± 0,0 ^a
----	-------------------------

*Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem estatisticamente entre as médias submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância.

O tempo de cocção dos grãos de arroz beneficiado não tenderam a resultados lineares (Tabela 5), à medida que se aumentou a umidade e tempo de modificação. Este fato pode ser devido à reestruturação interna dos grãos de arroz, que dificulta a hidratação durante o cozimento; isto pode ser devido a presença da proteína (Tabela 6) que dificulta o intumescimento do amido, impedindo sua desestruturação, proveniente da complexação proteína-amilose, na qual reduz a absorção de água, tal como observado no poder de inchamento (Figura 4a).

6.6. Composição físico-química

A composição química da farinha de grãos de arroz beneficiado controle e modificado é apresentado na Tabela 6. A modificação não altera o teor de proteína dos grãos de arroz, independentemente das umidades e tempos utilizados no TTBU. Os grãos de arroz têm um baixo teor de cinzas e lipídeos (menos de 1%) (Tabela 6). Estes teores estão de acordo com os relatados por Storck; Silva e Fagundes (2005).

Tabela 7. Composição química das farinhas dos grãos de arroz beneficiado controle e modificadas por TTBU

Tratamento*		Umidade (%, b.u.)**	Composição (%, base seca) da farinha				
Umidade (%)	Tempo (min)		Proteína	Cinzas	Lipídeos	Amilose	Carboidratos***
Controle		12,2 ± 0,1 ^b	8,4 ± 0,1 ^a	0,3 ± 0,0 ^c	0,6 ± 0,0 ^a	21,4 ± 1,3 ^a	90,7 ± 0,1 ^a
13%	30	13,5 ± 0,1 ^a	8,5 ± 0,2 ^a	0,3 ± 0,0 ^c	0,4 ± 0,0 ^c	16,7 ± 0,7 ^b	90,8 ± 0,2 ^a
	60	11,7 ± 0,1 ^c	8,3 ± 0,1 ^a	0,6 ± 0,0 ^a	0,6 ± 0,0 ^a	15,0 ± 0,2 ^b	90,6 ± 0,1 ^a
16%	30	11,1 ± 0,0 ^d	8,1 ± 0,0 ^a	0,5 ± 0,0 ^b	0,6 ± 0,0 ^a	17,1 ± 0,3 ^b	90,9 ± 0,0 ^a
	60	10,1 ± 0,1 ^e	8,2 ± 0,1 ^a	0,5 ± 0,0 ^a	0,4 ± 0,0 ^b	13,9 ± 0,3 ^b	90,8 ± 0,1 ^a
18%	30	11,3 ± 0,1 ^d	7,9 ± 0,0 ^a	0,6 ± 0,0 ^a	0,4 ± 0,0 ^b	16,0 ± 1,5 ^b	91,2 ± 0,0 ^a
	60	11,3 ± 0,1 ^d	8,1 ± 0,6 ^a	0,5 ± 0,0 ^b	0,5 ± 0,0 ^b	17,2 ± 0,2 ^b	91,0 ± 0,6 ^a

*Letras diferentes, na mesma coluna, diferem estatisticamente entre as médias submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância. **base úmida da farinha de arroz. *** Carboidratos foram determinadas por diferença dos conteúdos de proteínas, cinzas e lipídios.

A maioria dos minerais e lipídeos presentes nos grãos de arroz estão localizadas nas camadas periféricas da cariopse, que são removidos durante o polimento dos grãos (PAIVA et al., 2014). O TTBU promoveu a migração de minerais para as camadas periféricas do endosperma de arroz, reduzindo a perda destes nutrientes no polimento. A redução no teor de lipídeos determinada, exceto para as amostras tratadas a 13% durante 60 min e 16% durante 30 min de TTBU, pode ocorrer através da formação de um complexo com amilose.

De acordo com Waduge et al. (2006), o complexo de amilose-lipídeos, amilose-amilose e amilose-amilopectina foram identificados como responsáveis pela redução do teor de amilose aparente de amido submetido ao tratamento hidrotérmico. Os grãos de arroz branco polido (controle) mostrou um teor em amilose de 21,4%, enquanto os grãos submetidos ao TTBU apresentaram um teor de amilose compreendido entre 13,9% e 17,2%, dependendo das condições do tratamento (Tabela 6) de umidade e tempo. O iodo compete com lipídeos na formação de complexos de inclusão helicoidal nas hélices de amilose, o que torna difícil, para a quantificação do teor de amilose pelo método colorimétrico usando iodo.

6.7. Propriedades de pasta

O efeito mais pronunciado de TTBU em propriedades de pasta foi determinado na viscosidade de quebra (Tabela 7). Farinhas obtidas a partir de grãos tratados em teor de umidade de 16% e 18% não apresentaram quebra de viscosidade (Tabela 7 e Apêndice A). Para os outros parâmetros RVA - temperatura de pasta, pico de viscosidade e retrogradação - não houve nenhuma tendência clara de aumento ou diminuição como consequência de parâmetros TTBU - teor de umidade e/ou tempo

Normalmente, amidos modificados por TTBU exibem aumento da temperatura de pasta, juntamente com a diminuição de pico e quebra de viscosidade, em comparação com os seus nativos (BeMiller e Huber, 2015). Para o amido de arroz, Zavareze et al. (2010) relataram que o teor de amilose teve uma grande influência nas propriedades de pasta, sendo o efeito do TTBU maior nos amidos de arroz de alta amilose. Além disso, os autores sugerem a

ocorrência de interações amilose-amilose, amilose-lipídeos e amilose-amilopectina durante a modificação, e estas poderiam contribuir para a estrutura mais forte nos grânulos de amido (Zavareze et al., 2010). No presente estudo, a mudança na farinha de arroz promovida pelo TTBU sobre as propriedades de pasta podem ser atribuídas à interação proteína-amido, como observado por Puncha-Arnon e Uttapap (2013), que analisou farinha de arroz e amido modificado por TTBU e relataram a ausência de picos de viscosidade em farinha de arroz modificado por TTBU.

Tabela 8. Propriedade de pasta das farinhas grãos de arroz beneficiado controle e modificadas por TTBU

Umidade (%)*	Tempo (min)	Temperatura de pasta (°C)	Pico de viscosidade (RVA)	Quebra (RVA)	Viscosidade Final (RVA)	Retrogradação (RVA)
Controle		88,1 ± 0,4 ^{bcd}	217,1 ± 1,1 ^c	18,2 ± 1,0 ^a	317,7 ± 4,2 ^{cd}	118,8 ± 6,3 ^{cd}
13	30	87,8 ± 0,1 ^{cde}	227,0 ± 3,4 ^{bc}	9,8 ± 1,6 ^b	361,4 ± 6,7 ^b	144,2 ± 7,6 ^b
	60	86,6 ± 0,4 ^e	252,7 ± 9,3 ^a	2,3 ± 1,1 ^c	409,8 ± 13,9 ^a	163,4 ± 6,3 ^a
16	30	89,5 ± 0,1 ^a	185,6 ± 1,7 ^d	nd	286,3 ± 4,3 ^d	99,9 ± 2,7 ^e
	60	87,2 ± 0,9 ^{de}	242,6 ± 12,1 ^{ab}	nd	378,1 ± 20,4 ^{ab}	135,4 ± 8,8 ^{bc}
18	30	89,1 ± 0,4 ^{abc}	212,9 ± 4,2 ^c	nd	320,4 ± 8,8 ^{cd}	106,8 ± 5,0 ^{de}
	60	89,2 ± 0,5 ^{ab}	225,3 ± 10,9 ^{bc}	nd	347,2 ± 19,1 ^{bc}	120,9 ± 8,1 ^{cd}

*Letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem estatisticamente entre as médias submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância.

nd= não determinado pelo equipamento.

6.8. Propriedades térmicas

Os parâmetros de gelatinização do amido e a desnaturação das proteínas da farinha de grãos de arroz controle e modificados por TTBU são mostrados na Tabela 8. O TTBU promoveu alterações endotérmicas nas amostras. O tratamento com 18% de umidade e 60 min promoveu uma diminuição da temperatura de transição da farinha de arroz, em comparação com a amostra controle. Esta redução pode ser devido a uma alteração na estrutura de proteínas e amido.

Segundo os Chen et al. (2015), e Puncha-Arnon e Uttapap (2013), a farinha de arroz mostra a formação de um pico bifásico quando as propriedades térmicas são analisadas. O primeiro pico foi designado para a gelatinização da amilopectina; o segundo pico poderia ser considerado como um complexo de lipídeo-amilose e um rearranjo da amilose e amilopectina nos grânulos de amido.

As mudanças na entalpia de gelatinização (ΔH), promovida pelo TTBU, indicam que a modificação hidrotérmica reforça a estrutura da farinha de arroz durante a modificação. De acordo com Chen et al. (2015) e Puncha-Arnon e Uttapap (2013), que analisaram as propriedades térmicas de amido de arroz e farinha modificado por TTBU, relataram que a ocorrência de interações amido e outros componentes não amido, promoveram variações nos valores da entalpia (ΔH). O aumento da entalpia de farinha de grãos de arroz tratadas com 18% de umidade e 60 min confirma a hipótese de que há um aumento nas interações entre amilose e amilopectina, bem como o fortalecimento de ligações de hidrogênio que formam hélices duplas reforçadas.

Tabela 9. Propriedades térmicas das farinhas de grãos de arroz beneficiado controle e modificadas por TTBU

Umidade (%)	Tempo (min)	T _o (°C)	T _{p1} (°C)	T _{p2} (°C)	T _c (°C)	T _c – T _o (°C)	ΔH (J.g ⁻¹)	CR (%) ^a
13	Controle	59,2	64,6	nd	70,5	11,3	7,5	21,8
	30	58,1	62,6	nd	68,6	10,5	6,2	21,1
	60	60,9	65,6	nd	71,4	10,6	6,4	21,5
16	30	61,2	66,5	nd	76,2	14,9	6,9	19,1
	60	59,9	64,1	nd	69,7	9,7	5,9	21,5
18	30	59,7	64,1	70,7	70,3	10,6	5,3	20,2
	60	56,9	60,1	68,1	68,8	11,9	9,9	20,2

T_o= Temperatura inicial; T_{p1}=Temperatura de primeiro pico; T_{p2}=Temperatura de segundo pico; T_c=Temperatura de conclusão; T_c – T_o=Temperatura de gelatinização e ΔH=Entalpia de gelatinização.

^aCR: cristalinidade relativa.

6.9. Poder de inchamento e solubilidade

O poder de inchamento e a solubilidade das farinhas de arroz de grãos em casca submetidos ao TTBU são apresentados nas Figuras 4a e 4b. A gelatinização dos grânulos de amido de arroz envolve o colapso de grânulos que se manifesta em mudanças irreversíveis, tais como o inchamento granular, perda de birrefringência, e a solubilização do amido (ZAVAREZE e DIAS, 2011; ZAVAREZE et al., 2010). Quando a temperatura de uma suspensão de amido é maior do que a temperatura de gelatinização, ligações de hidrogênio são quebradas e moléculas de água podem ser introduzidas nos grânulos e hidratar grupos de hidroxilas livres (LIMBERGER et al., 2008).

O TTBU diminuiu o poder de inchamento em todos os tratamentos das farinhas de arroz, principalmente quando se avalia a temperatura mais alta de análise de 90 °C (Fig. 4a). A redução do poder de inchamento da farinha de arroz após TTBU pode ser atribuída à reorganização das moléculas de amilose e amilopectina, restringindo a hidratação e consequentemente a expansão dos grânulos de amido. Outros fatores, tais como complexos de amilose-lipídeos, as interações proteína-amido e estrutura de amilose e amilopectina podem influenciar o poder de inchamento dos grânulos de amido (CHEN et al., 2015; (ZAVAREZE e DIAS, 2011). Gunaratne e Hoover (2002) avaliaram o efeito do TTBU em amido de batata, e observou-se uma redução no poder de inchamento do amido modificado quando comparado com o amido nativo. De acordo com estes autores, a reorganização molecular das cadeias de amilose e amilopectina eram responsáveis pela baixa capacidade dos grânulos em absorver água e inchar. Neste estudo, como o TTBU foi aplicado diretamente nos grãos de arroz em casca contendo uma matriz complexa de amido-proteína e amido-lipídeo, alterações estruturais em proteínas de reserva do endosperma do arroz e a complexação entre amido e proteínas, bem como o amido-lipídeo podem ter contribuído para a maior dificuldade no inchaço da farinha de arroz.

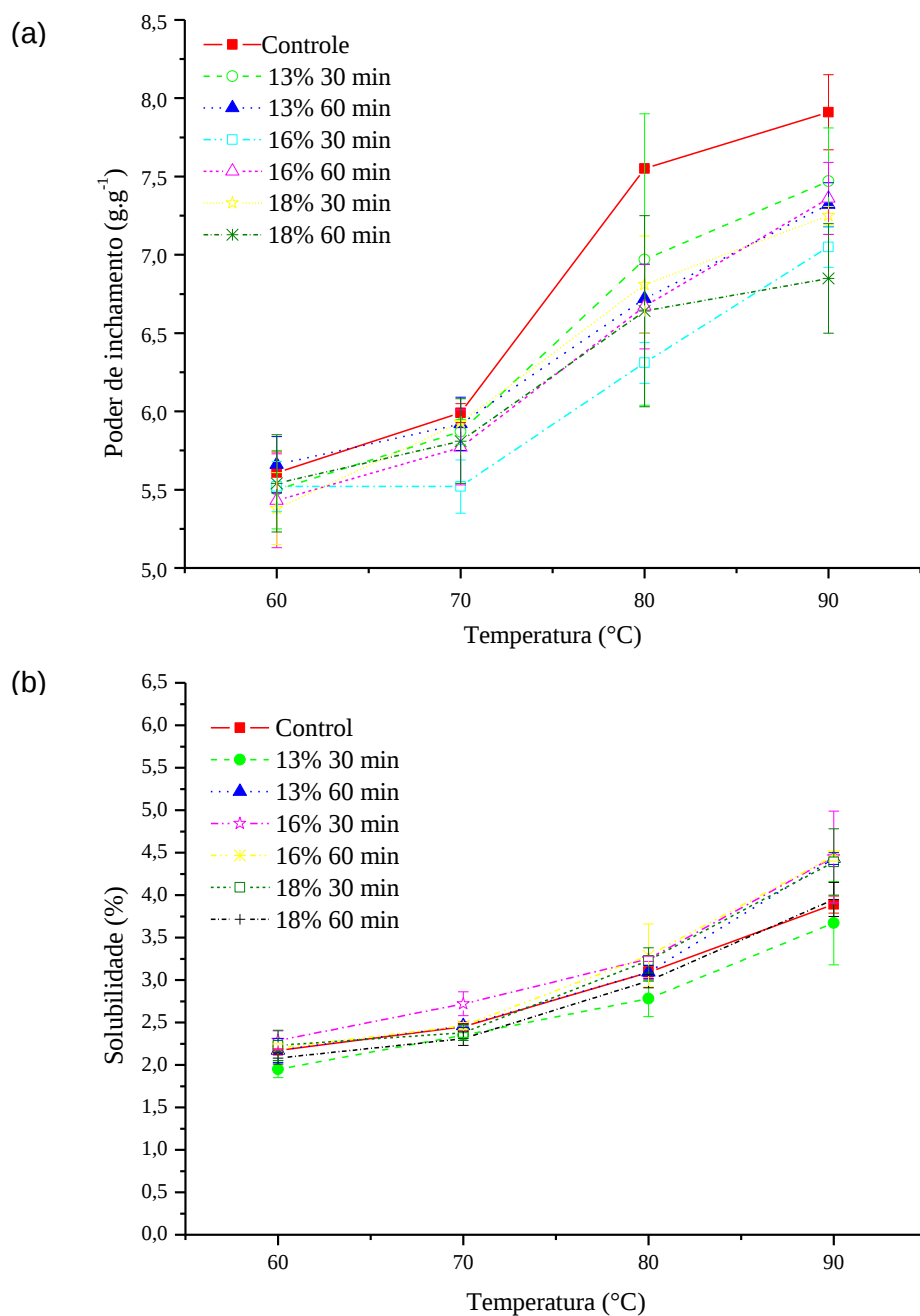


Figura 4. Poder de inchamento (a) e solubilidade (b) das farinhas de arroz controle e modificadas.

A modificação não acarretou diferença significativa ($p \leq 0,05$) para a solubilidade (Fig. 4b). Como indicado acima, a maioria dos estudos que modificam com TTBU foram realizados em matrizes alimentares, principalmente em amido isolado, onde a amilose lixívia do grânulo de amido e impacta sobre a solubilidade do amido. No presente estudo, as proteínas

solúveis podem ter interferido sobre o comportamento de solubilidade das farinhas com as diferentes temperaturas aplicados (60, 70, 80 e 90 ° C).

6.10. Difração de Raio-X e cristalinidade relativa

Os dados de cristalinidade relativa da farinha de grãos de arroz modificado e não modificado (controle) por TTBU são apresentados na Tabela 8. As farinhas de grãos de arroz, tanto controle quanto modificados, por TTBU, mostraram um padrão de cristalinidade tipo-A, com picos principais de difração de raios-X ângulos 2θ de 15°, 17°, 18°, 20° e 23° (Figura 5), que é considerada característica para o amido de arroz (HUNG et al., 2016; ZAVAREZE e DIAS, 2011; GUNARATNE e HOOVER, 2002). A presença de todos os picos típicos assim como a semelhança na cristalinidade relativa (CR) entre o controle e as farinhas do arroz modificados, sugerem que as condições aplicadas pelo TTBU não gelatinizaram os grânulos de amido. Além disso, não foi observada alteração no padrão cristalino de amilopectina. Em geral, os amidos que exibem um arranjo do tipo A, não são alterados pelo TTBU e conservam a sua forma polimórfica nativa (HOOVER, 2010).

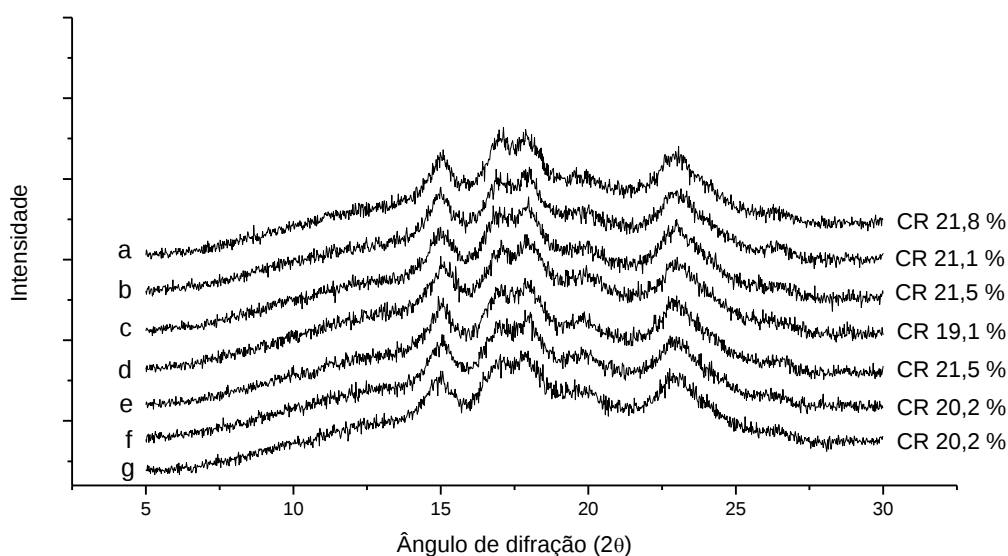


Figura 5. Difratomogramas de raio-X e cristalinidade relativa (CR) das farinhas de grãos de arroz: controle (a) e modificadas a 13% 30 min (b), 13% 60 min (c), 16% 30 min (d), 16% 60 min (e), 18% 30 min (f) e 18% 60 min (g).

A cristalinidade relativa das farinhas obtidas a partir de grãos modificados foi menor do que a amostra controle. Estes resultados podem ser devido a uma redução das áreas de cristalinidade que também é relatado por diversos autores (ZAVAREZE et al., 2010; HORMDOK e NOOMHORM, 2007; GUNARATNE e HOOVER, 2002).

As condições de modificação hidrotérmica proporcionaram uma maior mobilidade da cadeia de amido e da estrutura helicoidal, resultando em mudanças estruturais para ambas as regiões cristalinas e amorfas do grânulo de amido. Esta mobilidade permite que a desestabilização das estruturas menos estáveis das regiões cristalinas, alterando a organização da estrutura helicoidal e/ou cristalitos dentro do grânulo (BEMILLER e HUBER, 2015).

6.11. Morfologia

A modificação por tratamento térmico com baixa umidade está representada na Figura 6, indica a presença de fissuras nas superfícies dos grânulos das farinhas de arroz submetidas a modificações com os maiores teores de umidade e tempo de modificação, isto pode ocorrer devido à desidratação dos grânulo de amido (KAWABATA et al., 1994). Segundo Khunae et al. (2007), Gunaratne e Hoover (2002) e Vasanthan e Hoover (1994), ao modificar amidos de tubérculos, amido de arroz em diferentes teores de amilose e amido de batata, reportaram que não ocorreram alterações nas características morfológicas de amido e /ou farinhas quando submetidas ao TTBU.

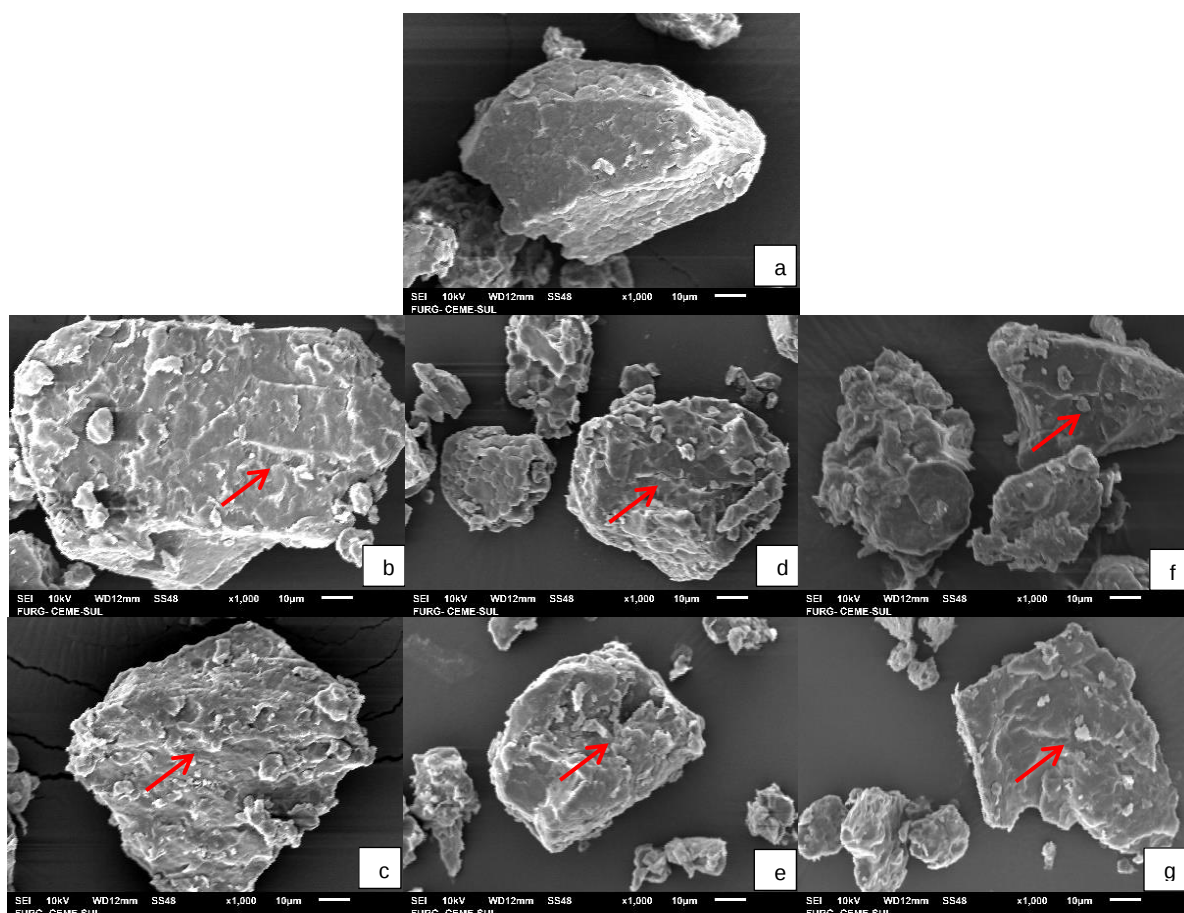


Figura 6. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): controle (a), 13 % 30 min (b), 13 % 60 min (c), 16 % 30 min (d), 16 % 60 min (e), 18 % 30 min (f), 18 % 60 min (g).

6.12. Determinação da digestibilidade

6.12.1. Método Englyst et al., (1992)

As farinhas de arroz modificadas por TTBU com menos tempo de tratamento (30 min) apresentaram uma maior fração de ARD. Além disso, o maior tempo de tratamento (60 min) ocasionou a redução do ARD (Figura 7 e Apêndice B) devido à formação da fração de amido resistente.

O TTBU ocasionou o aumento da fração de ALD no tratamento térmico de 16% 30 e 60 min e 18 % 30 min; essa fração de ALD disponibiliza ao sangue uma quantidade de glicose mais gradativa e por longo período de tempo, aumentando o tempo de saciedade (REN et al., 2016; HUNG et al., 2015; ZAVAREZE e DIAS 2011; ZHU et al., 2011; ENGLYST et al., 1992).

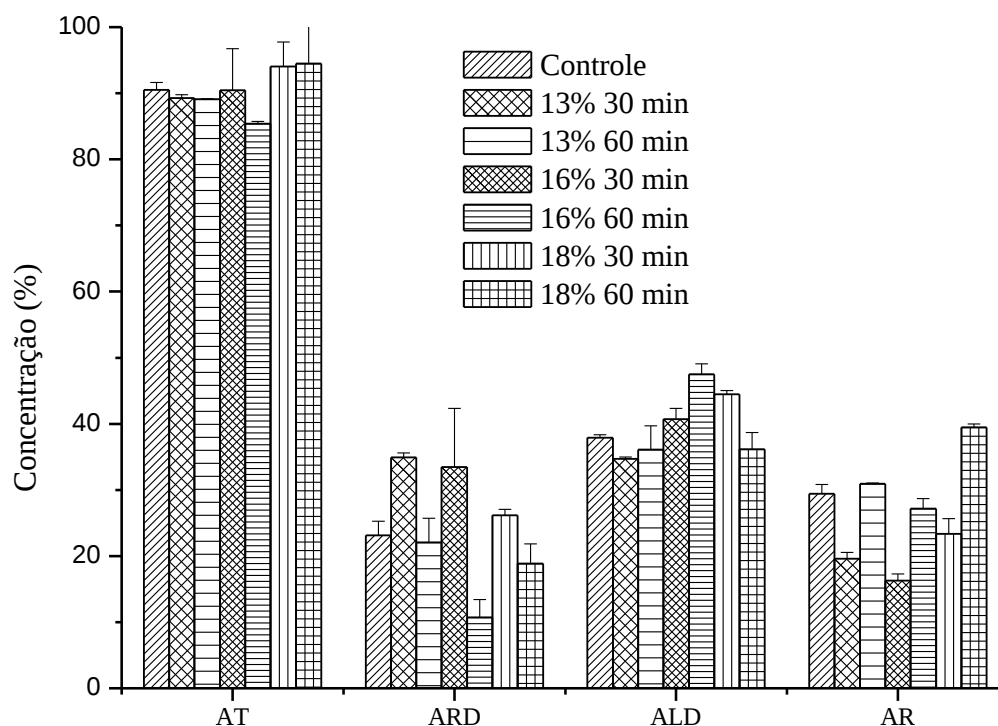


Figura 7. Amido Total (AT), Amido Rapidamente Digerível (ARD), Amido Lentamente Digerível (ALD) e Amido Resistente (AR) determinado pelo método Englyst et al., (1992).

O aumento da fração de amido resistente ocorreu devido à modificação física na fortificação das pontes de hidrogênio, reaproximação intermolecular e recristalização formando duplas hélices fortemente estabilizadas por ponte de hidrogênio (ASHWAR et al., 2016; SIMSEK e EL 2012), sem que ocorra o rompimento da estrutura granular do amido (ZAVAREZE e DIAS 2011).

Segundo Ren et al. (2016) a proteína pode ser desnaturada por TTBU podendo espalhar-se e aderir sobre a superfície do grânulo de amido. Desta forma isto pode ser responsável pelas digestibilidade da farinha de arroz modificada. Além disso, a maior umidade de tratamento proporciona a maior formação de amido resistente como pode ser observado no tratamento de 18% e 60 min. A concentração da fração de amido resistente presente na amostra de farinha de arroz controle pode ser atribuída à natureza do amido, que é a estrutura cristalina do tipo-A, devido à morfologia densa e compacta que limita a acessibilidade das enzimas digestivas (KIATPONGLARP et al., 2015). Alterações nas cristalinidades podem ser ocasionadas pela pressão,

quantidade de água e a temperatura de processamento pode ter auxiliado o rearranjo estrutural dentro do domínio cristalino, em que a umidade e energia térmica durante TTBU pode promover o deslocamento de hélices duplas entre os cristais de amido, assim conduzindo à formação de um empacotamento melhor e matriz cristalina mais ordenada do que os de amidos nativos (KLEIN et al., 2013), e pode ter influenciado na formação de amido resistente.

O aumento da fração de ALD e AR sugerem que algumas interações entre amido e proteína e/ou lipídeo se formam durante o TTBU tornando as moléculas de amido inacessíveis ao ataque enzimático (CHUNG et al., 2009).

Segundo Ashwar et al. (2016), características do amido tais como tamanho dos grânulos, poder de inchamento, propriedades térmicas e as propriedades de pasta, podem influenciar nos perfis de digestibilidade das amostras. Desta forma a diminuição do poder de inchamento e o aumento da entalpia de gelatinização da farinha de arroz modificados com 18% de umidade a 60 min é um indicativo do aumento da interação dos domínios cristalinos, que segundo Park et al. (2009), é o responsável pelo aumento da resistência a digestão. Ashwar et al. (2016), salienta que o menor poder de inchamento poderia ser atribuído ao aumento da perfeição dos cristalitos e da interação entre as cadeias de amilose-amilose e/ou amilose-amilopectina, bem como a diminuição na solubilidade poderia estar relacionada ao rearranjo interno do amido presente na farinha de arroz auxiliando na resistência a hidrólise enzimática (LAN et al., 2008).

6.12.2. Método AOAC 996.11

A fração de amido resistente quantificado pelo método da AOAC 996.11 (AOAC, 1995) foi semelhante ao relatado por Walter et al. (2005), onde pode ser observado na Figura 8 e Apêndice B. Sua fração não supera o de amido resistente da farinha de arroz sem tratamento, o mesmo foi observado no amido disponível.

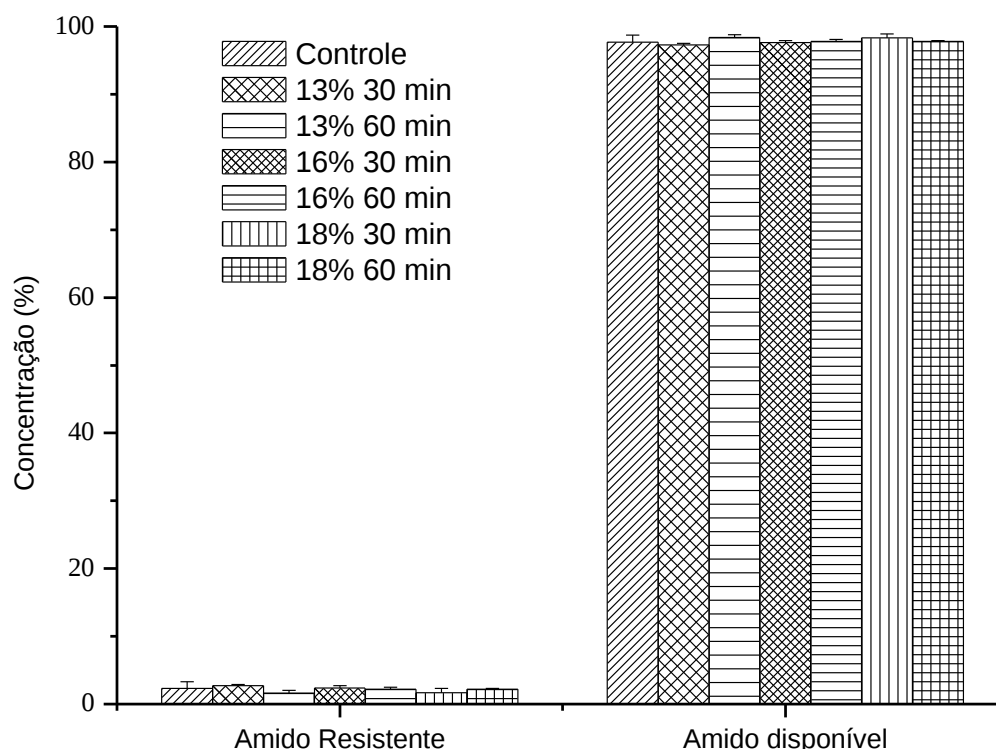


Figura 8. Amido Resistente (AR) e Amido disponível (AD) determinado pelo método da AOAC 996.11 (AOAC, 1995).

O baixo teor de amido resistente encontrado nas farinhas de arroz modificadas por TTBU pode ser proveniente do método de quantificação. Este método consiste na utilização de protease, a qual remove a maior parte da proteína ligada ao amido aumentando a eficiência das enzimas. Além disso, existem 3 etapas de aquecimento (95 °C por 5 min) o que enfraquece ou rompe as ligações de hidrogênio, deixando as ligações glicosídicas para a ação da α -amilase, como foi observado por Shin et al. (2004).

Os teores de amido resistente foram semelhantes aos encontrados por Helbig et al. (2007), quando estudaram a fração de amido resistente em arroz branco polido e no parboilizado. Para o amido disponível os valores encontrados foram expressivos e similares ao relatados por Storck et al. (2005) e Walter et al. (2005), na qual encontraram valores entre 82 - 85% de amido disponível nos grãos de arroz de diferentes cultivares.

6.12.3. Método Kit *Megazyme*

A digestão enzimática *in vitro* das farinhas de arroz submetidas ao TTBU (Figura 9 e Apêndice B) permite fazer uma abordagem da quantificação de amido resistente formado durante o tratamento térmico, por comparação do seu teor de umidade e tempo de tratamento.

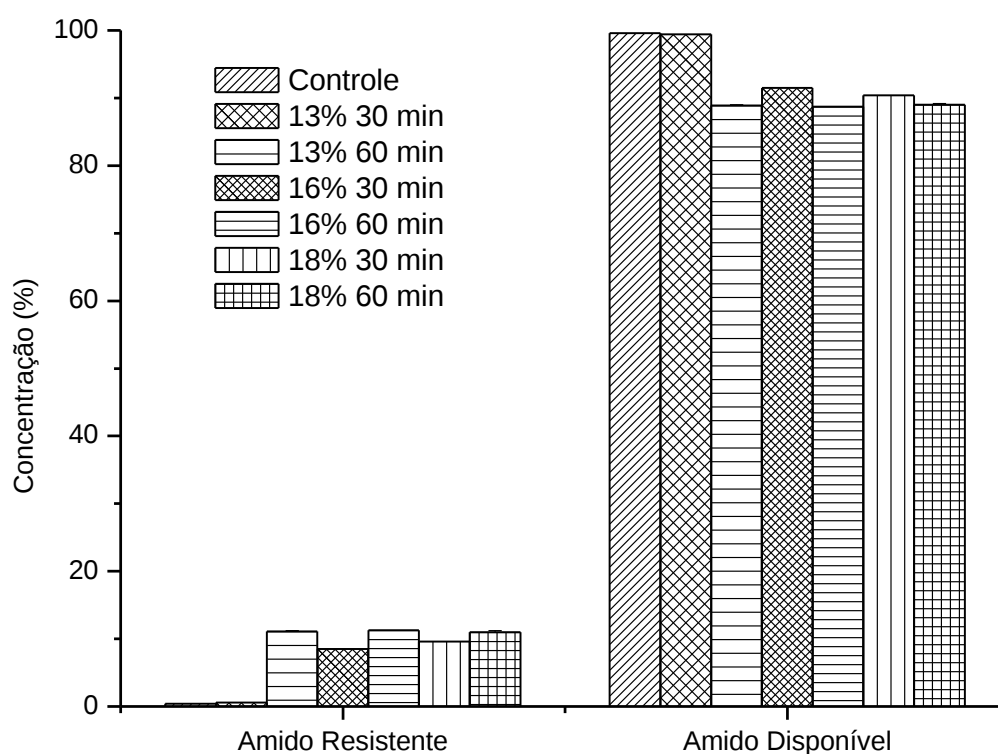


Figura 9. Amido Resistente (AR) e Amido disponível (AD) determinado pelo método *Megazyme* (2011).

Embora a modificação mais branda de TTBU (13% 30 min) tenha resultado na formação semelhante ao encontrado pela farinha de arroz sem tratamento (controle), significando que umidade e tempo, nestas condições, não são suficientes para que ocorra diferença na formação da fração de amido resistente. O que não foi observado nos tratamentos subsequentes, onde o tempo de tratamento (60 min) foi suficiente para formar maior fração de AR em relação à amostra sem tratamento (controle) e o menor tempo de modificação (30 min). Estes resultados estão em acordo com o observado pelos autores

Ashwar et al. (2016); Mei et al., (2015), Simsek e El (2012) e Lan et al. (2008), onde afirmam que tamanho dos grânulos, poder de inchamento, propriedades térmicas e de pasta, fortificação das pontes de hidrogênio, reaproximação intermolecular, recristalização, interação entre as cadeias de amilose-amilose e/ou amilose-amilopectina podem influenciar nos perfis de digestibilidade das amostras.

No entanto, os resultados encontrados na literatura sobre AR podem diferir de acordo com a técnica de determinação utilizada, como também foi salientada por Kiatpongarp et al. (2015). As técnicas utilizadas não sugerem que as amostras sejam cozidas antes de suas hidrólises enzimáticas, uma vez que para o consumo humano as amostras utilizadas como ingredientes normalmente são submetidas ao processo de cozimento, portanto a determinação de amido resistente em estado bruto, sem o cozimento, não é significativa (DUPUIS et al., 2014; LI et al., 2008). A metodologia AOAC 996.11 inclui uma etapa de ebulição em que a amostra é mantida a 95 °C durante 5 min para permitir que, tanto para a α -amilase termoestável funcionar adequadamente, bem como para gelatinizar o amido na amostra se assemelhando ao que é realizado em processamento de alimento.

6.13. Solubilidade de proteínas em SDS e SDS + β -Met

A solubilidade de proteínas das farinhas de arroz controle e modificadas está apresentada na Figura 10. Dois solventes foram utilizados: SDS; e SDS + β -Mercaptoetanol. O solvente SDS promove a solubilização de quase todas as proteínas, quebrando as ligações não covalentes das proteínas e, logo, causando desnaturação. O solvente β -Mercaptoetanol é comumente utilizado para reduzir pontes dissulfeto.

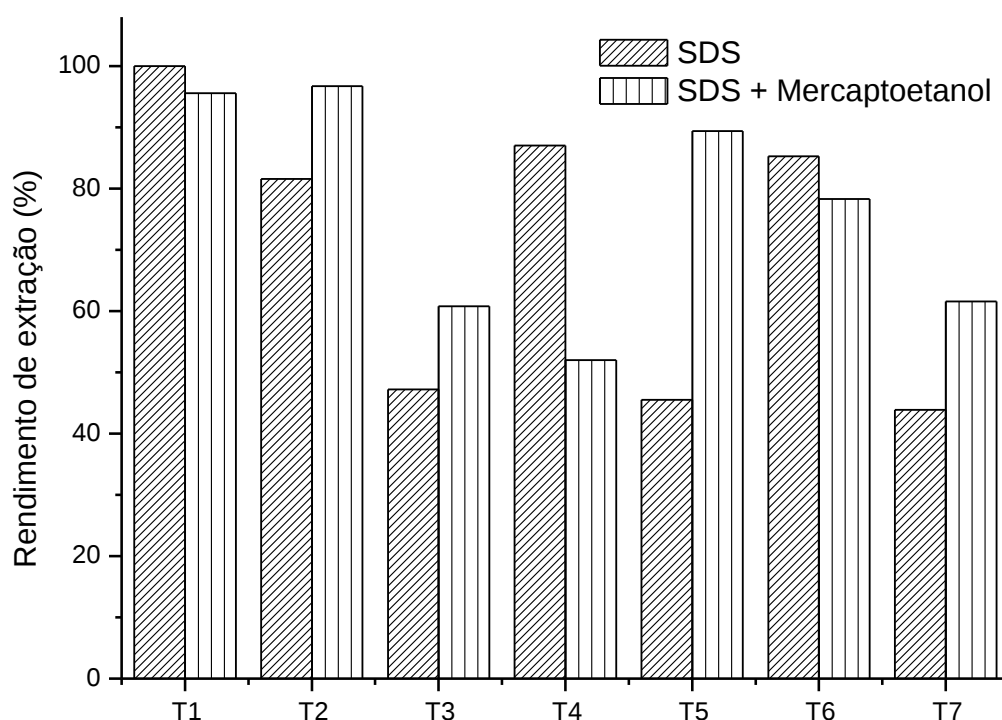


Figura 10. Rendimento de extração proteica (%) de amostras de farinha de arroz solubilizadas com tampão fosfato de sódio contendo SDS e SDS+ β -Met; T1 (controle), T2 (13% 30 min), T3 (13% 60 min), T4 (16% 30 min), T5 (16% 60 min), T6 (18% 30 min) e T7 (18% 60 min).

O rendimento de extração de proteína pelos solventes foi expresso em porcentagem (%) do conteúdo em relação ao teor de proteína total. A solubilidade das proteínas em SDS não foi alterada pelo aumento do teor de umidade da amostra no tratamento térmico; em contrapartida, a solubilidade em SDS diminuiu à medida que o tempo de tratamento térmico aumentou de 30 para 60 min. Isto é evidenciado pelo baixo rendimento de extração de proteínas com SDS nas amostras tratadas por 60 min, as quais apresentaram rendimento de extração de aproximadamente 45%.

Mesmo utilizando um solvente mais forte, capaz de romper ligações dissulfeto (SDS + β -Mercaptoetanol), algumas amostras não apresentaram alto rendimento de extração, como é o caso das amostras 13% 60 min, 16% 30 min e 18% 60 min, que apresentaram rendimento de extração inferior a 60%. Nestes casos, provavelmente, algumas ligações dissulfeto, ligações de hidrogênio e/ou interações hidrofóbicas ficaram inacessíveis para o solvente

após o tratamento térmico, devido à formação de uma rede proteica mais compacta proveniente do TTBU nestas condições específicas. Observações similares foram previamente reportadas por Buggenhout et al. (2013), que estudaram o rendimento de extração de proteínas utilizando diferentes soluções extratoras em amostras de arroz parboilizado em diferentes intensidades.

A resistência da farinha a solubilidade com os solventes foi diminuída e confirma a hipótese da resistência ao ataque enzimático e assim a formação de amido resistente, onde a fração de ALD e AR no maior tratamento tenham advindo das interações entre amido e proteína e/ou lipídeo que se formam durante o TTBU tornando as moléculas de amido inacessíveis ao ataque enzimático (CHUNG et al., 2009), além de sua resistência a hidratação (Fig. 4a e 4b).

6.14. Impacto das condições de extração de proteína em tampão fosfato contendo SDS e β -Met.

Na Figura 11 estão apresentados os cromatogramas de exclusão por tamanho das proteínas solubilizadas em tampão fosfato de sódio contendo 2,0% de SDS e 1,0% de mercaptoetanol (β -Met). As frações I e II, com tempo de retenção de 6 a 7 min, compreendem dímeros, trímeros e formas ainda mais polimerizadas das proteínas do arroz, conforme sugere a comparação dos picos com os padrões. O peso molecular das frações I e II é de aproximadamente 97 e 66 kDa, respectivamente.

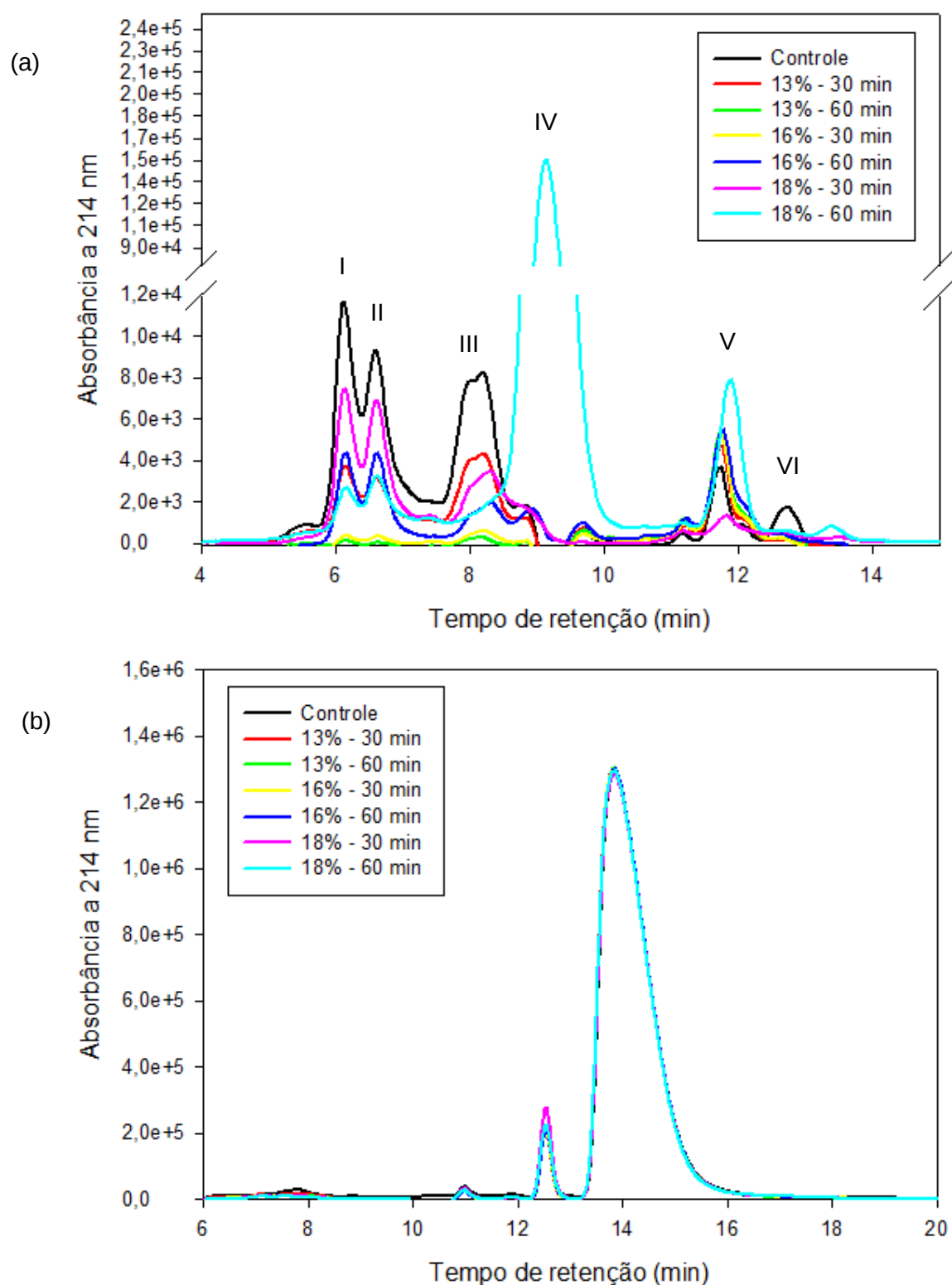


Figura 11. Perfis cromatográficos de proteínas de farinhas de grãos de arroz controle e modificados, extraída com tampão de fosfato de sódio (50 mmol.L⁻¹, pH 6,8) contendo (a) 2,0% de SDS e (b) 2,0% de SDS /1.0% β-Met.

A fração III, com tempo de retenção de 8 min, é referente aos pares de subunidades de α -glutelina e β -glutelina. Estes pares de subunidades apresentam peso molecular entre 12 e 34 kDa, de acordo com os pesos moleculares dos padrões pepsina e citocromo. De acordo com Van Der Borght et al. (2006); Kagawa et al. (1988), as glutelinas do arroz apresentam subunidades ácida (α) e básica (β), as quais estão ligadas covalentemente uma à outra por ligações dissulfídicas. A fração IV é referente à presença de subunidades ácida (α) e básica (β) livres enquanto as regiões V e VI referem-se à presença de proteínas de baixo peso molecular, principalmente albuminas, globulinas e/ou prolaminas.

Todos os tratamentos térmicos aplicados promoveram a redução da solubilidade em SDS das frações I, II e III (Fig. 11a). Os tratamentos 13% 60 min e 16% 30 min promoveram a maior redução na solubilidade em SDS das frações I, II e III, evidenciado pelas menores absorbâncias nestas regiões. Com exceção do tratamento 18% 30 min, todos facilitaram a solubilização de proteínas de baixo peso molecular (fração V), comparados ao controle. A redução na solubilidade em SDS das frações de maior peso molecular (I, II e III) sugere que os tratamentos térmicos intensificaram interações entre os radicais dos aminoácidos que constituem as proteínas, tais como interações hidrofóbicas, interações eletrostáticas e pontes de hidrogênio, dificultando a acessibilidade do SDS aos sítios mais protegidos da proteína. A proteína dos grãos tratados a 18% de umidade por 60 min apresentou alta absorbância da fração IV, referente à presença de subunidades ácida (α) e básica (β) livres. Isto indica que possivelmente nestas condições houve rompimento de ligações dissulfídicas entre as subunidades ácida (α) e básica (β) da glutelina do arroz. Outra possibilidade é que a 18% de umidade e 60 min houve migração de algumas subunidades de glutelina e de proteínas de baixo peso molecular presentes na aleurona para o endosperma do arroz.

A proteína desnaturada do arroz, principalmente nas condições mais drásticas de tratamento hidrotérmico, pode apresentar maior adesão aos grânulos de amido, estabelecendo uma matriz proteína-amido mais forte. Estes resultados estão de acordo com a baixa ou mesmo a ausência da quebra de viscosidade determinado nas amostras submetidas ao TTBU (Tabela 7). Esta reorganização pode propiciar ao grânulo de amido resistência à digestão.

Na Fig. 11b estão apresentados os cromatogramas de exclusão por tamanho das proteínas solubilizadas em tampão fosfato de sódio contendo 2,0% de SDS e 1,0% de β -Mercaptoetanol, o qual é considerado meio desnaturante, capaz de romper ligações dissulfídicas. A sobreposição de todos os cromatogramas permite inferir que não houve rompimento das ligações peptídicas das subunidades proteicas em função do tratamento térmico. O agente desnaturante β -Mercaptoetanol foi capaz de acessar todos os sítios das ligações dissulfídicas e rompê-las.

7. CONCLUSÕES

O tratamento térmico de baixa umidade há 13% de umidade com tempo de tratamento de 30 e 60 min foram o que obtiveram menores alterações quanto aos parâmetros tecnológicos analisados.

Após a modificação dos grãos de arroz em casca ocorreu redução do teor de amilose nas farinhas, assim como a redução do teor de lipídeos através da complexação com amilose, sendo o responsável pela redução do teor de amilose aparente no amido.

O TTBU em grãos de arroz em casca afetou a digestibilidade do amido, o tratamento com 18% de umidade a 60 min foi o que apresentou maior teor de amido resistente, bem como a redução dos picos endotérmicos e poder de inchamento. Essas alterações podem ser devido às interações entre cadeias de proteínas e amido, além das interações de amilose e amilopectina e o fortalecimento das ligações de hidrogênio.

A modificação hidrotérmica fez com que a rede proteica da farinha de arroz ficasse mais forte, aumentando a resistência a digestão e dificultando a solubilidade.

Os diferentes métodos para a digestibilidade *in vitro* resultou em frações de amido resistente diferentes. O TTBU pode ser usado como uma aplicação em novos alimentos afim de aumentar a fração de amido de digestão lenta e resistente.

Os resultados também revelaram a relação que outros componentes da farinha pode ter sobre a resistência à digestão, bem como o seu impacto após modificações.

As pesquisas futuras devem investigar a importância destes constituintes da farinha de arroz para uma melhor concepção da resistência a digestão, assim como quantificar a produção de ácidos graxos de cadeia curta a partir da fermentação de amido resistente.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDUL-HAMID, A.; LUAN, Y. S. Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. **Food Chemistry**, v. 68, p. 15-19, 2000.
- ADEBOWALE, K. O.; HENLE, T.; SCHWARZENBOLZ, U.; DOERT, T. Modification and properties of African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa* Hochst. Ex A. Rich.) Harms starch I: Heat moisture treatments and annealing. **Food Hydrocolloids**, v. 23, p. 1947-1957, 2009.
- ADEBOWALE, K. O.; OLU-OWOLABI, B. I.; OLAYINKA, O. O.; LAWAL, O. S. Effect of heat moisture treatment and annealing on physicochemical properties of red sorghum starch. **African Journal of Biotechnology**, v. 4, p. 928-933, 2005.
- AMATO, G. W.; ELIAS, M. C. **A parboilização do arroz**. 1. ed. Porto Alegre: Ricardo Lenz editor, 2005, p. 160.
- ARNS, B.; BARTZ, J.; RADUNZ, M.; EVANGELHO, J. A.; PINTO, V. Z.; ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G. Impact of heat-moisture treatment on rice starch, applied directly in grain paddy rice or in isolated starch. **LWT - Food Science and Technology**, v. 60, p. 708-713, (2015).
- AOAC - **Association of Official Analytical Chemists**. Official methods of Analysis. 18^a ed. Washington, DC, US, 2006.
- AOAC - **Association of Official Analytical Chemists**. Official methods of Analysis. 16^a ed. Washington, DC, US, 1995.
- ASHWAR, B. A.; GANI, A.; WANI, I. A.; SHAH, A.; MASOODI, F. A.; SAXENA, D. C. Production of resistant starch from rice by dual autoclaving-retrogradation treatment: *In vitro* digestibility, thermal and structural characterization. **Food Hydrocolloids**, v. 56, p. 108-117, 2016.
- BAO, J.; KONG, X.; XIE, J.; XU, L. Analysis of genotypic and environmental effects on rice starch. 1. Apparent amylose content, pasting viscosity, and gel texture. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 52, 6010–6016, 2004.
- BEMILLER, J. N.; HUBER, K. C. Physical modification of food starch functionalities. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 6, p.19-69, 2015.
- BEMILLER, J.; WHISTLER, R. Starch: Chemistry and technology. In Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), **Starch/Stärke**, v. 53, p. 1-853, 2009.
- BHULLAR, N. K.; GRUISSEM, W. Nutritional enhancement of rice for human health: The contribution of biotechnology. **Biotechnology Advances**, v. 31, p. 50-57, 2013.
- BULÉON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 23, n. 2, p. 85-112, 1998.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding.

Analytical Biochemistry, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pesquisa e Agropecuária – MAPA. Portaria nº 269, de 17 de novembro de 1988. **Norma de Identidade, Qualidade, Embalagem e Apresentação do Arroz**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 22 nov. 1988. Seção 1, p. 22.531.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pesquisa e Agropecuária – MAPA. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, 2009. 346 p.

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, n. 1, p. 8-14, 2013.

CAI, J.; YANG, L.; HE, H-J.; XU, T.; LIU, H-B.; WU, Q.; MA, Y.; LIU, Q-H.; NIE, M-H. Antioxidant capacity responsible for a hypocholesterolemia is independent of dietary cholesterol in adult rats fed rice protein. **Gene**, v. 533, n. 1, p. 57-66, 2014.

CEREDA, M. P. (org.). **Propriedades gerais de amido**. (Série: Culturas de tuberosas amiláceas latino-americanas, v. 1), São Paulo, Fundação Cargill, 2002, v. 1. Cap. 8. 221p.

CHAM, S.;SUWANNAPORN, P. Effect of hydrothermal treatment of rice flour on various rice noodles quality. **Journal of Cereal Science**, v. 51, n. 3, p. 284-291, 2010.

CHEN, P.; WANG, K.; KUANG, Q.; ZHOU, S.; WANG, D.; LIU, X. Understanding how the aggregation structure of starch affects its gastrointestinal digestion rate and extent. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 87, p. 28-33, 2016.

CHEN, X.; HE, X.; FU, X.; HUANG, Q. In vitro digestion and physicochemical properties of wheat starch/flour modified by heat-moisture treatment. **Journal of Cereal Science**, v. 63, p. 109-115, 2015.

CHIU C.; E SOLAREK, D. *Modification of starches*. In: Whistler RL, BeMiller JN, Paschall EF, editors. **Starch Chemistry and Technology**. 3rd ed. Orlando FL: Academic Press; 2009. p. 629-55.

CHUNG, H-J.; LIU, Q.; HOOVER, R. Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 75, n. 3, p. 436-447, 2009.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. In: Acompanhamento de safra brasileira. v. 3 - SAFRA 2015/16 - n. 8 - Oitavo levantamento, (2016).

DELANEY, B.; ASTWOOD, J. D.; CUNNY, H.; CONN, R. E.; HEROUET-GUICHENEY, C.; MACINTOSH, S.; MEYER, L. S.; PRIVALLE, L.; GAO, Y.; MATTSSON, J.; LEVINE, M. Evaluation of protein safety in the context of agricultural biotechnology. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 71-97, 2008.

DENYER, K.; SMITH, S. M. **Starch synthesis**. In: MURPHY, D. J.; MURRAY, B. G. (Eds.). *Encyclopedia of applied plant sciences*. 3. ed. Elsevier Ltd., 2003. p. 1249-1256.

- DRECHSLER, K. C.; FERRUA, M. J. Modelling the breakdown mechanics of solid foods during gastric digestion. **Food Research International**, 2016.
- DUPUIS, J. H.; LIU, Q.; YADA, R. Y. Methodologies for Increasing the Resistant Starch Content of Food Starches: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 13, n. 6, p. 1219-1234, 2014.
- ELIAS, M. C. **Manejo tecnológico na secagem e no armazenamento de grãos**. Pelotas: Editora Santa Cruz, 2009. 378p.
- ELIASSON, A. C.; GUDMUNDSSON, M. *Starch: physicochemical and functional aspects*. In: ELIASSON, A.C (Ed.). **Carbohydrates in Food**, 2 ed., CRC Press, 2006. cap. 10, p. 391-469.
- ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, p. 33-50, 1992.
- ENGLYST, H. N., KINGMAN, S. M., HUDSON, G. J., CUMMINGS, J. H. Measurement of resistant starch *in vitro* and *in vivo*. **The British Journal of Nutrition**, v. 75, n. 5, p. 749-755, 1996.
- OECD/FAO - **Food and Agriculture Organization of the United Nations** (2015), OECD-FAO, 2015, OECD Publishing, Paris.
- FERGUSON, L. R.; TASMAN-JONES, C.; ENGLYST, H.; HARRIS, P. J.; PHILIP, J. Comparative effects of three resistant starch preparations on transit time and short-chain fatty acid production in rats. **Nutrition and Cancer**, v. 5581, n. 11, p. 37-41, 2015.
- FEUNTEUN, S.; BARBÉ, F.; RÉMOND, D.; MÉNARD, O.; GOUAR, Y.; DUPONT, D.; LAROCHE, B. Impact of the dairy matrix structure on milk protein digestion kinetics: mechanistic modelling based on mini-pig *in vivo* data. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 4, p. 1099-1113, 2014.
- FREITAS R. A.; PAULA, R. C.; FEITOSA, J. P. A.; ROCHA, S.; e SIERAKOWSKI M. R. A rheological description of mixtures of a galactoxiloglucan with high amylose and waxy corn starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 51, p. 25-32, 2003.
- FUENTES-ZARAGOZA, E.; SÁNCHEZ-ZAPATA, E.; SENDRA, E.; SAYAS, E.; NAVARRO, C.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; PÉREZ-ALVAREZ, J. A. Resistant starch as prebiotic: A review. **Starch/Stärke**, v. 63, n. 7, p. 406-415, 2011.
- GOMES, A. S.; MAGALHÃES, A. M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004.
- GULARTE, M.A. **Metodologia analítica e características tecnológicas e de consumo na qualidade do arroz**. 2005. 95f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2005.
- GUNARATNE, A.; HOOVER, R. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 49, n. 4, p. 425-437, 2002.

- GUTKOSKI, L. C.; NODARI, M. L.; NETO, R. J. Avaliação das farinhas de trigo cultivadas no Rio Grande do Sul na produção de biscoitos. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 23, p. 91-97, 2003.
- HANNAH, C. L.; JAMES, M. The complexities of starch biosynthesis in cereal endosperms. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 19, p. 160-165, 2008.
- HAMER, H. M.; JONKERS, D.; VENEMA, K.; VANHOUTVIN, S.; TROOST, F. J.; BRUMMER, R. J. Review article: The role of butyrate on colonic function. **Alimentary Pharmacology and Therapeutics**, v. 27, n. 2, p. 104-119, 2008.
- HASJIM, J.; LI, E.; DHITAL, S. Milling of rice grains: Effects of starch/flour structures on gelatinization and pasting properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, n. 1, p. 682-690, 2013.
- HELBIG, E.; ROMANO, C. M.; RADÜNZ, A. L.; RUTZ, D.; DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C. The effect of amylose and parboiling on the formation of resistant starch in rice. **Brazilian Journal of Food and Technology**, v. 10, p. 296-301, 2007.
- HIGGINS, J. A.; HIGBEE, D. R.; DONAHOO, W. T.; BROWN, I. L.; BELL, M. L.; BESSESEN, D. H. Resistant starch consumption promotes lipid oxidation. **Nutrition & Metabolism**, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2004.
- HOOVER, R. The impact of heat-moisture treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 50, n. 9, p. 835-847, 2010.
- HORMDOK, R.; NOOMHORM, A. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, n. 10, p. 1723-1731, 2007.
- HOSENEY, R. C. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689-1699, 2013.
- HU, Y.; LI, M.; PIAO, J.; YANG, X. Nutritional evaluation of genetically modified rice expressing human lactoferrin gene. **Journal of Cereal Science**, v. 52, n. 3, p. 350-355, 2010.
- HUNG, P. V.; MORITA, N. Physicochemical properties of hydroxypropylated and cross-linked starches from A-type and B-type wheat starch granules. **Carbohydrate Polymers**, v. 59, n. 2, p. 239-246, 2005.
- HUNG, P. V.; VIEN, N. L.; PHI, N. T. L. Resistant starch improvement of rice starches under a combination of acid and heat-moisture treatments. **Food Chemistry**, v. 191, p. 67-73, 2016.
- JACOBS, H.; DELCOUR, J. A. Hydrothermal Modifications of Granular Starch, with Retention of the Granular Structure: A Review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, n. 8, p. 2895-2905, 1998.
- JENKINS, D. J. A.; KENDALL, C. W. C.; AUGUSTIN, L. S. A.; FRANCESCHI, S.; HAMIDI, M.; MARCHIE, A.; JENKINS, A. L.; AXELSEN, M. Glycemic index: overview of implications in health and disease. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 76, n. 1, p. 266S-273, 2002.

- JIANG, H.; JANE, J. Type 2 resistant starch in high-amylose maize starch and its development. **Resistant Starch: Sources, Applications and Health Benefit**, p. 23-42, 2013.
- KAGAWA, H.; HIRANO, H.; E KIKUCHI, F. Variation of glutelin seed storage protein in rice (*Oryza sativa* L.). **Japanese Journal of Breeding**, v. 38, n. 3, p. 327-332, 1988.
- KAWABATA, A.; TAKASE, N.; MIYOSHI, E.; SAWAYAMA, S.; KIMURA, T.; KUDO, K. Microscopic observation and x-ray diffractometry of heat/moisture-treated starch granules. **Starch/Stärke**, v. 46, n. 12, p. 463-469, 1994.
- KENNEDY, G.; BURLINGAME, B. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. **Food Chemistry**, v. 80, n. 4, p. 589-596, 2003.
- KHUNAE, P.; TRAN, T.; E SIRIVONGPAISAL, P. Effect of heat-moisture treatment on structural and thermal properties of rice starches differing in amylose content. **Starch/Stärke**, v. 59, n. 12, p. 593-599, 2007.
- KIATPONGLARP, W.; TONGTA, S.; ROLLAND-SABATÉ, A.; BULÉON, A. Crystallization and chain reorganization of debranched rice starches in relation to resistant starch formation. **Carbohydrate Polymers**, v. 122, p. 108-114, 2015.
- KITTISUBAN, P.; LEE, B-H.; SUPHANTHARIKA, M.; HAMAKER, B. R. Slow glucose release property of enzyme-synthesized highly branched maltodextrins differs among starch sources. **Carbohydrate Polymers**, v. 107, p. 182-191, 2014.
- KLEIN, B.; PINTO, V. Z.; VANIER, N. L.; ZAVAREZE, E. R.; COLUSSI, R.; EVANGELHO, J. A.; GUTKOSKI, L. C.; DIAS, A. R. G. Effect of single and dual heat-moisture treatments on properties of rice, cassava, and pinhão starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, n. 2, p. 1578-1584, 2013.
- KONG, F.; SINGH, R. P. Disintegration of solid foods in human stomach. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 5, p. 67-80, 2008.
- KORHONEN, H.; PIHLANTO, A. Food-derived bioactive peptides-opportunities for designing future foods. **Current Pharmaceutical Design**, v. 9, n. 16, p. 1297-308, 2003.
- LAMBERTS, L.; ROMBOUTS, I.; BRIJS, K.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J. A. Impact of parboiling conditions on Maillard precursors and indicators in long-grain rice cultivars. **Food Chemistry**, v. 110, n. 4, p. 916-922, 2008.
- LAN, H.; HOOVER, R.; JAYAKODY, L.; LIU, Q.; DONNER, E.; BAGA, M.; ASARE, E. K.; HUCL, P.; CHIBBAR, R. N. Impact of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of normal, waxy and high amylose bread wheat starches. **Food Chemistry**, v. 111, n. 3, p. 663-675, 2008.
- LEACH, H. W.; MCCOWEN, L. D.; SCHOCH, T. J. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, v. 36, p. 534-544, 1959.
- LEE, C. J.; SHIN, S. I.; KIM, Y.; CHOI, H. J.; MOON, T. W. Structural

- characteristics and glucose response in mice of potato starch modified by hydrothermal treatments. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 4, p. 1879-1886, 2011.
- LI, H.; He, H.; Wang, Z.; Cai, J.; Sun, B.; Wu, Q.; Zhang, Y.; Zhou, G.; Yang, L. Rice protein suppresses ROS generation and stimulates antioxidant gene expression via Nrf2 activation in adult rats. **Gene**, v. 585, n. 2, p. 256-264, 2016a.
- LI, L.; JIANG, H.; CAMPBELL, M.; BLANCO, M.; JANE, J. Characterization of maize amylose-extender (ae) mutant starches. Part I: Relationship between resistant starch contents and molecular structures. **Carbohydrate Polymers**, v. 74, n. 3, p. 396-404, 2008.
- LI, S.; YANG, X.; ZHANG, Y.; MA, H.; QU, W.; YE, X.; MUATASIM, R.; OLADEJO, A. O. Enzymolysis kinetics and structural characteristics of rice protein with energy-gathered ultrasound and ultrasound assisted alkali pretreatments. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 31, p. 85-92, 2016b.
- LIMBERGER, V. M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T.; COMARELA, C. G.; e PATIAS, L. D. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. *Química Nova*, 31, 84–88, 2008.
- LIN, P. Y.; LAI, H. M. Bioactive compounds in rice during grain development. **Food Chemistry**, v. 127, n. 1, p. 86-93, 2011.
- LIU, Q. **Starch Modifications and Applications**. In: CUI, S. W (Ed.). *Food carbohydrates: chemistry, physical properties, and applications*, CRC Press, 2005. cap. 8, p. 357-406.
- LIU, R.; XU, G. Effects of resistant starch on colonic preneoplastic aberrant crypt foci in rats. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 8, p. 2672-2679, 2008.
- LUCKETT, C. R.; WANG, Y. J. Effects of β -amylolysis on the resistant starch formation of debranched corn starches. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 18, p. 4751-4757, 2012.
- MAACHE-REZZOUG, Z.; ZARGUILI, I.; LOISEL, C.; QUEVEAU, D.; BULÉON, A. Structural modifications and thermal transitions of standard maize starch after DIC hydrothermal treatment. **Carbohydrate Polymers**, v. 74, n. 4, p. 802-812, 2008.
- MARTINEZ, C.; CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz**. Guia de estudo. Cali: CIAT, 1989, 75p.
- MATSUGUMA, S. L. **Caracterização do amido de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*) nativo e modificado por oxidação**. 2006. 100p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2006.
- MEGAZYME INTL. (2011). **Resistant starch assay procedure**. Available from: https://secure.megazyme.com/files/Booklet/K-RSTAR_DATA.pdf. Accessed 2016 April 07.
- MCCLEMENTS, D. J.; LI, Y. Structured emulsion-based delivery systems: Controlling the digestion and release of lipophilic food components.

- Advances in Colloid and Interface Science**, v. 159, n. 2, p. 213-228, 2010.
- MCGRANE, S. J.; CORNELL, H.J.; RIX, C.J. A simple and rapid colourimetric method for determination of amylose in starch products. **Starch/Stärke**, v. 50, p.158-163, 1998.
- MEI, J-Q.; ZHOU, D-N.; JIN, Z-Y.; XU, X-M.; CHEN, H-Q. Effects of citric acid esterification on digestibility, structural and physicochemical properties of cassava starch. **Food Chemistry**, v. 187, p. 378-384, 2015.
- MIAO, M., JIANG, B., E ZHANG, T. Effect of pullulanase debranching and recrystallization on structure and digestibility of waxy maize starch. **Carbohydrate Polymers**, 76(2), 214–221, 2009.
- MIAO, M.; XIONG, S.; JIANG, B.; JIANG, H.; CUI, S. W.; ZHANG, T. Improved the slow digestion property of maize starch using partially β -amylolysis. **Food Chemistry**, v. 152, p. 128-132, 2014.
- NABESHIMA, E. H.; EL-DASH, A. A. Modificação química da farinha de arroz como alternativa para o aproveitamento dos subprodutos do beneficiamento do arroz. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 107-120, 2004.
- NAGENDRA PRASAD MN, SANJAY KR, SHRAVYA KHATOKAR M, VISMAYA MN, NANJUNDA SWAMY S. Health benefits of rice bran - A Review. **Journal of Nutrition & Food Sciences**, v. 1, n. 3, p. 1-7, 2011.
- NAVES, M. M. V. Características químicas e nutricionais do arroz. **Boletim CEPPA**, v. 25, n. 1, p. 51-60, 2007.
- NICOLAI, T.; DURAND, D. Controlled food protein aggregation for new functionality. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, v. 18, n. 4, p. 249-256, 2013.
- NUGENT, A. P. Health properties of resistant starch. **Nutrition Bulletin**, v. 30, n. 1, p. 27-54, 2005.
- 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, n. 1, p. 10-17, 2014.
- PAN, D. D.; E JANE, J-L. Internal structure of normal maize starch granules revealed by chemical surface gelatinization, **Biomacromolecules**, v. 1, p. 126-132, 2000.
- PARK, E. Y.; BAIK, B. K.; LIM, S. T. Influences of temperature-cycled storage on retrogradation and in vitro digestibility of waxy maize starch gel. **Journal of Cereal Science**, v. 50, n. 1, p. 43-48, 2009.
- PEREIRA, J. A.; RANGEL, P. H. N. Produtividade e qualidade de grãos de arroz irrigado no Piauí. **Ciência Agrotecnologia**, 25(3). 569-575, 2001.
- PUCHONGKAVARIN, H.; VARAVINIT, S.; BERGTHALLER, W. Comparative study of pilot scale rice starch production by an alkaline and an enzymatic process. **Starch/Stärke**, v. 57, p. 134-144, 2005.
- PUNCHA-ARNON, S.; UTTAPAP, D. Rice starch vs. rice flour: Differences in

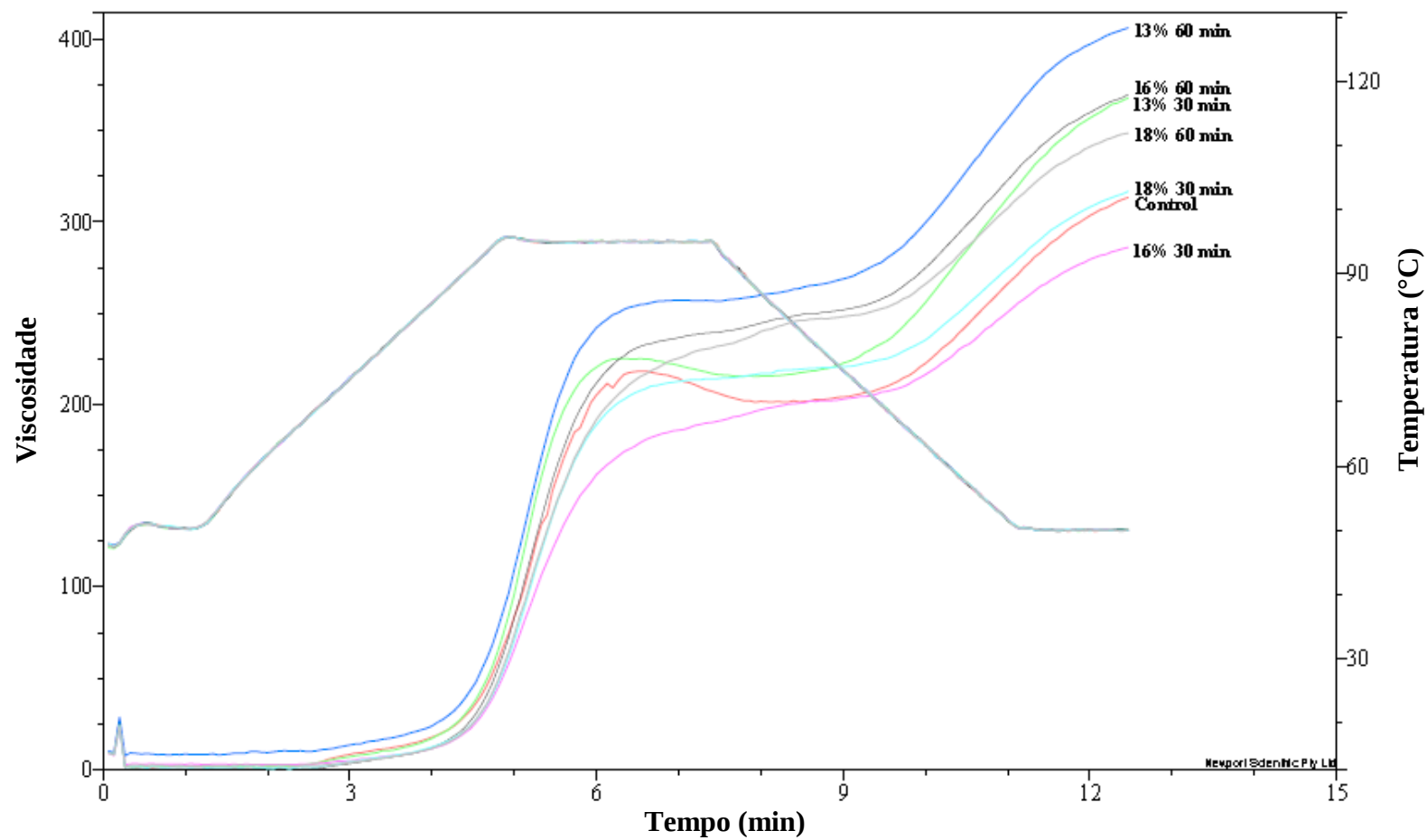
- their properties when modified by heat-moisture treatment. **Carbohydrate Polymers**, v. 91, n. 1, p. 85-91, 2013.
- RICHARDSON, S.; GORTON, L. Characterisation of the substituent distribution in starch and cellulose derivatives. **Analytica Chimica Acta**, v. 497, p. 27-65, 2003.
- REN, X.; CHEN, J.; MOLLA, M. M.; WANG, C.; DIAO, X.; SHEN, Q. In vitro starch digestibility and in vivo glycemic response of foxtail millet and its products. **Food & Function**, v. 1, n. 7, p. 372-379, 2016.
- ROBINSON, A. M.; E WILLIAMSON, D. H. Physiological roles of ketone bodies as substrates and signals in mammalian tissues. **Physiological Reviews**, v. 60, n. 1, p. 143-187, 1980.
- ROMBO, G. O.; TAYLOR, J. R. N.; MINNAAR, A. Irradiation of maize and bean flours: Effects on starch physicochemical properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, n. 4, p. 350-56, 2004.
- SAMARANAYAKA, A. G. P.; LI-CHAN, E. C. Y. Food-derived peptidic antioxidants: A review of their production, assessment, and potential applications. **Journal of Functional Foods**, v. 3, n. 4, p. 229-254, (2011).
- SCHEPPACH, W.; SOMMER, H.; KIRCHNER, T.; PAGNELLI, G.M.; BARTRAM, P. Effect of butyrate enemas on the colonic mucosa in distal ulcerative colitis. **Gastroenterology**, v. 103, p. 51-56, 1992.
- SHIH, F. F.; DAIGLE, K. W. Preparation and characterization of rice protein isolates. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 77, n. 8, p. 885-889, 2000.
- SHIN, M.; SONG, J.; SEIB, P. A. *In vitro* digestibility of cross-linked starches - RS4. **Starch/Stärke**, v. 56, n. 10, p. 478-483, 2004.
- SHIN, S. I.; LEE, C. J.; KIM, D-I.; LEE, H. A.; CHEONG, J-J.; CHUNG, K. M.; BAIK, M-Y.; PARK, C. S.; KIM, C. H.; MOON, T. W. Formation, characterization, and glucose response in mice to rice starch with low digestibility produced by citric acid treatment. **Journal of Cereal Science**, v. 45, n. 1, p. 24-33, 2007.
- SIMSEK, S.; EL, S. N. Production of resistant starch from taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) corm and determination of its effects on health by in vitro methods. **Carbohydrate Polymers**, v. 90, n. 3, p. 1204-1209, 2012.
- SIRISOONTARALAK, P.; NOOMHORM, A. Changes to physicochemical properties and aroma of irradiated rice. **Journal of Stored Products Research**, v. 42, n. 3, p. 264-276, 2006.
- SLAVIN, J. Whole grains and human health. **Nutrition Research Reviews**, v. 17, n. 1, p. 99-110, 2004.
- SMITH, A. M. The biosynthesis of the starch granule. **Biomacromolecules**, v. 2, p. 335-341, 2001.
- STORCK, C. R.; SILVA, L. P.; FAGUNDES, C. A. A. Categorizing rice cultivars based on differences in chemical composition. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, n. 4, p. 333-341, 2005.
- TECHAWIPHARAT, J.; SUPHANTHARIKA, M.; BEMILLER, J. N. Effects of

- cellulose derivatives and carrageenans on the pasting, paste, and gel properties of rice starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 73, n. 3, p. 417-426, 2008.
- TETLOW, I. J.; EMES, M. J. Starch Biosynthesis in Higher Plants : The Starch Granule. **Comprehensive Biotechnology**, Second Edi, v. 1, p. 37-45, 2011.
- TOPPING, D. L.; CLIFTON, P. M. Short-chain fatty acids and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. **Physiological Reviews**, v. 81, n. 3, p. 1031-1064, 2001.
- URBAIN, J. L. C.; SIEGEL, J. A.; CHARKES, N. D.; MAURER, A. H.; MALMUD, L. S.; FISHER, R. S. The two-component stomach: effects of meal particle size on fundal and antral emptying. **European Journal of Nuclear Medicine**, v. 15, n. 5, p. 254-259, 1989.
- USA RICE® FEDERATION. Disponível em:
http://www.usarice.de/public/usarice_en/Chefkoch/food_service/advantages_of_parboiling.html. Acesso em: 21 setembro 2015.
- VAN DER BORGHT, A.; VANDEPUTTE, G. E.; DERYCKE, V.; BRIJS, K.; DAENEN, G.; DELCOUR, J. A. Extractability and chromatographic separation of rice endosperm proteins. **Journal of Cereal Science**, v. 44, n. 1, p. 68-74, 2006.
- VANDEPUTTE, G. E.; DELCOUR, J. A. From sucrose to starch granule to starch physical behaviour: A focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 58, n. 3, p. 245-266, 2004.
- VANIER, N. L.; ZAVAREZE, E. R.; PINTO, V. Z.; KLEIN, B.; BOTELHO, F. T.; DIAS, A. R. G.; E ELIAS, M. C. Physicochemical, crystallinity, pasting and morphological properties of bean starch oxidised by different concentrations of sodium hypochlorite. **Food Chemistry**, v. 131, n. 4, p. 1255-1262, 2012.
- VASANTHAN, T.; HOOVER, R. The effect of annealing on the physicochemical properties of wheat, oat, potato and lentil. **Journal of Food Biochemistry**, v. 17, n. 709, p. 303-325, 1994.
- VILLAS-BOAS, F.; FRANCO, C. M. L. Effect of bacterial β -amylase and fungal α -amylase on the digestibility and structural characteristics of potato and arrowroot starches. **Food Hydrocolloids**, v. 52, n. 795-803, 2016.
- WADUGE, R. N.; HOOVER, R.; VASANTHAN, T.; GAO, J.; LI, J. Effect of annealing on the structure and physicochemical properties of barley starches of varying amylose content. **Food Research International**, v. 39, n. 1, p. 59-77, 2006.
- WALRAND, S.; GRYSON, C.; SALLES, J.; GIRAUDET, C.; MIGNÉ, C.; BONHOMME, C.; RUYET, P.; BOIRIE, Y. Fast-digestive protein supplement for ten days overcomes muscle anabolic resistance in healthy elderly men. **Clinical Nutrition**, v. 35, p. 660-668, 2014.
- WALTER, M.; SILVA, L. P.; PERDOMO, D. M. X. Amido disponível e resistente em alimentos: adaptação do método da AOAC 996.11. **Alimentos e Nutrição**, v. 16, n. 1, p. 39-43, 2005.

- WANG, Z.; LIU, Y.; LI, H.; YANG, L. Rice proteins, extracted by alkali and α -amylase, differently affect *in vitro* antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 206, p. 137-145, 2016.
- WILLIS, H. J.; ELDRIDGE, A. L.; BEISEIGEL, J.; THOMAS, W.; SLAVIN, J. L. Greater satiety response with resistant starch and corn bran in human subjects. **Nutrition Research**, v. 29, n. 2, p. 100-105, 2009.
- YANG, L.; CHEN, J. H.; XU, T.; NIE, M. H.; YANG, H. K. Hypocholesterolemic effect of rice protein is due to regulating hepatic cholesterol metabolism in adult rats. **Gene**, v. 512, n. 2, p. 470-476, 2013.
- ZAEFARIAN, F.; ABDOLLAHI, M. R.; E RAVINDRAN, V. Starch digestion in broiler chickens fed cereal diets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 209, p. 16-29, 2015.
- ZANÃO, C. F. P.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; SARMENTO, S. B. S.; ARTHUR, V. Efeito da irradiação gama nas características físico-químicas e sensoriais do arroz (*Oryza sativa* L.) e no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 46-55, 2009.
- ZAVAREZE, E. R., E DIAS, A. R. G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, 83(2), 317–328, 2011.
- ZAVAREZE, E. R.; STORCK, C. R.; CASTRO, L. A. S.; SCHIRMER, M. A.; DIAS, A. R. G. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content. **Food Chemistry**, v. 121, n. 2, p. 358-365, 2010.
- ZHANG, G.; HAMAKER, B. R. Slowly digestible starch: concept, mechanism, and proposed extended glycemic index. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 49, n. 10, p. 852-867, 2009.
- ZHOU, Y.; MENG, S.; CHEN, D.; ZHU, X.; YUAN, H. Structure characterization and hypoglycemic effects of dual modified resistant starch from indica rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 103, p. 81-86, 2014.
- ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, n. 8, p. 849-868, 2002.
- ZHU, L-J.; LIU, Q-Q.; WILSON, J. D.; GU, M-H.; SHI, Y-C. Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) flours and starches differing in amylose content. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 4, p. 1751-1759, 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Perfil de viscosidade das farinhas de grãos de arroz controle e modificados



APÊNDICE B - Digestibilidade *in vitro* de amido por diferentes métodos.

Tratamento	AOAC 996.11		Kit Megazyme		Englyst <i>et al.</i> (1992)			
	AR	AD	AR	AD	AR	ARD	ALD	AT
Controle	2,30 ± 0,96 ^a	78,92 ± 1,90 ^a	0,38 ± 0,00 ^d	99,62 ± 0,00 ^a	29,43 ± 1,37 ^b	23,15 ± 2,11 ^{abc}	37,91 ± 0,42 ^{bc}	90,49 ± 1,16 ^a
13% 30 min	2,72 ± 0,18 ^a	78,28 ± 1,70 ^a	0,56 ± 0,05 ^d	99,44 ± 0,05 ^d	19,61 ± 0,94 ^{de}	34,94 ± 0,66 ^a	34,72 ± 0,25 ^c	89,27 ± 0,53 ^a
13% 60 min	1,61 ± 0,41 ^a	76,67 ± 2,70 ^a	11,10 ± 0,12 ^a	88,90 ± 0,12 ^d	30,94 ± 0,13 ^b	22,07 ± 3,65 ^{abc}	36,08 ± 3,62 ^c	89,09 ± 0,10 ^a
16% 30 min	2,44 ± 0,27 ^a	79,31 ± 2,67 ^a	8,48 ± 0,00 ^c	91,52 ± 0,00 ^b	16,30 ± 0,87 ^e	33,45 ± 8,89 ^{ab}	40,71 ± 1,62 ^{abc}	90,45 ± 6,30 ^a
16% 60 min	2,17 ± 0,27 ^a	78,53 ± 0,43 ^a	11,28 ± 0,04 ^a	88,72 ± 0,04 ^d	27,19 ± 1,49 ^{bc}	10,71 ± 2,69 ^c	47,48 ± 1,58 ^a	85,38 ± 0,38 ^a
18% 30 min	1,70 ± 0,60 ^a	80,28 ± 0,28 ^a	9,62 ± 0,02 ^b	90,38 ± 0,02 ^c	23,37 ± 2,30 ^{cd}	26,18 ± 0,87 ^{abc}	44,48 ± 0,54 ^{ab}	94,03 ± 3,72 ^a
18% 60 min	2,17 ± 0,06 ^a	80,62 ± 1,99 ^a	10,98 ± 0,19 ^a	89,02 ± 0,19 ^d	39,46 ± 0,52 ^a	18,89 ± 2,93 ^{bc}	36,15 ± 2,56 ^c	94,50 ± 6,01 ^a

AR= Amido resistente; AD= Amido disponível; ARD= Amido rapidamente digerível; ALD= Amido lentamente digerível; AT= Amido total.