UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

LUÍS FERNANDO POLESI

Propriedades físico-químicas, nutricionais e sensoriais de grãos e amido de arroz submetidos à radiação gama

> Piracicaba 2014

LUÍS FERNANDO POLESI

Propriedades físico-químicas, nutricionais e sensoriais de grãos e amido de arroz submetidos à radiação gama

Tese apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências

Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente

Orientadora: Profa. Dra. Solange Guidolin Canniatti Brazaca

Co-orientadora: Profa. Dra. Silene Bruder Silveira Sarmento

Piracicaba 2014 2

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Polesi, Luís Fernando

Propriedades físico-químicas, nutricionais e sensoriais de grãos e amido de arroz submetidos à radiação gama / Luís Fernando Polesi; orientadora Solange Guidolin Canniatti Brazaca; co-orientadora Silene Bruder Silveira Sarmento. - - Piracicaba, 2014.

131 f. : il.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Alimentos funcionais 2. Análise sensorial de alimentos 3. Cereais 4. Composição de alimentos 5. Conservação de alimentos 6. Irradiação de alimentos I. Título

CDU 664.782.7 : 621.039.83

Dedico este trabalho à minha amada esposa Natalia, que sempre esteve ao meu lado, desde o início do nosso relacionamento na graduação, me dando forças para correr atrás dos meus sonhos e compartilhando-os consigo!

Dedico também à minha mãe

Cida, que fez o possível e o

impossível para que eu pudesse

estudar, enfrentando diversas

dificuldades e acreditando em

mim...

AGRADECIMENTOS

A Deus, por colocar pessoas maravilhosas em minha vida, permitindo que este trabalho pudesse ser desenvolvido da melhor forma possível.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), representado pela Profa. Dra. Adriana Pinheiro Martinelli, por me aceitar no Programa de Pós-graduação para cursar o doutorado, além de disponibilizar as instalações e equipamentos para realização deste trabalho.

À Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP) e ao Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição (LAN/ESALQ/USP) por disponibilizar suas instalações e equipamentos para realização deste trabalho.

À profa. Dra. Solange Guidolin Canniatti Brazaca, pelo voto de confiança depositado em mim, pela orientação primorosa, estando sempre disponível para esclarecimentos, resolvendo os problemas sempre com muita agilidade e dedicação, além da ótima relação pessoal.

À profa. Dra. Silene Bruder Silveira Sarmento, pela efetiva co-orientação neste trabalho, fazendo com que o mesmo fosse desenvolvido com maestria. Mas principalmente pela parceria que se iniciou no mestrado e se consolidou no doutorado, permitindo com que eu pudesse aprimorar meus conhecimentos e crescer cada vez mais como pesquisador/professor.

Ao prof. Dr. Valter Arthur, pelo auxílio na definição das doses de radiação gama que foram utilizadas, bem como por se encarregar do transporte das amostras de prétestes até o IPEN para a irradiação.

À Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), representado pelo pesquisador MSc. Carlos Alberto Fagundes, pela doação do arroz cv. IRGA 417.

Ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC), representado pelo pesquisador Dr. Amadeu Regitano Neto, pelo fornecimento do arroz cv. IAC 202.

Ao técnico Paulo Cassieri Neto (CENA/USP) pela irradiação das amostras.

À Profa. Dra. Célia Maria Landi Franco (IBILCE/UNESP) por disponibilizar o calorímetro (DSC) e o cromatógrafo (HPAEC) para realização das análises, bem como à aluna de pós-graduação Jaqueline de Moraes (IBILCE/UNESP), pela grande colaboração na realização e esclarecimento das análises.

À Carlota Boralli Prudente dos Anjos, técnica do Laboratório de Produtos Amiláceos, pela grande amizade, companheirismo, além dos auxílios nas análises.

Ao meu amigo e companheiro de laboratório Manoel Divino da Matta Junior (Dalá), pelas discussões e conversas científicas que enriqueceram muito minha visão crítica sobre o tema amido. Mas, principalmente, por tornar meus dias no Laboratório de Produtos Amiláceos mais leves e divertidos, conseguindo me fazer rir quando tudo estava dando errado. Às estagiárias do laboratório de Produtos Amiláceos (Maria Cecília Moscon, Pyera Grassi Morais, Dâmaris Carvalho Lima, Isabela Cristina Freitas Romo, Anna Paula de Souza Silva, Jaqueline Barduco, Gisele Marcondes Luz), pela ajuda na realização das análises, apoio e amizade.

Aos provadores das análises sensoriais ADQ e teste de aceitação.

Aos Profs. Drs. Elliot Watanabe Kitajima e Francisco André Ossamu Tanaka e ao técnico Renato Barbosa Salaroli (NAP/MEPA/ESALQ) por permitir a utilização do microscópio eletrônico de varredura, bem como o auxílio na captura de imagens.

À banca de qualificação do doutorado, composta pelo Prof. Dr. Adibe Luiz Abdalla (CENA/USP), pela Profa. Dra. Nélida Lucia del Mastro (IPEN) e pela Pesquisadora Dra. Thaís de Souza Rocha (UNICAMP), pelas sugestões.

Aos funcionários da pós-graduação do CENA/USP, Neuda Fernandes Oliveira, Sônia Aparecida Barrios de Campos, Fábio Antonio de Souza Oliveira e Daiane Vieira, que exerceram importante papel durante todo o período do doutorado, sempre muito prestativos e atenciosos.

À bibliotecária Marília Ribeiro G. Henyei, pelas correções realizadas na tese com muita rapidez e eficiência, e simpatia.

À minha querida esposa, Natalia Pimentel Esposito Polesi, pelo apoio incondicional ao longo deste trabalho, mas principalmente pela paciência nos momentos mais críticos, sempre cuidando de mim com muito amor e carinho. Em especial, por ter me apresentado ao maravilhoso mundo científico, me auxiliando desde os primeiros passos na Iniciação Científica e me permitindo descobrir minha verdadeira vocação como pesquisador e professor.

À minha mãe, Cida Barella, pelo apoio, incentivo e esforços para que eu pudesse chegar até aqui. Exemplo de pessoa que sempre lutou e passou por muitas adversidades para poder fornecer o melhor aos filhos, tendo grande responsabilidade, ao longo de toda minha vida, pela concretização deste trabalho.

Aos meus irmãos Rogério e Valéria, simplesmente por serem quem são, além do apoio e carinho constantes. Aos meus cunhados, Junior e Elisângela, pelos momentos de descontração e apoio. Ao meu padrasto, Chicão, por estar sempre por perto auxiliando e apoiando. E aos meus sobrinhos, Thaís e Gabriel, bênçãos de Deus em minha vida, que tornam as reuniões familiares muito mais divertidas e dinâmicas.

Aos meus sogros, Nilson e Marineusa, que sempre me apoiaram e deram força nesta jornada. Aos meus cunhados Marcelo, Marcio, Roberta e Fabiana, pela amizade, apoio e momentos de diversão em comunhão familiar.

Às amigas da pós-graduação, Juliana Piedade e Regina Célia Rodrigues Miranda Milagres, pelo apoio, incentivo e amizade.

A todos que direta ou indiretamente participaram da realização deste trabalho.

RESUMO

POLESI, L. F. **Propriedades físico-químicas, nutricionais e sensoriais de grãos e amido de arroz submetidos à radiação gama.** 2014. 131 p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da irradiação nas características estruturais, físico-químicas, funcionais e nutricionais (digestibilidade do amido) do amido isolado de arroz, bem como elucidar como tais alterações afetam as propriedades físico-químicas, físicas, sensoriais e nutricionais (digestibilidade do amido) dos grãos de arroz irradiados. As cultivares comerciais de arroz IAC 202 e IRGA 417 foram utilizadas. Os grãos e amido isolado foram submetidos às doses 1, 2 e 5 kGy de radiação gama, sob taxa de 0,4 kGy/h. Uma amostra controle (não irradiada), considerada dose 0, foi utilizada para comparação. A irradiação não alterou a morfologia dos grânulos, padrão de cristalinidade e teor de fibra alimentar no amido isolado de ambas cultivares. Mas promoveu aumento no teor de amilose, carboxilas, acidez, cor amarela, amilose lixiviada, absorção de água e solubilidade em água, e redução no pH e na viscosidade de pasta. A radiação gama induziu à degradação das moléculas de amilose e de amilopectina, mas também gerou ligações cruzadas, o que levou os amidos das diferentes cultivares a apresentarem comportamentos distintos para digestibilidade e cristalinidade relativa ao longo das doses aplicadas. Para a cv. IAC 202 ocorreu redução do número das cadeias longas e aumento das cadeias curtas da amilopectina, enquanto para a cv. IRGA 417 ocorreu aumento das cadeias longas e redução das cadeias curtas, promovendo aumento na temperatura de gelatinização do amido. A digestibilidade do amido mostrou ser maior quanto à fração amido lentamente digerível (ALD), seguido por amido rapidamente digerível (ARD) e amido resistente (AR) em ambas cultivares, para o amido e grãos crus. A gelatinização do amido promoveu aumento do ARD, com redução do ALD e AR. A cocção dos grãos de arroz causou redução de AR, sendo que este teor foi mais preservado na menor dose (1 kGy). A irradiação também promoveu redução de dureza e aumento da pegajosidade dos grãos cozidos. No entanto, a caracterização sensorial por análise descritiva quantitativa (ADQ) mostrou mínima percepção dos provadores na alteração destes parâmetros de textura. A ADQ constatou desenvolvimento de aromas e sabores diferenciados com o aumento das doses, tornando-os menos característicos em ambas cultivares. Os grãos de arroz irradiados com 1 kGy apresentaram boa aceitabilidade pelos provadores. Esta foi a melhor dose para o arroz, considerando o maior teor de AR e menores alterações nas demais propriedades físico-químicas e sensoriais.

Palavras-chave: Arroz. Amido. ⁶⁰Co. Digestibilidade de amido. Estrutura. Modificação.

ABSTRACT

POLESI, L. F. Physicochemical, nutritional e sensory properties of rice grains and starch submitted to gamma radiation. 2014. 131 p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

The objective of this work was to evaluate the effect of irradiation on the structural, physicochemical, functional and nutritional (starch digestibility) characteristics of starch isolated from rice as well as elucidate how such changes affect the physicochemical, physical, sensory and nutritional (starch digestibility) properties of irradiated rice grains. Commercial rice cultivars IAC 202 and IRGA 417 were used. Grains and starch isolated were submitted to doses 1, 2 and 5 kGy of gamma radiation, on a rate of 0.4 kGy/h. A control sample (non-irradiated), considered dose 0, was used for comparison. Irradiation did not alter the granule morphology, crystallinity pattern and dietary fiber content in starch isolated from both cultivars. But promoted increase in amylose content, carboxyl, acidity, yellow color, leached amylose, water absorption and water solubility, and decrease in pH and paste viscosity. Gamma radiation induced degradation of the amylose and amylopectin molecules, but also generated crosslinks, which led the starches from different cultivars showed distinct behaviors for digestibility and relative crystallinity along the doses applied. For cv. IAC 202 occurred reducing the number of long chains and increasing short chains of amylopectin, whereas for cv. IRGA 417 occurred increasing long chain and reduction short chain, promoting an increase in gelatinization temperature of starch. Starch digestibility was found to be higher as the fraction slowly digestible starch (SDS), followed by rapidly digestible starch (RDS) and resistant starch (RS) in both cultivars for raw starch and grains. Starch gelatinization promoted increased RDS, reducing the SDS and RS. Cooking of the rice grains caused a reduction of RS, and this content was more preserved at the lowest dose (1 kGy). Irradiation also promoted a reduction in hardness and an increase in stickiness of cooked grains. However, sensory characterization by quantitative descriptive analysis (QDA) showed minimal perception of the panelists in the alteration of these texture parameters. The QDA found development of differentiated odor and taste with increasing doses, making them less characteristic in both cultivars. Rice grains irradiated with 1 kGy showed good acceptability by the panelists. This was the best dose for rice, considering the highest RS content and minor changes in other physicochemical and sensory properties.

Keywords: Rice. Starch. ⁶⁰Co. Starch digestibility. Structure. Modification.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	17
2 REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 Amido	19
2.1.1 Digestibilidade do amido	24
2.2 Arroz	26
2.2.1 Amido de arroz	28
2.3 Irradiação	29
2.3.1 Efeito da radiação gama no amido	31
2.3.2 Efeito da radiação gama no arroz	33
Referências	34
3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E ESTRUTURAIS DE AM	1IDO DE
ARROZ SUBMETIDO À IRRADIAÇÃO	41
Resumo	41
Abstract	42
3.1 Introdução	43
3.2 Material e métodos	44
3.2.1 Isolamento do amido	44
3.2.2 Irradiação do amido	45
3.2.3 Morfologia e tamanho dos grânulos	45
3.2.4 Teor de amilose absoluto	46
3.2.5 Distribuição dos comprimentos das cadeias ramificadas da amilopectir	าล46
3.2.5.1 Desramificação dos amidos	46
3.2.5.2 Cromatografia de troca aniônica de alta eficiência com detecção	de pulso
amperométrico (HPAEC-PAD)	47
3.2.6 Distribuição do tamanho molecular	47
3.2.7 Difração de raios-X e cristalinidade relativa	48
3.2.8 Propriedades térmicas	48
3.2.9 Teor de carboxilas	49
3.2.10 Acidez titulável e pH	49
3.2.11 Digestibilidade do amido	49
3.2.12 Fibra alimentar total (FAT)	50

3.2.13 Delineamento experimental e análise estatística	51
3.3 Resultados e discussão	51
3.3.1 Morfologia e tamanho dos grânulos de amido	51
3.3.2 Teor de amilose absoluto	54
3.3.3 Distribuição dos comprimentos das cadeias ramificadas da amilopectina	55
3.3.4 Distribuição do tamanho molecular dos amidos	58
3.3.5 Difração de raios-X e cristalinidade relativa	60
3.3.6 Propriedades térmicas	61
3.3.7 Teor de carboxila, acidez titulável e pH	64
3.3.8 Digestibilidade do amido e fibra alimentar total	65
3.4 Conclusões	67
Referências	68
	À
4 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DE AMIDO DE ARROZ SUBMETIDO	A 70
	72
	72
Abstract	73
4.1 Mitoudçao	74
4.2 Material e metodos	75
4.2.2 Irradiação do amido	75
4.2.2 madiação do amido	75
4.2.3 COLINSTUMENTAL.	75
4.2.5 Sinérese	76
4.2.6 Eator de expansão e amilose liviviada	76
4.2.7 Propriedades de pasta	76
4.2.8 Firmeza do gel	76
4.2.9 Delineamento experimental e análise estatística	77
4 3 Resultados e discussão	77
4 3 1 Cor instrumental IAA ISA e sinérese	77
4.3.2 Fator de expansão e amilose lixiviada	79
4.3.3 Propriedades de pasta e firmeza do gel	.82
4 4 Conclusões	85
Referências	86
	50

5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, DE COCÇÃO E DIGESTIBIL	IDADE DE
GRÃOS DE ARROZ SUBMETIDOS À IRRADIAÇÃO	88
Resumo	88
Abstract	89
5.1 Introdução	90
5.2 Material e métodos	91
5.2.1 Irradiação dos grãos	92
5.2.2 Amilose aparente (AA)	92
5.2.3 Digestibilidade do amido e fibra alimentar total (FAT)	92
5.2.4 Propriedades de pasta	93
5.2.5 Propriedades de cocção	93
5.2.6 Delineamento e análise estatística	94
5.3 Resultados e discussão	94
5.3.1 Teor de amilose aparente	94
5.3.2 Digestibilidade do amido in vitro e fibra alimentar total (FAT)	95
5.3.3 Propriedades de pasta	99
5.3.4. Propriedades de cocção	101
5.4 Conclusões	103
Referências	103
6 PROPRIEDADES FÍSICAS E SENSORIAIS DE GRÃOS DI	E ARROZ
SUBMETIDOS À IRRADIAÇÃO	107
Resumo	107
Abstract	108
6.1 Introdução	109
6.2 Material e métodos	111
6.2.1 Irradiação dos grãos	111
6.2.2 Cor instrumental	111
6.2.3 Textura instrumental	112
6.2.4 Análise sensorial	112
6.2.4.1 Análise descritiva quantitativa (ADQ)	113
6.2.4.2 Teste de aceitação	113
6.2.5 Delineamento experimental e análise estatística	114
6.3 Resultados e discussão	114

6.3.1 Análise instrumental de cor	114
6.3.2 Análise instrumental de textura	116
6.3.3 Análise descritiva quantitativa (ADQ)	117
6.3.4 Teste de aceitação	123
6.4 Conclusões	126
Referências	127
7 CONCLUSÃO GERAL	130

1 INTRODUÇÃO GERAL

O arroz (*Oryza sativa* L.) é o terceiro cereal mais consumido no mundo, sendo o principal alimento para mais da metade da população (FAO, 2011; WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008). No Brasil, o arroz desempenha papel importante como componente da dieta básica, com uma média de consumo diário per capita de 160,3 g/dia (IBGE, 2011). Isso faz com que o país ocupe a nona posição no *ranking* mundial de produção e a primeira posição em relação aos países do ocidente, com aproximadamente 11,5 milhões de toneladas (FAO, 2011).

Este cereal se constitui como importante fonte de energia na alimentação humana, devido à alta concentração de amido, além de fornecer proteínas, vitaminas e minerais. O amido é o principal componente presente no arroz, podendo chegar até 90% da matéria seca dos grãos polidos. Isso faz com que as propriedades físico-químicas e funcionais do mesmo sejam amplamente determinadas pelas características do amido que o compõe (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

O amido é formado por duas macromoléculas, a amilose e a amilopectina. A primeira essencialmente linear confere características diferentes da segunda, altamente ramificada. Portanto, a razão amilose/amilopectina determina as características estruturais dos grânulos de amido, ditando, entre outras propriedades, a digestibilidade. Para fins nutricionais, dependendo da velocidade de digestão *in vitro*, o amido é classificado em amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR), dependendo da taxa e extensão da digestão (ENGLYST; KINGMAN; CUMMINGS, 1992). O ARD apresenta efeito indesejável na saúde, pois eleva a glicemia sanguínea rapidamente, enquanto o ALD e o AR possuem implicações positivas (CHUNG; LIU, 2009).

No armazenamento dos grãos podem ocorrer injúrias, causadas pelo ataque de insetos ou pela contaminação microbiológica, que depreciam sensivelmente a qualidade e o valor comercial do arroz. Neste contexto, a irradiação surge como uma alternativa eficaz na proteção e manutenção da qualidade dos grãos (BAO; AO; JANE, 2005). Porém, quando utilizada em alimentos com alto teor de amido, como é o caso do arroz, observa-se alterações nas suas propriedades, podendo levar à redução da qualidade tecnológica e sensorial. Por essa razão, esta técnica tem sido utilizada, também, para modificar amidos nativos com o objetivo de atender às

necessidades específicas das indústrias. Com as vantagens de baixo custo, mínimo requerimento de preparo da amostra, processo rápido e independente de catalisadores, além de não elevar significativamente a temperatura do produto (BHAT; KARIM, 2009).

A modificação do amido ocorre por meio da fragmentação molecular causada pelos radicais livres gerados durante a exposição à radiação ionizante. Durante o tratamento de irradiação ocorre a degradação do amido, devido às quebras das ligações glicosídicas, com redução da massa molecular da amilose e amilopectina, podendo ocorrer a formação de ligações cruzadas pela recombinação de radicais livres (BHAT; KARIM, 2009; CHUNG; LIU, 2009). A degradação do amido pode ser constatada pela diminuição da viscosidade de pasta e aumento da solubilidade em água (CHUNG; LIU, 2009). No entanto, outras propriedades apresentaram comportamentos divergentes, como por exemplo, a digestibilidade do amido (BHAT; KARIM, 2009), podendo aumentar ou diminuir, dependendo da fonte botânica, dose de irradiação e velocidade de aplicação. Assim, mais estudos são necessários para melhor esclarecer os efeitos da irradiação na estrutura do amido e, consequentemente, na sua digestibilidade.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da irradiação, por meio do uso de raios gama nas características estruturais, físico-químicas, funcionais e nutricionais (digestibilidade do amido) do amido isolado de arroz, bem como elucidar como tais alterações afetam as propriedades físico-químicas, físicas, sensoriais e nutricionais (digestibilidade do amido) de grãos de arroz irradiados.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Amido

O amido é produzido pelas plantas para armazenamento de energia. Apresenta-se na forma de grânulos insolúveis em água fria de tamanhos e formatos variados dependendo da fonte botânica. Esses grânulos são encontrados principalmente nas sementes, raízes e tubérculos, mas também podem estar presentes nos caules, folhas e frutos. Cereais, leguminosas, tubérculos, raízes e alguns frutos apresentam quantidades de amido que variam de 30 a 85% em base seca (JANE, 2009; PÉREZ; BALDWIN; GALLANT, 2009; PÉREZ; BERTOFT, 2010; ZOBEL; STEPHEN, 2006).

Amilose e amilopectina são as duas macromoléculas principais que compõe o amido. A amilose é um polímero primariamente linear, formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α-1,4, com poucas ligações α-1,6 (0,1-2,2%). Essa molécula possui grau de polimerização (GP) de 500 até mais de 6000 unidades de glicose, na forma helicoidal, com átomos de hidrogênio no interior da hélice, tornando-a hidrofóbica e permitindo a formação de complexos com ácidos graxos livres, álcoois e iodo. A complexação com iodo é uma ferramenta importante para a caracterização do amido pela coloração azul formada (DENARDIN; SILVA, 2009; JANE, 2004; VANDEPUTTE; DELCOUR, 2004).

Teores de amilose entre 15% e 35% são comuns na maioria dos grãos, entretanto, alguns cereais denominados cerosos apresentam teor muito reduzido de amilose, podendo chegar a zero. Também existem variedades com altos níveis de amilose, chegando até a 70% em milho, por exemplo (BERTOFT, 2004; DENARDIN; SILVA, 2009; PÉREZ; BERTOFT, 2010; VANDEPUTTE; DELCOUR, 2004).

A amilopectina, por sua vez, é uma molécula altamente ramificada, composta por unidades de glicose ligadas em α -1,4 e α -1,6; sendo esta última a responsável pela ramificação da molécula. Esta macromolécula tem elevada massa molecular, com GP que varia de 4700 a 12800 unidades de glicose, sendo que as cadeias individuais variam de 10 a 100 (JANE, 2004; VANDEPUTTE; DELCOUR, 2004). As cadeias ramificadas da amilopectina são classificadas em três tipos (Figura 2.1). As cadeias A são ligadas nas outras (B ou C) pelo terminal redutor por ligações α-1,6, mas delas não saem ramificações. As cadeias B são ligadas em outra cadeia B ou C, mas delas ramificam outras cadeias A ou B. Cada molécula de amilopectina tem apenas uma cadeia C, que possui o único terminal redutor da molécula (DENARDIN; SILVA, 2009; JANE, 2009; VANDEPUTTE; DELCOUR, 2004).



Figura 2.1 – Estrutura das cadeias A, B e C da amilopectina Fonte: Sajilata, Singhal e Kulkarni (2006).

Os grânulos de amido se organizam em camadas alternadas com anéis de crescimento radial amorfos e semicristalinos com espessura de 120 a 400 nm que emanam do hilo (Figura 2.2A). Os anéis amorfos consistem de amilose e amilopectina em uma conformação desordenada, enquanto os anéis semicristalinos são formados por uma estrutura lamelar de regiões cristalinas e amorfas alternadas (Figura 2.2B). As regiões cristalinas das lamelas são formadas por duplas hélices de cadeias laterais da amilopectina empacotadas em uma rede cristalina, enquanto as regiões amorfas contêm pontos de ramificação da amilopectina e amilose. As cadeias ramificadas da amilopectina estão arranjadas em *clusters* (Figura 2.2C). Os *clusters* formados pela amilopectina podem conter moléculas de amilose que passam através de ambas as camadas cristalinas e amorfas. Estas moléculas de amilose estão em conformação ordenada nas regiões cristalinas e desordenada nas regiões amorfas (BLAZEK; GILBERT, 2011; JANE, 2004; JANE, 2009; KAUR; SINGH; LIU, 2007; WANI et al., 2012).



Figura 2.2 – Representação esquemática da estrutura do grânulo de amido. A) Grânulo inteiro com as camadas semicristalinas e amorfas alternadas, representando os anéis de crescimento B) Ampliação da camada semicristalina de um anel de crescimento que consiste de lamelas amorfas e cristalinas alternadas. C) Destaque à estrutura do *cluster* da amilopectina formados pelas duplas hélices alinhadas dentro das lamelas cristalinas e pontos de ramificação dentro das lamelas amorfas

Fonte: Blazek e Gilbert (2011).

Além do conceito dos anéis de crescimento lamelar do grânulo de amido, há o conceito da formação em bloquetes. O primeiro está relacionado à organização radial dos polímeros do amido, já o segundo relaciona-se à maior ordem da organização cristalina dentro dos grânulos. O conceito de bloquete da estrutura do grânulo do amido, baseado no conhecimento atual, indica que as lamelas da amilopectina são organizadas em bloquetes esféricos (Figura 2.3) com diâmetro variando de 20 a 500 nm, dependendo da fonte botânica e da localização no grânulo de amido. A resistência do grânulo de amido está ligada a diversos fatores, entretanto, o tamanho dos bloquetes pode desempenhar um papel importante na resistência do grânulo à hidrólise ácida e enzimática (PÉREZ; BALDWIN; GALLANT, 2009; PÉREZ; BERTOFT, 2010; VANDEPUTTE; DELCOUR, 2004).





Figura 2.3 – Visualização geral da estrutura do grânulo de amido. Os grânulos são formados por camadas cristalinas (rígido) e semicristalinas (flexíveis) alternadas. As camadas são menos espessas em direção ao exterior dos grânulos (devido ao aumento da área superficial, considerando taxa de crescimento constante). A estrutura de bloquetes é mostrada em associação com os canais radiais amorfos. O tamanho do bloquete é menor nas camadas semicristalinas. No maior nível da estrutura, um bloquete é mostrado contendo várias lamelas cristalinas e amorfas

Fonte: Pérez, Baldwin e Gallant (2009).

A estrutura cristalina dos grânulos pode ser estudada por difração de raios-X, a qual apresenta três padrões característicos para amidos nativos: A (cereais), B (tubérculos, banana e amidos com alto teor de amilose) e C (leguminosas). Estes padrões de cristalinidade dependem, em parte, do comprimento das cadeias de amilopectina, da densidade de empacotamento dentro dos grânulos, bem como da presença de água. As cadeias externas relativamente curtas das moléculas de amilopectina (GP 23-29) favorecem a formação de polimorfos cristalinos tipo A. Já as cadeias externas maiores (GP 30-44) favorecem a formação de polimorfos do tipo B. O polimorfo tipo C, composto por moléculas de amilopectina com GP 26 a 29, é considerado um intermediário entre os tipos A e B (KAUR; SINGH; LIU, 2007; SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006; ZOBEL; STEPHEN, 2006). De modo geral, os amidos com padrão de cristalinidade tipo B e C apresentam bloquetes maiores (Ø 400-500 nm) quando comparados com padrão tipo A (Ø 25-100 nm) (PÉREZ; BALDWIN; GALLANT, 2009).

Os grânulos de amido em contato com água fria apresentam leve expansão (10-20%) devido à difusão e absorção de água nas regiões amorfas, mas esta expansão é um processo reversível com a secagem. Porém, quando os grânulos são aquecidos em presença de água, atingem um ponto de expansão irreversível, perdendo a ordem estrutural devido à fusão dos cristais, a este processo dá-se o nome de gelatinização, que pode ser definido como a ruptura da ordem molecular (quebra das pontes de hidrogênio) dentro do grânulo. A expansão dos grânulos leva à lixiviação da amilose para a fase aquosa e ao aumento na viscosidade do meio. A ruptura da estrutura granular, a expansão, a hidratação e a solubilização das moléculas de amido em conjunto, definem o término da gelatinização (BELLO-PÉREZ; MONTEALVO; ACEVEDO, 2006; BILIADERIS, 2009; WANI et al., 2012).

A gelatinização é um processo endotérmico e métodos de análises térmicas são utilizados amplamente para estudar alguns fenômenos envolvidos. Em particular, a calorimetria diferencial de varredura (DSC) tem sido muito utilizada para o estudo de transição de fase nos sistemas aquosos de amido. Esta análise pode fornecer as temperaturas e entalpias características da transição, sendo utilizada para diversas concentrações de amido. A endoterma obtida é devida, principalmente, a fusão das duplas hélices e dos cristais (BELLO-PÉREZ; MONTEALVO; ACEVEDO, 2006; ZOBEL; STEPHEN, 2006). Os parâmetros da análise térmica são influenciados pela arquitetura molecular da região cristalina do amido e representam a cristalinidade geral, estando relacionados tanto à quantidade quanto à qualidade dos cristais da amilopectina (WANI et al., 2012).

Com o resfriamento da pasta de amido, após a sua gelatinização, as cadeias ficam com menos energia, fazendo com que as moléculas de amilose apresentem forte tendência a se reassociar por pontes de hidrogênio com moléculas de amilose

adjacentes, formando uma nova estrutura ordenada, este processo é conhecido como retrogradação. As cadeias da amilopectina também retrogradam, mas com velocidade inferior às da amilose e está relacionada à distribuição dos tamanhos de cadeia, em particular da proporção de cadeias A mais curtas (DONA et al., 2010; KARIM; NORZIAH; SEOW, 2000; WANI et al., 2012).

A retrogradação também pode ser estudada por análise térmica de DSC. A fusão dos cristais retrogradados da amilose ocorre em temperaturas de 140 a 180 °C, enquanto a fusão da amilopectina cristalizada pode ser observada em temperaturas muito inferiores, de 40 a 70 °C (THARANATHAN, 2002).

Com o envelhecimento do gel as cadeias de amido tendem a interagir fortemente entre si e, expulsando água do sistema, em um fenômeno conhecido como sinérese. O aumento da sinérese durante o armazenamento é atribuído à interação entre a amilose lixiviada e as cadeias de amilopectina, ou seja, está relacionada ao grau de retrogradação do amido (WANI et al., 2012).

2.1.1 Digestibilidade do amido

O amido apresenta somente ligações α-glicosídicas, ou seja, é potencialmente digerível pelas enzimas amilolíticas secretadas no sistema digestivo humano, no entanto, esta hidrólise pode acontecer em velocidades diferentes ou não acontecer. A digestão depende do arranjo da estrutura molecular do amido e do processamento ao qual foi submetido, que altera a acessibilidade das enzimas às cadeias poliméricas. Portanto, a digestibilidade do amido não é um processo químico simples (ALSAFFAR, 2011; DONA et al., 2010; PERERA; MEDA; TYLER, 2010; ZHANG; HAMAKER, 2009).

Os fatores que interferem na digestibilidade são: características estruturais do grânulo, acessibilidade física às cadeias do amido, disponibilidade de água necessária à hidrólise das ligações glicosídicas e viscosidade do meio para a difusão dos substratos (SINGH; DARTOIS; KAUR, 2010).

De acordo com sua digestibilidade *in vitro*, o amido pode ser classificado em: amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR). O ARD é aquele que converte-se em glicose em até 20 minutos quando submetido à incubação com amilase pancreática e amiloglucosidase a 37 °C; o ALD converte-se em glicose entre 20 e 120 minutos, quando submetido às mesmas condições; o AR não é convertido em glicose após 120 minutos nestas condições, pois resiste à ação das enzimas digestivas (ENGLYST; KINGMAN; CUMMINGS, 1992).

O ARD é absorvido pelo intestino delgado e eleva rapidamente a glicose sanguínea com um subsequente estado de hipoglicemia. Esta flutuação da glicose presente no sangue causa grande estresse no sistema regulatório da homeostase da glicose, podendo levar a lesões nas células, tecidos e órgãos. Esta fração do amido pode estar relacionada com o desenvolvimento de doenças cardiovasculares, diabetes e obesidade (LUDWIG, 2000; ZHANG; HAMAKER, 2009).

O ALD também tem implicações significativas na saúde, mas estas são benéficas uma vez que ao ser digerido ao longo do intestino delgado, provê uma liberação de glicose lenta e prolongada. Essa liberação pode impor menor tensão no sistema regulador de glicose no sangue. O ALD, portanto, está relacionado com o um baixo índice glicêmico, que é importante no tratamento e prevenção de muitas doenças, pois melhora o controle metabólico em indivíduos diabéticos, aumenta a tolerância à glicose, protege contra doenças cardiovasculares, prolonga a saciedade e o desempenho físico durante exercícios de resistência (BJÖRCK; ASP, 1994; LEHMANN; ROBIN, 2007).

O principal interesse em relação ao AR é o seu papel fisiológico. Por não ser digerido no intestino delgado, este tipo de amido se torna substrato para fermentação pelas bactérias anaeróbicas do cólon, razão pela qual é considerado agente prebiótico. Dessa forma, essa fração compartilha muitas das características e benefícios atribuídos à fibra alimentar no trato gastrintestinal (MUIR; O'DEA, 1992). Os produtos dessa fermentação são os ácidos graxos de cadeia curta, além de gases como o hidrogênio, o dióxido de carbono e o metano (TOPPING; CLIFTON, 2001). Estudos mostram que esta fermentação possui efeitos benéficos na saúde como favorecimento da vasodilatação, aumento da absorção de água e sais, diminuição do risco de câncer de cólon, melhor controle do diabetes devido ao baixo índice glicêmico, redução na formação de cálculo biliar, inibição do acúmulo de gordura, além do efeito hipocolesterolêmico (SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006).

2.2 Arroz

O arroz cultivado pertence à espécie *Oryza sativa*, diferenciando-se em duas subespécies ou grupos varietais, *Indica e Japonica*. Além das diferenças morfológicas das plantas, estes grupos apresentam diferentes tipos de grãos. A subespécie *Indica* representa cerca de 80% de todo arroz plantado no mundo. Definições de classe no mercado tendem a usar a terminologia de subespécies para descrever os atributos de qualidade de uso final do arroz no mercado de comercialização. Especificamente, o arroz que é longo, fino, firme e macio, é comercializado com o nome de arroz *Indica* e aquele que é curto, largo, e tem uma textura macia e pegajosa é chamado arroz *Japonica*. Na comercialização as dimensões do grão também são geralmente usadas para indicar a qualidade de grocessamento ou textura do arroz. O arroz com textura firme é chamado de arroz de grão longo e o arroz que é macio, frequentemente, é chamado de arroz de grão curto. Mas cabe ressaltar que em termos de germoplasma mundial, ambas as subespécies contêm genótipos que variam na forma e comprimento do grão, textura de cozimento e propriedades do amido (BAO; BERGMAN, 2004; PINHEIRO, 1999).

O Brasil é o nono maior produtor mundial de arroz e o maior produtor da América Latina, com mais de 11 milhões de toneladas (FAO, 2011). O estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz do país, responsável por 67% da produção na safra 2012/2013 (CONAB, 2013).

Considerando-se o fato de que a forma de arroz predominantemente consumida no Brasil é a do produto branco polido, há uma preocupação maior do consumidor sobre o valor nutricional desse alimento. O valor nutritivo do arroz beneficiado polido é função, principalmente, de seu conteúdo proteico, que fica em torno de 7% para a maioria das cultivares em uso no país. A proteína do arroz é de boa qualidade porque contém os oito aminoácidos essenciais ao homem. Além disso, o arroz é uma excelente fonte de carboidratos complexos e contém quantidades desprezíveis de gordura. No entanto, as variações na composição do arroz devido ao genótipo e processamento afetam suas características nutricionais (CASTRO et al., 1999; WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008; ZHOU et al., 2002).

O amido é o constituinte mais importante do arroz cozido, pois sua textura está intimamente relacionada ao teor de amilose, pois quanto mais elevado seu teor, mais solto e enxuto é o arroz após a cocção (CHAVEZ-MURILLO et al., 2011; RAMESH; BHATTACHARYA; MITCHELL, 2000; YU; MA; SUN, 2009; ZHOU et al., 2002). No entanto, as diferenças encontradas na textura do arroz não são atribuídas apenas ao teor de amilose, mas também às diferentes estruturas da amilopectina. As cadeias curtas estão relacionadas à textura mais firme (CHAMPAGNE et al., 1999; GARCIA et al., 2011; ONG; BLANSHARD, 1995; RAMESH; BHATTACHARYA; MITCHELL, 2000).

A formação do grão de arroz pode ser categorizada ou dividida em oito níveis, que vão desde as ramificações individuais da molécula do amido, passando pela estrutura do grânulo, em uma escala que vai de nanômetro a milímetro (Figura 2.4). O primeiro nível, composto pelas ramificações individuais das moléculas, se refere à distribuição dos comprimentos das cadeias das ramificações, ou seja, ao grau de polimerização, com escala de tamanho das cadeias da ordem de 1 nm. O segundo nível é constituído pelas macromoléculas inteiras do amido, amilose e amilopectina. O terceiro compreende a estrutura lamelar composta pelas moléculas no arranjo semicristalino, intercalado de regiões cristalinas e amorfas. O quarto é referente à formação dos bloquetes esféricos a partir das camadas cristalinas e amorfas da amilopectina, com tamanho médio de 100 nm, compostos por cerca de 280 *clusters* para o amido de arroz. O quinto corresponde às regiões cristalinas e semicristalinas formadas pelos bloquetes com cerca de 400 nm de espessura. O sexto se refere aos grânulos de amido formados pelas camadas concêntricas alternadas, que para o arroz varia de 2 a 10 µm. O sétimo representa as células do endosperma contendo os grânulos de amido junto com proteínas e lipídeos. Por fim, o oitavo nível compreende o grão inteiro de arroz (DANG; COPELAND, 2003; DONA et al., 2010; MITCHELL, 2009; PÉREZ; BERTOFT, 2010; WANI et al., 2012).



Figura 2.4 – Níveis da estrutura do grão de arroz com destaque para a contribuição estrutural do amido. A) 1º Nível, ramificações individuais das moléculas. B) 2º Nível, amilose e amilopectina. C) 3º Nível, estrutura lamelar com regiões cristalinas e amorfas intercaladas. D) 4º Nível, bloquetes esféricos, formado pelas regiões cristalinas e amorfas. E) 5º Nível, arranjo dos bloquetes em camadas cristalinas e semicristalinas no grânulo de amido. F) 6º Nível, grânulos de amido formado pelas camadas concêntricas alternadas. G) 7º Nível, células do endosperma contendo os grânulos de amido junto com proteínas e lipídeos. H) 8º Nível, o grão de arroz inteiro.

Fonte: Adaptado de Dona et al. (2010) e Pérez, Baldwin e Gallant (2009).

2.2.1 Amido de arroz

A maior parte do arroz é consumida na forma beneficiado cozido, porém, uma pequena porção é moída em farinha ou separada na fração amido e usada pela indústria farmacêutica, de alimentos e de ração animal. Grande parte da aplicação da farinha e do amido de arroz se explica pelo fato de ser hipoalergênico, livre de glúten, ter sabor suave e em sua forma nativa apresentar características funcionais

diferenciadas. O arroz beneficiado consiste de aproximadamente 90% de amido, por essa razão a estrutura desta fração e suas propriedades físico-químicas são características determinantes na seleção de cultivares de arroz para aplicações industriais específicas (BAO; BERGMAN, 2004).

No processamento do arroz, durante o descascamento e polimento, uma quantidade significativa de grãos é quebrada. Este arroz quebrado torna-se um produto barato, podendo ser utilizado para produzir amido (WANI et al., 2012; ZAVAREZE et al., 2009). O amido de arroz é isolado usualmente pelo método alcalino, que envolve a solubilização das proteínas, obtendo-se um amido com menos de 1% de proteína (MITCHELL, 2009).

O amido de arroz apresenta inúmeras características particulares que o torna ótimo substituto do amido de milho em aplicações alimentícias. Seus grânulos são os menores que se conhece em grãos de cereais, com tamanho de 3 a 8 µm (variação recorrente aos diferentes genótipos). Os grânulos apresentam a superfície lisa, nas formas poligonais e angulares (BAO; BERGMAN, 2004). Devido ao tamanho reduzido dos grânulos, que se aproxima aos de glóbulos de gordura homogeneizada, o amido de arroz proporciona percepção de textura similar à da gordura (SODHI; SINGH, 2003). O tamanho dos grânulos pequenos e uniformes produz um gel com textura cremosa lisa, podendo ser utilizado como substituto de gordura para alimentos como sobremesas, sorvetes, iogurtes, molhos para salada e outras formulações alimentícias livres de gordura ou com baixo teor (BAO; BERGMAN, 2004; LINDEBOOM; CHANG; TYLER, 2004; WANI et al., 2012).

2.3 Irradiação

A irradiação de alimentos consiste na exposição do alimento à radiação ionizante proveniente de uma máquina de feixes de elétrons ou de fontes radioativas (SILVA; ROZA, 2010). Embora os alimentos sejam comumente irradiados com outros tipos de radiação, como micro-ondas, por exemplo, o termo irradiação de alimentos é usado para descrever o processo onde o alimento é exposto exclusivamente à energia ionizante (FARKAS; MOHACSI-FARKAS, 2011). As fontes de ⁶⁰Co e ¹³⁷Cs são as mais utilizadas para uso comercial, devido à produção de

raios gama de energias adequadas, disponibilidade e custo, sendo a fonte de ⁶⁰Co com maior aceitação por apresentar-se na forma metálica e ser insolúvel em água, proporcionando assim maior segurança ambiental (SILVA; ROZA, 2010).

As doses de radiação são quantificadas em termos de energia absorvida pelo produto irradiado. A dose é expressa em quilogray (kGy), sendo 1 kGy correspondente a 1 quilojoule de energia absorvida por quilograma de produto irradiado (KONG et al., 2009; SILVA; ROZA, 2010). Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), não há limite de dose para irradiação de alimentos nem restrição de alimento a ser irradiado. A legislação estabelece que qualquer alimento pode ser tratado por radiação desde que a dose mínima absorvida seja suficiente para atender a finalidade pretendida e a dose máxima absorvida seja inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e/ou os atributos sensoriais do alimento. Estabelece ainda que se o produto irradiado for usado como ingrediente em outro alimento, esse fato deve ser mencionado na embalagem final (BRASIL, 2001).

As principais vantagens da irradiação são: pouco ou nenhum aquecimento do alimento, os alimentos podem ser submetidos à irradiação embalados e/ou congelados, baixa energia requerida, processo controlado automaticamente e com baixo custo operacional. A principal desvantagem é o alto custo de implantação de uma unidade de irradiação (BAO; AO; JANE, 2005; BHAT; KARIM, 2009; FELLOWS, 2006; LIMA FILHO et al., 2012; ZULETA et al., 2006).

A utilização da irradiação em diversos alimentos visa inativar microrganismos, retardar o amadurecimento, o envelhecimento ou brotamento dos vegetais e desinfestar os grãos. No entanto, doses adequadas devem ser administradas, para se obter alimentos seguros e com características sensoriais e nutricionais mais próximas do natural em relação aos tratados termicamente (LIMA FILHO et al., 2012).

Para se adotar a irradiação como processo de conservação de alimentos é importante avaliar os efeitos químicos, físicos e sensoriais provocados pela interação ionizante no produto irradiado (SILVA; ROZA, 2010). Apesar de já ter sido comprovada a segurança da aplicação da energia ionizante em alimentos e ser aceita cientificamente como excelente método de conservação, o progresso do seu uso comercial tem sido lento devido às interpretações errôneas dos consumidores e à falta de informações sobre o uso dessa tecnologia (LIMA FILHO et al., 2012).

2.3.1 Efeito da radiação gama no amido

A irradiação é considerada um método de modificação física de amido, com as vantagens de ser um processo rápido e mais extensivo, no qual a energia ionizante penetra pelo grânulo de amido rapidamente e pode causar maiores alterações na estrutura quando comparada com outros métodos de modificação física, tais como micro-ondas, ultravioleta, pressão hidrostática ultra-alta e tratamento hidrotérmico (BAO; AO; JANE, 2005).

A radiação gama pode atuar no amido por dois tipos de interação: de forma direta, quando o amido absorve a energia dos raios gama e as ligações glicosídicas são clivadas, levando à decomposição das macromoléculas do amido em cadeias menores; e indireta, quando a interação ocorre com a água, produzindo radicais livres e peróxidos (BHAT; KARIM, 2009; YOON et al., 2010). Estes radicais livres são capazes de induzir alterações moleculares e fragmentação das moléculas do amido (Figura 2.5). Além disso, outros produtos podem ser gerados a partir de carboidratos irradiados como o ácido fórmico, acetaldeído e formaldeído (BHAT; KARIM, 2009).



Figura 2.5 – Efeito da irradiação nos polímeros de amido. A) Radiólise da água. B) Degradação das cadeias de amido. C) Formação das ligações cruzadas nas cadeias de amido



O processo de irradiação também leva a formação de ligações cruzadas (*cross-linking*) na matriz do amido (Figura 2.5C). Segundo, Chung e Liu (2009) a formação de ligações cruzadas é maior quando a radiação gama é aplicada com menor taxa de dose. Este fenômeno é bastante importante, pois os vários métodos empregados atualmente para formação das ligações cruzadas na indústria alimentícia são dependentes de compostos de origem química (BHAT; KARIM, 2009). Portanto, a irradiação é um método de modificação física de amido, mas com resultado e eficiência semelhantes, não apenas a outros métodos físicos, mas também aos químicos.

A radiação gama age nas regiões amorfas e cristalinas e em ambas as macromoléculas do amido, no entanto, como a amilopectina tem alto grau de polimerização, comparativamente à amilose, a probabilidade de ser alterada pela irradiação é maior (CHUNG; LIU, 2010; YU; WANG, 2007). Dessa maneira afeta as propriedades do amido, podendo modificar a qualidade final do alimento irradiado, sendo, portanto, objeto de estudos com arroz (SIRISOONTARALAK; NOOMHORM, 2006; SUNG; HONG; CHANG, 2008; WU et al., 2002; YU; WANG, 2007; ZANÃO et al., 2009), batata (EZEKIEL et al., 2007), batata doce (FALADE; IGHRAVWE; IKOYO, 2011), feijão (DARFOUR et al., 2012; ROMBO; TAYLOR; MINNAAR, 2004), inhame (FALADE; IGHRAVWE; IKOYO, 2011), milheto (FALADE; KOLAWOLE, 2013), milho (ROMBO; TAYLOR; MINNAAR, 2004) e trigo (WANG; YU, 2009).

Além desses trabalhos, outros têm pesquisado as modificações nas propriedades físico-químicas, funcionais e nutricionais do amido isolado do alimento e submetido à irradiação, como é o caso de amaranto (KONG et al., 2009), arroz (BAO; AO; JANE, 2005), batata (CIESLA; ELIASSON, 2002; CHUNG; LIU, 2010; LU et al., 2012; SINGH et al., 2011), feijão (ABU; DUODU; MINNAAR, 2006; CHUNG; LIU, 2010; GANI et al., 2012), milho (CHUNG; LIU, 2009; LEE et al., 2006; LEE et al., 2013; LIU et al., 2012; YOON et al., 2010), e trigo (CIESLA; ELIASSON, 2003; 2007).

De modo geral, a estrutura do grânulo de amido permanece visualmente sem danos em baixas doses de radiação, mas pode apresentar fissuras em doses maiores (20, 50 kGy), dependendo da fonte botânica. A cristalinidade relativa e a entalpia de gelatinização podem aumentar ou diminuir com o aumento da dose, novamente, de acordo com o genótipo. Em contrapartida, as cadeias de amilose e amilopectina reduzem, progressivamente, com o aumento da dosagem de radiação (BAO; AO; JANE, 2005; CHUNG; LIU, 2009; 2010; GANI et al., 2012; KONG et al., 2009).

O efeito da radiação gama nas propriedades do amido de arroz é percebido na drástica redução da viscosidade de pasta e menor redução no teor de amilose (BAO et al., 2001, BAO; CORKE, 2002; WU et al., 2002). Além disso, o amido tratado por irradiação pode apresentar menor digestibilidade, devido à formação de ligações β, grupos carboxilas e modificações estruturais (CHUNG; LIU, 2009). As ligações β reduzem a digestibilidade, pois são parcialmente digeridas pelas enzimas amilolíticas (ROMBO; TAYLOR; MINNAAR, 2004), já os grupos carboxilas do amido irradiado resulta na inibição do ataque enzimático, levando ao aumento no teor de AR comparado com o amido nativo (CHUNG; LIU, 2009; CHUNG; SHIN; LIM, 2008). Cabe ressaltar que as modificações estruturais restringem o acesso das enzimas às moléculas do amido (KUME; TAMURA, 1987). Outros autores, entretanto, observaram aumento da digestibilidade do amido com a irradiação, atribuindo este fato à perda da estrutura granular e à fragmentação molecular do amido, que facilitam o acesso às enzimas amilolíticas (BHAT; KARIM, 2009).

2.3.2 Efeito da radiação gama no arroz

O efeito da irradiação na composição química dos alimentos tem recebido ampla atenção devido à preocupação com a segurança alimentar. Além de eliminar insetos e microrganismos encontrados no arroz durante o armazenamento, radiação gama pode afetar a qualidade final do produto, reduzindo sua aceitabilidade pelos consumidores (BAO; AO; JANE, 2005; BAO et al., 2001).

A aplicação da radiação gama nos alimentos gera radicais livres e produtos de radiólise de carboidrato e proteína, que podem condensar e formar compostos coloridos, no entanto, essas alterações podem ser prevenidas se o alimento é irradiado congelado (LEE et al., 2007).

Os efeitos mais comuns descritos na literatura em arroz irradiado estão relacionados aos efeitos causados no amido presente nos grãos. Estes efeitos são redução na viscosidade de pasta, aumento de coloração amarelada e modificação na textura do arroz cozido, com maior maciez e pegajosidade com o aumento das

doses (SIRISOONTARALAK; NOOMHORM, 2006; SUNG, 2005; SUNG; HONG; CHANG, 2008; WU et al., 2002; YU; WANG, 2007; ZANÃO et al., 2009; ZULETA et al., 2006). Além disso, ruptura das células do endosperma e dos grânulos de amido foi relatada por Yu e Wang (2007), como fator que leva à redução na viscosidade de pasta.

Bao et al. (2001) limitaram as doses de radiação gama entre 2 e 4 kGy em arroz para o consumo humano, pois doses maiores tem efeito negativo na cor e aroma. Já Zanão et al. (2009) recomendaram a dose de 1 kGy para conservação do arroz polido, assegurando maior vida-útil contra o ataque de insetos com a menor interferência possível nas demais propriedades físico-químicas do arroz.

Referências

ABU, J. O.; DUODU, K. G.; MINNAAR, A. Effect of gamma-irradiation on some physicochemical and thermal properties of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) starch. **Food Chemistry**, Barking, v. 95, n. 3, p. 386-393, 2006.

ALSAFFAR, A. A. Effect of food processing on the resistant starch content of cereals and cereal products - a review. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 46, n. 3, p. 455-462, 2011.

BAO, J.; AO, Z. H.; JANE, J. Characterization of physical properties of flour and starch obtained from gamma-irradiated white rice. **Starch-Starke**, Weinheim, v. 57, n. 10, p. 480-487, 2005.

BAO, J.; BERGMAN, C. J. The functionality of rice starch. In: ELIASSON, A.-C. (Ed.). **Starch in food**: Structure, function and applications. Boca Raton: CRC Press, 2004. chap. 9, p. 258-294.

BAO, J.; CORKE, H. Pasting properties of gamma-irradiated rice starches as affected by pH. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, n. 2, p. 336-341, 2002.

BAO, J. et al. Effects of gamma irradiation on aspects of milled rice (*Oryza sativa*) end-use quality. **Journal of Food Quality**, Westport, v. 24, n. 4, p. 327-336, 2001.

BELLO-PÉREZ, L. A.; MONTEALVO, M. G. M.; ACEVEDO, E. A. Almidón: definición, estructura y propriedades. In: LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carbohidratos em alimentos regionales iberoamericano**. São Paulo: EDUSP, 2006. cap. 1, p. 17-46.
BERTOFT, E. Analysing starch structure. In: ELIASSON, A.-C. (Ed.). **Starch in food**: Structure, function and applications. Boca Raton: CRC Press, 2004. chap. 2, p. 57-96.

BHAT, R.; KARIM, A. A. Impact of radiation processing on starch. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Hoboken, v. 8, n. 2, p. 44-58, 2009.

BILIADERIS, C. G. Structural transitions and related physical properties of starch. In: BEMILLER, J.; WHISTLER, R. (Ed.). **Starch**: chemistry and technology. 3. ed. Burlington: Academic Press, 2009. chap. 8, p. 293-372.

BJÖRCK, I.; ASP, N.-G. Controlling the nutritional properties of starch in foods – a challenge to the food industry. **Trends Food Science and Technology**, Cambridge, v. 5, n. 7, p. 213-218, 1994.

BLAZEK, J.; GILBERT, E. P. Application of small-angle X-ray and neutron scattering techniques to the characterisation of starch structure: A review. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 85, n. 2, p. 281-293, 2011.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001. Regulamento técnico para irradiação de alimentos. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 26 jan. 2001.

CASTRO, E. M.; VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R.; SILVA, S. A. **Qualidade de** grãos em arroz. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30 p.

CHAMPAGNE, E. T. et al. Correlation between cooked rice texture and Rapid Visco Analyses measurements. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 76, n. 5, p. 764-771, 1999.

CHAVEZ-MURILLO, C. E. et al. Physicochemical, textural, and nutritional characterization of Mexican rice cultivars. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 88, n. 3, p. 245-252, 2011.

CHUNG, H. J.; LIU, Q. Effect of gamma irradiation on molecular structure and physicochemical properties of corn starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 74, n. 5, p. C353-C361, 2009.

_____. Molecular structure and physicochemical properties of potato and bean starches as affected by gamma-irradiation. **International Journal of Biological Macromolecules**, Oxford, v. 47, n. 2, p. 214-222, 2010.

CHUNG, H. J.; SHIN, D. H.; LIM, S. T. *In vitro* starch digestibility and estimated glycemic index of chemically modified corn starches. **Food Research International**, Essex, v. 41, n. 6, p. 579-585, 2008.

CIESLA, K.; ELIASSON, A. C. Influence of gamma radiation on potato starch gelatinization studied by differential scanning calorimetry. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 64, n. 2, p. 137-148, 2002.

_____. DSC studies of gamma irradiation influence on gelatinisation and amyloselipid complex transition occurring in wheat starch. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 68, n. 5, p. 933-940, 2003.

______. DSC studies of retrogradation and amylose-lipid complex transition taking place in gamma irradiated wheat starch. **Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B. Beam Interactions with Materials and Atoms**, Amsterdam, v. 265, n. 1, p. 399-405, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo segundo levantamento, setembro 2013. Brasília, DF, 2013. 29 p.

DANG, J. M. C.; COPELAND, L. Imaging rice grains using atomic force microscopy. **Journal of Cereal Science**, London, v. 37, n. 2, p. 165-170, 2003.

DARFOUR, B. et al. Physical, proximate, functional and pasting properties of flour produced from gamma irradiated cowpea (*Vigna unguiculata*, L. Walp). **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 81, n. 4, p. 450-457, 2012.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2009.

DONA, A. C. et al. Digestion of starch: *In vivo* and *in vitro* kinetic models used to characterize oligosaccharide or glucose release. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 80, n. 3, p. 599-617, 2010.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, Basingstoke, v. 46, p. S33-S50, 1992.

EZEKIEL, R. et al. Physicochemical, thermal and pasting properties of starch separated from gamma-irradiated and stored potatoes. **Food Chemistry**, Barking, v. 105, n. 4, p. 1420-1429, 2007.

FALADE, K. O.; IGHRAVWE, E.; IKOYO, S. S. Physico-chemical characteristics of non-irradiated and gamma-irradiated yams cultivars (*Dioscorea rotundata, Dioscorea alata*) and sweet potato (*Ipomoea batatas* (L) Lam). International Journal of Food Science and Technology, Oxford, v. 46, n. 6, p. 1186-1193, 2011.

FALADE, K. O.; KOLAWOLE, T. A. Effect of γ-irradiation on colour, functional and physicochemical properties of pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L) R. Br.] cultivars. **Food and Bioprocess Technology**, Heidelberg, v. 6, n. 9, p. 2429-2438, 2013.

FARKAS, J.; MOHACSI-FARKAS, C. History and future of food irradiation. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 22, n. 2-3, p. 121-126, 2011.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos**: princípios e prática. Tradução de F. C. Oliveira et al. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FAO. **FAOSTAT** Database. Rome, 2011. Disponível em: http://faostat.fao.org. Acesso em: 10 mar. 2014.

GANI, A. et al. Modification of bean starch by gamma-irradiation: Effect on functional and morphological properties. **Lwt-Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 49, n. 1, p. 162-169, 2012.

GARCIA, D. M. et al. Cooking quality of upland and lowland rice characterized by different methods. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 2, p. 341-348, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009:** análise do consumo alimentar pessoal no Brasil. Rio de Janeiro, 2011. 150 p.

JANE, J. Starch: Structure and properties. In: TOMASIK, P. (Ed.). **Chemical and functional properties of food saccharides**. Boca Raton: CRC Press, 2004. chap. 7, p. 81-101.

JANE, J. Structural features of starch granules II. In: BEMILLER, J.; WHISTLER, R. (Ed.). **Starch**: chemistry and technology. 3. ed. Burlington: Academic Press, 2009. chap. 6, p. 193-236.

KARIM, A. A.; NORZIAH, M. H.; SEOW, C. C. Methods for the study of starch retrogradation. **Food Chemistry**, Barking, v. 71, n. 1, p. 9-36, 2000.

KAUR, L.; SINGH, J.; LIU, Q. Starch – A potential biomaterial for biomedical Applications. In: MOZAFARI, M. R. (Ed.). **Nanomaterials and nanosystems for biomedical applications**. Dordrecht: Springer, 2007. chap. 5, p. 83-98.

KONG, X. L. et al. Effect of gamma irradiation on the thermal and rheological properties of grain amaranth starch. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 78, n. 11, p. 954-960, 2009.

KUME, T.; TAMURA, N. Change in digestibility of raw starch by gamma-irradiation. **Starch-Starke**, Weinheim, v. 39, n. 3, p. 71-74, 1987.

LEE, J. S. et al. Formation of resistant corn starches induced by gamma-irradiation. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 97, n. 2, p. 614-617, 2013.

LEE, J. W. et al. The effect of irradiation temperature on the non-enzymatic browning reaction in cooked rice. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 76, n. 5, p. 886-892, 2007.

LEE, Y.-J. et al. Physicochemical properties of gamma-irradiated corn starch. **Journal of Food Science and Nutrition**, Busan, v. 11, n. 2, p. 146-154, 2006.

LEHMANN, U.; ROBIN, F. Slowly digestible starch - its structure and health implications: a review. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 18, n. 7, p. 346-355, 2007.

LIMA FILHO, T. et al. Energia ionizante na conservação de alimentos: revisão. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 30, n. 2, p. 243-254, 2012.

LINDEBOOM, N.; CHANG, P. R.; TYLER, R. T. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: A review. **Starch-Starke**, Weinheim, v. 56, n. 3-4, p. 89-99, 2004.

LIU, T. Y. et al. Modifications of structure and physicochemical properties of maize starch by gamma-irradiation treatments. **Lwt-Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 46, n. 1, p. 156-163, 2012.

LU, Z. H. et al. Rheological and structural properties of starches from gammairradiated and stored potatoes. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 87, n. 1, p. 69-75, 2012.

LUDWIG, D. S. Dietary glycemic index and obesity. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 130, n. 2, p. 280S-283S, 2000.

MITCHELL, C. R. Rice starches: Production and properties. In: BEMILLER, J., WHISTLER, R. (Ed.). **Starch**: chemistry and technology. 3. ed. Burlington: Academic Press, 2009. chap. 13, p. 569-578.

MUIR, J. G.; O'DEA, K. Measurement of resistant starch: factors affecting the amount of starch escaping digestion *in vitro*. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 56, n. 1, p. 123-127, 1992.

ONG, M. H.; BLANSHARD, J. M. V. Texture determinants in cooked, parboiled rice. 1.Rice starch amylose and the fine-structure of amylopectin. **Journal of Cereal Science**, London, v. 21, n. 3, p. 251-260, 1995.

PERERA, A.; MEDA, V.; TYLER, R. T. Resistant starch A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. **Food Research International**, Essex, v. 43, n. 8, p. 1959-1974, 2010.

PÉREZ, S.; BALDWIN, P. M.; GALLANT, D. J. Structural features of starch granules I. In: BEMILLER, J.; WHISTLER, R. (Ed.). **Starch**: chemistry and technology. 3. ed. Burlington: Academic Press, 2009. chap. 5, p. 149-192.

PEREZ, S.; BERTOFT, E. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. **Starch-Starke**, Weinheim, v. 62, n. 8, p. 389-420, 2010.

PINHEIRO, B. da S. Características morfofisiológicas da planta relacionadas à produtividade. In: VIEIRA, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos; SANT'ANA, E. P. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 116-147.

RAMESH, M.; BHATTACHARYA, K. R.; MITCHELL, J. R. Developments in understanding the basis of cooked-rice texture. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 40, n. 6, p. 449-460, 2000.

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**, London, v. 84, n. 4, p. 350-356, 2004.

SAJILATA, M. G.; SINGHAL, R. S.; KULKARNI, P. R. Resistant starch - A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Hoboken, v. 5, n. 1, p. 1-17, 2006.

SILVA, A. L. F.; ROZA, C. R. Uso da irradiação em alimentos: revisão. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 28, n. 1, p. 49-56, 2010.

SINGH, J.; DARTOIS, A.; KAUR, L. Starch digestibility in food matrix: a review. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 21, n. 4, p. 168-180, 2010.

SINGH, S. et al. Effects of gamma-irradiation on the morphological, structural, thermal and rheological properties of potato starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 83, n. 4, p. 1521-1528, 2011.

SIRISOONTARALAK, P.; NOOMHORM, A. Changes to physicochemical properties and aroma of irradiated rice. **Journal of Stored Products Research**, Elmsford, v. 42, n. 3, p. 264-276, 2006.

SODHI, N. S.; SINGH, N. Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. **Food Chemistry**, Barking, v. 80, n. 1, p. 99-108, 2003.

SUNG, W. C. Effect of gamma irradiation on rice and its food products. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 73, n. 4, p. 224-228, 2005.

SUNG, W. C.; HONG, M. C.; CHANG, T. S. Effects of storage and gamma irradiation on (*japonica*) waxy rice. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 77, n. 1, p. 92-97, 2008.

THARANATHAN, R. N. Food-derived carbohydrates - Structural complexity and functional diversity. **Critical Reviews in Biotechnology**, Boca Raton, v. 22, n. 1, p. 65-84, 2002.

TOPPING, D. L.; CLIFTON, P. M. Short-chain fatty acids and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. **Physiological Reviews**, Bethesda, v. 81, n. 3, p. 1031-1064, 2001.

VANDEPUTTE, G. E.; DELCOUR, J. A. From sucrose to starch granule to starch physical behaviour: a focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 58, n. 3, p. 245-266, 2004.

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

WANG, J.; YU, Y. Effect of gamma-ray irradiation on the physicochemical properties of flour and starch granule structure for wheat. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 44, n. 4, p. 674-680, 2009.

WANI, A. A. et al. Rice starch diversity: effects on structural, morphological, thermal, and physicochemical properties - A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Hoboken, v. 11, n. 5, p. 417-436, 2012.

WU, D. et al. Effect of gamma irradiation on starch viscosity and physicochemical properties of different rice. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 65, n. 1, p. 79-86, 2002.

YOON, H. S. et al. *In vitro* digestibility of gamma-irradiated corn starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 81, n. 4, p. 961-963, 2010.

YU, S. F.; MA, Y.; SUN, D. W. Impact of amylose content on starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage. **Journal of Cereal Science**, London, v. 50, n. 2, p. 139-144, 2009.

YU, Y.; WANG, J. Effect of gamma-ray irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of rice. **Food Research International**, Essex, v. 40, n. 2, p. 297-303, 2007.

ZANÃO, C. F. P. et al. 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**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 46-55, 2009.

ZAVAREZE, E. R. et al. Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose. In: SIMPÓSIO DE SEGURANÇA ALIMENTAR, 2., 2008, Bento Gonçalves. **Debatendo qualidade; trabalhos...** Bento Gonçalves: SBCTA, 2009. p. 24-30.

ZHANG, G. Y.; HAMAKER, B. R. Slowly Digestible starch: Concept, mechanism, and proposed extended glycemic index. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 49, n. 10, p. 852-867, 2009.

ZHOU, Z. et al. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 37, n. 8, p. 849-868, 2002.

ZOBEL, H. F.; STEPHEN, A. M. Starch: structure, analysis, and application. In: STEPHEN, A. M.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A. (Ed.). **Food polysaccharides and their applications**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006. chap. 2, p. 25-86.

ZULETA, A. et al. Effect of gamma irradiation on the functional and nutritive properties of rice flours from different cultivars. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 83, n. 1, p. 76-79, 2006.

3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E ESTRUTURAIS DE AMIDO DE ARROZ SUBMETIDO À IRRADIAÇÃO

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físico-químicas e estruturais do amido isolado do arroz das cultivares comerciais IAC 202 e IRGA 417 submetido à irradiação. As amostras foram irradiadas por ⁶⁰Co nas doses 1, 2 e 5 kGy, sob taxa de 0,4 kGy/h. Um controle sem irradiação foi utilizado para comparação. A morfologia dos grânulos e o padrão de difração de raios-X tipo A não foram alterados pela irradiação. No entanto, o tamanho dos grânulos, o teor de amilose absoluto, o tamanho das cadeias das moléculas, a cristalinidade relativa, as propriedades térmicas, o teor de carboxilas, a acidez, o pH e a digestibilidade do amido foram alterados com o incremento das doses de radiação. Para a cv. IAC 202 ocorreu redução do número das cadeias longas e aumento das cadeias curtas da amilopectina, enquanto para a cv. IRGA 417 ocorreu aumento das cadeias longas e redução das cadeias curtas, promovendo aumento na temperatura de gelatinização. Quanto à digestibilidade, a irradiação causou aumento na fração amido lentamente digerível (ALD) com redução de amido resistente (AR) para o amido da cv. IAC 202 e comportamento não linear para a cv. IRGA 417, com redução no ALD e aumento de AR na dose de 1 kGy, sem alterações na dose de 2 kGy, e aumento de ALD com redução de AR em 5 kGy.

Palavras-chave: *Oryza sativa*. Radiação gama. ⁶⁰Co. Cromatografia. Amilose. Digestibilidade do amido.

Abstract

The objective of this work was to evaluate the physicochemical and structural properties of starch isolated from rice commercial cultivars IAC 202 and IRGA 417 submitted to irradiation. Samples were irradiated with ⁶⁰Co in doses 1, 2 and 5 kGy, on a rate of 0.4 kGy/h. A control no irradiation was used for comparison. The granule morphology and A-type X-ray diffraction pattern were not altered by irradiation. However, granules size, absolute amylose content, length of molecule chains, relative crystallinity, thermal properties, carboxyl content, acidity, pH, and starch digestibility were altered with increasing doses radiation. For cv. IAC 202 occurred reducing the number of long chains and increasing amylopectin short chains, whereas for cv. IRGA 417 occurred increasing long chain and reducing short chain, promoting an increase in gelatinization temperature. As for digestibility, irradiation caused an increase in the fraction of slowly digestible starch (SDS) with reduction of resistant starch (RS) for starch from cv. IAC 202 and nonlinear behavior for cv. IRGA 417, with reduction in SDS and increased RS in 1 kGy dose, with no change in 2 kGy dose, and increased SDS with reduction in RS for 5 kGy.

Keywords: *Oryza sativa*. Gamma radiation. ⁶⁰Co. Chromatography. Amylose. Starch digestibility.

3.1 Introdução

O arroz é o cereal mais produzido no mundo, sendo o Brasil o maior produtor e consumidor de arroz do ocidente (FAO, 2011). Este cereal é rico em proteínas e carboidratos, dentre os quais o amido é o componente em maior proporção, participando de 65% no arroz integral, até 90% no arroz polido (ZHOU et al., 2002). O amido é composto por amilose, cadeias lineares de glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4, e por amilopectina, cadeias ramificadas de glicose unidas em α -1,4 e α -1,6. Variações nas proporções amilose/amilopectina e no tamanho de cadeia de cada uma, contribuem grandemente para que as propriedades físicoquímicas, funcionais e nutricionais sejam diferentes para cada cultivar (CHAVEZ-MURILLO et al., 2012; CHUNG et al., 2011).

O amido é classificado de acordo com sua digestibilidade em amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR) (ENGLYST; KINGMAN; CUMMINGS, 1992). As frações ALD e AR apresentam diversos benefícios à saúde, enquanto alimentos que contém elevados teores de ARD, quando ingeridos em grandes quantidades, podem trazer prejuízos à saúde, como o desenvolvimento de diabetes (ENGLYST; LIU; ENGLYST, 2007; ZHANG; HAMAKER, 2009).

A irradiação é um tratamento não térmico utilizado para conservação dos alimentos, pois elimina insetos e ovos de insetos, bem como microrganismos, melhorando a qualidade higiênica e mantendo o seu valor nutricional. A radiação ionizante pode melhorar um alimento por inativar fatores antinutricionais e inibir compostos alergênicos. Além disso, é um tratamento rápido, reque mínimo preparo da amostra e não depende de reagentes (BHAT; KARIM, 2009).

A radiação gama gera radicais livres capazes de hidrolisar ligações químicas, promovendo redução na massa molecular tanto da amilose quanto da amilopectina. Estas mudanças que ocorrem no amido afetam as propriedades reológicas e físicas dos alimentos (CHUNG; LIU, 2009; KANG et al.,1999).

Nos últimos anos, a irradiação vem sendo utilizada como técnica alternativa para modificar amido, em substituição às técnicas convencionais de modificação química e física, com a vantagem de ser considerada um tratamento físico que altera física e quimicamente os amidos (BHAT; KARIM, 2009). Diversos estudos têm mostrado comportamento padrão para amidos de fontes botânicas diferentes frente

à irradiação, como redução na viscosidade e na massa molecular da amilose e amilopectina e aumento na solubilidade e teor de carboxilas (BAO; AO; JANE, 2005; CHUNG; LIU, 2009; 2010; FALADE; IGHRAVWE; IKOYO, 2011; GANI et al., 2012; LIU et al., 2012; SINGH et al., 2011; WANG; YU, 2009). No entanto, outras propriedades têm sido modificadas, gerando comportamentos opostos dependendo da fonte botânica de amido e das condições de irradiação (CHUNG; LIU, 2009). Dentre estes comportamentos controversos está a digestibilidade do amido, e, por isso, mais estudos são necessários com o intuito de elucidar as modificações que ocorrem no amido tornando-o mais ou menos digerível (BHAT; KARIM, 2009). Além da digestibilidade do amido, a estrutura cristalina, a morfologia granular, as propriedades térmicas e a estrutura fina da amilopectina são parâmetros com comportamentos obscuros em amido submetido à irradiação (CHUNG; LIU, 2009; LIU et al., 2012).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físicoquímicas e estruturais de amido isolado do arroz de duas cultivares submetido à irradiação.

3.2 Material e métodos

Grãos de arroz polido classe longo fino de duas cultivares comerciais foram utilizadas para a extração do amido, a IAC 202, adquirida junto ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC), e IRGA 417, cedida pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA).

3.2.1 Isolamento do amido

O isolamento do amido de arroz foi realizado de acordo com o método alcalino de Patindol et al. (2003) modificado. Os grãos de arroz polidos foram macerados em solução de NaOH 0,1% na proporção 1:2 (p/v) por 24 h. Após a maceração os grãos foram triturados e peneirados (63 µm). A suspensão que passou pela peneira foi centrifugada por 15 min a 1500 g, sendo o líquido sobrenadante descartado e a camada proteica superior, de coloração amarelada,

retirada cuidadosamente com uma espátula. O amido foi suspenso novamente em solução de NaOH 0,1 %, centrifugado por 15 min a 1500 *g*, sendo o sobrenadante descartado e a camada superior removida cuidadosamente com uma espátula. O amido decantado foi suspenso em água destilada, o pH ajustado para 6,5 com HCI 0,2 M e centrifugado por 15 min a 1500 *g*. O sobrenadante foi descartado e o amido decantado foi suspenso em água destilada e centrifugado por 15 min a 1500 *g*. Este último procedimento foi repetido 3 vezes. O amido decantado foi transferido para uma bandeja e seco em estufa de circulação de ar a 40 °C. O amido seco foi moído em almofariz, peneirado (150 µm) e armazenado em frasco de vidro vedado.

3.2.2 Irradiação do amido

Amostras de 200 g do amido isolado de arroz (IAC 202 contendo 8,5% de umidade, 0,6% de proteínas, 0,03% de lipídeos e 0,1% de cinzas; IRGA 417 contendo 8,1% de umidade, 0,7% de proteínas, 0,05% de lipídeos e 0,2% de cinzas) foram embalados em sacos de polietileno e submetidos às doses de radiação gama de 1, 2 e 5 kGy, na taxa de dose de 0,4 kGy/h em irradiador Gammacell, modelo 220 Excel (GC-220E, Nordion Inc., Ottawa, ON, Canadá), de ⁶⁰Co, em temperatura ambiente. Uma amostra controle (não irradiada), considerada dose 0, foi utilizada para comparação.

3.2.3 Morfologia e tamanho dos grânulos

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada para observar a morfologia geral dos grânulos dos amidos. As amostras foram colocadas em suportes (*stubs*) com fita adesiva dupla face e submetidas à aplicação de camada de 20 nm de ouro em metalizador (FDU 010, Bal-Tec, Balzers, Liechtenstein). As amostras metalizadas foram observadas em microscópio eletrônico de varredura (LEO 435 VP, LEO Electron Microscopy Ltd, Cambridge, Inglaterra) sob amperagem de 80 mA e voltagem de 20Kv.

Para avaliação do tamanho dos grânulos, as amostras de amido foram colocadas sobre lâminas de vidro, adicionada de uma gota de solução de glicerina (50%), misturadas e cobertas por lamínula. Foram preparadas 3 lâminas por amostra, as quais foram observadas em microscópio ótico (Jenamed 2, Carl Zeiss, Jena, Germany) e as imagens capturadas por câmera (MA88-300, Premiere® Camera Eyepieces, Microscopes America Inc., Cumming, GA, EUA) acoplada. Foram realizadas medições em 600 grânulos utilizando-se o software Image Tool© (WILCOX et al., 2002). Em função da irregularidade nos formatos dos grânulos, foram tomadas medidas do eixo maior e menor de cada grânulo.

3.2.4 Teor de amilose absoluto

O teor de amilose foi determinado utilizando o Kit Amilose/amilopectina (K-AMYL 07/11, Megazyme International Ireland Ltd., Wicklow, Irlanda), de acordo com a metodologia proposta pelo fabricante. Este método se baseia na precipitação da amilopectina pela lectina concanavalina-A, que é retirado do processo para não interferir na quantificação da amilose que é hidrolisada enzimaticamente e dosada como glicose (GIBSON; SOLAH; MCCLEARY, 1997; YUN; MATHESON, 1990).

3.2.5 Distribuição dos comprimentos das cadeias ramificadas da amilopectina

3.2.5.1 Desramificação dos amidos

Os amidos foram desramificados de acordo com a metodologia de Wong e Jane (1995) modificada. Uma alíquota de 0,5 mL da amostra em suspensão (10 mg/mL) em DMSO 90% foi agitada em banho de agua fervente por 30 min e por mais 16 h em temperatura ambiente. Adicionou-se 2 mL de etanol absoluto e o precipitado foi recuperado por centrifugação a 12000 *g* por 10 min. O precipitado foi suspenso em 1,8 mL de água ultra pura (18 M Ω .cm) e mantido em banho de agua fervente sob agitação por 30 min. Após resfriamento, foram adicionados 0,2 mL de tampão acetato 0,1 M pH 3,5; 3 µL de solução de isoamilase (3 U) e 4 µL de solução de azida 10% (p/v) e a suspensão foi mantida a 40 °C por 16 h. O pH foi ajustado

para 6,5-7,0 com NaOH 1 M e a suspensão foi mantida em banho de agua fervente por 15 min. As amostras foram filtradas em membranas de teflon de 0,22 µm e injetadas no cromatógrafo.

3.2.5.2 Cromatografia de troca aniônica de alta eficiência com detecção de pulso amperométrico (HPAEC-PAD)

A distribuição dos comprimentos das cadeias ramificadas da amilopectina foi avaliada utilizando um sistema HPAEC-PAD (ICS 3000, Dionex Corp., Sunnyvale, CA, EUA) equipado com amostrador automático AS40. Alíquotas de 20 µL das amostras desramificadas foram automaticamente injetadas. A forma de onda empregada foi a standard quadruple com os seguintes potenciais de pulsos e durações: $E_1 = 0.10 \text{ V}$ (t₁ = 0.40 s); $E_2 = -2.00 \text{ V}$ (t₂ = 0.02 s); $E_3 = 0.60 \text{ V}$ $(t_3 = 0.01 \text{ s}); E_4 = -0.10 \text{ V} (t_4 = 0.06 \text{ s}). \text{ Os eluentes (A=150 mM NaOH; B=500 mM)}$ acetato de sódio e 150 mM NaOH) foram preparados com água deionizada ultra pura (18 MQ.cm) e degaseificados com N2. Os componentes lineares foram separados em coluna CarboPac PA-100 (250 x 4 mm) acoplada a guarda-coluna CarboPac PA-100, com gradiente linear de eluição (0 min, 28% B; 15 min, 40% B; 105 min, 72% B) a uma temperatura de 40 °C e fluxo de 0,8 mL/min. Padrões de maltodextrinas com DP 1 a 7 foram usados para a identificação das séries homólogas de comprimento de cadeias. Os dados foram coletados e analisados utilizando-se o software Chromeleon, versão 6.8 (Dionex Corp., Sunnyvale, CA, EUA).

3.2.6 Distribuição do tamanho molecular

Os perfis de distribuição do tamanho molecular dos amidos foram determinados por cromatografia de permeação em gel (CPG), em coluna GE XK 26/70 (2,6 cm de diâmetro e 70 cm de altura) empacotada com gel Sepharose CL-2B. As amostras foram preparadas segundo o proposto por Song e Jane (2000). Uma alíquota (4 mL) contendo 12 mg de amido foi aplicada na coluna de forma ascendente. Uma solução com 25 mM de NaCl e 1 mM de NaOH foi usada

como eluente numa taxa de 60 mL/h. Frações de 4 mL foram coletadas e analisadas quanto ao teor de açúcares totais (CHO), pela metodologia de fenol sulfúrico (DUBOIS et al., 1956) a 490 nm, e reações de coloração com iodo pelo método blue value (BV) a 630 nm (JULIANO, 1971), ambas modificadas para uso em microleitora de absorbância (Asys Expert Plus, Asys Hitech, Eugendorf, Áustria).

3.2.7 Difração de raios-X e cristalinidade relativa

A umidade das amostras foi equilibrada em dessecador contendo solução de BaCl₂ saturada (25 °C, aw = 0,9) durante 10 dias. Os perfis de difração de raios-X, foram determinados com radiação de Cu em difrator de raios-x (Miniflex II, Rigaku Corp., Tokyo, Japão). A velocidade de varredura foi de 2° por minuto, sob ângulo 2 Θ variando de 4 a 40° e as condições de uso foram 40 kV e 30 mA. A cristalinidade relativa foi determinada quantitativamente pela relação entre a área dos picos e a área total, segundo Nara e Komiya (1983) com a utilização do *software* Origin 7.5 (Origin – version 7.5, Microcal Inc., Northampt, MA, EUA). Os gráficos foram plotados entre os ângulos 2 Θ de 4 e 30° e suavizados com a ferramenta *adjacent averaging*.

3.2.8 Propriedades térmicas

As propriedades térmicas dos amidos foram determinadas utilizando-se o Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC-Pyris 1; Perkin Elmer, Norwalk, CT, EUA). Amostras de 2 mg (b.s.) foram pesadas em pequenos recipientes de alumínio para amostras voláteis (PE 0219-0062) e adicionadas de 6 µL de água deionizada. Os recipientes foram selados na prensa universal e equilibrados em temperatura ambiente por 2 h antes da análise. A varredura foi realizada em taxa de 5 °C/min entre 30 e 130 °C. Um recipiente vazio foi utilizado como referência. Cada recipiente analisado foi armazenado durante 15 dias a 5 °C. As amostras retrogradadas foram analisadas quanto às propriedades térmicas utilizando o mesmo equipamento e parâmetros. Com base no termograma foram obtidas as temperaturas de transição (inicial, de pico e final) e a variação de entalpia. A taxa de retrogradação foi

calculada pela razão entre a variação de entalpia de gelatinização e de retrogradação.

3.2.9 Teor de carboxilas

O teor de carboxilas no amido foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Chattopadhyay, Singhal e Kulkarni (1997), com modificações. Amostras de 2 g foram pesadas, adicionadas de 25 mL de HCl 0,1 M e agitadas por 30 min a 25 °C. A suspensão foi filtrada em funil de placa porosa e o resíduo sólido foi lavado com 400 mL de água destilada. O amido foi transferido para um béquer, adicionado de 300 mL de água destilada e levado em banho de água fervente por 15 min. A amostra foi titulada ainda quente com NaOH 0,1 M em titulador automático (Titrino plus 848, Metrohm, Herisau, Suíça) até pH 8,3. Uma amostra do amido não irradiado foi analisado e considerado como branco. O teor de carboxila aparente (%) foi calculado como: [(volume titulado da amostra – volume titulado do branco) x molaridade do NaOH x 0,045 x 100] / peso da amostra.

3.2.10 Acidez titulável e pH

A acidez titulável foi determinada em suspensão de amido a 10% titulada com NaOH 0,01 M até pH 8,3 (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). O resultado foi expresso em porcentagem de acidez v/m. O pH foi determinado em potenciômetro, utilizando-se suspensão de amido a 10% (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

3.2.11 Digestibilidade do amido

A digestibilidade do amido *in vitro* foi analisada nas amostras de amido cru e cozido de acordo com Englyst, Kingman e Cummings (1992), com adaptações. Uma mistura de enzimas foi preparada imediatamente antes de ser utilizada. A 1,5 g de pancreatina (P1750, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) foram adicionados 10 mL de água destilada e esta solução foi agitada por 10 min em agitador magnético

(TE-085, Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) e centrifugada por 10 min a 1500 *g*. Alíquota de 8 mL do sobrenadante foi retirada e misturada com 0,4 mL de amiloglucosidase (A7095, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) e 5 mg de invertase (I4504, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA).

Para o amido cru, foram pesados 0,5 g da amostra e adicionados 20 mL de tampão acetato de sódio 0,1 M (pH 5,2) contendo 4 mM de CaCl₂. Após 5 min em banho térmico a 37°C, foram adicionados 5 mL de mistura enzimática.

Para o amido cozido, foram pesados 0,5 g da amostra, adicionados 20 mL de tampão acetato de sódio 0,1 M (pH 5,2) contendo 4 mM de CaCl₂ e levados em banho de água fervente por 20 min para gelatinização do amido. Após 10 min em banho térmico a 37°C para resfriamento da amostra, foram adicionados 5 mL de mistura enzimática.

Para ambas as amostras (crua e cozida), após a adição da solução enzimática, alíquotas de 0,5 mL foram retiradas nos intervalos de 0, 20 e 120 min e colocadas em tubos (15 mL) contendo 4 mL de etanol absoluto. Os tubos foram centrifugados por 5 min a 3000 g. A amostra remanescente foi fervida por 30 min, adicionada de 10 mL de KOH 7 M e agitada a 25°C por 30 min, seguida de tratamento com amiloglucosidase (A7095, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA). A quantidade de glicose liberada a cada período foi quantificada com o reagente glicose oxidase-peroxidase (Glicose PAP Liquiform, Labtest Diagnóstica, Lagoa Santa, MG, Brasil). Os teores das diferentes frações foram obtidos da definição: ARD, glicose liberada de 0 a 20 min; ALD, de 20 a 120 min; e AR, amido remanescente após 120 min.

3.2.12 Fibra alimentar total (FAT)

O teor de FAT foi determinado utilizando o método enzimático-gravimétrico 985.29 da AOAC (2005). A hidrólise enzimática do amido e proteína foi realizada da seguinte forma: gelatinização na presença de α-amilase termoestável (Termamyl 120L, Novozymes, Bagsvaerd, Denmark) a 97°C por 15 min em pH 6,0; incubação com pepsina (P7000, Sigma–Aldrich, St. Louis, MO, USA) a 40°C por 30 min em pH 1,5; e incubação com amiloglucosidase (A7255, Sigma–Aldrich, St. Louis, MO, USA) a 55°C por 30 min em pH 4,5. A fibra alimentar foi precipitada com 4 volumes

de etanol 95% e recuperada por filtração em cadinho de fundo sinterizado nº 2 com celite. Os valores de fibra foram corrigidos pela subtração da proteína (kjeldahl N x 6,25) e cinzas (incineração a 525°C, 5 h) residuais.

3.2.13 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, no fatorial 2 x 4, com 2 cultivares de arroz, 4 doses de radiação gama e 3 repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao Teste de Tukey (p<0,05) para comparação de médias utilizando-se o sistema estatístico ASISTAT versão 7.6 beta.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Morfologia e tamanho dos grânulos de amido

Os amidos de ambas as cultivares apresentaram grânulos poliédricos, com faces distintas e angulares e formatos irregulares quando observados por microscopia eletrônica de varredura (Figura 3.1 e 3.2). A irradiação não causou alteração aparente na morfologia dos grânulos.

Outras pesquisas sobre irradiação de amido também não constataram modificações visíveis na morfologia dos grânulos de amido (ABU; DUODU; MINNAAR, 2006; LEE et al., 2006; LIU et al., 2012). Gani et al. (2012), entretanto, em trabalho com amido de feijão modificado por radiação gama, detectaram a presença de fissuras na superfície dos grânulos de amido, sendo diretamente proporcional à dose aplicada (até 20 kGy). Os autores sugeriram que as fissuras foram causadas pelas radiações de alta energia e penetração. Chung e Liu (2010) chegaram à conclusão que diferentes fontes botânicas de amido apresentam suscetibilidades diferenciadas frente à radiação gama, ao estudar a morfologia do grânulo. Os autores não observaram alteração em amido de batata, mas encontraram grânulos fissurados em amido de feijão, e associaram esta suscetibilidade ao padrão de difração de raio x, sendo o polimorfo B (batata), mais

resistente que o padrão tipo C (feijão). Além disso, o teor de água presente no amido (LEE et al., 2006) e a velocidade com que a radiação é aplicada (taxa de dose) também podem influenciar na resistência dos grânulos à rupturas da superfície.



Figura 3.1 – Fotomicrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura dos grânulos de amido de arroz cv. IAC 202 em função das doses de radiação. A = 0 kGy; B = 1 kGy; C = 2 kGy e D = 5 kGy

O tamanho dos grânulos dos amidos variou de 1,2 a 6,4 µm no eixo menor e de 1,7 a 7,7 µm no eixo maior para a cv. IAC 202 e de 0,8 a 6,6 µm no eixo menor e de 1,0 a 8,7 µm no eixo maior para a cv. IRGA 417 (Figura 3.3). O amido da cv. IAC 202 apresentou menor faixa de distribuição de tamanho quando comparado com o da cv. IRGA 417. Outros autores também observaram tamanhos similares nos grânulos de amido de arroz (LAWAL et al., 2011; SINGH et al., 2006; SODHI; SINGH, 2003; WANI et al., 2013).



Figura 3.2 – Fotomicrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura dos grânulos de amido de arroz cv. IRGA 417 em função das doses de radiação. A = 0 kGy; B = 1 kGy; C = 2 kGy e D = 5 kGy



Figura 3.3 – Distribuição do tamanho dos grânulos dos amidos das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

Pelos tamanhos médios dos grânulos (Tabela 3.1), observou-se que para a cv. IAC 202 houve redução de valores para o eixo maior com o aumento das doses de radiação e, para a cv. IRGA 417, o efeito foi inverso para ambos os eixos. Pela distribuição dos tamanhos dos grânulos (Figura 3.3), também se observou que a cv. IAC 202 controle apresentou grânulos de tamanho maior que as irradiadas, e a cv. IRGA 417, o oposto.

Porômotro	Cultivar	Dose (kGy)					
Farametro		0	1	2	5		
Eixo maior (µm)	IAC 202	$4,8 \pm 1,1^{1 \text{ aA2}}$	$4,5 \pm 1,4 bAB}$	$4,4 \pm 1,2^{\text{ bAB}}$	$4,3 \pm 1,3 bB$		
	IRGA 417	$4,7 \pm 1,4 \ ^{aB}$	$5,0 \pm 1,3^{aAB}$	$5,2 \pm 1,3^{aA}$	5,2 ± 1,2 ^{aA}		
Eixo menor (µm)	IAC 202	$3,8 \pm 0,9^{aA}$	$3,8 \pm 1,3$ ^{bA}	$3,7 \pm 1,1$ ^{bA}	3,5 ± 1,1 ^{bA}		
	IRGA 417	3,9 ± 1,2 ^{aB}	4,2 ± 1,1 ^{aAB}	$4,4 \pm 1,1^{aA}$	4,3 ± 1,1 ^{aA}		

Tabela 3.1 - Tamanho dos grânulos dos amidos das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

As cultivares podem apresentar grânulos de amido regulares com estruturas internas diferentes devido às diferenças na composição e arranjo das moléculas. Segundo Chung e Liu (2009), a radiação gama tem efeito duplo sobre o amido, pois tanto pode quebrar as macromoléculas do amido e romper as regiões cristalinas e amorfas dos grânulos, quanto recombinar as estruturas fragmentadas por ligações cruzadas. Tais modificações na estrutura do grânulo do amido, que alteram as forças entre as moléculas e as cadeias de amido, podem ser responsáveis por leves alterações no tamanho dos mesmos.

3.3.2 Teor de amilose absoluto

As duas cultivares de arroz apresentaram amido com teores semelhantes de amilose (Tabela 3.2). Tanto a cv. IAC 202, quanto a cv. IRGA 417 apresentaram aumento do teor de amilose na dose 5 kGy. Aumento no teor de amilose com a elevação da dose de radiação gama também foi observado por Singh et al. (2011) em amido de batata, no entanto, outros estudos (CHUNG; LIU, 2009; 2010; GANI et al., 2012) que determinaram teor de amilose aparente (reação com iodo) em amido irradiado observaram efeito oposto. Isso se deve ao fato de que a irradiação causa quebra das cadeias de amilopectina e amilose que deixam de complexar o iodo, formando menos compostos coloridos e reduzindo, com isto, o teor de amilose. Os estudos, porém, que avaliaram tamanho de cadeia por cromatografia (LEE et al., 2006; ROMBO, TAYLOR; MINNAAR, 2004), concluíram que a irradiação reduz a massa molecular das cadeias do amido, o que faz com que a análise baseada na separação da amilopectina (maior massa molecular) apresente valores superiores, ou seja, maior quantidade de fragmentos menores.

Tabela 3.2 - Teor de amilose (%) dos amidos das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

Cultivar -	Dose (kGy)						
	0	1	2	5			
IAC 202	$21,3 \pm 0,5^{1 aB2}$	22,2 \pm 0,3 ^{aAB}	21,7 \pm 0,6 ^{aAB}	$22,7 \pm 0,6$ ^{aA}			
IRGA 417	$19,9 \pm 0,2$ ^{bBC}	$18,9 \pm 0,4$ ^{bC}	$20,5 \pm 0,5$ ^{bB}	$22,0 \pm 0,6$ ^{aA}			

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

3.3.3 Distribuição dos comprimentos das cadeias ramificadas da amilopectina

A irradiação alterou a distribuição dos comprimentos das cadeias ramificadas da amilopectina dos amidos (Figura 3.4 e Tabela 3.3). De modo geral, observou-se aumento do número de cadeias curtas (GP 6-12) e redução das cadeias com GP > 12, no amido da cv. IAC 202. Já o amido da cv. IRGA 417 apresentou, a partir da dose 2 kGy, redução das cadeias curtas (GP 6-12) com aumento das cadeias longas (GP > 24). Essas modificações em relação ao amido controle estão evidenciadas na Figura 3.5, onde se pode observar que a cv. IAC 202 nas doses 2 e 5 kGy, apresentou aumento de cadeias com GP 7-9 e redução de cadeias com GP 11-28 para a dose 2 kGy e GP 11-25 para a dose 5 kGy. O amido da

cv. IRGA 417 apresentou redução do número de cadeias com GP 11-14 e aumento de cadeias com GP > 22, para a dose 2 kGy e redução de cadeias com GP 11-14 e aumento de cadeias com GP > 21, para a dose 5 kGy.



Figura 3.4 – Perfis de distribuição do comprimento das cadeias ramificadas da amilopectina dos amidos das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

Tabela 3.3 - Distribuição dos comprimentos das cadeias ramificadas da amilopectina dos amidos das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

Darâmatra	Cultivor	Dose (kGy)					
Farametro	Cultivar	0	1	2	5		
GP 6-12	IAC 202	$30,1 \pm 0,1^{1 \text{ bD2}}$	$31,1 \pm 0,1$ ^{bC}	33,2 ± 0,1 ^{aA}	$31,9 \pm 0,4$ ^{bB}		
(%)	IRGA 417	$34,2 \pm 0,1$ ^{aA}	$34,0 \pm 0,1$ ^{aA}	33,5 ± 0,1 ^{aB}	33,6 ± 0,1 aB		
GP 13-24	IAC 202	52,8 \pm 0,1 ^{aA}	$52,2 \pm 0,0$ ^{aB}	50,1 \pm 0,1 ^{aD}	$51,3 \pm 0,2$ ^{aC}		
(%)	IRGA 417	48,6 ± 0,1 bB	$48,8 \pm 0,2$ ^{bA}	$48,7 \pm 0,1$ ^{bAB}	$48,6 \pm 0,0$ ^{bB}		
GP 25-36 (%)	IAC 202	$9,5 \pm 0,1$ ^{bA}	$9,3 \pm 0,2^{\text{ bAB}}$	$9,2 \pm 0,0$ ^{bB}	$9,4 \pm 0,1$ ^{bA}		
	IRGA 417	9,7 ± 0,1 aB	9,6 ± 0,0 aB	$9,9 \pm 0,0^{aA}$	$9,9 \pm 0,0^{aA}$		
GP > 37 (%)	IAC 202	$7,6 \pm 0,0^{aA}$	$7,4 \pm 0,1$ ^{aB}	$7,4 \pm 0,0$ ^{bB}	$7,4 \pm 0,1$ ^{bB}		
	IRGA 417	$7,5 \pm 0,1^{aB}$	$7,5 \pm 0,1^{aB}$	$7,9 \pm 0,1$ ^{aA}	$7,9 \pm 0,1^{aA}$		
CC médio	IAC 202	$18,2 \pm 0,0$ ^{aA}	$18,0 \pm 0,0$ ^{aB}	$17,8 \pm 0,0$ ^{bC}	$18,0 \pm 0,1$ ^{aB}		
(DP)	IRGA 417	$17,8 \pm 0,1$ ^{bB}	$17,8 \pm 0,0$ ^{bB}	18,0 ± 0,1 ^{aA}	18,1 ± 0,1 ^{aA}		
Maior GP	IAC 202	68	69	69	69		
detectado	IRGA 417	65	64	69	69		

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).</p>

GP = grau de polimerização; CC = comprimento de cadeia.

Esses resultados indicam que durante a irradiação, o amido da cv. IAC 202 sofreu mais intensamente a quebra de suas moléculas, enquanto que para a cv. IRGA 417 foi a formação de ligações cruzadas.

Bao, Ao e Jane (2005) também observaram clivagens e ligações cruzadas em amido de arroz submetido à irradiação, sendo as últimas observadas apenas na dose de 9 kGy. A formação de ligações cruzadas, segundo os autores, foi induzida pelos radicais livres gerados nas moléculas de amido pela radiação gama. Chung e Liu (2009) sugeriram que a radiação gama aplicada em taxa de dose lenta (0,4 kGy/h) pode ser mais favorável à formação de ligações cruzadas, uma vez que para o amido absorver uma mesma dose, ele é exposto à radiação por um período de tempo maior.



Figura 3.5 – Diferença entre os perfis de distribuição do comprimento das cadeias ramificadas da amilopectina dos amidos controle e dos amidos irradiados das duas cultivares de arroz

3.3.4 Distribuição do tamanho molecular dos amidos

Os perfis cromatográficos de permeação em gel dos amidos das duas cultivares de arroz (Figura 3.6) apresentaram dois picos, o primeiro representa a amilopectina (frações 21 a 36) e o segundo a amilose (frações 46 a 83). Os perfis revelaram que as cultivares IAC 202 e IRGA 417 sofreram quebra das moléculas maiores de amilopectina com aumento no teor de amilose, pois se observa redução no primeiro pico com aumento do segundo, tanto para o teor de carboidratos totais quanto para o *blue value*.



Figura 3.6 – Perfil cromatográfico de permeação em gel dos grânulos de amido das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação. CHO: teor de carboidrato total, BV: blue value

Estes resultados corroboram o aumento nos teores de amilose encontrados para ambas as cultivares com a maior dose de radiação gama e os resultados reportados por outros autores (BAO; AO; JANE, 2005; ROMBO; TAYLOR; MINNAAR, 2004). A radiação gama promove a clivagem das moléculas do amido pela incidência direta dos raios gama ou pelos radicais livres produzidos na radiólise da água (YOON et al., 2010). Como as moléculas de amilopectina possuem GP muito superiores aos das moléculas de amilose, a probabilidade da amilopectina ser degradada pela irradiação é maior (YU; WANG, 2007).

3.3.5 Difração de raios-X e cristalinidade relativa

Os amidos controle de ambas as cultivares apresentaram padrão de cristalinidade tipo A (Figura 3.7), comum em amido de cereais, com pico de intensidade fraca no ângulo de difração 2O 20,0°, média-forte em 15,1° e forte no doblete 17,1° / 18,0° e em 23,0°. Outros autores também encontraram padrão de cristalinidade tipo A para amido de arroz (CHAVEZ-MURILLO et al., 2012; GANI et al., 2013; LAWAL et al., 2011; WANG et al., 2012). Este padrão de cristalinidade ocorre em amidos que apresentam grandes proporções de cadeias curtas com GP 6-12 e menores proporções de cadeias longas com GP > 37 (JANE et al., 1999).



Figura 3.7 – Difratogramas de raios-x dos grânulos dos amidos das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

A irradiação não alterou o padrão de cristalinidade dos amidos das cultivares estudadas, em concordância com outros estudos, como o de Chung e Liu (2009) e Liu et al. (2012) em amido de milho e o de Gani et al. (2012) em amido de feijão, todos eles utilizando não apenas doses semelhantes ao deste trabalho, mas também superiores, chegando até 500 kGy. No entanto, a cristalinidade relativa foi alterada pela irradiação (Tabela 3.4), assim como constatado pelos autores

supracitados. Houve redução da cristalinidade relativa com a irradiação para a cv. IAC 202 na maior dose, enquanto para a cv. IRGA 417 as cristalinidades das amostras irradiadas foram maiores que a do controle. A irradiação, segundo Chung e Liu (2009; 2010), degrada tanto a estrutura cristalina quanto a região amorfa dos grânulos de amido. O que leva ao aumento ou redução na cristalinidade depende de qual região for mais afetada por cada dose. Os resultados de estudos da literatura são bastante controversos. Bao, Ao e Jane (2005), observaram comportamento semelhante ao da cv. IRGA 417 em amido de arroz submetido à irradiação, com aumento de cristalinidade entre o controle e a primeira dose (0,5 kGy) e redução de 1 a 9 kGy. Wootton, Djojonegoro e Driscoll (1988), também relataram aumento de cristalinidade em amido de arroz irradiado até 10 kGy. Chung e Liu (2009; 2010) e Gani et al. (2012) constataram redução de cristalinidade com o incremento da radiação gama e atribuíram à ruptura das regiões cristalinas dos grânulos de amido. Além da fonte botânica, a taxa de dose tem papel importante na cristalinidade, pois em baixas taxas ocorre maior recombinação entre as moléculas do amido (CHUNG; LIU, 2009).

Cultiver	Dose (kGy)						
Cultival	0	1	2	5			
IAC 202	$32 \pm 0,7^{1 \text{ aA2}}$	33 ± 0.5^{aA}	$32 \pm 0,1^{aA}$	30 ± 0.6^{aB}			
IRGA 417	28 ± 0.6 ^{bC}	31 ± 0.6 ^{bA}	29 ± 0.7 ^{bB}	29 ± 0.4 ^{bB}			

Tabela 3.4 - Cristalinidade relativa (%) dos amidos das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

3.3.6 Propriedades térmicas

O amido de arroz cv. IAC 202 apresentou maiores temperaturas e entalpia de gelatinização do que o amido de arroz cv. IRGA 417 (Tabela 3.5). A irradiação não afetou as propriedades térmicas do amido da cv. IAC 202, mas aumentou a temperatura de gelatinização do amido da cv. IRGA 417 na maior dose (5 kGy).

Estes resultados podem estar relacionados com o aumento no grau de polimerização ocorrido para esta última (Tabela 3.3 e Figura 3.5).

Parâmetro		Cultivor	Dose (kGy)				
		Cultival	0	1	2	5	
G	T。	IAC 202	$66,7 \pm 0,1^{1 \text{ aA2}}$	$66,2 \pm 0,6$ ^{aA}	66,7 ± 0,1 aA	$66,5 \pm 0,2$ ^{aA}	
E L	(°C)	IRGA 417	$60,0 \pm 0,1$ ^{bB}	$60,3 \pm 0,3$ ^{bB}	$60,1 \pm 0,3$ ^{bB}	$63,2 \pm 0,1$ ^{bA}	
A T	Τ _ρ	IAC 202	70,9 ± 0,1 aA	$70,4 \pm 1,0$ ^{aA}	71,1 ± 0,2 ^{aA}	$70,8 \pm 0,2$ ^{aA}	
l N	(°Ċ)	IRGA 417	$64,5 \pm 0,0$ ^{bB}	$64,5 \pm 0,1$ ^{bB}	$64,4 \pm 0,1$ ^{bB}	$67,7 \pm 0,0$ ^{bA}	
	T _f	IAC 202	74,9 ± 0,1 aA	74,1 ± 1,3 ^{aA}	75,0 ± 0,1 aA	$74,8 \pm 0,2$ ^{aA}	
A (°C) Ç ΔH O (J/g)	(°C)	IRGA 417	$68,9 \pm 0,2$ ^{bB}	$68,8 \pm 0,1$ ^{bB}	$69,1 \pm 0,1$ ^{bB}	72,0 \pm 0,1 ^{bA}	
	ΔH	IAC 202	$10,5 \pm 0,8$ ^{aA}	9,7 \pm 0,2 ^{aA} 10,3 \pm 0,8 ^{aA}		$10,4 \pm 0,4$ ^{aA}	
	(J/g)	IRGA 417	$9,6 \pm 0,3^{\text{bAB}}$	9,5 ± 0,1 aAB	$9,3 \pm 0,3$ ^{bB}	$10,4 \pm 0,3$ ^{aA}	
R	T。	IAC 202	41,2 ± 1,3 ^{bB}	$43,6 \pm 1,9^{bAB}$	45,9 ± 1,5 ^{aA}	$44,3 \pm 0,8$ ^{aA}	
E T	(°C)	IRGA 417	$49,6 \pm 0,9$ ^{aA}	$49,0 \pm 0,3$ ^{aA}	$41,7 \pm 0,7$ ^{bC}	$45,4 \pm 0,7$ ^{aB}	
R O	Tp	IAC 202	$52,8 \pm 0,9$ ^{bA}	52,4 ± 1,5 ^{bA}	52,2 ± 1,6 ^{aA}	$53,2 \pm 0,2$ ^{aA}	
G R	(°Ċ)	IRGA 417	55,6 ± 1,4 ^{aA}	55,0 ± 1,9 ^{aA}	$49,5 \pm 0,5$ ^{bB}	$52,0 \pm 0,3$ ^{aB}	
A	T _f	IAC 202	$60,6 \pm 0,5$ ^{bA}	$60,5 \pm 0,7$ ^{bA}	$55,9 \pm 0,2$ ^{bB}	$60,4 \pm 0,5$ ^{aA}	
A	(°C)	IRGA 417	$63,7 \pm 0,2$ ^{aA}	$63,7 \pm 0,8$ ^{aA}	58,0 \pm 1,0 ^{aB}	$58,3 \pm 0,3$ ^{bB}	
Ç Ã	ΔH	IAC 202	$5,4 \pm 0,3^{aB}$	$7,0 \pm 0,3$ ^{aA}	$5,4 \pm 0,6$ ^{aB}	$5,1 \pm 0,6$ ^{aB}	
0	(J/g)	IRGA 417	$2,4 \pm 0,2^{bB}$	$2,1 \pm 0,5$ ^{bB}	$4,2 \pm 0,4$ ^{bA}	$3,0 \pm 0,3$ ^{bB}	
D	D (0/)	IAC 202	52	72	52	49	
KK (%)		IRGA 417	25	22	45	29	

Tabela 3.5 - Propriedades térmicas de gelatinização e retrogradação dos amidos das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

 ¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.
² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

 T_o = temperatura inicial; Tp = temperatura de pico; Tf = temperatura final; ΔH = variação de entalpia; RR = retrogradação relativa (($\Delta H_{qel} / \Delta H_{ret}$)*100).

Aumento na temperatura e entalpia de gelatinização pela irradiação foi reportado em amido de feijão fradinho (ABU; DUODU; MINNAAR, 2006). Entretanto, redução nestes dois parâmetros pela irradiação também foram descritos para amido de milho (CHUNG; LIU, 2009; LEE et al., 2006; LIU et al., 2012) e arroz (BAO; AO; JANE, 2005).

Chung e Liu (2010) observaram aumento na temperatura de gelatinização do amido de batata irradiado com 10 kGy e redução com 50 kGy, já para o amido de feijão não houve alteração com 10 kGy e aumentou com 50 kGy. A entalpia foi reduzida com o aumento da dose para ambas as fontes. Os autores atribuíram a redução da temperatura de gelatinização aos defeitos na estrutura cristalina e ao aumento das cadeias curtas da amilopectina causados pela radiação gama. O aumento da temperatura foi atribuído à redução da cristalinidade global, uma vez que a irradiação pode destruir preferencialmente as estruturas cristalinas mais fracas, ou seja, as estruturas remanescentes são mais estáveis. A redução na entalpia de gelatinização foi atribuída à ruptura do domínio cristalino dos grânulos de amido e das duplas hélices das cadeias da amilopectina.

Não houve correlação entre a entalpia de gelatinização e a cristalinidade relativa (Tabela 3.4) em nenhuma das cultivares. Bao, Ao e Jane (2005) e Kong et al. (2009) também não observaram correlação entre a entalpia de gelatinização e a cristalinidade relativa em amido de arroz e de amaranto submetidos à radiação gama. Para Cooke e Gidley (1992) existem dois tipos de duplas hélices nos grânulos de amido, aquelas que estão envolvidas na cristalinidade do grânulo, detectadas pelos raios-x, e as que não participam da cristalinidade. Além disso, os autores afirmam que a entalpia de gelatinização reflete mais a perda da ordem das duplas hélices do que a perda da cristalinidade em si, ou seja, as forças que mantêm os grânulos unidos estão amplamente relacionadas às duplas hélices. Portanto, a cristalinidade está mais relacionada à densidade de empacotamento do que à estabilidade estrutural.

A irradiação causa rearranjo das duplas hélices do amido, conferindo estabilidade estrutural, que pode aumentar a entalpia de gelatinização, no entanto este rearranjo pode não gerar empacotamento denso na ordem molecular, o qual não seria detectado pelos raios-x (CHUNG; LIU, 2009).

As endotermas de retrogradação apresentaram temperaturas entre 41 e 64 °C. Para o amido da cv. IAC 202, observa-se aumento na T_o com a irradiação e redução na T_f apenas para dose 2 kGy. Já para o da cv. IRGA 417 houve redução em T_o , T_p e T_f . Chung e Liu (2010) reportaram aumento nas temperaturas das endotermas de retrogradação dos amidos de batata e feijão, o que atribuíram à formação de uma estrutura cristalina mais rígida.

A entalpia de retrogradação foi aumentada na dose de 1 kGy para o amido da cv. IAC 202 e de 2 kGy para o da cv. IRGA 417. Aumento na entalpia de retrogradação indica maior formação de estruturas em dupla hélice durante o armazenamento refrigerado do amido gelatinizado. Chung e Liu (2010) reportaram redução da entalpia de retrogradação para amido de batata, já para amido de feijão houve redução em 10 kGy e aumento em 50 kGy. Os autores atribuíram a redução da entalpia de retrogradação à diminuição das cadeias com GP 13-24, que têm correlação positiva com a formação da estrutura cristalina. O aumento foi atribuído à degradação das moléculas do amido em tamanhos ideais de recristalização pela irradiação.

A retrogradação dos amidos gelatinizados (Tabela 3.5) foi maior na dose 1 kGy para cv. IAC 202 e 2 kGy para cv. IRGA 417. Segundo Lee et al. (2006), a radiação gama pode elevar a retrogradação por facilitar a união das moléculas hidrolisadas, mas a hidrólise excessiva do amido pode gerar moléculas muito curtas e impedir a recristalização das mesmas.

3.3.7 Teor de carboxila, acidez titulável e pH

O aumento da dose de radiação dos amidos de ambas cultivares elevou o teor de carboxilas e a acidez total titulável (ATT) e reduziu o pH das amostras (Tabela 3.6). Resultados semelhantes foram relatados para amidos de milho, feijões e batata irradiados (CHUNG; LIU, 2009; 2010; GANI et al., 2012; HENRY; COSTA; AYMES-CHODUR, 2010; SINGH et al., 2011).

A irradiação promove a quebra das moléculas do amido pela ação dos radicais livres, que leva a formação de ácidos, entre eles, o ácido carboxílico (BHAT; KARIM, 2009; CHUNG; LIU, 2009; 2010; GANI et al., 2012; SINGH et al., 2011). O

aumento de ácidos no amido com a irradiação fez com que o mesmo apresentasse elevação da ATT e redução do pH.

Darâmatra	Cultivar -	Dose (kGy)					
Farametro		0	1	2	5		
$TC (\alpha/l(\alpha))$	IAC 202	0 ^{aC}	$0,03 \pm 0,01^{1}$ aBC2	$0,05 \pm 0,01$ ^{bAB}	$0,07 \pm 0,01$ ^{bA}		
тс (g/кg)	IRGA 417	0 ^{aC}	$0,03 \pm 0,01$ ^{aC}	$0,15 \pm 0,01$ ^{aB}	$0,23 \pm 0,01$ ^{aA}		
рН	IAC 202	$6,4 \pm 0,04$ ^{bA}	$6,2 \pm 0,04$ ^{bB}	$6,0 \pm 0,02$ ^{bC}	$5,5 \pm 0,06$ ^{bD}		
	IRGA 417	$7,0 \pm 0,03$ ^{aA}	$6,8 \pm 0,03$ ^{aB}	$6,7 \pm 0,04$ ^{aB}	$6,5 \pm 0,06$ ^{aC}		
ATT (%)	IAC 202	$0,8 \pm 0,04$ ^{aC}	$0,9 \pm 0,02 \ ^{aC}$	1,0 ± 0,02 ^{aB}	$1,2 \pm 0,03$ ^{aA}		
	IRGA 417	$0,6 \pm 0,01$ ^{bD}	$0,7 \pm 0,01$ ^{bC}	$0,8 \pm 0,02$ ^{bB}	$0,9 \pm 0,03$ ^{bA}		

Tabela 3.6 - Teor de carboxila (%), pH e acidez total titulável dos amidos das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

TC = teor de carboxila; ATT = acidez total titulável.

3.3.8 Digestibilidade do amido e fibra alimentar total

A digestibilidade *in vitro* do amido (Tabela 3.7) mostrou ser mais elevada quanto à fração ALD, seguida por ARD e o AR para o amido cru, em ambas cultivares. O ARD não apresentou diferença entre os tratamentos da cv. IRGA 417, e apenas redução na dose 2 kGy para a cv. IAC 202. De modo geral, a irradiação promoveu aumento no ALD com redução de AR para o amido da cv. IAC 202 e comportamento não linear para o da cv. IRGA 417, com redução no ALD e aumento de AR na dose de 1 kGy, sem alterações na dose de 2 kGy, e aumento de ALD com redução de AR em 5 kGy.

A cv. IRGA 417 apresentou maior teor de AR na dose de 1 kGy, assim como maior cristalinidade relativa. Provavelmente, este aumento de AR está relacionado a esta cristalinidade, pois regiões cristalinas são mais resistentes à hidrólise enzimática. Já para a cv. IAC 202, não se percebe relação entre AR e cristalinidade. Como as estruturas dos amidos são diferentes, o comportamento diante da 66

irradiação, nem sempre são similares. Bao, Ao e Jane (2005) também encontraram aumento de cristalinidade em amido de arroz irradiado com 1 KGy.

Tabela 3.7 - Di	igestibilidade do ar	nido (% ba	ise seca)	das amo	ostras o	cruas e	cozic	las e
te	eor de fibra aliment	ar total da	amostra o	crua (%	base s	seca) d	os an	nidos
da	as duas cultivares	de arroz er	n função d	das dose	es de ra	adiação	C	

Parâmatra	Cultivor	Dose (kGy)					
Farametro	Cultival	0	1	2	5		
ARD	IAC 202	$31,3 \pm 0,4^{1 \text{ bA2}}$	$31,8 \pm 0,6$ ^{bA}	29,2 ± 1,0 ^{bB}	31,3 ± 0,2 ^{bA}		
(cru)	IRGA 417	$40,5 \pm 0,4$ ^{aA}	$40,4 \pm 0,8$ ^{aA}	$40,1 \pm 0,5$ ^{aA}	$40,7 \pm 0,4$ ^{aA}		
ALD	IAC 202	51,4 ± 1,0 ^{aC}	$62,6 \pm 0,8$ ^{aA}	$59,4 \pm 0,9$ ^{aB}	60,6 ± 0,9 ^{aB}		
(cru)	IRGA 417	52,1 ± 0,8 ^{aB}	$47,4 \pm 1,0$ ^{bC}	51,6 \pm 0,9 ^{bB}	55,0 \pm 0,8 ^{bA}		
AR	IAC 202	16,5 ± 1,0 ^{aA}	$4,7 \pm 0,8$ ^{bD}	$10,5 \pm 0,4$ ^{aB}	7,2 ± 1,0 ^{aC}		
(cru)	IRGA 417	$6,1 \pm 0,3$ ^{bB}	$10,8 \pm 0,6$ ^{aA}	$7,0 \pm 0,6$ ^{bB}	$3,0 \pm 0,4 \ ^{bC}$		
ARD	IAC 202	87,6 ± 1,2 ^{aB}	$83,0 \pm 0,6$ ^{bC}	76,6 \pm 0,8 ^{bD}	95,2 ± 0,8 ^{aA}		
(cozido)	IRGA 417	88,7 ± 1,1 ^{aB}	92,6 ± 1,1 ^{aA}	88,6 ± 1,6 ^{aB}	92,6 \pm 0,4 ^{bA}		
ALD	IAC 202	$7,8 \pm 0,7^{aB}$	15,1 ± 1,4 ^{aA}	15,5 ± 0,5 ^{aA}	$2,6 \pm 0,6^{aC}$		
(cozido)	IRGA 417	$6,5 \pm 1,0$ ^{aA}	$5,1 \pm 0,7 ^{\text{bAB}}$	$4,5 \pm 0,5$ ^{bB}	$2,2 \pm 0,3^{aC}$		
AR (cozido)	IAC 202	$3,8 \pm 0,7$ ^{aB}	$1,1 \pm 0,4 \ ^{aC}$	$7,0 \pm 0,8$ ^{aA}	$1,4 \pm 0,4 \ ^{bC}$		
	IRGA 417	$3,4 \pm 0,7$ ^{aB}	$1,0 \pm 0,7 \ ^{aC}$	$5,7 \pm 0,5$ ^{bA}	$3,9 \pm 0,4 \ ^{aB}$		
FAT	IAC 202	$0,6 \pm 0,2^{aAB}$	$0,3 \pm 0,1$ ^{bB}	$0,4 \pm 0,3^{aB}$	$1,0 \pm 0,2^{aA}$		
	IRGA 417	$0,7 \pm 0,2^{aA}$	$0,7 \pm 0,2$ ^{aA}	$0,5 \pm 0,1$ ^{aA}	$0,6 \pm 0,2$ ^{bA}		

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado para cada estado da amostra (cru ou cozido) e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).
ARD = amido rapidamente digerível; ALD = amido lentamente digerível; AR = amido resistente; FAT = fibra alimentar total.

A clivagem das ligações glicosídicas aumenta a acessibilidade das enzimas digestivas, diminuindo o teor de AR. Entretanto, as cadeias menores geradas pela quebra das moléculas têm maior mobilidade para se alinharem à matriz empacotada do amido, que é menos acessível às enzimas e, portanto, aumenta o teor de AR (YOON et al., 2010).

Pesquisas com aplicação de radiação gama até 50 kGy em amido de milho (polimorfo tipo A), batata (polimorfo tipo B) e feijão (polimorfo tipo C), permitiu concluir que a irradiação aumenta o teor de AR, independentemente do tipo de polimorfo (CHUNG; LIU, 2009; 2010). O amido de arroz (polimorfo tipo A), do presente estudo não apresentou este comportamento, ou seja, não houve aumento de AR com o incremento das doses.

A gelatinização do amido promoveu aumento do ARD, com redução do ALD e AR. Isso ocorre porque quando o amido é gelatinizado ocorre perda da estrutura granular com lixiviação da amilose do grânulo, portanto, há mais moléculas de amido prontamente disponível para as enzimas, tornando-o mais suscetível.

Para a cv. IAC 202, houve redução no ARD e AR com aumento no ALD em 1 kGy; redução de ARD com aumento de ALD e AR em 2 kGy; e aumento de ARD com redução de ALD e AR em 5 kGy. Já para a cv. IRGA 417, houve aumento de ARD com redução de AR em 1 kGy; redução de ALD com aumento de AR em 2 kGy; e aumento de ARD com redução de ALD em 5 kGy.

A degradação da amilose e amilopectina causada pela irradiação, com a consequente redução na cristalinidade e estrutura ordenada dos grânulos, aumenta a digestibilidade do amido. No entanto, a formação de grupos carboxilas e ligações cruzadas inibem o ataque enzimático, reduzindo a digestibilidade do amido (CHUNG; LIU, 2009). Dessa forma, a combinação desses fatores, possibilita o aumento ou a redução da digestibilidade conforme o fator que predomina mais.

O teor de fibra alimentar total não se alterou com a irradiação para o arroz cv. IRGA 417 e foi ligeiramente menor nas doses 1 e 2 kGy para a cv. IAC 202. O teor de fibra não apresentou relação com o teor de amido resistente, o que indica que as estruturas resistentes à digestão fisiológica (37 °C) não são resistenes à digestão em temperaturas elevadas da determinação de fibras (97 °C).

3.4 Conclusões

A irradiação afetou grande parte das propriedades, não apresentando efeito na morfologia dos grânulos e padrão de raios-X. A irradiação alterou de modo uniforme o tamanho dos grânulos, teor de amilose, teor de carboxilas e acidez do amido de ambas cultivares. A radiação gama induziu à degradação das moléculas de amilose e de amilopectina, mas também gerou ligações cruzadas, o que levou os amidos das diferentes cultivares a apresentarem comportamentos distintos para a digestibilidade *in vitro* e para a cristalinidade ao longo das doses aplicadas. Para a cv. IAC 202 ocorreu redução do número das cadeias longas e aumento das cadeias curtas da amilopectina, enquanto para a cv. IRGA 417 ocorreu aumento das cadeias longas e redução das cadeias curtas, promovendo aumento na temperatura de gelatinização.

Referências

ABU, J. O.; DUODU, K. G.; MINNAAR, A. Effect of gamma-irradiation on some physicochemical and thermal properties of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) starch. **Food Chemistry**, Barking, v. 95, n. 3, p. 386-393, 2006.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. Official methods of analysis. 18. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2005.

BAO, J. S.; AO, Z. H.; JANE, J. Characterization of physical properties of flour and starch obtained from gamma-irradiated white rice. **Starch-Starke**, Weinheim, v. 57, n. 10, p. 480-487, 2005.

BHAT, R.; KARIM, A. A. Impact of radiation processing on starch. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Hoboken, v. 8, n. 2, p. 44-58, 2009.

CHATTOPADHYAY, S.; SINGHAL, R. S.; KULKARNI, P. R. Optimisation of conditions of synthesis of oxidised starch from corn and amaranth for use in film-forming applications. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 34, n. 4, p. 203-212, 1997.

CHAVEZ-MURILLO, C. E. et al. Starch of diverse Mexican rice cultivars: physicochemical, structural, and nutritional features. **Starch-Starke**, Weinheim, v. 64, n. 9, p. 745-756, 2012.

CHUNG, H. J. et al. Relationship between the structure, physicochemical properties and in vitro digestibility of rice starches with different amylose contents. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v. 25, n. 5, p. 968-975, 2011.

CHUNG, H. J.; LIU, Q. Effect of gamma irradiation on molecular structure and physicochemical properties of corn starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 74, n. 5, p. C353-C361, 2009.

_____. Molecular structure and physicochemical properties of potato and bean starches as affected by gamma-irradiation. **International Journal of Biological Macromolecules**, Oxford, v. 47, n. 2, p. 214-222, 2010.

COOKE, D.; GIDLEY, M. J. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinisation: origin of the enthalpic transition. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 227, p. 103-112, 1992.

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 28, n. 3, p. 350-354, 1956.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, Basingstoke, v. 46, p. S33-S50, 1992.

ENGLYST, K. N.; LIU, S.; ENGLYST, H. N. Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates. **European Journal of Clinical Nutrition**, Basingstoke, v. 61, p. S19-S39, 2007.

FALADE, K. O.; IGHRAVWE, E.; IKOYO, S. S. Physico-chemical characteristics of non-irradiated and gamma-irradiated yams cultivars (*Dioscorea rotundata, Dioscorea alata*) and sweet potato (*Ipomoea batatas* (L) Lam). **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 46, n. 6, p. 1186-1193, 2011.

FAO. **FAOSTAT**. Database. Rome, 2011. Disponível em: http://faostat.fao.org. Acesso em: 03 fev. 2014.

GANI, A. et al. Characterization of rice starches extracted from Indian cultivars. **Food Science and Technology International**, London, v. 19, n. 2, p. 143-152, 2013.

GANI, A. et al. Modification of bean starch by gamma-irradiation: Effect on functional and morphological properties. **Lwt-Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 49, n. 1, p. 162-169, 2012.

GIBSON, T. S.; SOLAH, V. A.; MCCLEARY, B. V. A procedure to measure amylose in cereal starches and flours with concanavalin A. **Journal of Cereal Science**, London, v. 25, n. 2, p. 111-119, 1997.

HENRY, F.; COSTA, L. C.; AYMES-CHODUR, C. Influence of ionizing radiation on physical properties of native and chemically modified starches. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 79, n. 1, p. 75-82, 2010.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo, 2008. 1020 p.

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

JULIANO, B. O. A simplified assay for milled-rice amylose. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v. 16, n. 10, p. 334-340, 1971.

KANG, I. J. et al. Production of modified starches by gamma irradiation. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 54, n. 4, p. 425-430, 1999.

KONG, X. L. et al. Effect of gamma irradiation on the thermal and rheological properties of grain amaranth starch. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 78, n. 11, p. 954-960, 2009.

LAWAL, O. S. et al. Rheology and functional properties of starches isolated from five improved rice varieties from West Africa. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v. 25, n. 7, p. 1785-1792, 2011.

LEE, Y.-J. et al. Physicochemical properties of gamma-irradiated corn starch. **Journal of Food Science and Nutrition**, Busan, v. 11, n. 2, p. 146-154, 2006.

LIU, T. Y. et al. Modifications of structure and physicochemical properties of maize starch by gamma-irradiation treatments. **Lwt-Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 46, n. 1, p. 156-163, 2012.

NARA, S.; KOMIYA, T. Studies on the relationship between water saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 35, p. 407-410, 1983.

PATINDOL, J. et al. Properties of flours and starches as affected by rough rice drying regime. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 80, p. 30-34, 2003.

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**, London, v. 84, n. 4, p. 350-356, 2004.

SINGH, N. et al. Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v. 20, n. 4, p. 532-542, 2006.

SINGH, S. et al. Effects of gamma-irradiation on the morphological, structural, thermal and rheological properties of potato starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 83, n. 4, p. 1521-1528, 2011.

SODHI, N. S.; SINGH, N. Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivar's grown in India. **Food Chemistry**, Barking, v. 80, n. 1, p. 99-108, 2003.

SONG, Y.; JANE, J. Characterization of barley starches of waxy, normal and high amylose varieties. **Carbohaydrates Polymers**, Amsterdam, v. 41, p. 365-377, 2000.

WANG, J.; YU, Y. Effect of gamma-ray irradiation on the physicochemical properties of flour and starch granule structure for wheat. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 44, n. 4, p. 674-680, 2009.
WANG, L. et al. Study on the granular characteristics of starches separated from Chinese rice cultivars. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 87, n. 2, p. 1038-1044, 2012.

WANI, A. A. et al. Physico-chemical, thermal and rheological properties of starches isolated from newly released rice cultivars grown in Indian temperate climates. Lwt-Food Science and Technology, Amsterrdam, v. 53, n. 1, p. 176-183, 2013.

WILCOX, D. et al. **Image tool for Windows, version 3.0**. San Antonio: The University of Texas, Health Science Center, 2002.

WONG, K. S.; JANE, J. Effects of pushing agents on the separation and detection of debranched amylopectin by high-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometrico detection. **Journal of Liquid Chromatography**, New York, v. 18, n. 1, p. 63-80, 1995.

WOOTTON, M.; DJOJONEGORO, H.; DRISCOLL, R. the effect of gamma-irradiation on the quality of Australian rice. **Journal of Cereal Science**, London, v. 7, n. 3, p. 309-315, 1988.

YOON, H. S. et al. *In vitro* digestibility of gamma-irradiated corn starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 81, n. 4, p. 961-963, 2010.

YU, Y.; WANG, J. Effect of gamma-ray irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of rice. **Food Research International**, Essex, v. 40, n. 2, p. 297-303, 2007.

YUN, S. H.; MATHESON, N. K. Estimation of amylose content of starches after precipitation of amylopectin by concanavalin-A. **Starch-Starke**, Weinheim, v. 42, n. 8, p. 302-305, 1990.

ZHANG, G. Y.; HAMAKER, B. R. Slowly Digestible starch: concept, mechanism, and proposed extended glycemic index. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 49, n. 10, p. 852-867, 2009.

ZHOU, Z. et al. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 37, n. 8, p. 849-868, 2002.

4 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DE AMIDO DE ARROZ SUBMETIDO À IRRADIAÇÃO

Resumo

O objetivo deste trabalho foi investigar o efeito da radiação gama nas propriedades funcionais do amido isolado do arroz das cultivares comerciais IAC 202 e IRGA 417. As amostras foram irradiadas por ⁶⁰Co nas doses 1, 2 e 5 kGy, sob taxa de 0,4 kGy/h. Um controle sem irradiação foi utilizado para comparação. O incremento das doses promoveu leve aumento no parâmetro b* (cor amarela), aumento na capacidade de absorver água e na solubilidade em água, bem como na amilose lixiviada dos grânulos para ambas as cultivares. As propriedades de pasta revelaram queda proporcional à dose aplicada, ocasionada pela degradação das moléculas do amido. A firmeza do gel de amido para a cv. IAC 202 foi inversamente proporcional às doses de radiação aplicadas, já para a cv. IRGA 417 houve redução na dose 5 kGy. O amido de arroz cv. IAC 202 irradiado mostrou-se bom ingrediente para aplicações cuja exigência seja menor viscosidade de pasta e maior firmeza do gel, com baixa ocorrência de sinérese, já o amido de arroz cv. IRGA 417 irradiado pode ser utilizado em aplicações que necessitem de menor viscosidade a quente e igual ou menor firmeza a frio.

Palavras-chave: *Oryza sativa*. Radiação gama. ⁶⁰Co. Viscosidade. Textura. Expansão. Cor.

Abstract

The objective of this work was to investigate the effect of gamma radiation on the functional properties of starch isolated from rice commercial cultivars IAC 202 and IRGA 417. Samples were irradiated with ⁶⁰Co in doses 1, 2 and 5 kGy, on a rate of 0.4 kGy/h. A control no irradiation was used for comparison. Increasing doses promoted a slight rise in the parameter b* (yellow color), elevation in capacity to absorb water and solubility in water as well as the amylose leached from granules for both cultivars. Pasting properties showed decrease proportional to the dose applied, caused by degradation of starch molecules. Gel firmness of starch from cv. IAC 202 was inversely proportional to the radiation dose applied, for cv. IRGA 417 there was a reduction in 5 kGy dose. Irradiated starch of rice cv. IAC 202 showed good ingredient for applications whose requirement is lower paste viscosity and higher gel firmness, with low occurrence of syneresis, for irradiated starch from rice cv. IRGA 417 can be used in applications requiring lower hot viscosity and equal to or less cold firmness.

Keywords: Oryza sativa. Gamma radiation. ⁶⁰Co. Viscosity. Texture. Swelling. Color.

4.1 Introdução

O arroz é um alimento consumido por diversos países e representa a base da dieta para mais da metade da população mundial (BEINNER et al., 2010). O Brasil é o maior produtor de arroz do ocidente, com aproximadamente 11,5 milhões de toneladas (FAO, 2011), onde o consumo é, principalmente, na forma de grãos inteiros, descascados e polidos. No beneficiamento do arroz ocorrem quebras dos grãos que podem chegar a 14%, um subproduto com baixo valor comercial que pode ser utilizado para extração de amido como alternativa para agregar valor, transformando essa matéria-prima em um produto com maior interesse industrial e comercial (ZAVAREZE et al., 2009).

O amido é utilizado para conferir textura, consistência nos alimentos, mas os amidos nativos podem apresentar limitações como baixa resistência ao cisalhamento, alta tendência à retrogradação e sinérese, fazendo com que a indústria busque por amidos modificados (LIU et al., 2012). Deste modo, amidos de diversas fontes botânicas são modificados visando obter propriedades funcionais desejáveis para as indústrias. Os amidos modificados podem ser obtidos por via química, enzimática ou física. Dentre estas, a modificação via química traz preocupação acerca da segurança alimentar e as vias físicas e enzimáticas são consideradas mais seguras (BHAT; KARIM, 2009).

A radiação gama é um método de modificação física de amido (BAO; AO; JANE, 2005), com vantagens como baixo custo, além de não elevar significativamente a temperatura do produto, requerer mínimo preparo da amostra, ser rápida e não depender de catalisador (BHAT; KARIM, 2009; GANI et al., 2012).

A radiação ionizante gera radicais livres que são capazes de induzir fragmentação e modificações moleculares do amido. Durante o tratamento de irradiação, as ligações glicosídicas são quebradas, promovendo a decomposição da amilose e amilopectina em moléculas de menor massa molecular. Além disso, a radiação gama pode gerar ligações cruzadas pela recombinação de radicais livres, sendo que taxas de dose de aplicação menores são mais favoráveis à formação de ligações cruzadas entre as cadeias do amido, pois o tempo de exposição do produto aos raios gama para uma mesma dose é maior (BHAT; KARIM, 2009; CHUNG; LIU, 2009). Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi investigar o efeito da radiação gama nas propriedades funcionais do amido isolado do arroz de duas cultivares.

4.2 Material e métodos

Grãos de arroz polido classe longo fino de duas cultivares comerciais foram utilizadas para a extração do amido, a IAC 202, adquirida junto ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC), e IRGA 417, cedida pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA).

4.2.1 Isolamento do amido

O isolamento do amido de arroz foi realizado de acordo com o método alcalino de Patindol et al. (2003) modificado, como descrito no item 3.2.1 do capítulo 3.

4.2.2 Irradiação do amido

As amostras do amido isolado de arroz de ambas cultivares foram submetidos à irradiação como descrito no item 3.2.2 do capítulo 3.

4.2.3 Cor instrumental

As avaliações da cor foram realizadas nas amostras de amido colocadas em uma placa de Petri (Ø 100 mm) até formarem camada de 10 mm de espessura utilizando-se colorímetro Minolta, Modelo Chroma Meter CR-400 (Minolta Co., Ltd., Osaka, Japão), segundo o sistema CIELAB (KONICA MINOLTA, 2007).

4.2.4 Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA)

O IAA e o ISA foram determinados de acordo com Anderson et al. (1969), adaptado por Polesi e Sarmento (2011).

4.2.5 Sinérese

O amido em suspensão em água destilada (5% p/p) foi aquecido em banho de água fervente durante 15 minutos com agitação constante. A pasta foi transferida para tubo de centrífuga de 15 mL tarado e o tubo armazenado a 4°C durante 7 dias. A sinérese foi calculada como a porcentagem de água liberada após centrifugação a 3000g por 10 minutos.

4.2.6 Fator de expansão e amilose lixiviada

O fator de expansão foi determinado segundo a metodologia descrita por Tester e Morrison (1990) e a porcentagem de amilose lixiviada foi determinada segundo Chung et al. (2008), ambas nas temperaturas de 55, 65, 75, 85 e 95°C.

4.2.7 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta foram realizadas nas amostras de amido de arroz utilizando-se o Rapid Visco Analyser (RVA-S4A, Newport Scientific, Warriewood, NSW, Austrália). Uma suspensão de 3 g de amido (14% de umidade) em 25 g de água destilada foi mantida a 50°C por 1 min, aquecida de 50 a 95°C a 6°C/min, mantida a 95°C por 5 min, resfriada até 50°C a 6°C/min e mantida a 50°C por 2 min. As amostras também foram analisadas em suspensão com o pH ajustado em 7. Para tal, a amostra foi pesada e adicionada de água destilada até completar 27 g (3 g amostra + 24 g água), o pH foi ajustado para 7,0 (NaOH 0,01 M) e água destilada foi adicionada até completar 28 g, seguindo os mesmos parâmetros da análise apenas com água destilada.

4.2.8 Firmeza do gel

A firmeza do gel de amido foi analisada por texturômetro (TA.XT Plus Texture Analyzer, Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, Reino Unido) nas amostras que foram analisadas pelo RVA. O recipiente que saiu do RVA contendo a pasta de amido foi coberto com filme elástico selador PARAFILM® M e mantido a 4°C por 24 h. O gel foi comprimido com o *probe* cilíndrico P0.5R (Ø 12 mm), a uma distância de 10 mm, velocidade de pré-teste de 1,5 mm/s, de teste 1,0 mm/s e de pós-teste 1,0 mm/s.

4.2.9 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, no fatorial 2 x 4, com 2 cultivares de arroz, 4 doses de radiação gama e 3 repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao Teste de Tukey (p<0,05) para comparação de médias utilizando-se o sistema estatístico ASISTAT versão 7.6 beta.

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Cor instrumental, IAA, ISA e sinérese

O efeito da radiação gama na luminosidade (Tabela 4.1) do amido das cultivares estudadas ocorreu de modo diferenciado. A cv. IAC 202 não sofreu o impacto das doses de radiação, enquanto a cv. IRGA 417 apresentou leve clareamento com as mesmas, considerando que as amostras originais já estavam bem brancas, com valores próximos ao máximo (100). Valores positivos de b* representam tendência para a cor amarela e, portanto, ambas as cultivares apresentaram aumento de intensidade da cor amarela proporcional à dose de radiação aplicada. Tal amarelecimento foi igualmente constatado por Kang et al. (1999), os quais o atribuíram à reação de caramelização dos monossacarídeos gerados pela clivagem das macromoléculas do amido. Outra reação de escurecimento não enzimático, a reação de Maillard, em decorrência da radiação gama também foi considerada por outros pesquisadores, como Falade e Kolawole (2013) e Lee et al. (2007), para os quais a irradiação produz radicais livres e

produtos de radiólise, açúcares redutores e aminoácidos, que podem se condensar e produzir os compostos coloridos.

Tabela 4.1 - Parâmetros de cor instrumental, índices de absorção de água e solubilidade em água e sinérese dos amidos das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

Derêmetre	Cultivor	Dose (kGy)			
Parametro	Cultivar	0	1	2	5
	IAC 202	$99,4 \pm 0,3^{1 \text{ aA2}}$	99,6 \pm 0,2 ^{aA}	99,2 ± 0,2 ^{aA}	99,6 \pm 0,3 ^{aA}
L	IRGA 417	98,7 \pm 0,3 ^{bB}	99,5 \pm 0,5 ^{aA}	99,6 \pm 0,2 ^{aA}	99,4 ± 0,2 ^{aA}
	IAC 202	$6,0 \pm 0,1$ ^{aD}	$6,2 \pm 0,0^{aC}$	$6,4 \pm 0,1^{aB}$	$6,8 \pm 0,1$ ^{aA}
d	IRGA 417	$5,9 \pm 0,0$ ^{bD}	$6,2 \pm 0,0$ ^{aC}	$6,4 \pm 0,1^{aB}$	$6,9 \pm 0,1$ ^{aA}
IAA	IAC 202	$2,08 \pm 0,01$ ^{bB}	$2,10 \pm 0,02$ ^{aB}	$2,10 \pm 0,02$ ^{bB}	$2,17 \pm 0,01$ ^{aA}
(g/g)	IRGA 417	2,11 ± 0,02 ^{aB}	$2,12 \pm 0,01$ ^{aAB}	$2,15 \pm 0,01$ ^{aA}	$2,15 \pm 0,01$ ^{aA}
ISA (%)	IAC 202	0,05 ± 0,01 ^{aD}	$0,11 \pm 0,01$ ^{aC}	$0,15 \pm 0,01$ ^{aB}	$0,27 \pm 0,01$ ^{aA}
	IRGA 417	$0,06 \pm 0,04$ ^{aD}	$0,12 \pm 0,01$ ^{aC}	0,16 ± 0,01 ^{aB}	$0,24 \pm 0,02$ ^{bA}
Sinérese	IAC 202	$0,28 \pm 0,01^{1 \text{ bA2}}$	$0,33 \pm 0,01$ ^{bA}	$0,38 \pm 0,02$ ^{bA}	$0,42 \pm 0,02$ ^{bA}
(%)	IRGA 417	2,38 ± 0,09 ^{aC}	$2,77 \pm 0,21$ ^{aB}	$3,93 \pm 0,12$ ^{aA}	$2,44 \pm 0,06$ ^{aC}

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).</p>

IAA = Índice de absorção de água; ISA = índice de solubilidade em água.

A irradiação elevou o IAA (Tabela 4.1) do amido de arroz de ambas cultivares. Comportamento semelhante foi constatado em estudo com amido de feijão irradiado (ABU; DUODU; MINNAAR, 2006; GANI et al., 2012) e atribuído aos danos que a radiação gama causa nos grânulos de amido. A absorção de água pelos grânulos de amido em temperatura ambiente ocorre devido à difusão e absorção das moléculas de água nas regiões amorfas (BELLO-PÉREZ; MONTEALVO; ACEVEDO, 2006). Como a irradiação causa ruptura tanto das regiões amorfas quanto cristalinas (CHUNG; LIU, 2009), esta pode ser a causa provável do aumento do IAA.

O ISA também aumentou com o incremento das doses de radiação gama, em ambas cultivares (Tabela 4.1). Este mesmo comportamento foi observado em amidos de feijões, batata e milho irradiados (GANI et al., 2012; HENRY; COSTA; AYMES-CHODUR, 2010; LEE et al., 2006; LIU et al., 2012). O aumento da solubilidade em água pode decorrer do aumento na polaridade do amido devido à quebra das ligações glicosídicas e formação de grupos carboxilas, bem como pela redução das ligações de hidrogênio entre as cadeias de amido (HENRY; COSTA; AYMES-CHODUR, 2010; LIU et al., 2012). Portanto, a redução do tamanho das cadeias do amido, observado pela cromatografia (Tabela 3.3 e Figura 3.6) e o aumento no teor de carboxilas (Tabela 3.6) corroboram o aumento na solubilidade do amido irradiado.

A sinérese, água liberada pelo gel de amido armazenado sob refrigeração, apresentou comportamento diferenciado para as cultivares frente à irradiação (Tabela 4.1). A sinérese da cv. IAC 202 foi menor do que da cv. IRGA 417 e não variou com a irradiação, enquanto esta última apresentou aumento inicial (até 2 kGy), com redução na dose 5 kGy.

A sinérese depende da reassociação das moléculas de amido depois da gelatinização, portanto, está diretamente relacionada à retrogradação do gel do amido (KARIM; NORZIAH; SEOW, 2000). O aumento da sinérese para a cv. IRGA 417 pode ser em decorrência da fragmentação molecular (Figura 3.6), que facilitou a reassociação das mesmas, formando um gel mais forte, que expulsou mais água. Na dose 5 kGy, a quebra pode ter sido muito intensa, gerando cadeias muito curtas, que não foram capazes de se reassociarem.

4.3.2 Fator de expansão e amilose lixiviada

O fator de expansão (FE) apresentou variabilidade entre as temperaturas, cultivares e irradiação (Tabela 4.2). A elevação das temperaturas de aquecimento causou aumento da expansão dos grânulos. Isto porque quanto maior a temperatura, maior a quantidade de energia fornecida para que ocorra o rompimento das pontes de hidrogênio e abertura dos grânulos para absorção de água.

A cv. IAC 202 apresentou amido regular com menor capacidade de expansão nas temperaturas menores, entretanto, naquelas mais elevadas esta tendência se inverteu.

T (°C)	Cultivor	Dose (kGy)			
	Cultivar	0	1	2	5
FF	IAC 202	$2,8 \pm 0,2^{1 \text{ bB2}}$	$4,0 \pm 0,4$ ^{bA}	$3,3 \pm 0,5^{aAB}$	$4,4 \pm 0,6$ ^{bA}
55	IRGA 417	$3,8 \pm 0,4$ ^{aC}	$5,7 \pm 0,4 \ ^{aB}$	$4,0 \pm 0,8$ ^{aC}	$7,7 \pm 0,4$ ^{aA}
<u>CE</u>	IAC 202	$4,8 \pm 0,4$ ^{bC}	$6,0 \pm 0,2$ ^{bA}	$5,8 \pm 0,2^{aAB}$	$5,2 \pm 0,5$ bbc
60	IRGA 417	7,6 ± 0,1 aA	$6,0 \pm 0,2^{\text{DA}} \qquad 5,8 \pm 0$ $8,2 \pm 0,1^{\text{aA}} \qquad 6,1 \pm 10.4 \pm 0.1^{\text{aA}} \qquad 10.1 \pm 10.4 \pm 0.1^{\text{aA}} \qquad 10.1 \pm 0.1^{\text{aA}} = 0.1^{\text{A}} = 0.1^{\text{A}} = 0.1^{\text{A}} = 0.1^{\text{A}} = 0.1^{\text{A}} = 0.1^{$	$6,1 \pm 0,2^{aB}$	$7,9 \pm 0,1^{aA}$
75	IAC 202	$10,2 \pm 0,6$ ^{aA}	$10,4 \pm 0,1$ ^{aA}	$10,1 \pm 0,3$ ^{aA}	$7,8 \pm 0,3^{aB}$
75	IRGA 417	$9,2 \pm 0,6$ ^{bA}	$8,2 \pm 0,4$ bab	$7,9 \pm 0,7$ ^{bB}	$7,6 \pm 0,4 \ ^{aB}$
	IAC 202	$10,7 \pm 0,3$ ^{aB}	11,7 ± 0,5 ^{aA}	11,5 \pm 0,1 ^{aA}	$10,8 \pm 0,4$ ^{aB}
60	IRGA 417	10,5 ± 0,1 aA	9,8 ± 0,1 bB	$10,3 \pm 0,2$ ^{bAB}	$8,3 \pm 0,2$ ^{bC}
05	IAC 202	$25,7 \pm 0,5$ ^{aA}	23,8 ± 0,2 ^{aC}	24,9 ± 0,1 ^{aB}	$24,4 \pm 0,1$ ^{bB}
90	IRGA 417	$18,7 \pm 0,1$ ^{bC}	$18,8 \pm 0,3$ ^{bBC}	$19,3 \pm 0,1$ ^{bB}	$24,8 \pm 0,2^{aA}$

Tabela 4.2 - Fator de expansão dos grânulos em suspensão aquosa (2% p/v) dos amidos das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação sob diferentes temperaturas

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada temperatura avaliada e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Houve aumento da expansão do amido de ambas as cultivares sob a menor temperatura (55 °C), para as amostras irradiadas nas doses de 1 e 5 kGy. Possivelmente a quebra das moléculas causaram desestruturação das regiões cristalinas e amorfas, e sob temperaturas abaixo da temperatura de gelatinização, ocorreu maior expansão, pois as energias existentes entre as moléculas foram modificadas pela radiação gama.

Para temperatura de 65 °C, houve aumento no FE para as doses 1 e 2 kGy na cv. IAC 202 e redução na dose 2 kGy na cv. IRGA 417. Nesta temperatura, a cv. IAC 202 nem iniciou o processo de gelatinização, enquanto a cv. IRGA 417, já atingiu a temperatura de pico (Tabela 3.5). Na temperatura de 75 °C houve tendência à redução da expansão com o aumento das doses de radiação em ambas cultivares. Outros estudos observaram redução de expansão dos grânulos com o aumento das doses de radiação gama (ABU; DUODU; MINNAAR, 2006; CHUNG; LIU, 2009; 2010; DARFOUR et al., 2012; GANI et al., 2012). A expansão dos grânulos revela a habilidade que os mesmos apresentam de absorver e reter água

dentro da estrutura. Considerando que a amilopectina é a principal macromolécula responsável pela expansão granular, tem-se que a irradiação pode ter causado rupturas nesta amilopectina, reduzindo a expansão dos mesmos (GANI et al., 2012; TESTER; MORRISON, 1990).

Na temperatura de 85 °C houve aumento no FE dos grânulos nas doses 1 e 2 kGy para cv. IAC 202 e redução nas doses 1 e 5 kGy para a cv. IRGA 417. Na temperatura de 95 °C houve redução da expansão com a irradiação para cv. IAC 202 e aumento para cv. IRGA 417. A redução da expansão dos grânulos de amido está relacionada à degradação da amilopectina pelos raios gama, já o aumento pode ter relação com uma melhor restruturação da mesma pela irradiação. Esta restruturação, segundo Chung e Liu (2009), é causada pelo rearranjo das duplas hélices do amido, pois pode ocorrer um realinhamento molecular das cadeias de amido no interior das regiões amorfas e cristalinas durante longo tempo de irradiação (baixa taxa de dose), com formação de pontes de hidrogênio entre as cadeias.

A amilose lixiviada em função do aquecimento dos grânulos de amido aumentou com a elevação das doses de radiação gama e com o incremento da temperatura para ambas as cultivares (Tabela 4.3). Comportamento semelhante foi constatado em outros estudos para amido de milho (CHUNG; LIU, 2009) e de feijão e batata (CHUNG; LIU, 2010), e atribuído à produção de frações de menor massa molecular e degradação da estrutura do amido. A cromatografia de permeação em gel (Figura 3.6) comprovou a quebra das moléculas, que justifica o aumento na lixiviação da amilose.

T (°C)	Cultivor		Dose (kGy)		
	Cultivar	0	1	2	5
FF	IAC 202	$0,02 \pm 0,01^{1 \text{ bB2}}$	$0,05 \pm 0,02$ ^{bB}	$0,14 \pm 0,05$ ^{bA}	$0,20 \pm 0,03$ ^{bA}
55	IRGA 417	$0,22 \pm 0,02$ ^{aC}	$0,27 \pm 0,03$ ^{aBC}	$0,32 \pm 0,01$ ^{aB}	$0,49 \pm 0,02$ ^{aA}
<u>CE</u>	IAC 202	$1,6 \pm 0,02$ ^{bD}	$2,0 \pm 0,02$ ^{bC}	$2,4 \pm 0,10^{bB}$	$3,4 \pm 0,16$ ^{bA}
60	IRGA 417	$2,1 \pm 0,06$ ^{aD}	$2,7 \pm 0,10^{aC}$	$3,4 \pm 0,07$ ^{aB}	5,1 ± 0,14 ^{aA}
75	IAC 202	$8,0 \pm 0,32$ ^{aD}	9,8 ± 0,29 ^{aC}	11,0 ± 0,09 ^{aB}	13,9 ± 0,02 ^{aA}
75	IRGA 417	$4,1 \pm 0,08$ ^{bD}	$5,1 \pm 0,17 \ ^{bC}$	$6,5 \pm 0,31$ ^{bB}	$9,0 \pm 0,14$ ^{bA}
95	IAC 202	19,9 ± 0,29 ^{aC}	23,2 ± 0,59 ^{aB}	23,8 ± 0,58 ^{aB}	27,5 ± 0,61 ^{aA}
60	IRGA 417	$11,4 \pm 0,45$ ^{bD}	$14,4 \pm 0,18$ ^{bC}	$15,6 \pm 0,45$ ^{bB}	$19,8 \pm 0,03$ ^{bA}
05	IAC 202	33,6 ± 0,22 ^{aC}	36,5 ± 0,55 ^{aB}	36,7 ± 0,78 ^{aB}	$42,3 \pm 0,54$ ^{aA}
90	IRGA 417	24,8 ± 0,15 ^{bD}	$28,0 \pm 0,55$ ^{bC}	29,8 ± 0,26 ^{bB}	33,8 ± 0,79 ^{bA}

Tabela 4.3 - Amilose lixiviada (%) pelo aquecimento em diferentes temperaturas de suspensão aquosa (0,2% p/v) dos amidos das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada temperatura avaliada e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

4.3.3 Propriedades de pasta e firmeza do gel

As propriedades de pasta dos amidos de arroz de ambas as cultivares foram avaliados nas amostras apenas adicionadas de água destilada e também nas amostras adicionadas de água destilada e com o pH corrigido para 7, para verificação da influencia do menor pH causado pela irradiação (Tabela 3.6). Não se constatou diferenças nos perfis do RVA entre as amostras gelatinizadas apenas na presença de água e suas contrapartes que tiveram o pH corrigido antes da avaliação no viscoamilógrafo (Figura 4.1). Isto significa que o menor pH apresentado pelas amostras irradiadas não interferiu nas suas propriedades de pasta.



Figura 4.1 – Perfis viscoamilográficos em RVA das suspensões (9,2%) dos amidos das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação. (—) suspensões amido:água, (—) suspensões amido:água com pH ajustado a 7

A irradiação provocou redução da viscosidade das pastas de amido (Figura 4.1 e Tabela 4.4) em ambas cultivares proporcionalmente às doses. Esta é a propriedade mais frequentemente alterada nas pesquisas com irradiação (ABU; DUODU; MINNAAR, 2006; BAO; AO; JANE, 2005; CHUNG; LIU, 2009; 2010; FALADE; KOLAWOLE, 2013; GANI et al., 2012; WANG; YU, 2009). A redução na viscosidade pode estar relacionada tanto à redução da massa molecular do amido ocasionada pela quebra das macromoléculas do amido quanto à formação de ligações cruzadas entre as mesmas (CHUNG; LIU, 2009). Segundo Falade e Kolawole (2013), a degradação do amido é resultado dos raios de alta energia que são capazes de hidrolisar as ligações químicas, pela clivagem das macromoléculas em fragmentos menores de dextrinas e açúcares, causando redução das propriedades de pasta do amido.

Devêmetre	Cultivor	Dose (kGy)				
Farametro	Cultivar	0	1	2	5	
PV	IAC 202	164 ± 1,3 ^{bA}	150 ± 0,6 ^{bB}	131 ± 1,0 ^{bC}	112 ± 4,1 ^{aD}	
(RVU)	IRGA 417	236 ± 0.5 ^{aA}	177 ± 1,6 ^{aB}	159 ± 3,5 ^{aC}	111 ± 1,5 ^{aD}	
QV	IAC 202	73 ± 1,0 ^{aC}	87 ± 2,8 ^{aA}	83 ± 0.5^{aB}	84 \pm 1,6 ^{aAB}	
(RVU)	IRGA 417	64 ± 1,0 ^{bC}	69 ± 0.5 bB	76 ± 0.9 ^{bA}	67 ± 0.3 ^{bBC}	
VF (RVU)	IAC 202	230 ± 3.6 ^{bA}	158 ± 5,2 ^{bB}	123 ± 1,3 ^{bC}	77 ± 5,7 ^{bD}	
	IRGA 417	418 ± 1,9 ^{aA}	289 ± 2,9 ^{aB}	$233 \pm 2,9$ ^{aC}	127 ± 4,2 ^{aD}	
TR	IAC 202	$140 \pm 3,6$ ^{bA}	95 ± 2.8 bB	$74 \pm 1,4$ ^{bC}	49 ± 3,2 ^{bD}	
(RVU)	IRGA 417	245 ± 0.9^{aA}	180 ± 1,6 ^{aB}	150 ± 1,0 ^{aC}	83 ± 3,2 ^{aD}	
TP	IAC 202	$76,6 \pm 0,2^{1 \text{ bA2}}$	$74,1 \pm 0,4$ ^{bC}	74,6 \pm 0,2 ^{bB}	$72,8 \pm 0,0$ ^{bD}	
(°C)	IRGA 417	$83,3 \pm 0,0$ ^{aC}	84,1 ± 0,0 aB	83,5 \pm 0,2 ^{aC}	$84,9 \pm 0,0$ ^{aA}	
	IAC 202	$184 \pm 3,0^{1 \text{ bD2}}$	194 ± 1,9 ^{bC}	218 ± 1,9 ^{aB}	228 ± 2,8 ^{aA}	
г G (g)	IRGA 417	225 ± 2,3 ^{aA}	229 ± 2,7 ^{aA}	223 ± 2.8 ^{aA}	120 ± 4,8 ^{bB}	

Tabela 4.4 - Propriedades de pasta e firmeza de gel dos amidos das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

PV = pico de viscosidade; QV = quebra de viscosidade; VF = viscosidade final; TR = tendência à retrogradação; TP = temperatura de pasta; FG = firmeza de gel.

A temperatura de pasta foi reduzida com a irradiação do amido de arroz cv. IAC 202 e se elevou nas doses 1 e 5 kGy no amido cv. IRGA 417. A TP é a temperatura em que ocorre aumento perceptível de viscosidade e, geralmente, é maior que a temperatura de gelatinização (FALADE; KOLAWOLE, 2013), pois está relacionada à expansão dos grânulos de amido que ocorre após a ruptura da região cristalina. As TP das amostras foram maiores que as temperaturas de pico de gelatinização avaliadas por DSC (Tabela 3.5). Chung e Liu (2010) observaram redução na TP com a irradiação de amido de feijão e batata e atribuíram esta redução à degradação da estrutura molecular, que pode causar expansão dos grânulos em temperaturas menores. Já o aumento na TP pode estar relacionado à reestruturação do grânulo, com maior energia para gelatinização, como pode ser observado nas propriedades térmicas do capítulo anterior (Tabela 3.5).

A pasta de amido obtida pelo RVA, foi armazenada sob refrigeração por 24 horas e os géis resultantes foram analisados em texturômetro quanto à firmeza (Tabela 4.4). Para a cv. IAC 202, a firmeza foi inversamente proporcional às doses de radiação aplicadas, já para a cv. IRGA 417, houve redução na dose 5 kGy. A firmeza do gel é causada principalmente pela retrogradação que depende de fatores como o comprimento das cadeias de amilose, entrelaçamento e taxa de agregação das cadeias de amilose que conferem elasticidade aos géis retrogradados (OLADEBEYE et al., 2013; SINGH et al., 2011). As propriedades de textura do gel também estão relacionadas à amilose lixiviada do grânulo durante a gelatinização (JIANG et al., 2011). A FG pode ter sido aumentada na cv. IAC 202 pela quebra das moléculas terem favorecido a lixiviação do grânulo e a associação em estrutura ordenada das cadeias por terem tamanho mais favorável ao pareamento. A redução na dose de 5 kGy na cv. IRGA 417 pode ser em decorrência de quebra excessiva das moléculas de amilose que não participaram da retrogradação, ou então, pelas ligações cruzadas formadas durante a irradiação, que impediram ou dificultaram a associação das moléculas sob refrigeração.

4.4 Conclusões

A irradiação promoveu amarelecimento do amido de ambas as cultivares de arroz, além do aumento da capacidade de reter água, da solubilidade em água e da lixiviação de amilose dos grânulos. A viscosidade das pastas de amido foi reduzida proporcionalmente às doses de radiação aplicadas. O amido de arroz cv. IAC 202 irradiado pode ser utilizado em alimentos cuja exigência seja menor viscosidade de pasta e maior firmeza do gel, já o amido de arroz cv. IRGA 417 irradiado pode ser utilizado em alimentos cuja menor viscosidade a quente e igual ou menor firmeza do gel a frio.

Referências

ABU, J. O.; DUODU, K. G.; MINNAAR, A. Effect of gamma-irradiation on some physicochemical and thermal properties of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) starch. **Food Chemistry**, Barking, v. 95, n. 3, p. 386-393, 2006.

ANDERSON, R. A. et al. Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 4-7, 1969.

BAO, J. S.; AO, Z. H.; JANE, J. Characterization of physical properties of flour and starch obtained from gamma-irradiated white rice. **Starch-Starke**, Weinheim, v. 57, n. 10, p. 480-487, 2005.

BEINNER, M. A. et al. Sensory evaluation of rice fortified with iron. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 2, p. 516-519, 2010.

BELLO-PÉREZ, L. A.; MONTEALVO, M. G. M.; ACEVEDO, E. A. Almidón: definición, estructura y propriedades. In: LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. (Ed.). **Carbohidratos em alimentos regionales iberoamericano**. São Paulo: EDUSP, 2006. cap. 1, p. 17-46.

BHAT, R.; KARIM, A. A. Impact of radiation processing on starch. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Hoboken, v. 8, n. 2, p. 44-58, 2009.

CHUNG, H. J.; LIU, Q. Effect of gamma irradiation on molecular structure and physicochemical properties of corn starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 74, n. 5, p. C353-C361, 2009.

CHUNG, H. J. et al. *In vitro* starch digestibility, expected glycemic index, and thermal and pasting properties of flours from pea, lentil and chickpea cultivars. **Food Chemistry**, Barking, v. 111, n. 2, p. 316-321, 2008.

DARFOUR, B. et al. Physical, proximate, functional and pasting properties of flour produced from gamma irradiated cowpea (*Vigna unguiculata*, L. Walp). **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 81, n. 4, p. 450-457, 2012.

FALADE, K. O.; KOLAWOLE, T. A. Effect of γ-irradiation on colour, functional and physicochemical properties of pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L) R. Br.] cultivars. **Food and Bioprocess Technology**, Heidelberg, v. 6, n. 9, p. 2429-2438, 2013.

FAO. **FAOSTAT** Database. Rome, 2011. Disponível em: http://faostat.fao.org. Acesso em: 04 mar. 2014.

GANI, A. et al. Modification of bean starch by gamma-irradiation: Effect on functional and morphological properties. **Lwt-Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 49, n. 1, p. 162-169, 2012.

HENRY, F.; COSTA, L. C.; AYMES-CHODUR, C. Influence of ionizing radiation on physical properties of native and chemically modified starches. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 79, n. 1, p. 75-82, 2010.

JIANG, Q. Q. et al. Physico-chemical properties of rice starch gels: Effect of different heat treatments. **Journal of Food Engineering**, London, v. 107, n. 3-4, p. 353-357, 2011.

KANG, I. J. et al. Production of modified starches by gamma irradiation. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 54, n. 4, p. 425-430, 1999.

KARIM, A.; NORZIAH, M. H.; SEOW, C. C. Methods for the study of starch retrogradation. **Food Chemistry**, Barking, v. 71, n. 1, p. 9-36, 2000.

KONICA MINOLTA. **Precise color communication**: color control from perception to instrumentation. Ramsey, 2007. 59 p.

LEE, J. W. et al. The effect of irradiation temperature on the non-enzymatic browning reaction in cooked rice. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 76, n. 5, p. 886-892, 2007.

LEE, Y.-J. et al. Physicochemical properties of gamma-irradiated corn starch. **Journal of Food Science and Nutrition**, Busan, v. 11, n. 2, p. 146-154, 2006.

LIU, T. Y. et al. Modifications of structure and physicochemical properties of maize starch by gamma-irradiation treatments. **Lwt-Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 46, n. 1, p. 156-163, 2012.

OLADEBEYE, A. O. et al. Functional, thermal and molecular behaviours of ozoneoxidised cocoyam and yam starches. **Food Chemistry**, Barking, v. 141, n. 2, p. 1416-1423, 2013.

POLESI, L. F.; SARMENTO, S. B. S. Structural and physicochemical characterization of RS prepared using hydrolysis and heat treatments of chickpea starch. **Starch-Starke**, Weinheim, v. 63, n. 4, p. 226-235, 2011.

SINGH, H. et al. Influence of prior acid treatment on physicochemical and structural properties of acetylated sorghum starch. **Starch-Starke**, Weinheim, v. 63, n. 5, p. 291-301, 2011.

TESTER, R. F.; MORRISON, W. R. Swelling and gelatinization of cereal starches .1. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 67, n. 6, p. 551-557, 1990.

WANG, J.; YU, Y. Effect of gamma-ray irradiation on the physicochemical properties of flour and starch granule structure for wheat. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 44, n. 4, p. 674-680, 2009.

ZAVAREZE, E. R. et al. Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose. In: SIMPÓSIO DE SEGURANÇA ALIMENTAR, 2., 2008, Bento Gonçalves. **Debatendo qualidade; trabalhos...** Bento Gonçalves: SBCTA, 2009. p. 24-30.

5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, DE COCÇÃO E DIGESTIBILIDADE DE GRÃOS DE ARROZ SUBMETIDOS À IRRADIAÇÃO

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da radiação gama nas propriedades físico-químicas, características de cocção e digestibilidade do amido do arroz das cultivares IAC 202 e IRGA 417. As amostras foram irradiadas por ⁶⁰Co nas doses 1, 2 e 5 kGy, sob taxa de 0,4 kGy/h. Um controle sem irradiação foi utilizado para comparação. As cultivares apresentaram diferentes teores de amilose aparente, a IAC 202 com 26,4%, classificada como teor intermediário, e a IRGA 417 com 27,8%, classificada como alto teor de a amilose. A maior dose (5 kGy) de radiação reduziu o o teor desta macromolécula em 3,4 e 5,8%, o pico de viscosidade em 71 e 73%, a absorção de água em 27 e 16%, e o volume de expansão em 17 e 15%, para as cv. IAC 202 e IRGA 417, respectivamente. A irradiação aumentou a perda de sólidos em 119 e 187% nas cv. IAC 202 e IRGA 417, respectivamente, quando comparado o controle com a maior dose. A irradiação alterou de forma diferente a digestibilidade do amido do arroz cozido de ambas as cultivares. Para a IAC 202, a irradiação reduziu o amido rapidamente digerível (ARD) com aumento de amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR). A cv. IRGA 417 apresentou aumento de ALD e redução na quantidade de AR com este processo. A dose de 1 kGy de radiação gama gerou o maior teor de AR para ambas cultivares e apresentou as menores alterações nas propriedades físico-químicas e de cocção.

Palavras-chave: Oryza sativa. Radiação gama. ⁶⁰Co. Amilose. Amido resistente.

Abstract

The objective of this work was to evaluate the effect of gamma radiation on the physicochemical properties, cooking characteristics and starch digestibility of rice from commercial cultivars IAC 202 and IRGA 417. Samples were irradiated with ⁶⁰Co in doses 1, 2 and 5 kGy, on a rate of 0.4 kGy/h. A control no irradiation was used for comparison. The cultivars showed different apparent amylose contents, IAC 202 with 26.4%, classified as intermediate content, and IRGA 417 with 27.8%, classified as high amylose content. The highest radiation dose (5 kGy) decreased the content of this macromolecule by 3.4 and 5.8%, the peak viscosity by 71 and 73%, the water absorption by 27 and 16%, and the volume expansion by 17 and 15% for cv. IAC 202 and IRGA 417, respectively. Irradiation increased the solid loss by 119 and 187% for cv. IAC 202 and IRGA 417, respectively, when comparing the control with the higher dose. Irradiation distinctly altered the starch digestibility of cooked rice of both cultivars. For IAC 202, irradiation decreased rapidly digestible starch (RDS) and raised slowly digestible (SDS) and resistant starch (RS). The cv. IRGA 417 showed an elevation of SDS and a reduction in the amount of RS with this process. The 1 kGy dose of gamma radiation generated the highest content of RS for both cultivars and presented the smallest changes in the physicochemical and cooking properties.

Keywords: *Oryza sativa*. Gamma radiation; ⁶⁰Co. Amylose. Resistant starch.

5.1 Introdução

O arroz é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial. Este cereal constitui importante fonte de energia na alimentação humana, devido à alta concentração de amido, além de fornecer proteínas, vitaminas e minerais, especialmente quando consumido integral (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

O amido é um polissacarídeo composto por duas macromoléculas, a amilose e a amilopectina. A amilose, essencialmente linear, é formada por unidades de glicose ligadas em α -1,4, enquanto que a amilopectina é ramificada e formada por unidades de glicose unidas em α -1,4 e α -1,6 (BELLO-PÉREZ; MONTEALVO; ACEVEDO, 2006). Este polissacarídeo pode ser classificado, de acordo com o tempo de digestão in vitro, em amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR). O ARD é convertido em glicose em até 20 minutos, o ALD é convertido em glicose entre 20 e 120 minutos e o AR é a fração que resiste à ação das enzimas digestivas após 120 minutos (ENGLYST; KINGMAN; CUMMINGS, 1992). Enquanto o ARD é a fração do amido que causa abrupto aumento no nível de glicose do sangue após a ingestão, o ALD é a fração que é digerida completamente no intestino delgado, promovendo baixa taxa de elevação de glicose sanguínea comparativamente ao ARD, e o AR é a fração que não é digerida no intestino delgado pela ação das enzimas digestivas, mas é fermentada no intestino grosso pela ação da microflora intestinal (CHUNG; LIU, 2009).

Os benefícios à saúde potenciais do ALD estão associados ao metabolismo estável da glicose, controle do diabetes, desempenho mental e saciedade (LEHMANN; ROBIN, 2007). Os benefícios do AR na saúde estão relacionados com a prevenção do câncer de cólon, prevenção do efeito hiperglicêmico, substrato para o crescimento de microrganismos probióticos, redução da formação de cálculo biliar, efeito hipocolesterolêmico, inibição do acúmulo de gorduras e aumento da absorção de minerais (SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006).

Em alimentos, a irradiação tem sido utilizada principalmente para controlar infestação de insetos, reduzir carga microbiana, reduzir perda de qualidade no armazenamento e garantir a qualidade sanitária. Trata-se de técnica mais higiênica

e prática porque os alimentos podem ser irradiados na própria embalagem devido ao alto poder de penetração dos raios gama (BAO; AO; JANE, 2005; ZULETA et al., 2006), além da vantagem de evitar a possibilidade de reinfestação do alimento nesta etapa de embalagem.

A radiação gama modifica o amido presente nos alimentos, pois gera radicais livres capazes de induzir alterações moleculares e fragmentação das macromoléculas do amido. O processo de irradiação também leva à formação de ligações cruzadas, ligações β e grupos carboxilas, além de modificações estruturais, que podem levar a redução na digestibilidade do amido (BHAT; KARIM, 2009; CHUNG; LIU, 2009). Outros autores, entretanto, observaram aumento na digestibilidade do amido, atribuindo este fato à perda da estrutura granular e fragmentação molecular do amido, que facilitam o acesso às enzimas amilolíticas (BHAT; KARIM, 2009; YOON et al., 2010). Assim, novos estudos são necessários para melhor esclarecer os efeitos da irradiação na digestibilidade do amido presente nos alimentos.

O amido é o maior responsável pelas propriedades de cocção do arroz (SIRISOONTARALAK; NOOMHORM, 2006; WOOTTON; DJOJONEGORO; DRISCOLL, 1988), portanto, se a irradiação modifica o amido, estas propriedades também serão afetadas, além da digestibilidade. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da radiação gama nas características físico-químicas, de cocção e digestibilidade de grãos de arroz.

5.2 Material e métodos

Foram utilizadas as cultivares de arroz IAC 202 (contendo 9,7% de umidade; 6,6% de proteínas; 0,2% de lipídeos, 0,2% de cinzas e 83,3% de carboidratos totais), foi adquirida junto ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC), e a IRGA 417 (contendo 10% de umidade; 7,5% de proteínas; 0,3% de lipídeos, 0,3% de cinzas e 81,9% de carboidratos totais) foi fornecida pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA). Ambas as cultivares são beneficiadas polidas, classe longo fino.

5.2.1 Irradiação dos grãos

Amostras de 500 g de grãos polidos de arroz foram embalados em filme de polietileno e submetidos às doses de radiação gama de 1, 2 e 5 kGy, na taxa de dose de 0,4 kGy/h em irradiador Gammacell, modelo 220 Excel (GC-220E, Nordion Inc., Ottawa, ON, Canadá), de ⁶⁰Co, em temperatura ambiente. Uma amostra controle (não irradiada), considerada dose 0, foi utilizada para comparação. Parte do arroz foi triturada em moinho de rotor tipo ciclone (STAR FT-51, Fortinox, Piracicaba, SP, Brasil) e peneirado (250 µm) para as análises de amilose aparente, digestibilidade do amido do arroz cru, fibra alimentar total e propriedades de pasta. Grãos inteiros foram utilizados para avaliação das propriedades de cocção e para as análises de digestibilidade do amido do arroz cozido.

5.2.2 Amilose aparente (AA)

O teor de AA foi determinado na farinha de arroz de acordo com Martínez e Cuevas (1989), com adaptações de Zavareze et al. (2009). Em 100 mg de amostra moída foram adicionado 1 mL de etanol 95% e 9 mL de NaOH 1 M. Esta suspensão foi colocada em banho de água fervente por 10 min para gelatinização do amido. Após resfriamento da solução, o volume foi completado a 100 mL e uma alíquota de 5 mL foi transferida para outro balão de 100 mL, onde foi adicionado 1 mL de ácido acético 1 M e 2 mL de solução de iodo (0,2% I₂, 2% KI), completado o volume e deixado em repouso por 30 min sob proteção da luz. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 610 nm.

5.2.3 Digestibilidade do amido e fibra alimentar total (FAT)

A digestibilidade do amido *in vitro* foi analisada nas amostras de arroz cruas cozidas de acordo com Englyst, Kingman e Cummings (1992), com adaptações descritas no item 3.2.11 do capítulo 3. Para avaliação do arroz cru, foram utilizados 0,5 g da amostra moída. Para o arroz cozido, foram pesados 3 g de grãos em placa de Petri (Ø 60 mm), adicionados 6 mL de água destilada e cozido por 20 min em

vapor de água. Após o cozimento, as amostras ficaram em repouso por 5 min. Em um tubo de ensaio (50 mL) foi pesado 1 g de arroz cozido fresco e adicionado 10 mL de tampão acetato de sódio 0,1 M (pH 5,2) contendo 4 mM de CaCl₂. A amostra foi homogeneizada (Superohm, Piracicaba, SP, Brasil). O conteúdo do tubo foi transferido para béquer (100 mL) e o tubo foi lavado 2 vezes com 5 mL do tampão acetato de sódio 0,1 M (pH 5,2). Após 5 min em banho térmico a 37°C, foram adicionados 5 mL de mistura enzimática, seguindo a quantificação das frações como descrito no item 3.2.11 do capítulo 3.

O teor de fibra alimentar total (FAT) foi determinado utilizando o método enzimático-gravimétrico 985.29 da AOAC (2005), como descrito no item 3.2.12 do capítulo 3.

5.2.4 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta foram avaliadas no arroz moído utilizando-se o Rapid Visco Analyser (RVA-S4A, Newport Scientific, Warriewood, NSW, Austrália), de acordo com o método 61-02 da AACC (2000). Uma suspensão de 3 g de farinha (12% de umidade) e 25 g de água destilada foi aquecida de 50 a 95°C a 11,8°C/min, mantida a 95°C por 2,5 min, resfriada até 50°C a 11,8°C/min e mantida a 50°C por 1,4 min.

5.2.5 Propriedades de cocção

O tempo mínimo de cocção (TMC), absorção de água (AbA), perda de sólidos (PS) e volume de expansão (VE) dos grãos de arroz foram determinados segundo a metodologia descrita por Bassinello, Rocha e Cobucci (2004) e Cui et al. (2010), com modificações. Para o TMC, 4 g de arroz foram adicionados em 135 mL de água destilada fervente, Após 10 min alguns grãos foram retirados, colocados sobre placa de vidro e pressionados firmemente contra outra placa de vidro. O TMC foi determinado quando os grãos não apresentavam mais o centro opaco. Para determinação da AbA e PS, 1 g de arroz foi pesado em tubo de ensaio, adicionados 15 mL de água destilada e colocado em banho de água fervente por 25 min. O arroz

foi drenado por 10 min em placa de Petri tarada e pesado. A água de cocção drenada foi colocada em estufa de secagem a 105°C por 12 h. O cálculo foi realizado da seguinte maneira: AbA = [(peso do arroz cozido/peso do arroz cru)*100] e PS = [(peso do resíduo de evaporação/peso do arroz cru)*100]. O VE foi medido pelo método de deslocamento de volume, com a adição de 1 g de arroz cru em um volume conhecido de água destilada. Após o cozimento do arroz, o volume deslocado também foi medido. O cálculo foi realizado da seguinte forma: VE = [(volume deslocado pelo arroz cozido/volume deslocado pelo arroz cru)*100].

5.2.6 Delineamento e análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, no fatorial 2 x 4, com 2 cultivares de arroz, 4 doses de radiação gama e 3 repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao Teste de Tukey (p<0,05) para comparação de médias utilizando-se o sistema estatístico ASISTAT versão 7.6 beta.

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Teor de amilose aparente

O teor de AA (Tabela 5.1) foi 5% menor para a cv. IAC 202, quando comparado com a cv. IRGA 417, estes teores as classificam em intermediário e alto, respectivamente (MARTÍNEZ; CUEVAS 1989). Diferenças no teor de amilose podem decorrer de genótipo, ambiente e interação entre estes fatores (SOAVE et al., 1995). A irradiação reduziu o teor de AA na dose 2 kGy para a cv. IAC 202 e na dose 5 kGy para a cv. IRGA 417. Efeito semelhante de redução de AA com o aumento das doses de radiação também foi observado por outros autores (BAO et al., 2001; WU et al., 2002; YU; WANG, 2007). Esta redução de AA pode resultar da quebra molecular, tanto das cadeias de amilose quanto das cadeias longas de amilopectina, uma vez que estas cadeias também formam complexo colorido ao se ligar com o iodo (CHUNG; LIU, 2009; CHUNG; LIU, 2010; YU; WANG, 2007).

Cultivor		Dose (kGy)				
Cultivar	0	1	2	5		
IAC 202	$26,4 \pm 0,4^{1 \text{ bA2}}$	$25,6 \pm 0,1$ bab	$25,4 \pm 0,3$ ^{bB}	$25,5 \pm 0,5$ ^{bAB}		
IRGA 417	$27,8 \pm 0,3$ ^{aA}	$27,6 \pm 0,6$ ^{aA}	$26,8 \pm 0,4$ ^{aAB}	$26,2 \pm 0,6$ ^{aB}		

Tabela 5.1 - Teor de amilose aparente (%) dos grãos das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

 ¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.
 ² Letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

O conteúdo de amilose presente no arroz é de extrema importância para as características finais do produto cozido, portanto, a preferência do consumidor está diretamente relacionada com este parâmetro. Arroz com baixo teor de amilose é mais macio, pegajoso, coesivo, úmido, enguanto o arroz com alto teor de amilose é mais firme, solto e enxuto (JAYAMANI et al., 2007; PERDON et al., 1999; XIE et al., 2011).

5.3.2 Digestibilidade do amido *in vitro* e fibra alimentar total (FAT)

A análise da digestibilidade do arroz cru não irradiado mostrou que ambas as cultivares apresentam elevados teores de ALD, intermediários de ARD e menores de AR (Tabela 5.2). O efeito da irradiação sobre estas amostras é importante, pois evidencia as possíveis modificações na estrutura do amido previamente ao cozimento. A irradiação promoveu aumento no ARD e ALD para a cv. IAC 202, com consequente redução na fração AR. Entretanto, a cv. IRGA 417 não apresentou comportamento linear ao longo das doses de radiação, exceto para o AR, que foi reduzido. Na dose de 2 kGy, houve aumento de ARD, com redução no ALD.

A digestibilidade do amido no arroz como é consumido, isto é, no estado cozido (Tabela 5.2), é também um importante parâmetro a ser avaliado, pois é o resultado global em termos do que estará sendo oferecido ao consumidor deste produto. O processo de cocção das amostras de arroz, por si, promove mudanças na digestibilidade do amido nos grãos. Ambas as cultivares apresentaram teores mais elevados de ARD, reduzindo com isto, os teores de ALD e de AR, principalmente o primeiro. Este fato decorre do processo de gelatinização do amido.

Tabela 5.2 - Digestibilidade do amido do arroz cru e cozido e teor de fibra alimentar total no arroz cru (% base seca) das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

Derâmetre	Cultiver	Dose (kGy)				
Parametro	Cultivar	0	1	2	5	
ARD	IAC 202	$32,3 \pm 0,9^{1 \text{ bC2}}$	$33,4 \pm 0,2$ ^{bBC}	$34,6 \pm 0,1$ bAB	$35,5 \pm 0,4$ ^{aA}	
(cru)	IRGA 417	35,3 ± 0,9 ^{aB}	36,5 ± 1,3 ^{aB}	$40,8 \pm 0,7$ ^{aA}	36,6 ± 0,8 ^{aB}	
ALD	IAC 202	$44,0 \pm 0,6$ ^{aC}	44,1 ± 0,2 ^{aC}	$49,4 \pm 0,8$ ^{aB}	52,7 ± 0,3 ^{aA}	
(cru)	IRGA 417	$41,1 \pm 0,5$ ^{bA}	$39,0 \pm 0,3$ ^{bB}	34,7 ± 1,3 ^{bC}	$41,9 \pm 0,8$ ^{bA}	
AR	IAC 202	$14,2 \pm 0,9^{aA}$	13,0 ± 0,3 ^{aA}	$6,5 \pm 0,3$ ^{bB}	$2,2 \pm 0,5$ ^{bC}	
(cru)	IRGA 417	$12,9 \pm 0,3$ ^{bA}	$13,7 \pm 0,7$ ^{aA}	13,7 ± 0,9 ^{aA}	10,7 ± 0,6 ^{aB}	
ARD	IAC 202	$74,0 \pm 1,9$ ^{bA}	$72,3 \pm 0,5$ ^{bA}	$74,0 \pm 1,0$ ^{bA}	61,8 ± 2,5 ^{bB}	
(cozido)	IRGA 417	$80,4 \pm 0,5$ ^{aA}	$80,4 \pm 0,4$ ^{aA}	82,6 \pm 0,7 ^{aA}	83,0 ± 1,9 ^{aA}	
ALD	IAC 202	1,6 ± 0,3 ^{aB}	1,5 ± 0,9 ^{aB}	$2,5 \pm 0,4 \ ^{aB}$	11,5 ± 1,3 ^{aA}	
(cozido)	IRGA 417	$0,7 \pm 0,1$ ^{aC}	2,6 ± 0,1 aB	$3,1 \pm 1,0^{aB}$	$4,9 \pm 0,1$ ^{bA}	
AR	IAC 202	$5,7 \pm 0,3$ ^{bB}	9,1 \pm 0,2 ^{aA}	7,1 ± 0,9 ^{aB}	10,0 ± 1,3 ^{aA}	
(cozido)	IRGA 417	$7,3 \pm 0,5$ ^{aA}	$8,8 \pm 0,7$ ^{aA}	$4,1 \pm 0,5$ ^{bB}	$1,1 \pm 0,1$ ^{bC}	
	IAC 202	$1,5 \pm 0,5$ ^{aA}	$2,1 \pm 0,5$ ^{aA}	$2,5 \pm 0,5$ ^{aA}	$1,5 \pm 0,6$ ^{aA}	
FAT	IRGA 417	$1,6 \pm 0,3^{aA}$	$1,6 \pm 0,4$ ^{aA}	$1,5 \pm 0,4$ ^{aA}	$1,3 \pm 0,4$ ^{aA}	

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado para cada estado da amostra (cru ou cozido) e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).</p>

ARD = amido rapidamente digerível; ALD = amido lentamente digerível; AR = amido resistente; FAT = fibra alimentar total.

A irradiação causou redução de ARD apenas na maior dose para a cv. IAC 202. O ALD tendeu a aumentar para ambas cultivares com o aumento das doses. A cv. IAC 202 apresentou os maiores valores de AR em 1 e 5 kGy, enquanto a cv. IRGA 417 apresentou redução com o aumento das doses. De modo geral, o arroz cv. IAC 202 apresentou redução de ARD com aumento de e ALD e AR, enquanto a cv. IRGA 417 apresentou redução de AR com aumento de ALD. Considerando os benefícios do ALD e AR para a saúde, a irradiação gama em determinadas doses pode, portanto, ser benéfica para o arroz branco polido, melhorando suas características nutricionais para o consumo humano.

As estruturas do amido responsáveis pela presença de AR nas amostras cruas, relacionadas aos tipos 1 e 2 (não estável termicamente), são praticamente inexistentes nas amostras cozidas. As amostras cozidas possuem principalmente AR do tipo 3, obtido por retrogradação do amido gelatinizado. Nas doses mais elevadas, o comportamento inverso apresentado pela cv. IAC 202 pode ser decorrente da redução do comprimento (quebra) das moléculas do amido pela irradiação, passando a apresentar maior facilidade de pareamento e recombinação após a gelatinização. Além disso, Chung e Liu (2009) verificaram que a radiação gama aplicada em baixa taxa de dose (0,4 kGy/h) em amido de milho, levou à formação de nova estrutura cristalina por ligações cruzadas da recombinação de radicais livres, que pode reduzir a digestibilidade do amido. Estes mesmos autores observaram que a formação de grupos carboxilas pela irradiação, pode restringir o ataque enzimático e promover redução da digestibilidade do amido.

As duas cultivares apresentaram valores distintos para os mesmos tratamentos para a maioria dos parâmetros de digestibilidade do amido. A cv. IAC 202 foi mais suscetível à irradiação que a cv. IRGA 417, tanto no estado cru quanto cozido. O efeito de doses crescentes de radiação na digestibilidade do amido do arroz cru não foi o mesmo para o arroz cozido, exceto para o ALD na cv. IAC 202 e AR na cv. IRGA 417.

De modo geral, a dose de 1 kGy, com média de 9% de AR no arroz cozido para ambas cultivares se mostrou interessante para o uso em arroz. Esta dose também se mostrou suficiente para inibir infestação no arroz polido (ZANÃO et al., 2009).

Resultados contraditórios para digestibilidade de diversas fontes de amido com o aumento das doses de radiação são encontrados na literatura. Chung e Liu (2009) observaram redução de AR em amido de milho até 2 kGy e aumento em 10 e 50 kGy; Chung et al. (2010) observaram aumento de AR em amido de milho ceroso até 40 kGy e redução em 100 kGy; Chung e Liu (2010) observaram aumento de AR em amido de batata e feijão irradiados até 50 kGy; e Yoon et al. (2010) observaram aumento de AR entre o controle e a dose de 5 kGy, mas redução com o aumento das doses até 20 kGy. A digestibilidade do amido, entre outros fatores, está relacionada com a cristalinidade dos grânulos de amido, pois as regiões cristalinas impedem ou dificultam o acesso das enzimas digestivas às cadeias de glicose. A radiação gama pode romper tanto as regiões amorfas quanto as regiões cristalinas do grânulo, dependendo da dose aplicada. Além disso, a taxa de dose também pode influenciar nas modificações do amido, uma taxa de dose mais lenta, além da quebra de moléculas, pode promover a recombinação de estruturas fragmentadas (CHUNG; LIU, 2009). A clivagem das ligações glicosídicas aumenta o acesso das enzimas digestivas às moléculas do amido e facilitam a digestibilidade. Por outro lado, as cadeias clivadas podem ter maior mobilidade para se alinharem em uma matriz empacotada, que seria menos acessível às enzimas (YOON et al., 2010). Portanto, diferenças na cristalinidade do amido associadas à formação de ligações β, grupos carboxila e ligações cruzadas (CHUNG; LIU, 2009) que podem ocorrer no amido durante a irradiação, justificam as diferenças obtidas entre as doses e cultivares.

As proteínas estão em menor proporção nos grãos de arroz em relação ao amido, 6,6% para a cv. IAC 202 e 7,5% para a cv. IRGA 417. Estas proteínas podem formar complexos com as cadeias de amido, gerando estruturas menos digeríveis (WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005). A radiação gama pode modificar as estruturas físicas e químicas das proteínas por promover fragmentação, ligações cruzadas covalentes, agregação, oxidação e a formação de novos grupos reativos (GARRISON, 1987; LEE; LEE; SONG, 2005; ZBIKOWSKA; NOWAK; WACHOWICZ, 2006). As ligações cruzadas levam a agregação pela interação entre as moléculas de proteínas, resultando em estrutura mais cristalina e rígida (CIESLA; SALMIERI; LACROIX, 2006; LEE; LEE; SONG, 2005). Portanto, este comportamento da digestibilidade do amido no arroz irradiado pode ser não só em função das alterações que ocorrem no amido, mas também nas proteínas e as interações destas com o amido.

O teor de FAT presente no arroz não irradiado (Tabela 5.2) foi de 1,5 e 1,6% para as cultivares IAC 202 e IRGA 417, respectivamente. Teores de 1,1; 0,9; 1,7 e 9,3 foram encontrados por Zhu et al. (2011) em arroz polido com teores de amilose de 2, 16, 23 e 55%, respectivamente. Para o arroz com 23% de amilose, teor mais próximo ao das cultivares IAC 202 e IRGA 417, a FAT foi semelhante ao do presente estudo.

As quantidades de FAT das cultivares estudadas não apresentaram diferença entre as doses de radiação, apesar das diferenças observadas nos teores de AR. A FAT inclui celulose, hemicelulose, pectina e AR (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008). Como a análise da FAT inclui uma etapa de fervura, o AR medido é aquele resistente termicamente (POLESI; SARMENTO; FRANCO, 2011). Como o teor de AR no arroz cru e cozido foi superior ao teor de FAT cru, as estruturas que resistiram à digestão fisiológica (37°C) provavelmente não eram termicamente estáveis, por isso, as amostras mostraram maior teor de AR do que de FAT.

5.3.3 Propriedades de pasta

Os perfis viscoamilográficos dos grãos de arroz estão apresentados na Figura 5.1 e os parâmetros críticos de viscosidade obtidos a partir desses perfis na Tabela 5.3. Embora os teores de amilose não tenham sido muito distintos, os grãos de arroz da cv. IAC 202, irradiadas ou não, apresentaram valores de viscosidade inferiores aos da cv. IRGA 417, exceto a quebra de viscosidade, que foi mais acentuada.



Figura 5.1 – Perfis viscoamilográficos em RVA das suspensões (9,4%) das farinhas das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

Devêmetre	Cultiver		Dose (kGy)			
rarametro	Guitivar	0	1	2	5	
TP	IAC 202	$81,8 \pm 0,6^{1 \text{ bB2}}$	$82,2 \pm 0,5$ ^{bB}	$82,3 \pm 0,9$ ^{bB}	$85,6 \pm 0,1$ ^{bA}	
(°C)	IRGA 417	84,6 ± 0,6 aB	$85,9 \pm 0,8$ ^{aB}	84,8 ± 0,7 aB	$88,2 \pm 0,8$ ^{aA}	
PV	IAC 202	126,9 ± 3,2 ^{bA}	88,2 ± 2,1 ^{bB}	75,7 ± 1,2 ^{bC}	$36,7 \pm 2,8$ ^{bD}	
(RVU)	IRGA 417	186,3 ± 2,2 ^{aA}	130,8 ± 4,9 ^{aB}	110,6 ± 4,9 ^{aC}	$50,4 \pm 3,0$ ^{aD}	
QV	IAC 202	39,3 ± 3,7 ^{aA}	37,5 ± 2,2 ^{aA}	$36,6 \pm 0,3$ ^{aA}	$20,8 \pm 1,4$ ^{aB}	
(RVU)	IRGA 417	13,2 ± 2,6 ^{bC}	$20,6 \pm 1,9$ ^{bB}	26,8 ± 2,6 ^{bA}	19,0 ± 2,6 ^{aB}	
VF	IAC 202	175,1 ± 6,9 ^{bA}	103,8 ± 3,5 ^{bB}	79,1 ± 1,5 ^{bC}	$33,9 \pm 2,6$ ^{bD}	
(RVU)	IRGA 417	284,6 ± 7,2 ^{aA}	166,9 ± 10,1 ^{aB}	128,7 ± 7,7 ^{aC}	48.8 ± 4.7 ^{aD}	
TR	IAC 202	87,6 \pm 7,6 ^{bA}	53,1 ± 2,0 ^{aB}	39,9 ± 0,6 ^{aB}	18,1 ± 1,1 ^{aC}	
(RVU)	IRGA 417	111,5 ± 11,8 ^{aA}	56,7 \pm 8,5 ^{aB}	$45,0 \pm 8,5$ ^{aB}	17,4 ± 4,2 ^{aC}	

Tabela 5.3 - Propriedades de pasta das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

TP = Temperatura de pasta; PV = Pico de viscosidade; QV = Quebra de viscosidade; VF = Viscosidade final; TR = Tendência à retrogradação.

A irradiação promoveu a redução da viscosidade original do arroz de ambas as cultivares, comportamento este já observado em estudos anteriores com este mesmo cereal (BAO; AO; JANE, 2005; BAO et al., 2001; SIRISOONTARALAK; NOOMHORM, 2006; WU et al., 2002; YU; WANG, 2007). Nestes estudos a redução de viscosidade foi atribuída à quebra das macromoléculas do amido, com redução do grau de polimerização e degradação dos grânulos. A degradação das macromoléculas do amido pela quebra de ligações inter e intramoleculares promove redução na capacidade de expansão dos grânulos e, consequentemente, a redução da viscosidade (CHUNG; LIU, 2009; SINGH et al., 2011).

O aumento das doses de radiação elevou a temperatura de pasta apenas na maior dose (5 kGy), para ambas cultivares. O aumento da temperatura de pasta pode estar associado à redução das regiões amorfas dos grânulos de amido, aumentando a proporção cristalina que é mais difícil de ser rompida no aquecimento.

A comparação entre o pico de viscosidade das amostras com 5 kGy e a controle, mostra que este parâmetro crítico foi reduzido em 71% na cv. IAC 202 e 73% na cv. IRGA 417, valores relativamente próximos.

A viscosidade de quebra apresentou comportamento variável, mostrando redução apenas em 5 kGy para a cv. IAC 202 e aumento em 1 e 2 kGy, com posterior redução em 5 kGy, para a cv. IRGA 417. No entanto, quando se compara a viscosidade de quebra relativamente ao pico de viscosidade, pela equação [visc. quebra/pico de visc.)*100], observa-se que houve aumento da relação com o aumento das doses de radiação, com valores de 31, 43, 48 e 57% para a cv. IAC 202; e 7, 16, 24 e 38% para a cv. IRGA 417, respectivamente com as doses crescentes.

A viscosidade final foi reduzida em 81% para cv. IAC 202 e 83% para cv. IRGA 417 na amostra que recebeu a maior dose de radiação, comparativamente ao controle. A tendência à retrogradação também foi reduzida com a irradiação em 79% para a cv. IAC 202 e 84% para a cv. IRGA 417. Isto ocorre, em parte, pela quebra das moléculas, principalmente da amilose, pois estes parâmetros dependem da organização estrutural formada pela amilose lixiviada durante o resfriamento (CHUNG; LIU, 2009).

5.3.4. Propriedades de cocção

As propriedades de cocção dos grãos de arroz submetidos ou não ao processo de irradiação são mostradas na Tabela 5.4.

O tempo mínimo de cocção (TMC) não se alterou com a elevação das doses de radiação para a cv. IAC 202, mas foi reduzido em 12% para a cv. IRGA 417.

Os grãos de arroz crus apresentam pequenas trincas em todo o endosperma, provenientes da perda de água durante a maturação, que servem como microcanais de migração de água dentro do grão durante a cocção (OGAWA et al., 2003; VIDAL et al., 2007). Além disso, características estruturais do grão, como o tamanho e forma das células do endosperma, e a composição química da parede celular influenciam o tempo de cozimento (VIDAL et al., 2007). O teor de pectina também está relacionado com o TMC, pois está diretamente relacionado com adesão celular (Parker et al., 2001).

Devêmetre	Cultivor		Dose	Dose (kGy)		
Parametro	Cultivar	0	1	2	5	
TMC	IAC 202	$17,7 \pm 0,6^{1 \text{ aA2}}$	17,7 ± 0,6 ^{aA}	18,0 ± 1,0 ^{aA}	$18,0 \pm 0,0$ ^{aA}	
(min)	IRGA 417	$17,0 \pm 0,0$ ^{aA}	$16,0 \pm 0,0$ ^{bAB}	$15,3 \pm 0,6$ ^{bB}	$15,0 \pm 0,0$ ^{bB}	
AbA	IAC 202	459,5 ± 12,9 ^{aA}	436,1 ± 4,5 ^{aB}	$376,4 \pm 5,8$ ^{aC}	$336,7 \pm 1,1$ ^{aD}	
(%)	IRGA 417	RGA 417 384,4 ± 8,9 ^{bA} 367,6 ±	$367,6 \pm 5,0$ ^{bB}	$347,2 \pm 3,5 \ ^{bC}$	$321,0 \pm 2,5$ ^{bD}	
VE	IAC 202	529,2 ± 7,2 ^{aA}	512,5 ± 12,5 ^{aA}	$481,0 \pm 8,3$ ^{aB}	438,1 ± 8,3 ^{aC}	
(%)	IRGA 417	$495,2 \pm 8,2$ ^{bA}	$481,0 \pm 8,3$ ^{bA}	$442,9 \pm 14,3 \ ^{bB}$	$419,1 \pm 8,3 \ ^{bC}$	
PS	IAC 202	$4,9 \pm 0,7$ ^{aB}	$6,5 \pm 0,5$ ^{aB}	$7,0 \pm 0,7$ ^{aB}	10,5 \pm 2,3 ^{aA}	
(%)	IRGA 417	$2,3 \pm 0,5$ ^{bB}	$2,9 \pm 0,2^{bB}$	$3,8 \pm 0,4$ ^{bB}	$6,6 \pm 0,9$ ^{bA}	

Tabela 5.4 - Propriedades de cocção das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).
 TMC = Tempo mínimo de cocção; AbA = Absorção de água; VE = Volume de expansão; PS = Perda

de sólidos.

A relação comprimento/largura do grão de arroz da cv.IRGA 417 é 14% maior que a da cv. IAC 202. Este grão por ser mais fino teria um TMC menor, pois e a água percorre uma distância menor para atingir o centro do mesmo. Como ambos apresentaram o mesmo TMC para o controle, isto indica que a cv. IRGA 417 apresenta características que dificultam a entrada de água e justamente estas características foram mais afetadas pela irradiação.

O aumento das doses de radiação gama provocou redução na absorção de água (AbA), com consequente redução no volume de expansão (VE). A redução na AbA entre o controle e a dose 5 kGy foi de 27% para a cv. IAC 202 e de 16% para a cv. IRGA 417, já para o VE, a redução foi de 17% para a cv. IAC 202 e de 15% para a cv. IRGA 417. Redução da AbA em arroz irradiado também foi constatada por Wootton, Djojonegoro e Driscoll (1988). A redução nestes parâmetros (AbA e VE) pode ser devida à degradação da estrutura granular do amido e redução no grau de polimerização da amilose e amilopectina (Tabela 3.3 e Figura 3.6), que também causou redução da viscosidade das amostras de arroz irradiadas (Figura 5.1 e Tabela 5.3). A irradiação reduz o poder de expansão dos grânulos de amido devido à redução das regiões cristalinas (SINGH et al., 2011). A perda de sólidos (PS) na água de cocção aumentou em 119% na cv. IAC 202 e 187% na cv. IRGA 417, comparando a amostra controle com a que recebeu 5 kGy. Sirisoontaralak e Noomhorm (2006) também observaram aumento da PS após irradiação de arroz, e atribuíram ao aumento da solubilidade do amido pela degradação das moléculas de amilose e amilopectina em fragmentos menores. Juntos, estes fatos também explicam a redução nos valores de AbA e VE.

5.4 Conclusões

A radiação gama alterou algumas das propriedades físico-químicas, de cocção e a digestibilidade do amido das duas cultivares de arroz, com reduções do teor de amilose aparente e da viscosidade dos grãos, sendo esta última propriedade a mais afetada. Nas características de cocção houve redução da absorção de água e do volume de expansão dos grãos de arroz, com elevação da perda de sólidos na água de cocção, mas não alterou a FAT. A digestibilidade do amido teve comportamento diferenciado entre as cultivares. Esta modificação na digestibilidade pode ser benéfica para a saúde quando promove aumento de ALD e AR. Neste sentido, a dose de radiação de 1 kGy foi a melhor dose para teor de AR em ambas cultivares e também a dose que menos alterou as propriedades físico-químicas e de cocção do arroz.

Referências

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS - AACC. **Approved methods**. 10. ed. Saint Paul: AACC, 2000.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. Official methods of analysis. 18. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2005.

BAO, J.; AO, Z. H.; JANE, J. Characterization of physical properties of flour and starch obtained from gamma-irradiated white rice. **Starch-Starke**, Weinheim, v. 57, n. 10, p. 480-487, 2005.

BAO, J. et al. Effects of gamma irradiation on aspects of milled rice (*Oryza sativa*) end-use quality. **Journal of Food Quality**, Westport, v. 24, n. 4, p. 327-336, 2001.

BASSINELLO, P. Z.; ROCHA, M. S.; COBUCCI, R. M. A. Avaliação de diferentes métodos de cocção de arroz de terras altas para teste sensorial. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 8 p. (Comunicado Técnico, 84).

BELLO-PÉREZ, L. A.; MONTEALVO, M. G. M.; ACEVEDO, E. A. Almidón: definición, estructura y propriedades. In: LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. (Ed.). **Carbohidratos em alimentos regionales iberoamericano**. São Paulo: EDUSP, 2006. cap. 1, p. 17-46.

BHAT, R.; KARIM, A. A. Impact of radiation processing on starch. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Hoboken, v. 8, n. 2, p. 44-58, 2009.

CHUNG, H. J. et al. Pasting characteristics and *in vitro* digestibility of gammairradiated RS4 waxy maize starches. **Journal of Cereal Science**, London, v. 52, n. 1, p. 53-58, 2010.

CHUNG, H. J.; LIU, Q. Effect of gamma irradiation on molecular structure and physicochemical properties of corn starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 74, n. 5, p. C353-C361, 2009.

CHUNG, H. J.; LIU, Q. A. Molecular structure and physicochemical properties of potato and bean starches as affected by gamma-irradiation. **International Journal of Biological Macromolecules**, Oxford, v. 47, n. 2, p. 214-222, 2010.

CIESLA, K.; SALMIERI, S.; LACROIX, M. Modification of the properties of milk protein films by gamma radiation and polysaccharide addition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 86, n. 6, p. 908-914, 2006.

CUI, L. et al. Effect of ultrasonic treatment of brown rice at different temperatures on cooking properties and quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 87, n. 5, p. 403-408, 2010.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, Basingstoke, v. 46, p. S33-S50, 1992.

GARRISON, W. M. Reaction mechanism in the radiolysis of peptides, polypeptides, and proteins. **Chemical Reviews**, Baltimore, v. 87, n. 2, p. 381-398, 1987.

JAYAMANI, P. et al. Potential of waxy gene microsatellite and single-nucleotide polymorphisms to develop japonica varieties with desired amylose levels in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Cereal Science**, London, v. 46, n. 2, p. 178-186, 2007.

LEE, S. L.; LEE, M. S.; SONG, K. B. Effect of gamma-irradiation on the physicochemical properties of gluten films. **Food Chemistry**, Barking, v. 92, n. 4, p. 621-625, 2005.

LEHMANN, U.; ROBIN, F. Slowly digestible starch - its structure and health implications: a review. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 18, n. 7, p. 346-355, 2007.

MARTÍNEZ, C.; CUEVAS, F. Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz. 3. ed. Cali: CIAT, 1989. 73 p.

OGAWA, Y. et al. Histological structures of cooked rice grain. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Easton, v. 51, n. 24, p. 7019-7023, 2003.

PARKER, C. C. et al. Pectin distribution at the surface of potato parenchyma cells in relation to cell-cell adhesion. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 49, n. 9, p. 4364-4371, 2001.

PERDON, A. A. et al. Starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 64, n. 5, p. 828-832, 1999.

POLESI, L. F.; SARMENTO, S. B. S.; FRANCO, C. M. L. Production and physicochemical properties of resistant starch from hydrolysed wrinkled pea starch. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 46, n. 11, p. 2257-2264, 2011.

SAJILATA, M. G.; SINGHAL, R. S.; KULKARNI, P. R. Resistant starch - A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Hoboken, v. 5, n. 1, p. 1-17, 2006.

SINGH, S. et al. Effects of gamma-irradiation on the morphological, structural, thermal and rheological properties of potato starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 83, n. 4, p. 1521-1528, 2011.

SIRISOONTARALAK, P.; NOOMHORM, A. Changes to physicochemical properties and aroma of irradiated rice. **Journal of Stored Products Research**, Elmsford, v. 42, n. 3, p. 264-276, 2006.

SOAVE, D.; BASTOS, C. R.; AZZINI, L. E.; ZULLO, M. A. T. Teor de amilose em genótipos de arroz. **Bragantia**, Campinas v. 54, n. 1, p. 11-15, 1995.

VIDAL, V. et al. Cooking behavior of rice in relation to kernel physicochemical and structural properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 55, n. 2, p. 336-346, 2007.

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

WALTER, M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T. Amido resistente: características físicoquímicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 974-980, 2005.

WOOTTON, M.; DJOJONEGORO, H.; DRISCOLL, R. The effect of gammairradiation on the quality of australian rice. **Journal of Cereal Science**, London, v. 7, n. 3, p. 309-315, 1988. WU, D. et al. Effect of gamma irradiation on starch viscosity and physicochemical properties of different rice. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 65, n. 1, p. 79-86, 2002.

XIE, L. H. et al. Use of mixolab in predicting rice quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 88, n. 4, p. 333-337, 2011.

YOON, H. S. et al. *In vitro* digestibility of gamma-irradiated corn starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 81, n. 4, p. 961-963, 2010.

YU, Y.; WANG, J. Effect of gamma-ray irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of rice. **Food Research International**, Essex, v. 40, n. 2, p. 297-303, 2007.

ZANÃO, C. F. P. et al. 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**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 46-55, 2009.

ZAVAREZE, E. R. et al. Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose. In: SIMPÓSIO DE SEGURANÇA ALIMENTAR, 2., 2008, Bento Gonçalves. **Debatendo qualidade; trabalhos...** Bento Gonçalves: SBCTA, 2009. p. 24-30.

ZBIKOWSKA, H. M.; NOWAK, P.; WACHOWICZ, B. Protein modification caused by a high dose of gamma irradiation in cryo-sterilized plasma: Protective effects of ascorbate. **Free Radical Biology and Medicine**, New York, v. 40, n. 3, p. 536-542, 2006.

ZHU, L. J. et al. Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) flours and starches differing in amylose content. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 86, n. 4, p. 1751-1759, 2011.

ZULETA, A. et al. Effect of gamma irradiation on the functional and nutritive properties of rice flours from different cultivars. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 83, n. 1, p 76-79, 2006.
6 PROPRIEDADES FÍSICAS E SENSORIAIS DE GRÃOS DE ARROZ SUBMETIDOS À IRRADIAÇÃO

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da radiação gama nas características físicas e sensoriais do arroz das cultivares comerciais IAC 202 e IRGA 417. As amostras foram irradiadas por ⁶⁰Co nas doses 1, 2 e 5 kGy, sob taxa de 0,4 kGy/h. Um controle sem irradiação foi utilizado para comparação. Cor, textura e propriedades sensoriais do arroz foram afetadas em algumas das doses de radiação aplicadas. Pela avaliação instrumental da cor, ambas as cultivares mostraram que o aumento das doses promoveu elevação do valor b*, ou seja, os grãos se tornaram amarelados. A dureza diminuiu e a pegajosidade aumentou no arroz cozido com o incremento das doses. Estes resultados de textura podem ter sido provocados pela quebra das macromoléculas de amido. Quando avaliados sensorialmente por análise descritiva quantitativa (ADQ) constatou-se que a elevação das doses promoveu maior ocorrência de aparência amarelada, surgimento de aroma queimado e aumento de sabor amargo e queimado. Os atributos textura, maciez e pegajosidade não apresentaram diferença entre as doses pela ADQ. O teste de aceitação sensorial pela escala hedônica de 9 pontos mostrou alteração das amostras irradiadas com 5 kGy em todos os parâmetros avaliados (aparência, aroma, sabor, textura e cor). A menor dose (1 kGy), entretanto, teve boa aceitabilidade pelos provadores.

Palavras-chave: *Oryza sativa*. Radiação gama. ⁶⁰Co. Cor. Textura. Análise descritiva quantitativa. Teste de aceitação sensorial.

Abstract

The objective of this work was to evaluate the effect of gamma radiation on the physical and sensory characteristics of rice from commercial cultivars IAC 202 and IRGA 417. Samples were irradiated with ⁶⁰Co in doses 1, 2 and 5 kGy, on a rate of 0.4 kGy/h. A control no irradiation was used for comparison. Color, texture and sensory properties of rice were affected in some of the radiation doses applied. For instrumental color evaluation, both cultivars showed that increased doses promoted the elevation in value b*, which means that the kernels became yellow. Hardness was decreased and stickiness was increased in cooked rice with increasing doses. These texture results may have been caused by breakdown of starch macromolecules. When evaluated sensorially by quantitative descriptive analysis (QDA) it was found that increasing doses promoted higher occurrence of vellowish appearance, emergence of burnt odor, an increase of bitter and burnt taste. Texture attributes, softness and stickiness, showed no difference between doses by QDA. The sensory acceptance test by 9-point hedonic scale showed alteration of the samples irradiated with 5 kGy in all evaluated parameters (appearance, aroma, taste, texture and color). The lowest dose (1 kGy), however, had good acceptability by the panelists.

Keywords: *Oryza sativa*. Gamma radiation. ⁶⁰Co. Color. Texture. Quantitative descriptive analysis. Acceptance test.

6.1 Introdução

O arroz é a terceira maior cultura de cereal do mundo, estando atrás apenas do milho e trigo. Considerando-se o volume mundial de produção desta cultura, o Brasil apresenta posição de destaque como o 9º produtor, o que corresponde a 1,5% da produção mundial. No Brasil, a cultura de arroz ocupa o segundo lugar na produção de grãos, sendo menor somente da produção de soja (FAO, 2011).

O arroz é de grande importância mundial, pois alimenta mais da metade da população humana, sendo fonte de carboidratos e proteínas, além de fornecer algumas vitaminas e minerais (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008). Com relação aos carboidratos, a maior parte é composta por amido, que pode representar até 90% da matéria seca do grão polido (ZHOU et al., 2002). O amido o torna excelente fonte de energia, podendo contribuir com até 20% da necessidade energética e 33% da ingestão diária de carboidratos. No caso da proteína, a ingestão de 120 g de arroz contribui com mais de 10% do valor de referência para indivíduos adultos saudáveis (NAVES, 2007).

A irradiação é uma técnica de conservação de alimentos que vem crescendo em todo mundo, mas ainda é pouco difundida no Brasil. Alimentos como especiarias, grãos, carnes, frutas e tubérculos já são tratados por esse processo há bastante tempo. A irradiação consiste na exposição de um alimento à radiação ionizante, proveniente tanto de uma máquina de feixes de elétrons como de fontes radioativas. A fonte radioativa de ⁶⁰Co, de uso comercial, produz raios gama de energias adequadas, além de proporcionar maior segurança ambiental por apresentar-se na forma metálica e ser insolúvel em água (SILVA; ROZA, 2010).

A radiação gama pode ser utilizada em cereais, principalmente para proteção contra infestação de insetos durante o armazenamento, além de reduzir a contaminação microbiana (LEE et al., 2008; ZULETA et al., 2006). O processo de irradiação de grãos é alternativa efetiva ao uso dos fumigantes químicos para o controle de insetos e outras pragas sujeito às barreiras fitossanitárias (ZANÃO et al., 2009).

A radiação ionizante modifica o amido presente no alimento (BHAT; KARIM, 2009) e, considerando que o arroz apresenta elevado conteúdo deste carboidrato (ZHOU et al., 2002), as propriedades finais do arroz cozido serão influenciadas pela modificação sofrida pelo amido. Os efeitos destas modificações nas propriedades do

amido são mais frequentemente percebidos pela redução da viscosidade de pasta, do teor de amilose e da temperatura de gelatinização (BAO; AO; JANE, 2005; BAO; CORKE, 2002; CHUNG; LIU, 2009). Estes parâmetros são significativos para as características culinárias e sensoriais dos grãos de arroz cozidos, sendo que a alteração dos mesmos pode levar à redução da qualidade ou até mesmo à rejeição do produto pelo consumidor.

A análise sensorial de alimentos é baseada no julgamento humano por meio dos órgãos dos sentidos (visão, gosto, tato e audição), para medir as características sensoriais e a aceitabilidade dos produtos alimentícios (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 2007). Ela pode ser realizada por métodos descritivos que são métodos que descrevem qualitativa e quantitativamente as amostras. Têm como objetivo caracterizar as propriedades sensoriais do produto alimentício. O método de análise descritiva quantitativa (ADQ) avalia todos os atributos sensoriais presentes no produto alimentício (aparência, aroma, sabor e textura). Portanto, esta análise fornece uma visão geral das diferenças existentes entre amostras, identificando qual a diferença e o quanto é diferente (DUTCOSKY, 2007; MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 2007).

Os métodos sensoriais afetivos avaliam a preferência ou aceitabilidade de um produto por uma população gostou de um produto quantitativamente. Dentre os testes de aceitação, a escala hedônica de 9 pontos é o mais amplamente utilizado para estudos de aceitabilidade com adultos (DUTCOSKY, 2007;). Esta escala é formada por 9 categorias, com termos variando de "desgostei extremamente" a "gostei extremamente", passando pelo ponto central "nem gostei nem desgostei" (SILVA et al., 2013).

Na literatura poucos estudos avaliaram sensorialmente o arroz irradiado quanto à aceitação (SIRISOONTARALAK; NOOMHORM, 2006; ZANÃO et al., 2009), sendo que nenhum deles aplicou uma análise sensorial mais detalhada, como a descritiva quantitativa.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da irradiação nas características físicas e sensoriais de duas cultivares de arroz.

6.2 Material e métodos

Foram utilizadas as cultivares de arroz IAC 202 (contendo 9,7% de umidade; 6,6% de proteínas; 0,2% de lipídeos, 0,2% de cinzas e 83,3% de carboidratos totais), adquirida junto ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC), e a IRGA 417 (contendo 10% de umidade; 7,5% de proteínas; 0,3% de lipídeos, 0,3% de cinzas e 81,9% de carboidratos totais), cedida pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA). Ambas as cultivares são beneficiadas polidas, classe longo fino.

6.2.1 Irradiação dos grãos

Amostras de 500 g de grãos polidos de arroz foram embalados em sacos de polietileno e submetidos às doses de radiação gama de 1, 2 e 5 kGy, na taxa de dose de 0,4 kGy/h em irradiador Gammacell, modelo 220 Excel (GC-220E, Nordion Inc., Ottawa, ON, Canadá), de ⁶⁰Co, em temperatura ambiente. Uma amostra controle (não irradiada), considerada dose 0, foi utilizada para comparação.

6.2.2 Cor instrumental

As avaliações da cor foram realizadas nos grãos crus e cozidos, utilizando-se colorímetro Minolta, Modelo Chroma Meter CR-400 (Minolta Co., Ltd., Osaka, Japão), segundo o sistema segundo o sistema CIELAB (KONICA MINOLTA, 2007). Os grãos de arroz foram colocados em uma placa de Petri (Ø 100 mm) até formarem uma camada de 10 mm de espessura para serem avaliados. O cozimento da amostra foi baseado na metodologia de Bassinello, Rocha e Cobucci, (2004), utilizando-se 15 g de arroz em placa de Petri (Ø 100 mm) e 30 mL de água destilada, procedendo-se o cozimento no vapor por 25 min.

6.2.3 Textura instrumental

A textura do arroz cozido foi avaliada pelos parâmetros dureza e pegajosidade. Para o cozimento da amostra pesou-se 3 g de arroz em placa de Petri (Ø 60 mm), adicionou-se 6 mL de água destilada e procedeu-se o cozimento no vapor por 25 min, esta metodologia foi adaptada de Bassinello, Rocha e Cobucci, (2004). Após repouso de 5 min, as amostras foram avaliadas em texturômetro TA.XT Plus Texture Analyzer (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, Reino Unido) utilizando célula de carga de 50 kg. Três grãos de arroz foram colocados equidistantes na plataforma Heavy Duty (HDP/90) e comprimidos com o *probe* cilíndrico P35 (Ø 35 mm). A velocidade de pré-teste foi de 1,0 mm/s, a de teste foi de 0,5 mm/s e a de pós-teste de 10 mm/s, com compressão de 90%. Foram realizadas 6 leituras por amostra. A máxima força de compressão foi utilizada como indicadora da dureza do arroz, enquanto a resistência do *probe* para retornar ao ponto inicial após a compressão foi usada como indicadora da pegajosidade.

6.2.4 Análise sensorial

A realização dos testes sensoriais foi previamente aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, sob o Protocolo nº 52/2009. Para ambos os testes sensoriais, as amostras foram cozidas no vapor em placa de Petri (Ø 15 mm) por 30 min, utilizando-se 50 g de arroz, 100 mL de água destilada, 2 mL de óleo de soja e 0,5 g de NaCI (BASSINELLO; ROCHA; COBUCCI, 2004).

As amostras cozidas foram analisadas para verificar sua qualidade microbiológica em função dos Padrões Microbiológicos Sanitários para Alimentos, estabelecidos pela RDC nº 12 (BRASIL, 2001). Esses padrões foram atendidos para os microrganismos estabelecidos para pratos prontos para o consumo a base de cereais (coliformes totais e termotolerantes, *Bacillus cereus*, e Estafilococos coagulase positiva e *Salmonella* sp.). Dessa forma, a análise sensorial pode ser realizada sem riscos à saúde para os provadores.

6.2.4.1 Análise descritiva quantitativa (ADQ)

A Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) foi realizada com provadores entre 21 e 30 anos, selecionados e treinados segundo Stone (1992). Foram convidados a participar do teste pessoas que consumiam arroz com frequência. Após o recrutamento, os provadores realizaram o teste de reconhecimento dos gostos básicos. Para essa fase foram utilizadas soluções quimicamente puras dos gostos básicos: doce (2% sacarose), ácido (0,07% ácido cítrico), salgado (0,2% cloreto de sódio) e amargo (0,07% cafeína). Foram oferecidos 25 mL de cada solução aos provadores em copos plásticos descartáveis, codificados com números aleatórios de 3 algarismos. Os provadores com 100% de acerto dos gostos básicos continuaram na etapa do desenvolvimento de terminologia, onde avaliaram todos os tratamentos, em cabines individuais e descreveram as sensações percebidas em relação à aparência, aroma, sabor e textura na ficha de levantamento de atributos. A terminologia e a ficha de definição de cada termo descritivo foram elaboradas em reunião com todos os participantes, com o agrupamento ou substituição dos termos semelhantes que melhor descreviam as amostras e exclusão de termos discrepantes. Para medir a intensidade de cada atributo da ADQ, foi utilizada uma escala não estruturada de 10 cm, ancorada nas extremidades com os termos "pouco" e "muito". Treze provadores, 11 mulheres e 2 homens, foram treinados utilizando os parâmetros definidos na reunião. Após o treinamento, o teste de ADQ foi realizado em triplicata (3 semanas distintas), cada provador recebeu as amostras em copos de 50 mL, codificados com números aleatórios de 3 algarismos, guardanapos de papel e um copo de 250 mL com água mineral.

6.2.4.2 Teste de aceitação

O teste de aceitação sensorial das amostras foi realizado utilizando-se escala hedônica de nove pontos (1 = desgostei muitíssimo, 2 = desgostei muito, 3 = desgostei moderadamente, 4 = desgostei levemente, 5 = nem gostei nem desgostei, 6 = gostei levemente, 7 = gostei moderadamente, 8 = gostei muito e 9 = gostei muitíssimo) de acordo com Meilgaard, Civille e Carr (2007), quanto à aparência, cor, aroma, sabor e textura. Participaram do teste 63 provadores não

treinados, adultos (entre 21 e 50 anos) de ambos os sexos e consumidores de arroz. A avaliação sensorial foi realizada em cabines individuais, com luz branca e as amostras apresentadas aos julgadores na temperatura usual de consumo (aproximadamente 50°C), em copos descartáveis codificados com algarismos de três dígitos, juntamente com a ficha de avaliação e água mineral para lavar a boca antes de analisar cada uma das amostras.

6.2.5 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, no fatorial 2 x 4, com 2 cultivares de arroz e 4 doses de radiação gama. O número de repetições variou entre as análises, sendo 3 para as análises físicas, 13 para a ADQ e 63 para o teste de aceitação. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao Teste de Tukey (p<0,05) para comparação de médias utilizando-se o sistema estatístico ASISTAT versão 7.6 beta. O coeficiente de concordância entre os provadores do teste de aceitação foi calculado pelo programa de computador CONSENSOR (SILVA; DUARTE; CAVALCANTI-MATA, 2010).

6.3 Resultados e discussão

6.3.1 Análise instrumental de cor

A luminosidade dos grãos crus (Tabela 6.1) das cultivares de arroz foi afetada pela radiação de modo diferenciado. A luminosidade da cv. IAC 202 se mostrou mais próxima do branco e não foi afetada pela radiação em nenhuma das doses estudadas enquanto que a da cv. IRGA 417 apresentou-se maior proximidade do preto com o aumento das doses. Após a cocção a luminosidade do arroz não se diferenciou entre as cultivares e entre as diferentes doses. Portanto, o cozimento equilibrou as luminosidades de todas as amostras, além de ter tornando-as mais claras em função da absorção de água decorrente do processo de gelatinização do amido.

Parâmetro	Cultivor	Dose (kGy)				
	Cultivar	0	1	2	5	
L	IAC 202	$73,5 \pm 0,3^{1 \text{ aA2}}$	73,3 ± 1,1 ^{aA}	$73,2 \pm 0,8$ ^{aA}	72,5 \pm 0,5 ^{aA}	
(cru)	IRGA 417	$68,4 \pm 1,4$ ^{bA}	$67,6 \pm 1,3$ ^{bAB}	$65,9 \pm 0,8$ ^{bB}	$65,7 \pm 1,0$ ^{bB}	
L (cozido)	IAC 202	75,6 ± 0,4 aA	$74,8 \pm 0,8$ ^{aA}	74,3 \pm 0,6 ^{aA}	74,5 \pm 0,4 ^{aA}	
	IRGA 417	$74,4 \pm 0,4$ ^{aA}	73,2 \pm 0,2 ^{aA}	73,2 \pm 0,9 ^{aA}	73,6 ± 2,2 ^{aA}	
b* (cru)	IAC 202	9,5 \pm 0,2 ^{aD}	11,1 ± 0,3 ^{aC}	12,1 ± 0,3 ^{aB}	15,4 ± 0,5 ^{aA}	
	IRGA 417	$8,4 \pm 0,3$ ^{bD}	$9,9 \pm 0,1$ ^{bC}	$10,9 \pm 0,1$ ^{bB}	$13,9 \pm 0,3$ ^{bA}	
b* (cozido)	IAC 202	5,2 ± 0,1 ^{aD}	$6,3 \pm 0,3$ ^{aC}	$7,3 \pm 0,1^{aB}$	10,2 \pm 0,3 ^{aA}	
	IRGA 417	$5,4 \pm 0,2^{aD}$	$6,2 \pm 0,2^{aC}$	$7,4 \pm 0,4$ ^{aB}	$9,5 \pm 0,4$ ^{bA}	

Tabela 6.1 - Parâmetros de cor dos grãos crus e cozidos das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado para cada estado da amostra (cru ou cozido) e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Tanto no arroz cru como no cozido, ocorreu aumento do valor b* (Tabela 6.1) com o aumento das doses, ou seja, houve intensificação da cor amarela para as duas cultivares. O arroz cru da cv. IAC 202 apresentou-se mais amarelo que o da cv. IRGA 417 e no caso do arroz cozido não houve diferença entre as cultivares. A cocção promoveu redução na intensidade de amarelo em ambas cultivares.

O amarelecimento (parâmetro b*) do arroz submetido à irradiação também foi observado em outros estudos (LEE et al., 2007; SIRISOONTARALAK; NOOMHORM, 2006; WOOTTON; DJOJONEGORO; DRISCOLL, 1988), e foi atribuída à presença de melanoidinas formadas pela oxidação de fenóis e/ou pela reação de Maillard, favorecida pela quebra das ligações glicosídicas e peptídicas, com consequente formação de grupamentos carbonilas e aminas livres para reagirem.

O aumento do branco e redução do amarelo ocorrido no arroz cozido em comparação com o cru está relacionado com a absorção de água durante o processo de cocção, que diluiu os compostos coloridos presentes nos grãos.

6.3.2 Análise instrumental de textura

A avaliação dos parâmetros de textura dos grãos cozidos (Tabela 6.2) mostrou que a cv. IAC 202 apresentou menor dureza em relação à cv. IRGA 417. A irradiação promoveu redução na dureza em ambas as cultivares.

Parâmetro	Cultivar	Dose (kGy)			
		0	1	2	5
Dz (kg)	IAC 202	$3,9 \pm 0,16^{1 \text{ bA2}}$	$3,5 \pm 0,14 bB$	$3,1 \pm 0,02$ ^{bC}	$2,7 \pm 0,16$ ^{bD}
	IRGA 417	$4,4 \pm 0,07$ ^{aA}	$4,3 \pm 0,11$ ^{aA}	$3,8 \pm 0,09$ ^{aB}	$3,5 \pm 0,17$ ^{aC}
Pj (kg)	IAC 202	1,1 ± 0,07 ^{aB}	$1,2 \pm 0,03^{aAB}$	$1,2 \pm 0,15 \ ^{aAB}$	$1,3 \pm 0,08$ ^{aA}
	IRGA 417	1,0 ± 0,04 ^{aB}	1,1 ± 0,03 ^{aB}	1,1 ± 0,05 ^{aAB}	1,3 ± 0,05 ^{aA}

Tabela 6.2 - Textura das duas cultivares de arroz cozido em função das doses de radiação

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Dz = dureza; Pj = pegajosidade.

A pegajosidade dos grãos de ambas as cultivares não diferiu entre si, entretanto a irradiação promoveu aumento deste parâmetro na maior dose, sendo de 28% para a cv. IRGA 417 e de 23% para a cv. IAC 202. A pegajosidade do arroz cozido pode ser afetada por ligações entre a orizenina, maior componente da proteína do arroz, e o amido, pois no cozimento ambos são parcialmente degradados, o que permite interações por adsorção reversível entre eles (RAMESH; BHATTACHARYA; MITCHELL, 2000; TULYATHAN; LEEHARATANALUK, 2007). A irradiação pode causar degradação das moléculas de amido (capítulo 3) e proteínas (ZBIKOWSKA; NOWAK; WACHOWICZ, 2006), promovendo aumento na pegajosidade do arroz cozido.

Bao et al. (2001) observaram comportamento semelhante, com redução da dureza e aumento da adesividade dos grãos de arroz submetidos à doses crescentes de radiação gama. A redução da dureza sugere que a irradiação pode suavizar a firmeza do arroz cozido, mas, em contrapartida, aumentar a pegajosidade.

As propriedades de textura do arroz cozido são dependentes da composição química das cultivares (GARCIA et al., 2011), principalmente do teor de amilose e comprimento das cadeias da amilopectina (ONG; BLANSHARD, 1995). A irradiação promove a quebra das macromoléculas do amido, com redução da massa molecular da amilose e amilopectina (capítulo 3). Portanto, as modificações na textura do arroz irradiado cozido estão relacionadas principalmente à degradação do amido. Além disso, as proteínas podem atuar, em menor escala, na textura do arroz, pois ligações dissulfeto intactas tornam os grânulos de amido menos suscetíveis à quebra (ZHOU et al., 2002).

6.3.3 Análise descritiva quantitativa (ADQ)

O painel de provadores, após descrição de atributos e reunião para consenso, definiu a terminologia descritiva das amostras que incluiu 4 atributos para aparência, 3 para aroma, 4 para sabor e 2 para textura, cujas definições utilizadas nos treinamentos encontram-se apresentadas na Tabela 6.3.

A cor amarela (Tabela 6.4) dos grãos teve aumento de intensidade proporcionalmente à elevação das doses de radiação gama, em comportamento também detectado pela análise instrumental de cor (Tabela 6.1). O amarelecimento pode ser atribuído, como sugerido anteriormente, à reação de Maillard e à oxidação de compostos fenólicos.

Para a aparência de solto, houve diferença entre as cultivares estudadas. A irradiação não afetou este parâmetro, exceto para a cv. IAC 202 na maior dose (5 kGy), que apresentou redução, provavelmente pelo aumento da pegajosidade, como observado na textura instrumental (Tabela 6.2).O atributo expandido não apresentou diferença entre as cultivares, nem entre as doses. A aparência de quebrado se mostrou muito diferente entre as cultivares, com a IRGA 417 apresentando-se menos quebrada. Provavelmente pela maior absorção de água que a cv. IAC 202 possui (Tabela 5.4), tonando os grãos de arroz mais inchados e mais suscetíveis à quebra depois de cozido.

Parâmetro	Atributo	Definição
Aparência	Cor amarela	Refere-se à tonalidade e pigmentação dos grãos variando de branco a amarelo
	Solto	Refere-se aos grãos não estarem grudados uns nos outros variando de pouco a muito solto, quanto menos soltos os grão indica que estão mais grudados
	Expandido	Refere-se ao crescimento dos grãos durante o cozimento, variando de pouco a muito expandido
	Quebrado	Refere-se à integridade dos grãos, variando de pouco a muito quebrado
Aroma	Característico	Refere-se ao aroma característico de arroz cozido variando de pouco a muito característico
	Adocicado	Refere-se ao aroma doce presente no arroz variando de pouco a muito adocicado
	Queimado	Refere-se ao aroma de arroz queimado variando de pouco a muito queimado
	Característico	Refere-se ao sabor característico de arroz cozido variando de pouco a muito característico
Cohor	Doce	Refere-se ao sabor adocicado presente no arroz variando de pouco a muito doce
Sabor	Amargo	Refere-se ao sabor amargo presente no arroz variando de pouco a muito amargo
	Queimado	Refere-se ao sabor queimado presente no arroz variando de pouco a muito queimado
Toxturo	Macia	Refere-se à maciez sentida nos dentes quando se mastiga os grãos de arroz, variando de pouco a muito macio
Textura	Pegajosa	Refere-se à sensação dos grãos de arroz de grudar nos dentes e palato ao mastigá-los, variando de pouco a muito pegajoso

Tabela 6.3 - Terminologia descritiva utilizada para o treinamento dos provadores da análise descritiva quantitativa

Dentre os atributos de aroma (Tabela 6.5), o característico se mostrou diferente para as cultivares não irradiadas estudadas. A irradiação, entretanto, não interferiu neste atributo para a cv. IAC 202 e foi reduzido na cv. IRGA 417 com 5 kGy. O atributo adocicado não apresentou diferença entre as doses para ambas cultivares, mas foi diferente entre elas para as doses de 2 e 5 kGy. O atributo queimado não foi diferente entre as cultivares e apresentou-se maior para a dose 5 kGy para a IAC 202 e 2 e 5 kGy para a IRGA 417.

Atributo	Quilting	Dose (kGy)			
Atributo	Cultivar	0	1	2	5
Coromorolo	IAC 202	$0,6 \pm 0,6^{1 \text{ aD2}}$	$1,5 \pm 1,0^{aC}$	$3,4 \pm 2,0^{aB}$	$6,2 \pm 2,0$ ^{aA}
Coramareia	IRGA 417	$0,5 \pm 0,5$ ^{aD}	1,4 ± 1,1 ^{aC}	2,7 ± 1,8 ^{aB}	$5,3 \pm 1,8$ ^{bA}
Solto	IAC 202	$5,6 \pm 2,7$ ^{bA}	$4,8 \pm 2,7$ ^{bA}	$4,8 \pm 2,7$ ^{bA}	$2,3 \pm 2,2$ ^{bB}
30110	IRGA 417	$7,0 \pm 2,4$ ^{aA}	$7,4 \pm 2,1$ ^{aA}	7,7 ± 1,8 ^{aA}	$7,2 \pm 1,8$ ^{aA}
Evpandido	IAC 202	$4,8 \pm 2,6$ ^{aA}	$4,7 \pm 2,4$ ^{aA}	$5,3 \pm 2,4$ ^{aA}	$5,2 \pm 2,5$ ^{aA}
Expandido	IRGA 417	$5,2 \pm 2,7$ ^{aA}	$5,0 \pm 2,8$ ^{aA}	$5,0 \pm 2,8$ ^{aA}	$4,9 \pm 2,8$ ^{aA}
Quebrada	IAC 202	$2,0 \pm 1,8$ ^{aA}	$1,9 \pm 1,8$ ^{aA}	2,2 ± 1,8 ^{aA}	$2,5 \pm 2,3^{aA}$
Queblado	IRGA 417	$0,4 \pm 0,7$ ^{bA}	$0,5 \pm 0,8$ ^{bA}	$0,3 \pm 0,4$ ^{bA}	$0,6 \pm 1,3$ ^{bA}

Tabela 6.4 - Atributos de aparência da ADQ das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Atributo	Cultivar	Dose (kGy)			
Allibulo		0	1	2	5
	IAC 202	$6,7 \pm 2,9^{1 \text{ bA2}}$	$6,7 \pm 2,6^{aA}$	6,4 ± 2,8 ^{aA}	$5,2 \pm 3,0$ ^{aA}
Caracteristico	IRGA 417	8,2 ± 2,1 ^{aA}	7,7 ± 2,1 ^{aA}	7,0 \pm 2,5 ^{aAB}	$5,4 \pm 3,2 \ ^{aB}$
Adopioado	IAC 202	1,4 ± 1,2 ^{aA}	1,3 ± 1,1 ^{aA}	1,9 ± 1,6 ^{aA}	2,1 ± 1,9 ^{aA}
Auocicauo	IRGA 417	1,2 ± 1,5 ^{aA}	1,2 ± 1,3 ^{aA}	1,2 ± 1,2 ^{bA}	1,2 ± 1,3 ^{bA}
Queimado	IAC 202	$0,9 \pm 1,6 \ ^{aB}$	1,1 ± 1,7 ^{aB}	1,6 ± 1,6 ^{aB}	$3,3 \pm 2,4$ ^{aA}
	IRGA 417	$0,4 \pm 0,5$ ^{aC}	1,0 ± 1,5 ^{aBC}	1,6 ± 1,7 ^{aB}	2,8 ± 2,1 ^{aA}

Tabela 6.5 - Atributos de aroma da ADQ das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).</p>

Ao avaliar os atributos de sabor do arroz (Tabela 6.6) constatou-se que o sabor característico de ambas as cultivares foi reduzido quando foi aplicada a maior dose (5 kGy). O gosto doce não apresentou diferença entre cultivares nem entre doses. O gosto amargo aumentou na dose de 5 kGy. As cultivares não mostraram

diferença para o atributo queimado, mas o efeito da irradiação se apresentou para a IAC 202 na maior dose (5 kGy) havendo intensificação, enquanto que para a IRGA 417 já na dose de 2 kGy notou-se a presença do sabor queimado.

		Dose (kGy)			
Atributo	Cultivar	0	1	2	5
Caractarística	IAC 202	7,6 ± 2,2 ^{1 aA2}	$7,3 \pm 2,5$ ^{aA}	$6,5 \pm 2,6^{aA}$	4,3 ± 2,9 ^{aB}
Característico	IRGA 417	$7,5 \pm 2,9$ ^{aA}	$7,3 \pm 2,5$ ^{aA}	6,6 ± 2,9 ^{aAB}	$5,5 \pm 3,0$ ^{aB}
Dess	IAC 202	$0,8 \pm 0,9^{aA}$	$0,9 \pm 0,9$ ^{aA}	$1,0 \pm 0,9^{aA}$	1,1 ± 1,1 ^{aA}
Doce	IRGA 417	$0,6 \pm 0,6$ ^{aA}	$0,9 \pm 1,0^{aA}$	$0,7 \pm 0,9$ ^{aA}	$0,8 \pm 1,1^{aA}$
Amarga	IAC 202	$0,4 \pm 0,5$ ^{aB}	$0,4 \pm 0,6$ ^{aB}	$0,7 \pm 0,9^{aAB}$	1,3 ± 1,9 ^{aA}
Amargo	IRGA 417	$0,4 \pm 0,8$ ^{aB}	$0,7 \pm 1,3^{aAB}$	$0,8 \pm 0,9^{aAB}$	1,2 ± 1,1 ^{aA}
Quaimada	IAC 202	0,8 ± 1,1 ^{aB}	$0,8 \pm 1,2^{aB}$	1,3 ± 1,4 ^{aB}	2,5 ± 2,1 ^{aA}
Queimado	IRGA 417	$0,3 \pm 0,4$ ^{aC}	$0,6 \pm 0,9^{\text{ aBC}}$	1,2 ± 1,4 ^{aB}	$2,8 \pm 2,0^{aA}$

Tabela 6.6 - Atributos de sabor da ADQ das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).</p>

As alterações de aroma e sabor nos alimentos irradiados podem estar relacionadas aos radicais livres gerados pela radiólise da água, que reagem entre si e com outras moléculas. Também podem estar relacionadas à oxidação lipídica que gera hidroperóxidos, além da degradação proteica, principalmente dos aminoácidos que apresentam anel aromático (LIMA FILHO et al., 2012).

Dentre os atributos de textura do arroz, o parâmetro macia (Tabela 6.7) não se mostrou diferente entre as cultivares e nem se alterou com a irradiação. A redução na dureza do arroz observada na análise instrumental de textura, não foi percebida sensorialmente pelos provadores. A textura pegajosa também não foi tão bem percebida quanto pelo texturômetro, apenas na dose 5 kGy da cv. IAC 202 foi detectada. Isto mostra que a sensibilidade das pessoas para detectar diferenças sensoriais na textura do arroz cozido é menor que a textura avaliada instrumentalmente.

Atribute	Cultivar	Dose (kGy)			
Atributo		0	1	2	5
N4 ·	IAC 202	$6,2 \pm 2,8^{1}$ aA2	$6,4 \pm 3,0$ ^{aA}	$6,4 \pm 3,0$ ^{aA}	$6,8 \pm 3,0$ ^{aA}
IVIACIA	IRGA 417	$6,4 \pm 2,7$ ^{aA}	$6,7 \pm 2,4$ ^{aA}	$6,3 \pm 2,7$ ^{aA}	$6,5 \pm 2,4$ ^{aA}
Pegajosa	IAC 202	2,2 ± 2,4 ^{aB}	$2,3 \pm 2,4 = 0.4$	$3,2 \pm 2,5$ ^{aB}	$5,5 \pm 3,2^{aA}$
	IRGA 417	$1,0 \pm 1,2$ ^{bA}	1,3 ± 1,4 ^{bA}	1,6 ± 1,6 ^{bA}	2,1 ± 1,8 ^{bA}

Tabela 6.7 - Atributos de textura da ADQ das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

O gráfico aranha (Figura 6.1) é utilizado para melhor visualização do perfil sensorial. Observa-se que a dose 5 kGy é a que mais se distancia das demais amostras para a maioria dos atributos, com maior intensidade de cor amarela, aroma queimado, sabor amargo, sabor queimado, textura macia e pegajosa, e menor intensidade de aparência solto, aroma característico e sabor característico no caso da cv. IAC 202. Para a cv. IRGA 417 observa-se o mesmo comportamento, com exceção do atributo de aparência de solto.



Figura 6.1 – Perfil sensorial em gráfico aranha das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

6.3.4 Teste de aceitação

No teste de aceitação pelos provadores (Tabela 6.8), para os parâmetros aparência e aroma, a maior aceitabilidade foi para o arroz cv. IRGA 417. Para aparência, a partir da dose 2 kGy de radiação gama houve diferença em relação ao controle, sendo que para a dose de 5 kGy os valores ficaram entre "nem gostei/ nem desgostei" (nota 5) e "gostei levemente" (nota 6) para o arroz cv. IAC 202 e entre "gostei levemente" (nota 6) e "gostei moderadamente" (nota 7) para o IRGA 417. Para o atributo cor, percebeu-se diferença a partir da dose de 2 kGy em relação ao controle para ambas cultivares, sendo o atributo que mais reduziu o valor das notas comparando a dose de 5 kGy com o controle, com 2,7 pontos para a cv. IAC 202 e 1,8 para a cv. IRGA 417. Provavelmente isso ocorreu pelo amarelecimento observado na análise instrumental de cor.

Parâmetro	Cultivar -	Dose (kGy)				
		0	1	2	5	
Aparência	IAC 202	$7,5 \pm 1,0^{1 \text{ bA2}}$	$7,1 \pm 1,4 bAB$	$6,8 \pm 1,6$ ^{bB}	5,2 ± 1,8 ^{bC}	
	IRGA 417	$8,1 \pm 0,9^{aA}$	$8,1 \pm 0,8$ ^{aA}	7,5 ± 1,3 ^{aB}	$6,6 \pm 1,7$ ^{aC}	
Cor	IAC 202	$8,0 \pm 1,0^{aA}$	$7,6 \pm 1,3^{bAB}$	7,2 ± 1,5 ^{aB}	$5,3 \pm 2,0$ ^{bC}	
	IRGA 417	$8,2 \pm 1,2^{aA}$	$8,1 \pm 0,9$ ^{aA}	7,6 ± 1,2 ^{aB}	$6,4 \pm 1,9 \ ^{aC}$	
	IAC 202	6,6 ± 1,6 ^{bA}	6,6 ± 1,6 ^{aA}	6,3 ± 1,7 ^{bA}	5,6 ± 1,9 ^{aB}	
Afoma	IRGA 417	$7,2 \pm 1,5$ ^{aA}	$7,0 \pm 1,5$ ^{aA}	$6,9 \pm 1,5$ ^{aA}	$5,9 \pm 2,0^{aB}$	
Cabar	IAC 202	6,8 ± 1,8 ^{aA}	6,6 ± 1,8 ^{aA}	6,2 ± 1,9 ^{aA}	$5,3 \pm 2,0$ ^{bB}	
Sabor	IRGA 417	7,2 ± 1,5 ^{aA}	$6,9 \pm 1,5$ ^{aAB}	6,4 ± 1,8 ^{aBC}	$5,9 \pm 2,0$ ^{aC}	
Textura	IAC 202	6,9 ± 1,9 ^{aA}	$6,9 \pm 1,7$ ^{aA}	6,3 ± 1,9 ^{aA}	$5,2 \pm 2,3 \ ^{bB}$	
	IRGA 417	7,2 ± 1,7 ^{aA}	7,1 ± 1,8 ^{aA}	6,7 ± 1,8 ^{aA}	$6,8 \pm 1,6^{aA}$	

Tabela 6.8 - Teste de aceitação sensorial por escala hedônica das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

¹ Valores reportados como média ± desvio padrão.

² Letras minúsculas iguais na coluna dentro de cada parâmetro avaliado e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).</p> Para aroma, apenas a dose de 5 kGy apresentou diferença com o controle, sendo que para ambas as cultivares, os valores dessa dose ficaram entre "nem gostei/ nem desgostei" (nota 5) e "gostei levemente" (nota 6).

Para o sabor, houve diferença entre as cultivares apenas para a dose de 5 kGy. Na cv. IAC 202, apenas a maior dose diferiu do controle, já na cv. IRGA 417, a diferença ocorre a partir da dose de 2 kGy. Com relação à textura apenas a cv. IAC 202 na dose de 5 kGy mostrou redução de notas em relação ao controle. A textura instrumental detectou diferença a partir da dose de 1 kGy para dureza, o que mostra que sensorialmente este parâmetro é detectado com menor sensibilidade, portanto, mesmo com modificação na textura do arroz pela irradiação, esse produto continua com boa aceitabilidade para este parâmetro.

A dose de 1 kGy apresentou boa aceitabilidade pelos provadores, sem diferença do controle para nenhum atributo. Para esta dose na cv. IAC 202, 48, 67, 35, 44, e 41% dos provadores (Figuras 6.2 e 6.3) declararam gostar (muito a muitíssimo, notas 8 e 9) da aparência, cor, aroma, sabor e textura, respectivamente. Já na cv. IRGA 417, 81, 83, 49, 41 e 54% dos provadores declararam gostar (muito a muitíssimo, notas 8 e 9) da aparência, cor, aroma, sabor e textura, respectivamente.



Figura 6.2 – Histograma de distribuição de frequência de notas do teste de aceitação para o atributo aparência das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação



Figura 6.3 – Histograma de distribuição de frequência de notas do teste de aceitação para os atributos cor, aroma, sabor e textura das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

Os coeficientes de concordância entre os provadores (Tabela 6.9) mostraram tendência a reduzir com o aumento das doses, o que indica redução na homogeneidade das notas. Isso ocorreu, pois com as modificações causadas pela irradiação, alguns provadores passaram a atribuir notas menores para as amostras, enquanto outros continuaram a atribuir notas maiores, ou por não perceberem as diferenças, ou por não desgostar da amostra diferente.

Tabela 6.9 - Coeficiente de concordância (%) entre os provadores do teste de aceitação sensorial por escala hedônica das duas cultivares de arroz em função das doses de radiação

Darâmatra	Cultivor		Dose (kGy)			
Farametro	Cultival –	0	1	2	5	
Aporônoio	IAC 202	44	39	37	24	
Aparencia	IRGA 417	53	53	39	28	
Cor	IAC 202	49	44	33	19	
COI	IRGA 417	57	53	39	23	
Aromo	IAC 202	30	30	29	20	
Aloma	IRGA 417	34	37	36	22	
Sabar	IAC 202	33	31	23	18	
58001	IRGA 417	33	33	26	22	
Textura	IAC 202	30	34	26	18	
	IRGA 417	33	35	29	32	

6.4 Conclusões

A cocção dos grãos de arroz tornou a coloração mais clara, minimizando o amarelecimento promovido pela irradiação, que também promoveu redução de dureza e aumento da pegajosidade dos grãos cozidos quando avaliados em texturômetro. A caracterização sensorial por análise descritiva quantitativa revelou menor sensibilidade dos provadores em relação ao aparelho, pois detectou-se diferença apenas no parâmetro pegajosidade para a maior dose na cv. IAC 202. Esta análise sensorial também constatou desenvolvimento de aromas e sabores

diferenciados com o aumento das doses, tornando-os menos característicos em ambas cultivares. Pela análise sensorial de aceitabilidade a menor dose (1 kGy) utilizada não causou muitas alterações nos grãos, com boa aceitação pelos provadores, já para a maior dose (5 kGy), todos os parâmetros apresentaram menor aceitação, com exceção à textura para a cv. IRGA 417.

Referências

BAO, J.; AO, Z. H.; JANE, J. Characterization of physical properties of flour and starch obtained from gamma-irradiated white rice. **Starch-Starke**, Weinheim, v. 57, n. 10, p. 480-487, 2005.

BAO, J.; CORKE, H. Pasting properties of gamma-irradiated rice starches as affected by pH. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, n. 2, p. 336-341, 2002.

BAO, J. et al. Effects of gamma irradiation on aspects of milled rice (*Oryza sativa*) end-use quality. **Journal of Food Quality**, Westport, v. 24, n. 4, p. 327-336, 2001.

BASSINELLO, P. Z.; ROCHA, M. S.; COBUCCI, R. M. A. **Avaliação de diferentes métodos de cocção de arroz de terras altas para teste sensorial**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 8 p. (Comunicado Técnico, 84).

BHAT, R.; KARIM, A. A. Impact of radiation processing on starch. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Hoboken, v. 8, n. 2, p. 44-58, 2009.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 10 jan. 2001. Seção 1, p. 45-53.

CHUNG, H. J.; LIU, Q. Effect of gamma irradiation on molecular structure and physicochemical properties of corn starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 74, n. 5, p. C353-C361, 2009.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. Curitiba: Champagnat, 2007. 239 p.

FAO. **FAOSTAT** Database. Rome, 2011. Disponível em: http://faostat.fao.org. Acesso em: 14 ago. 2013.

GARCIA, D. M. et al. Cooking quality of upland and lowland rice characterized by different methods. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 2, p. 341-348, 2011.

KONICA MINOLTA. **Precise color communication**: color control from perception to instrumentation. Ramsey, 2007. 59 p.

LEE, J. W. et al. The effect of irradiation temperature on the non-enzymatic browning reaction in cooked rice. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 76, n. 5, p. 886-892, 2007.

LEE, J. W. et al. Effect of gamma irradiation on viscosity reduction of cereal porridges for improving energy density. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 77, n. 3, p. 352-356, 2008.

LIMA FILHO, T. et al. Energia ionizante na conservação de alimentos: revisão. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 30, n. 2, p. 243-254, 2012.

MEILGAARD, M. C.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. 448 p.

NAVES, M. M. V. Características químicas e nutricionais do arroz. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 25, n. 1, p. 51-60, 2007.

ONG, M. H.; BLANSHARD, J. M. V. Texture determinants in cooked, parboiled rice. I: Rice starch amylose and the fine-structure of amylopectin. **Journal of Cereal Science**, London, v. 21, n. 3, p. 251-260, 1995.

RAMESH, M.; BHATTACHARYA, K. R.; MITCHELL, J. R. Developments in understanding the basis of cooked-rice texture. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 40, n. 6, p. 449-460, 2000.

SILVA, A. L. F.; ROZA, C. R. Uso da irradiação em alimentos: revisão. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 28, n. 1, p. 49-56, 2010.

SILVA, A. N. et al. Performance of hedonic scales in sensory acceptability of strawberry yogurt. **Food Quality and Preference**, Amsterdam, v. 30, n. 1, p. 9-21, 2013.

SILVA, F. A. S.; DUARTE, M. E.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M. Nova metodologia para interpretação de dados de análise sensorial de alimentos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 967-973, 2010.

SIRISOONTARALAK, P.; NOOMHORM, A. Changes to physicochemical properties and aroma of irradiated rice. **Journal of Stored Products Research**, Elmsford, v. 42, n. 3, p. 264-276, 2006.

STONE, H. Quantitative descriptive analysis (QDA). In: HOOTMAN, R. C. (Ed.). **Manual on descriptive analysis testing for sensory evaluation**. Philadelphia: ASTM International, 1992. p. 15-21.

TULYATHAN, V.; LEEHARATANALUK, B. Changes in quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105 during storage. **Journal of Food Biochemistry**, Westport, v. 31, n. 3, p. 415-425, 2007.

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

WOOTTON, M.; DJOJONEGORO, H.; DRISCOLL, R. The effect of gammairradiation on the quality of Australian rice. **Journal of Cereal Science**, London, v. 7, n. 3, p. 309-315, 1988.

ZANÃO, C. F. P. et al. 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**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 46-55, 2009.

ZBIKOWSKA, H. M.; NOWAK, P.; WACHOWICZ, B. Protein modification caused by a high dose of gamma irradiation in cryo-sterilized plasma: Protective effects of ascorbate. **Free Radical Biology and Medicine**, New York, v. 40, n. 3, p. 536-542, 2006.

ZHOU, Z. K. et al. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 37, n. 8, p. 849-868, 2002.

ZULETA, A. et al. Effect of gamma irradiation on the functional and nutritive properties of rice flours from different cultivars. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 83, n. 1, p. 76-79, 2006.

7 CONCLUSÃO GERAL

A irradiação nas taxa e doses estudadas afetou grande parte das propriedades do amido e grãos de arroz, apenas na morfologia dos grânulos, padrão de cristalinidade e teor de fibra alimentar, não se verificou alterações. Tanto no amido quanto nos grãos ocorreu amarelecimento, este sendo muito mais intenso nos grãos devido ao maior teor de proteínas presentes para formação de melanoidinas pela reação de Maillard. No entanto, a cocção reduziu a intensidade da cor amarela nos grãos, devido à diluição dos compostos pela absorção de água. A radiação gama induziu à degradação das moléculas de amilose e de amilopectina, mas também gerou ligações cruzadas, o que levou os amidos das diferentes cultivares a apresentarem comportamentos distintos para a digestibilidade in vitro e para a cristalinidade ao longo das doses aplicadas. Para a cv. IAC 202 ocorreu redução do número das cadeias longas e aumento das cadeias curtas da amilopectina, enquanto para a cv. IRGA 417 ocorreu aumento das cadeias longas e redução das cadeias curtas, promovendo aumento na temperatura de gelatinização. A quebra das moléculas do amido promoveu aumento da capacidade de reter água, da solubilidade em água e da lixiviação de amilose dos grânulos, bem como reduziu a viscosidade de pasta tanto no amido isolado quanto nos grãos, proporcionalmente às doses de radiação aplicadas.

O teor de amilose, dependendo da metodologia utilizada, apresentou aumento quando analisado no amido e redução quando avaliado nos grãos (coloração com iodo), ambos os resultados indicam quebra das cadeias de amilose e das cadeias laterais longas da amilopectina. A degradação das moléculas do amido promoveu também alterações nas propriedades de cocção dos grãos de arroz, com redução da absorção de água e do volume de expansão dos grãos cozidos, com elevação da perda de sólidos na água de cocção.

A irradiação também promoveu redução de firmeza e aumento da pegajosidade dos grãos cozidos. No entanto, a caracterização sensorial por análise descritiva quantitativa mostrou mínima percepção dos provadores na alteração destes parâmetros de textura. Esta análise sensorial constatou desenvolvimento de aromas e sabores diferenciados com o aumento das doses, tornando-os menos característicos em ambas cultivares. As amostras que receberam 1 kGy de radiação

gama foram bem aceitas pelos provadores. Esta dose também apresentou maior teor de amido resistente e menor alteração nas demais propriedades, portanto, considerando-se os aspectos nutricionais, sensoriais e físico-químicos dos grãos de arroz, esta dose é recomendada para aplicação em grãos de arroz.