**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Efeito da radiação gama e de tratamentos hidrotérmicos sobre as
características físico-químicas, funcionais e nutricionais da
farinha e do amido de banana verde (*Musa acuminata* cv. Nanica)**

Daniel Modenese

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência e
Tecnologia de Alimentos

**Piracicaba
2011**

Daniel Modenese
Engenheiro de Produção

**Efeito da radiação gama e de tratamentos hidrotérmicos sobre as
características físico-químicas, funcionais e nutricionais da
farinha e do amido de banana verde (*Musa acuminata* cv. Nanica)**

Orientadora:
Prof^a. Dra. **SILENE BRUDER SILVEIRA SARMENTO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Ciências. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de
Alimentos

**Piracicaba
2011**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Modenese, Daniel

Efeito da radiação gama e de tratamentos hidrotérmicos sobre as características físico-químicas, funcionais e nutricionais da farinha e do amido de banana verde (*Musa acuminata* cv. Nanica) / Daniel Modenese. - - Piracicaba, 2011.
111 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Amido 2. Banana 3. Digestibilidade 4. Farinha 5. Radiação gama
6. Tratamento térmico I. Título

CDD 664.804772
M689e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADECIMENTOS

À Deus, por guiar meus passos ao longo deste trabalho.

À minha família, pelo apoio incondicional em todos os momentos.

À ESALQ (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz), ao LAN (Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição) e ao CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura) pela disponibilização de suas instalações e equipamentos durante o projeto.

À profa. Dra. Silene Bruder Silveira Sarmento, por toda a orientação, atenção e dedicação.

À FAPESP, processo nº 09/54867-0, pelo auxílio financeiro para a realização do projeto.

Ao coordenador prof. Dr. André Ricardo Alcarde e à CAPES, pela bolsa de mestrado.

À técnica de laboratório eng. Carlota Boralli Prudente dos Anjos, por toda a colaboração e apoio.

Ao doutorando Luiz Fernando Polesi, por toda a ajuda em análises, resultados e discussões pertinentes à dissertação.

Às orientandas Patrice Berbert Dias e Fernanda Viginotti Alves, pelas diversas ajudas e pelo companheirismo.

Aos estagiários Caio, Maria Cecília, Amanda e Pyera, pelo auxílio na realização das análises.

Ao prof. Dr. Valter Arthur e ao técnico Paulo, pelo auxílio com a irradiação das amostras.

Aos professores Dra. Solange Guidolin Canniatti-Brazaca, Dra. Claudinéia Aparecida Soares, Dra. Maria Antonia Calori Domingues, e Dr. Valter Arthur, pelas sugestões como pareceristas deste trabalho.

À profa. Dra. Célia Maria Lande Franco (IBILCE/UNESP), pelas análises em DSC.

Ao prof. Dr. Antônio C. de Azevedo (LSO), pelas análises de difratometria de raios X.

Ao prof. Dr. Carlos Tadeu (LCE), pela ajuda na definição das análises estatísticas.

À todos os funcionários do LAN, pelo carinho e atenção.

Aos alunos de pós-graduação pelo auxílio, incentivo e amizade.

À todos que, direta ou indiretamente, participaram da realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	07
ABSTRACT.....	09
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 A banana.....	13
2.2 O amido e sua digestibilidade.....	14
2.3 Efeitos do processamento da farinha e amido de banana verde sobre os teores de AR.....	17
2.4 Efeitos do amido resistente sobre a saúde humana.....	20
2.5 Irradiação de alimentos.....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Material.....	23
3.2 Métodos.....	24
3.2.1 Preparo das farinhas de banana verde.....	24
3.2.2 Isolamento e tratamentos do amido de banana verde.....	26
3.3 Avaliação das farinhas.....	28
3.3.1 Composição.....	28
3.3.2 Cor.....	29
3.3.3 Propriedades de pasta.....	32
3.3.4 Índice de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA)	33
3.3.5 Digestibilidade <i>in vitro</i>	34
3.4 Avaliação dos amidos.....	34
3.4.1 Composição.....	34
3.4.2 Índice de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA)	35
3.4.3 Difractometria de raios X e cristalinidade relativa.....	35
3.4.4 Calorimetria diferencial de varredura.....	36
3.4.5 Permeação em gel.....	37
3.4.6 Propriedades de pasta.....	37
3.4.7 Digestibilidade <i>in vitro</i>	38
3.4.8 Determinação de ligações $\beta(1-3)$ e $\beta(1-4)$	38
3.5 Análise estatística.....	38

4 RESULTADOS.....	39
4.1 Avaliação das farinhas de banana verde.....	39
4.1.1 Parâmetros de cor das farinhas.....	39
4.1.2 Composição das farinhas.....	43
4.1.3 Digestibilidade <i>in vitro</i> das farinhas.....	50
4.1.4 Propriedades de pasta das farinhas.....	54
4.1.5 Índices de solubilidade em água (ISA) e de absorção de água (IAA) das farinhas.....	61
4.2 Avaliação do amido natural de banana verde.....	64
4.2.1 Composição do amido natural.....	64
4.2.2 Índices de solubilidade em água (ISA) e de absorção de água (IAA) do amido natural.....	65
4.3 Avaliação dos amidos submetidos ao processo de irradiação e de irradiação seguida de tratamentos hidrotérmicos.....	66
4.3.1 Parâmetros de cor dos amidos.....	66
4.3.2 Composição dos amidos.....	70
4.3.3 Digestibilidade <i>in vitro</i> dos amidos.....	74
4.3.4 Determinação de amido com ligações $\beta(1-3)$ e $\beta(1-4)$	78
4.3.5 Difractometria de raios X e cristalinidade relativa.....	79
4.3.6 Calorimetria diferencial de varredura.....	83
4.3.7 Permeação em gel.....	87
4.3.8 Propriedades de pasta dos amidos.....	89
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
6 CONCLUSÕES.....	99
REFERÊNCIAS.....	101

RESUMO

Efeito da radiação gama e de tratamentos hidrotérmicos sobre as características físico-químicas, funcionais e nutricionais da farinha e amido de banana verde (*Musa acuminata* cv. Nanica)

O objetivo do estudo foi avaliar o efeito da radiação gama e da irradiação seguida de tratamentos hidrotérmicos sobre as características físico-químicas, funcionais e nutricionais (digestibilidade) de farinha e amido de banana verde. Bananas verdes *Musa acuminata* (AAA *Cavendish*) foram processadas visando a obtenção de farinha e a extração do amido. A farinha foi submetida às doses de radiação gama de 0 (controle); 1,0; 2,0; 5,0 e 10,0 kGy e o amido à 0 (controle); 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 kGy. Parte da farinha e do amido seguiu para os tratamentos hidrotérmicos, que constaram de umidificação na a proporção 1:20 p/v (farinha ou amido : água destilada), banho térmico (80 °C por 1 hora), armazenamento refrigerado (5 °C por 24 horas) e desidratação em estufa (45 °C por 24 horas). A avaliação da farinha somente irradiada demonstrou que, com o aumento da dose de radiação aplicada, houve aumento dos teores de açúcares redutores e de redutores totais, índice de solubilidade em água (ISA), croma (C), índice de escurecimento (IE) e dos teores de amido rapidamente digerível (ARD) e lentamente digerível (ALD). Houve também redução dos teores de amido resistente (AR) e das viscosidades de pasta (máxima, final e de quebra), além da tendência a retrogradação. Nas farinhas irradiadas e tratadas hidrotérmicamente, o aumento da dose causou elevação dos teores de açúcares redutores e de ALD, do ISA, temperatura de pasta, C e IE. Nestas houve também redução do índice de absorção de água (IAA), do teor de ARD, das viscosidades máxima, final e tendência a retrogradação. O teor de AR das farinhas destes tratamentos apresentou elevação até 2 kGy. A inclusão dos tratamentos hidrotérmicos às farinhas irradiadas alterou a digestibilidade do amido, elevando o teor de ARD e reduzindo os de ALD e AR em função da gelatinização em todas as doses. Também houve elevação dos teores de fibra dietética total (FDT) em doses acima de 2 kGy. A cor foi alterada, com redução de luminosidade (L) e do ângulo Hue (°H), e elevação de C e IE. Houve aumento do IAA e redução do ISA. Os tratamentos hidrotérmicos alteraram o perfil viscoamilográfico das amostras gerando picos menos agudos, com menor quebra de viscosidade e maior tendência a retrogradação. A avaliação dos amidos somente irradiados demonstrou que, com o aumento da dose de radiação aplicada, houve apenas aumento do °H. Tanto no amido somente irradiado como no irradiado com posteriores tratamentos hidrotérmicos, houve elevação do teor de amido com ligações beta e redução do teor de amilose, da cristalinidade relativa, das viscosidades máxima, final e de quebra e também houve quebra da amilopectina. A inclusão dos tratamentos hidrotérmicos promoveu ainda o escurecimento dos amidos (redução de L e elevação de C, °H e IE). Os teores de amilose foram reduzidos e os de FDT elevados. A digestibilidade *in vitro* apresentou elevação do teor de ARD e redução em ALD e AR. Foi observada quebra da amilopectina, principalmente, e também redução da cristalinidade relativa. Todos os pontos críticos dos viscoamilogramas apresentaram elevação com os tratamentos hidrotérmicos, exceto a temperatura de pasta, que permaneceu inalterada.

Palavras-chave: Banana verde; Farinha; Amido; Radiação gama; Gelatinização; Retrogradação; Digestibilidade; Amido resistente

ABSTRACT

Effect of gamma radiation and hydrothermal treatments on the physicochemical, functional and nutritional characteristics of flour and starch from green bananas (*Musa acuminata* cv. Nanica)

The aim of this study was to evaluate the effect of gamma radiation and gamma radiation followed by hydrothermal treatments on the physicochemical, functional and nutritional (digestibility) characteristics of flour and starch from green bananas. Green bananas *Musa acuminata* (AAA *Cavendish*) were processed in order to obtain flour and extract starch. The flour was subjected to gamma radiation doses of 0 (control); 1,0; 2,0; 5,0 and 10,0 kGy and the starch to doses of 0 (control); 0,5; 1,0; 1,5 and 2,0 kGy. Part of the flour and starch received hydrothermal treatments, consisted of humidification in the ratio 1:20 w/v (flour or starch : distilled water), thermal bath (80 °C for 1 hour), cold storage (5 °C for 24 hours) and dehydration in oven (45 °C for 24 hours). The assessment of only irradiated flours showed that with the increase of radiation dose, there was an increase in levels of reducing sugars and total reducing sugar, water solubility index (WSI), chroma (C), browning index (BI) and of rapidly digestible (RDS) and slowly digestible starch (SDS) content. There was also a reduction in resistant starch (RS) levels and in paste viscosities (maximum, final and breakdown) and setback. In the irradiated and hydrothermically treated flours, the dose increase caused an elevation in levels of reducing sugars and SLS, of WSI, pasting temperature, C and BI. In these flours there was also reduction in the water absorption index (WAI), RDS content, maximum and final viscosities, and setback. The content of RS from the flours of these treatments increased up to 2 kGy. The inclusion of hydrothermal treatments (gelatinization and retrogradation) to irradiated flours changed the digestibility, raising RDS level and reducing the SDS and RS levels at all doses. There was an increase in the levels of total dietary fiber (TDF) at doses above 2 kGy. The color was altered with reduction of luminosity (L) and Hue angle (°H), and elevation of C and BI. There was an increase of WAI and reduction of WSI. The hydrothermal treatments altered the viscosity profile of the samples generating less sharp peaks, with less viscosity breakdown and a greater setback. The evaluation of only irradiated starches showed that with the use of increasing radiation dose, there was only an increase of °H. Both in the only irradiated starch and in the irradiated one with subsequent hydrothermal treatments, there was an increase of starch with beta bonds and reduction of amylose content, relative crystallinity, maximum and final viscosity, breakdown as well as amylopectin molecules break. The inclusion of hydrothermal treatments promoted browning of starches (reduction of L and elevation of C, °H and BI). The amylose contents were reduced and those of TDF were elevated. The *in vitro* digestibility presented elevated levels of RDS and reduction in SDS and RS. It was observed amylopectin break and also relative crystallinity reduction. All critical points of viscoamylograms showed an increase caused by hydrothermal treatments, except for pasting temperature, that remained unchanged.

Keywords: Green banana; Flour; Starch; Gamma radiation; Gelatinization; Setback; Digestibility; Resistant starch

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui apresenta uma superfície cultivada de 510.825 hectares (AGRA FNP, 2010). São produzidas anualmente 7 milhões de toneladas de bananas brasileiras, correspondente a 7,8 % da produção mundial deste fruto (FAO, 2010).

Uma das formas de aproveitamento industrial que tem sido bastante enfatizada nos últimos anos é a produção de farinha de banana verde, que apresenta alta viabilidade técnica e econômica. Este mercado decorre destas farinhas apresentarem consideráveis teores de amido total (73,4 %) e de amido resistente (17,5 % do total de amido) (JUAREZ-GARCIA et al., 2006). Devido a essa presença considerável de AR nas farinhas, as bananas verdes podem ser uma boa opção de estudo com apelo de alimento funcional (RAMOS; LEONEL; LEONEL, 2009).

Amido resistente (AR) à hidrólise enzimática pode ser definido como a soma do amido e dos produtos da degradação do amido que não são digeridos ou absorvidos no intestino delgado (LAJOLO et al., 2001). De acordo com Sanz et al. (2009) o AR foi recentemente reconhecido como fibras, apresentando características similares quanto à fermentação no intestino grosso e resposta glicêmica.

O consumo de fibras na sociedade ocidental está muito abaixo da quantidade recomendada. Com o intuito de incrementar o teor de fibras nas dietas, muitos alimentos enriquecidos com fibras estão sendo desenvolvidos. De acordo com Buttriss e Stokes (2008) os benefícios trazidos à saúde, relacionados com o consumo de altos teores de fibras na alimentação, ainda estão sendo estabelecidos. Alguns, como a redução de riscos de certos tipos de câncer, doenças do coração, obesidade e diabetes, já estão bem estabelecidos, enquanto outros precisam de mais estudos.

Como vários fatores podem estar envolvidos na formação do AR e afetar sua resposta fisiológica, torna-se importante conhecer melhor as propriedades físico-químicas do amido nos alimentos e os fenômenos envolvidos na formação do AR (LOBO; SILVA, 2003).

Na literatura existem vários estudos caracterizando a fração amido isolado de bananas verdes (MOTA et al., 2000; TORRES et al., 2005; LEONEL et al., 2008; RODRIGUEZ-AMBRIZ et al., 2008; PACHECO-DELAHAYE et al., 2008) e também estudos sobre efeitos dos métodos de produção de farinhas sobre o teor de AR (CARDENETTE, 2006). Poucas pesquisas,

entretanto, correlacionam o efeito do processamento das farinhas sobre a estrutura do amido presente e sua digestibilidade.

Em alimentos processados pode ocorrer tanto a elevação como a redução do conteúdo de AR originalmente presente, dependendo das condições de seu processamento (ALSAFFAR, 2011). Sendo assim, métodos de produção e otimização do teor de AR em produtos amiláceos têm sido avaliados em pesquisas recentes. Dentre estes, estudos da despolimerização e desramificação das macromoléculas de amido, visando maior facilidade de retrogradação para a produção de AR, têm sido os mais frequentes, quer usando tratamento enzimático (OZTURK et al., 2009; LEHMANN; JACOBASCH; SCHMIEDI, 2002), quer pelo uso de ácido (FAISANT et al. 1993; 1995a; APARÍCIO-SAGUILÁN et al., 2005; AGUIRRE-CRUZ et al., 2008).

A irradiação gama é considerada uma metodologia de modificação física do amido (BAO; AO; JANE, 2005). É bastante conhecido o fato de que este processo quebra moléculas de amido, reduzindo sua viscosidade, entretanto, poucas são as informações acerca do efeito da radiação sobre a digestibilidade do amido.

No estudo de Rombo, Taylor e Minnaar (2001) doses de radiação mais baixas (2,5 kGy) incrementaram a digestibilidade, mas doses superiores reduziram a digestibilidade das farinhas de milho e de feijão, cruas e cozidas. Em estudo posterior, Rombo, Taylor e Minnaar (2004) observaram que a elevação das doses de radiação causaram aumento da proporção de ligações do tipo $\beta(1-3)$ e $\beta(1-4)$, além de desramificação e redução do peso das macromoléculas de amido. Tais alterações foram associadas à redução da digestibilidade destes amidos. Posteriormente, Chung e Liu (2009) também observaram alterações, nos teores de amido lentamente digerível e resistente, no amido de milho irradiado em diferentes doses e taxas.

Estudos do efeito da radiação gama sobre farinhas de bananas verdes são escassos na literatura. O presente projeto teve por objetivo avaliar o efeito da radiação gama e de tratamentos hidrotérmicos adicionais à irradiação sobre as características físico-químicas, funcionais e nutricionais do amido e da farinha de banana verde.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A banana

A banana, que tem origem no Sudoeste da Ásia, encontrou nas terras permeáveis, levemente ácidas e úmidas do litoral do Brasil, a condição perfeita para seu desenvolvimento (HOENNE, 1937).

A banana pode ser utilizada no estado verde e maduro. Na maturação da banana, o vegetal sofre diversas alterações internas, responsáveis por mudanças relacionadas à cor, textura, aroma e sabor do produto. Antes da maturação, as bananas são verdes e se compõem, basicamente, de amido e água. Em seu processo de amadurecimento, a maior parte do amido transforma-se em açúcar (glicose, sacarose e frutose), tornando-se mais doce (BLEINROTH, 1972).

Os estágios de maturação são aferidos pela coloração da casca e pelos percentuais de amido e açúcar do fruto, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Coloração da casca e teores de amido e de açúcares durante o amadurecimento da banana

Grau	Coloração da casca	Amido (%)	Açúcar (%)
1	Verde	20,0	0,5
2	Verde com traços amarelos	18,0	2,5
3	Mais verde que amarelo	16,0	4,5
4	Mais amarelo que verde	13,0	7,5
5	Amarelo com pontas verdes	7,0	13,5
6	Totalmente amarelo	2,5	18,0
7	Amarelo com pequenas manchas de cor marrom	1,5	19,0
8	Amarelo com grandes manchas de cor marrom	1,0	19,5

Fonte: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (1972)

Bananas verdes, em grau 0 e 1, possuem entre 61,7 e 58,6 % de amido, enquanto bananas maduras, em grau de maturação 7 e 8, possuem somente entre 2,6 e 3,3 % de amido (LII; CHANG; YOUNG, 1982).

Na digestão humana, a quantidade de amido de banana não hidrolisada e não absorvida no intestino delgado também depende diretamente do grau de maturação da banana (ENGLYST; CUMMINGS, 1986).

2.2 O amido e sua digestibilidade

O amido é um carboidrato produzido na fotossíntese e armazenado na forma de grânulos de características específicas para cada vegetal. Sua constituição química é uma mistura de dois polímeros de alto peso molecular, a amilose (polímero essencialmente linear) e a amilopectina (polímero ramificado). A proporção de amilose e amilopectina nos amidos pode ser alterada geneticamente. O amido é branco, insípido, insolúvel em água, porém absorve água ao ser aquecido, o que faz os grânulos incharem formando uma pasta. Este fenômeno é irreversível e é chamado de gelatinização. Após o estado de pasta, transforma-se em gel, pelo resfriamento (SOUSA; PEIXOTO; TOLEDO, 1995).

O amido é utilizado em indústrias de processamento de alimentos para conferir diversas propriedades funcionais e é responsável pela maioria das propriedades reológicas dos produtos. As agroindústrias dependem cada vez mais do conhecimento das características e das propriedades do amido, o que possibilita aprimoramento tecnológico, formas corretas de utilização e busca de novos mercados (LAJOLO et al., 2001; CEREDA, 2001).

A funcionalidade do amido dependerá das proporções de amilose e de amilopectina presentes nos grânulos, assim como de seus tamanhos e arranjos estruturais (ZHANG et al., 2005). A concentração de amilose, em amidos de bananas, já foi citada em literatura como sendo de 16 % (KAYISU; HOOD; VANSOEST, 1981).

O amido de banana começou a ser mais pesquisado a partir da introdução do conceito de amido resistente (AR) (FREITAS; TAVARES, 2005), pois apresenta elevados teores deste, o que pode conferir benefícios à saúde humana (FAISANT et al., 1995b).

Um dos fatores principais que afetam a digestibilidade do amido e sua resposta fisiológica foi atribuído ao seu teor amilose:amilopectina (BEHALL; SCHLFIELD; CANARY, 1988). De maneira geral, amidos com elevado teor de amilose são usados como fonte de AR (LEHMANN; ROBIN, 2007).

Os diversos amidos podem ser classificados quanto à digestibilidade em ARD – Amido Rapidamente Digerível - ao ser submetido à incubação com amilase pancreática e

amiloglucosidase em uma temperatura de 37°C, convertendo-se em glicose em 20 minutos; ALD – Amido Lentamente Digerível - ao ser submetido à incubação com amilase pancreática e amiloglucosidase em uma temperatura de 37 °C, convertendo-se em glicose em 120 minutos e AR – Amido Resistente – resiste à ação de enzimas digestivas (LAJOLO et al., 2001).

Alguns poucos autores têm investigado os tratamentos hidrotérmicos e os enzimáticos do amido para promover a formação de ALD (LEHMANN; ROBIN, 2007). Uma ilustração das cadeias de amido retrogradado e o arranjo do material amorfo, que determina a formação de ALD é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Estrutura dos géis de amilose como característica estrutural do ALD recristalizado (adaptado de Lehman e Robin, 2007)

As propriedades estruturais da fração intermediária do amido com baixa digestibilidade e seu potencial de benefícios à saúde não estão bem entendidos. O ALD oferece a vantagem de um lento incremento nos níveis de glicose do sangue, além de sustentar os níveis de glicose no sangue por mais tempo em comparação com o ARD, o qual apresenta maior pico e mais rápido declínio dos níveis de glicose no sangue. Há boas razões para acreditar que o ALD oferece benefícios à saúde devido à estabilidade e sustentabilidade de seu efeito nos níveis de glicose sanguínea (LEHMANN; ROBIN, 2007).

Não sendo digerido, o AR pode ser utilizado para formulações com baixos teores de gordura e açúcar, podendo ser indicado em dietas específicas, como diabetes e dietas de controle

do peso. Apresentam propriedades semelhantes às das fibras dietéticas vegetais e demonstram benefícios fisiológicos promissores na prevenção de doenças em seres humanos (SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006). Um estudo realizado por Willis et al. (2009) indicou que nem todas as fibras saciam igualmente e que o AR é um dos tipos de fibras que mais sacia.

Os amidos resistentes, por sua vez, podem ser classificados como sendo do Tipo 1 (AR_1) – amido fisicamente inacessível (Figura 2A); Tipo 2 (AR_2) – grânulos de amido resistente natural (Figura 2B); Tipo 3 (AR_3) – amido retrogradado, encontrado após tratamento hidrotérmico e Tipo 4 (AR_4) – amido quimicamente modificado e não encontrado naturalmente (LAJOLO et al., 2001). Alguns autores têm considerado ainda o tipo 5, o qual é formado por amidos com alto teor de amilose que requerem maiores temperaturas para gelatinização e são mais suscetíveis à retrogradação (FUENTES-ZARAGOZA et al., 2011).

Figura 2 – Estrutura do amido resistente. **A)** Amido resistente do tipo 1 (AR_1). **B)** Amido resistente do tipo 2 (AR_2)
Fonte: Sajilata, Singhal e Kulkarni (2006).

O processo de retrogradação caracteriza o amido resistente tipo 3 (amido retrogradado). A reestruturação proveniente do processo de retrogradação dificulta o acesso das enzimas, prejudicando a digestibilidade do amido (SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006). Uma figura esquemática do AR_3 obtido em uma solução aquosa de amilose retrogradada é apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Representação esquemática do amido resistente do tipo 3. **A)** Modelo de micela. Duplas hélices são ordenadas em estrutura cristalina (C), intercalada com regiões amorfas, degradáveis pelas enzimas. **B)** Modelo de lamela. Estruturas lamelares são formadas por dobras das cadeias poliméricas. As zonas de dobra são amorfas (A), enquanto o centro da lamela é cristalino (C)

Fonte: Sajilata, Singhal e Kulkarni (2006).

O AR₃ é de particular interesse como ingrediente na indústria de alimentos por causa de sua funcionalidade física e nutricional e estabilidade no processamento (HARALAMPU, 2000; THOMPSON, 2000).

O amido de banana verde possui alto grau de cristalinidade, contendo maior quantidade de regiões cristalinas do que de regiões amorfas, podendo apresentar altas concentrações de AR em uma mistura de tipos 1, 2 e 3 (BELLO-PÉREZ et al., 2005).

2.3 Efeitos do processamento da farinha e do amido de banana verde sobre os teores de AR

A farinha de banana é um alimento energético e de alto valor nutritivo, obtida pela moagem de bananas verdes desidratadas. Sua composição varia com a variedade de banana utilizada, suas condições de desenvolvimento, maturação e processamento (BADOLATO; ALMEIDA; LIMA, 2006).

Mota et al. (2000) avaliaram farinhas das variedades Ouro Colatina, Nanica, Nanicão, Prata anã, Prata comum, Mysore, Maçã e Ouro da Mata. Os maiores teores de amido total foram da Nanica (76,5 %), Nanicão (76,1 %) e Prata (72,4 %). Estes autores, contudo, não avaliaram o teor de AR.

Os processos de obtenção da farinha de banana verde, citados na literatura, são diversos. As diferentes técnicas de processamento dos alimentos amiláceos, entretanto, podem resultar em

diferentes quantidades (MUIR; O'DEA, 1992) e tipos de AR. Tomando como exemplo a batata, no experimento de Mishra, Monro e Hedderley (2008), os teores de AR foram comparados entre o material cru, apenas cozido e cozido seguido de resfriamento (4 °C por 2 dias). Sem alcançar a temperatura de gelatinização, o amido de batata permaneceu na forma granular, sendo altamente resistente ao ataque enzimático e classificado como AR₂. Com o cozimento o AR₂ foi quase completamente convertido em amido rapidamente digerível, mas com o resfriamento posterior, o teor de AR se elevou, devido à formação de AR₃ (MISHRA; MONRO; HEDDERLEY, 2008).

Um processo bastante simples de fabricação de farinha de banana verde foi citado por Medina et al. (1985), onde os frutos foram descascados, cortados e tratados com dióxido de enxofre por meio de aspersão. As amostras foram inicialmente secas ao sol, sendo a secagem final efetuada em forno à temperatura moderada. O produto seco foi moído, peneirado e acondicionado em sacos de papel.

O estado de maturação e a exposição a altas temperaturas com a presença de água (gelatinização) podem influenciar nos teores de amido resistente (CHAMP et al., 2003).

Diferentes técnicas de secagem foram avaliadas para preservação dos teores de AR em farinha de banana verde variedade Nanicação. Enquanto que a secagem em tambor rotativo causou redução de 94,03 % do AR presente, as secagens por atomização, liofilização e em bandejas, foram todas eficazes em preservar o AR da matéria-prima, tendo a secagem em bandejas (55 °C) outras vantagens, pois requerem menores investimentos e custos de operação inferiores (ORMENESE, 2010).

No estudo de Izidoro et al. (2011) foram observadas diferenças significativas entre os teores de AR encontrados em amidos de banana verde variedade Nanica desidratados em forno convencional (50 °C) e em *spray-drier* (130 °C temperatura de entrada e 47 °C temperatura de saída). Os autores reportaram que a secagem convencional não afetou o nível de resistência granular do amido, resultando num maior teor de AR (79,89 %).

As condições de secagem da farinha de banana verde variedade Nanicação (AAA) interferiram nas concentrações finais de AR. Desde que a temperatura de gelatinização não seja alcançada, em maiores velocidades de ar, as farinhas apresentam maiores teores de AR após a secagem. A melhor produção de AR foi de 58,5 %, utilizando-se uma temperatura de secagem 55 °C e uma velocidade do ar de 1,4 m/s (TRIBESS et al., 2009).

Processos de congelamento-descongelamento, assim como de redução de peso molecular do amido, previamente ao congelamento-descongelamento, podem elevar a produção de amido resistente ao permitir maior associação entre as cadeias de amilose (CHUNG; JEONG; LIM, 2003). A retrogradação aumenta sua resistência à digestão enzimática (RENDÓN-VILLALOBOS et al., 2006).

Os tratamentos ácido e enzimático, previamente ao tratamento hidrotérmico, também podem causar variações nas concentrações de AR no amido de banana. No estudo de Lehmann, Jacobasch e Schmiedi (2002), depois do amido passar por processos de autoclavagem e resfriamento, a concentração de AR caiu de 95,1 % para 6,5 %, entretanto, após incluir também um tratamento com pululanase (enzima desramificadora), o teor de AR encontrado foi de 51 %. Diferentes temperaturas de armazenamento (4 e 25 °C) não demonstraram alterações nos teores de AR. Um tratamento hidrotérmico adicional, após a retrogradação, elevou o teor de AR para 84 %, resultando em um produto com alto teor de AR₃, com boas propriedades sensoriais e palatabilidade.

O tratamento do amido com ácido clorídrico, em temperaturas relativamente elevadas (30 a 40 °C), produz o amido lintnerizado (LINTNER, 1886). No estudo de Aparício-Saguilán et al. (2005) o teor de AR em amido foi aumentado de 1,51 % para 2,61 %, quando o amido de banana *in natura* foi tratado por tratamento com ácido clorídrico 1M a 35 °C por 6 h, seguido de adição de NaOH 1M até pH 6, lavagem dos sólidos com água destilada e secagem. Neste estudo, parte das amostras de amido nativo e de amido lintnerizado passou por três ciclos de autoclavagem (121 °C por 1 hora), seguido de resfriamento (4 °C por 24 horas). Os autores observaram elevação dos teores de AR, sendo estes de 16,0 % para o amido nativo e 19,3 % para o lintnerizado.

Farinhas de bananas foram produzidas por tratamento ácido (400 mL de HCl / 100 g farinha) nas concentrações de 0,6 a 2,2 M, temperaturas de 30 a 45 °C e tempos de tratamento de 1 a 20 dias. Após tratamento ácido, as amostras foram neutralizadas com NaOH, nas mesmas concentrações molares dos ácidos até pH 7,0. O pó úmido foi lavado em água destilada e os resíduos desidratados (50 °C por 24 horas) e peneirados. Todas as variáveis influenciaram o incremento nas fibras dietéticas, sendo que as que produziram maiores teores de AR (61 %) foram as tratadas a 37,5 °C por 10,5 dias a 1,6 M de HCl (AGUIRRE-CRUZ et al., 2008).

2.4 Efeitos do amido resistente sobre a saúde humana

Devido aos seus significados para a saúde humana, componentes da dieta como fibras dietéticas e amido resistente (AR) tornaram importantes funcionalidades para aplicação em diferentes alimentos e para a investigação científica (VAN DOKKUM, 2008).

Anteriormente, consideravam-se somente dois tipos de fibras dietéticas (solúveis e insolúveis). Nos anos mais recentes, o amido resistente foi acrescido à fração fibra. Assim, o AR é considerado como fibra naturalmente insolúvel e capaz de promover alguns dos benefícios à saúde causados pelas fibras solúveis e insolúveis, além de outras vantagens. Atualmente, muitos estudos consideram os benefícios do AR e o inclui como um tipo de fibra dietética, juntamente com as fibras dietéticas solúveis e insolúveis (NATIONAL STARCH AND CHEMICAL COMPANY, 2009).

Apesar do AR causar alguns efeitos fisiológicos similares aos das fibras dietéticas, existem diferenças entre eles, como o tipo de ligação existente entre as unidades de glicose. Nas fibras dietéticas as ligações são do tipo β , nas quais a α -amilase não pode atuar, enquanto que no AR as ligações são do tipo α , as quais podem ser hidrolisadas pelas enzimas do trato gastrointestinal. Dessa forma, a digestibilidade do AR refere-se à inacessibilidade física desta fração de amido às enzimas digestivas, e não à sua composição química (VAN DOKKUM, 2008).

Os amidos resistentes podem ser usados na indústria alimentícia com o intuito de aumentar o teor de fibras dietéticas dos alimentos e de reduzir a resposta glicêmica, porém uma seleção cautelosa, do tipo de produto de AR que será utilizado, deve ser feita para o desenvolvimento e inovação de produtos com reduzida resposta glicêmica (GELENSECSÉR et al., 2008).

O AR produzido a partir da hidrólise de amido retrogradado de milho foi analisado em condições similares às do intestino grosso (sistema anaeróbico com temperatura de 37 °C). O estudo demonstrou que o AR pode ser fermentado *in vitro*, levando a produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) em diferentes níveis, e que os teores de AGCC são incrementados com o aumento dos níveis de AR adicionados, porém mais estudos são necessários para se estabelecer a interação entre a microflora intestinal e a produção de AGCC a partir de AR *in vitro* (ZHAO; LIN, 2009).

Pereira (2007) comparou algumas propriedades nutricionais entre fibras solúveis, fibras insolúveis e amido resistente. Propriedades como fermentabilidade, produção de AGCC, aumento da produção de ácido butirato, redução do pH fecal e aumento da umidade fecal são propriedades características das fibras solúveis e que também são apresentadas pelo amido resistente. Por outro lado, aumento da massa fecal seca e redução do tempo de trânsito fecal são propriedades características das fibras insolúveis, mas que também são apresentadas pelo AR.

2.5 Irradiação de alimentos

Pesquisas com irradiação de alimentos visando conhecer os efeitos bactericidas dos raios X foram iniciadas no começo deste século e com irradiação utilizando raios gama após a segunda guerra mundial. Vantagens em relação aos métodos convencionais de processamento de alimentos fizeram com que este processo recebesse crescente atenção nas últimas décadas (PILON, 2007).

O processo de irradiação via radiação gama envolve o uso de uma radioatividade isotópica, na forma de Cobalto-60, que emite raios gama de alta energia capazes de penetrar profundamente no produto que está sendo irradiado (BHAT; KARIM, 2009). A radiação gama induz a degradação do amido através da formação de radicais livres (BERTOLINI et al., 2001).

Alimentos submetidos a tratamento com radiações ionizantes, através de exposição controlada a uma fonte de Cobalto-60 apresentam alterações benéficas, como aumento do tempo de conservação e redução da deterioração (OMS, 1995). As pequenas alterações moleculares, causadas pelo tratamento com energia gama do Cobalto-60 não poderiam ser consideradas diferentes das causadas por cocção, enlatamento ou congelamento. Após esse tratamento, os alimentos podem ser armazenados, transportados e até mesmo consumidos imediatamente (O'BRYAN et al., 2008).

A irradiação é um método efetivo para a modificação da estrutura e funcionalidade do amido e produtos amiláceos. Um estudo sobre seus efeitos em grânulos de amido de arroz avaliou doses de 0 (controle), 2, 5, 8 e 10 kGy, sob taxa de radiação 1 kGy/h. Os teores de amilose aparente decresceram, e a consistência de gel e a temperatura de gelatinização se elevaram com o aumento da dose de radiação. Alterações nas propriedades de pasta ocorreram devido ao efeito de quebra que o tratamento com radiação gama causa nos grânulos do amido (YU; WANG, 2007).

Em arroz processado com o uso de radiação gama (doses de 0,5, 1,0, 3,0 e 5,0 kGy) não foram observadas alterações significativas na composição centesimal, rendimento e teor de amilose. Entretanto, mudanças significativas ocorreram nas propriedades de pasta, havendo redução na temperatura de pasta, na viscosidade final, no pico de viscosidade e na tendência de retrogradação de forma proporcional ao aumento das doses (ZANÃO et al., 2009).

As doses e taxas de radiação utilizadas no processamento dos alimentos podem também alterar a digestibilidade *in vitro* dos amidos. No estudo de Rombo, Taylor e Minnaar (2001) o uso de doses de radiação gama até 2,5 kGy elevou a digestibilidade, mas em doses superiores houve redução da digestibilidade das farinhas de milho e de feijão cruas e cozidas. Para explicar o fenômeno, Rombo, Taylor e Minnaar (2004) estudaram o efeito de doses mais elevadas de radiação sobre a estrutura do amido. Observaram que doses mais elevadas causaram aumento da proporção de ligações do tipo $\beta(1-3)$ e $\beta(1-4)$, que são menos digeríveis pela alfa-amilase de pâncreas suíno e também observaram desramificação e redução do peso das macromoléculas de amido. De acordo com Chung e Liu (2009) uma dose muito elevada de radiação, além de modificar a parte mais externa, pode causar desintegração no centro do grânulo de amido, que possui uma estrutura menos organizada do que a região periférica, dificultando sua resistência a digestibilidade.

Amido de milho irradiado com 0, 2, 10 e 50 kGy a 2 kGy/h e irradiados a 10 kGy foram analisadas também sob diferentes taxas (0,40, 0,67 e 2,0 kGy/h). O teor de AR foi influenciado pelas doses e taxas de radiação. As amostras que apresentaram maiores teores de AR (25 %) foram as que receberam 50 kGy e taxa de 2,0 kGy/h e com 10 kGy e taxa de 0,4 kGy/h. De acordo com estes autores as taxas mais baixas de radiação aumentam a cristalinidade dos grânulos, pois aceleram a reassociação durante o armazenamento e produzem uma estrutura cristalina mais perfeita do que as preparadas com altas taxas. Baixas taxas favorecem as ligações cruzadas entre as cadeias de amido, que ficam expostas aos raios gama por um período maior de tempo. Assim, as taxas menores resultarão em degradação e reorganização do amido, gerando maior teor de AR e reduzindo os teores de amido rapidamente digerível (CHUNG; LIU, 2009).

Um estudo encontrado na literatura sobre o efeito da irradiação em farinhas de banana verde foi o de Uehara (2011). Entre doses de radiação gama de 0 a 10 kGy e numa taxa de 2 kGy/h, a irradiação não alterou significativamente o pH das farinhas e a viscosidade, de maneira geral, foi reduzida com o aumento da dose de radiação aplicada.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O projeto de pesquisa foi desenvolvido no Laboratório de Tecnologia de Produtos Amiláceos do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, ESALQ/ USP.

Os pré-testes para taxas e doses de radiação das farinhas de banana verde foram realizados no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) e no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), USP. No experimento definitivo, a irradiação das farinhas e amidos isolados foi realizada apenas no CENA.

3.1 Material

Bananas da cultivar *Musa acuminata* (Grupo AAA subgrupo *Cavendish*), conhecida no Brasil como banana Nanica, no estágio verde, com grau 1 de maturação (Figura 4) foram adquiridas no comércio de frutas J. Reis, na cidade de Piracicaba-SP, provenientes de um mesmo produtor do município de Juquiá-SP (Vale do Ribeira).

Figura 4 – Aspecto geral da banana Nanica verde utilizada no experimento

As enzimas e kits utilizados foram: Alfa-amilase tipo VI de pâncreas suíno (A3176), Amiloglucosidade de *Aspergillus niger* (A7420), Amiloglucosidase (A1602), Pepsina de mucosa gástrica de suínos (P7000), Pancreatina de pâncreas suíno (P1750) e Invertase grau VII de

leveduras de pão (I4504), adquiridas da Sigma-Aldrich. A Lichenase (endo-1,3(4)- β -D-Glucanase) de *Bacillus sp.* (E-LICHN), Kit glucose oxidase peroxidase (GOPOD) (K-GLUC) e Kit amylose/amylopectin (K-AMYL), adquiridas da Megazyme. A alfa-amilase termoestável de *Bacillus licheniformis* (Termamyl 120L), adquirida da Novozymes.

3.2 Métodos

No processamento da farinha e do amido foram utilizados os procedimentos operacionais técnicos padronizados para estabelecimentos produtores ou industrializadores de alimentos, segundo a RDC 275, da ANVISA (BRASIL, 2002).

3.2.1 Preparo das farinhas de banana verde

As bananas verdes adquiridas foram processadas no dia da aquisição. Dos frutos verdes foram selecionados os que não apresentavam manchas ou danos físicos e estes, lavados em água corrente e cloro. O descascamento e corte foi feito manualmente e resultaram em rodela finas, de aproximadamente 3 mm, com objetivo de facilitar o processo de secagem.

Foram feitos testes para escolha do tipo de antioxidante a ser utilizado. A L-cisteína (1 %) resultou em farinhas de melhor coloração (amarelo claro) visual se comparadas com as farinhas tratadas com cloreto de cálcio (1 %), ácido cítrico (1 %), ácido ascórbico (1 %) ou combinações diversas entre esses agentes antioxidantes, as quais apresentaram colorações mais escuras no produto final. Esses testes também demonstraram que a solução L-cisteína (1 %) pode ser usada até 5 vezes, sem alterar sua eficiência.

O material, em rodela, foi imerso por 5 minutos em solução de L-cisteína (1 %), escorrido, colocado em bandejas de inox e desidratado em estufa de circulação e renovação de ar, marca Marconi modelo MA035, a 45 °C, por 24 horas. Este método de desidratação foi selecionado após comparação com os resultados obtidos por liofilização, na qual as rodela foram congeladas e submetidas a liofilização em equipamento por 24 horas. O uso de estufa resultou em farinhas com coloração mais clara e maior rendimento, quando comparadas com as farinhas preparadas em liofilizador.

As etapas de corte e tratamento antioxidante estão demonstradas na Figura 5. Após secagem em estufa, as rodela foram moídas em moinho tipo Willey, peneiradas (60 *mesh* ou 0,25 mm) e armazenadas em frascos de vidro com tampa.

Figura 5 – Preparo das farinhas. A) Corte das bananas. B) Tratamento com antioxidante das rodela de banana verde

A farinha produzida foi dividida em 3 blocos. Cada bloco foi dividido em 5 partes, uma controle e as outras 4 foram irradiadas nas doses 1,0; 2,0; 5,0 e 10,0 kGy, na taxa de dose de 0,431 kGy por hora. Estes procedimentos foram realizados junto ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), da USP, em Piracicaba – SP, em irradiador GammaCell 220, carregado com fonte de Cobalto 60, fabricado pela empresa Atomic Energy of Canada Limited.

Metade da farinha controle e metade das irradiadas nas diferentes doses foi submetida aos tratamentos hidrotérmicos, que constaram de umidificação na proporção de 1:20 p/v (farinha : água destilada), tratamento térmico a 80 °C sob agitação de 160 rpm por 1 hora, em banho térmico Dubnoff, marca Marconi, seguido de armazenamento refrigerado em câmara a 5 °C por 24 horas. As farinhas foram desidratadas a 45 °C por 24 horas em estufa de circulação e renovação de ar, marca Marconi MA-035. Estas etapas estão demonstradas na Figura 6. As amostras desidratadas foram moídas em moinho tipo Willey, peneiradas (60 *mesh* ou 0,25 mm) e armazenadas em frascos de vidro com tampa para análises posteriores.

Figura 6 – Preparo das farinhas de banana verde. A) Solução de farinhas em banho a 80°C. B) Amostras pós-banho, refrigeração a 5°C e secagem a 45° C

3.2.2 Isolamento e tratamentos do amido da banana verde

Para o processamento do amido, as bananas verdes foram processadas no dia da aquisição.

Testes prévios para seleção de antioxidante para a extração do amido de banana verde demonstraram que o uso da solução de hidróxido de amônia 0,03 N resultou num maior rendimento no isolamento do amido se comparado com o uso de soluções de hidróxido de sódio 0,05 N, bissulfito de sódio 1,22 g.L⁻¹ ou combinações.

Dessa forma, o amido foi extraído de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 7. Os produtos das sucessivas lavagens, decantações e centrifugações para o isolamento do amido estão demonstrados na Figura 8.

Figura 7 – Fluxograma do processo de isolamento do amido de banana verde

Figura 8 – Centrifugações sucessivas (1ª a 6ª) na extração do amido de banana verde. **A)** Frascos contendo amido em suspensão, antes da centrifugação. **B)** Frascos contendo amido decantado, após centrifugação

O amido isolado foi dividido em 3 blocos. Cada bloco foi dividido 5 partes, permanecendo uma como controle e as outras 4 foram irradiadas nas doses 0,5; 1,0; 1,5; e 2,0 kGy, na mesma taxa utilizada para as farinhas (0,431 kGy/h). Estes procedimentos foram realizados junto ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), da USP, em Piracicaba – SP, em irradiador GammaCell 220 de Cobalto 60, fabricado pela empresa Atomic Energy of Canada Limited.

Assim como para a farinha, parte do amido controle e parte do amido submetido às diferentes doses de irradiação foram submetidos aos tratamentos hidrotérmicos, que constaram de umidificação na proporção de 1:20 p/v (amido : água destilada), tratamento térmico a 80°C sob agitação de 160 rpm por 1 hora, em banho térmico Dubnoff marca Marconi, e posterior armazenamento refrigerado a 5°C por 24 horas. O material foi desidratado a 45 °C por 24 horas em estufa de circulação e renovação de ar, marca Marconi MA-035. As etapas de banho térmico, armazenamento refrigerado e secagem final dos amidos podem ser visualizadas na Figura 9. As

amostras desidratadas foram moídas em moinho tipo Willey, peneiradas (60 *mesh* ou 0,25 mm) e armazenadas em frascos de vidro com tampa para análises posteriores.

Figura 9 – Tratamento térmico dos amidos de banana verde. **A)** Pasta de amido gelatinizada após banho a 80°C. **B)** Gel de amido após banho e refrigeração a 5°C. **C)** Amostras de amido após-banho, refrigeração e secagem a 45°C

3.3 Avaliação das farinhas

As farinhas foram avaliadas quanto às características estruturais, funcionais e nutricionais.

3.3.1 Composição

As farinhas de banana verde foram avaliadas quanto à composição segundo metodologias da ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY – AOAC (2006). O teor de nitrogênio foi determinado pelo método micro Kjeldahl, empregando-se 5,75 como fator de conversão para proteína (AOAC 960.52A). O conteúdo de cinzas foi determinado após calcinação em mufla por 2 horas a 550 °C (AOAC 923.03). Já o teor de lipídios foi determinado em extrator Soxleth utilizando como solvente o hexano (AOAC 920.85).

O teor de umidade foi determinado no equipamento Moisture Analyser (AND – Mod. MX-50), utilizando-se 1 g de amostra, na temperatura de 105 °C.

Os açúcares redutores foram determinados através do método de Somogy-Nelson (SOMOGY, 1945) e os açúcares redutores totais de acordo com Yoshida et al. (1976).

O teor de amido foi avaliado pelo método enzimático de Rickard e Behn (1987).

O teor de fibra dietética total foi determinado pelo método enzimático-gravimétrico da AOAC 985.29 (2006). A hidrólise enzimática do amido e proteína foi feita através de gelatinização na presença de α -amilase termoestável (97 °C, 15 min., pH 6,0), incubação com pepsina (40 °C, 30 min., pH 1,5) e incubação com amiloglucosidase (55 °C, 30 min, pH 4,0-4,6). A fibra dietética total foi precipitada com 4 volumes de etanol 95 % e recuperada por filtração em cadinho de fundo sinterizado com celite. Os valores foram corrigidos pela subtração da proteína indigerível (Kjeldahl N x 6,25) e cinzas (incineração a 525 °C, 5 horas).

3.3.2 Cor

Os parâmetros de cor foram avaliados com colorímetro Color Meter-Minolta 200b, pelo sistema L, a^* e b^* , de acordo com Bible e Singha (1993). Para a realização das leituras, as amostras foram acondicionadas e niveladas em placas de Petri.

A CIE (Comissão Internacional de Iluminação) recomendou, em 1976, o modelo de cor CIE La^*b^* , ou CIELAB, que permite a especificação de percepções de cores em termos de um espaço tridimensional. A componente axial L é conhecida como luminosidade e se estende de 0 (preto) a 100 (branco). Os eixos a^* e b^* não apresentam limites numéricos específicos, onde a coordenada a^* varia do vermelho ($+a^*$) ao verde ($-a^*$), e a coordenada b^* do amarelo ($+b^*$) ao azul ($-b^*$) conforme a Figura 10 (LEITE, 2006).

Figura 10 – Sistema de cores CIELAB

Fonte: Bicchierini et al. (2005).

Já a escala CIE LCh consiste na mesma componente L, mais o ângulo de tom ou “Hue” ($0^\circ \leq h^* \leq 360^\circ$), que varia na direção angular e representa as diferentes cores existentes e o croma, que varia na direção radial e representa a pureza de uma cor em relação ao cinza (Figura 11) (RIBEIRO et al., 2007).

Figura 11 – Tonalidade, luminosidade e saturação em sistemas de cores CIE LCh

Fonte: Leão, Araújo e Souza (2005).

A partir dos resultados dos parâmetros de cor L, a^* e b^* foi calculado o Croma (C) eq. (1), o ângulo Hue ($^\circ H$) eq. (2) (MINOLTA CORP., 1994) e o Índice de Escurecimento (IE) eq. (3) e (4) (PALOU et al., 1999).

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

$$H = \arctan (b^*/a^*) \quad (2)$$

$$IE = [100 (X - 0,31)] / 0,172 \quad (3)$$

$$X = (a + 1,75L) / (5,64L + a - 3,021b) \quad (4)$$

Podendo atingir até 360 Graus, o ângulo Hue é formado em relação ao eixo x, indicando variação entre as cores (vermelho, amarelo, etc.) e suas nuances (alaranjado, avermelhado, etc.), conforme apresentado na Figura 12 (MINOLTA CORP., 1994).

Figura 12 – Valores de a^* , b^* , Hue e Croma no Sistema Hunter Lab Croma Meter

Fonte: Minolta Corp., (1994).

Amostras que apresentam mesmos valores de a^* , b^* , Hue e Croma podem variar de luminosidade (tom) entre si, conforme representado na Figura 13 (MINOLTA CORP., 1994).

Figura 13 – Valor de L no Sistema Hunter Lab Croma Meter

Fonte: Minolta Corp., (1994).

3.3.3 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta foram avaliadas em Rapid Visco Analyser (RVA Super 4), da Newport Scientific, segundo a programação *Standard 2* (Tabela 2) do software *Thermocline for Windows*. A análise foi realizada utilizando-se 3 g de amostra, corrigidas para 14 % de umidade, em 25 g de água. A correção no peso da amostra e da água para se obter os 14 % de umidade foi fornecida pelo *software*.

Tabela 2 – Parâmetros do Rapid Visco Analyser utilizados para determinação das propriedades de pasta das farinhas de banana verde

Tempo (Minuto:Segundo)	Tipo	Valor
00:00	Temperatura	50 °C
00:00	Velocidade	960 rpm
00:10	Velocidade	160 rpm
01:00	Temperatura	50 °C
04:42	Temperatura	95 °C
07:12	Temperatura	95 °C
11:00	Temperatura	50 °C
13:00	Temperatura	50 °C

A partir dos gráficos plotados pelo programa, os parâmetros avaliados foram: Temperatura de Pasta, Viscosidade Máxima, Tempo de Viscosidade Máxima, Quebra de Viscosidade, Viscosidade Final e Tendência à Retrogradação. As unidades de viscosidade geradas pelo equipamento estão em RVU (*Rapid Visco Units*). A Figura 14 mostra um exemplo de curva viscoamilográfica obtida pelo RVA.

Figura 14 – Curva viscoamilográfica obtida pelo Rapid Visco Analyser com identificação dos parâmetros avaliados

3.3.4 Índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA)

O IAA e o ISA foram determinados segundo Anderson, Conway e Griffin (1969), com algumas modificações. Em tubo de centrífuga previamente tarado foi pesado 0,5 g de amostra e adicionados 6 mL de água. Os tubos foram agitados por 30 min. a 30 °C em banho térmico Dubnoff, marca Marconi, na velocidade 6 e foram, em seguida, centrifugados a 3000 g por 10 min. em centrífuga Excelsa Baby II, da marca FANEM, modelo 206-R. O líquido sobrenadante foi escorrido cuidadosamente em placa de Petri previamente tarada e o material remanescente foi pesado. A água da placa de Petri foi evaporada em estufa a 105 °C e o resíduo da evaporação pesado.

O IAA e o ISA foram calculados pelas equações (5) e (6), respectivamente.

$$IAA = \frac{PRC}{PA - PRE} \quad (5)$$

$$ISA(\%) = \frac{PRE}{PA} \times 100 \quad (6)$$

Sendo:

PRC - peso do resíduo de centrifugação (g);

PA - peso da amostra (g) (base seca);

PRE - peso do resíduo de evaporação (g).

3.3.5 Digestibilidade *in vitro*

A digestibilidade enzimática foi avaliada de acordo com o método de Englyst, Kingman e Cummings (1992), com modificações de acordo com Miao, Jiang e Zhang (2009). As amostras foram colocadas em tampão acetato e tratadas com uma solução contendo pancreatina, invertase e amiloglucosidase, em banho térmico a 37 °C. Alíquotas dessa solução foram retiradas aos 20 e 120 min de tratamento hidrotérmico, colocadas em álcool e centrifugadas. O líquido resultante da centrifugação foi analisado com Kit glucose oxidase peroxidase (Megazyme K-GLUC), para determinação do ARD e ALD, respectivamente.

O restante da solução foi retirada do banho, fervida por 30 min, homogeneizada com KOH 7 M e incubada a 25 °C por 30 min. Uma alíquota foi retirada, tratada com ácido acético e solução de amiloglucosidase, incubada a 60 °C por 30 min, fervida por 10 min e centrifugada. O líquido resultante dessa centrifugação também foi analisado com Kit glucose oxidase peroxidase (Megazyme K-GLUC), para determinação do AR.

Os teores das diferentes frações (amido rapidamente digerível - ARD, amido lentamente digerível - ALD e amido resistente - AR) foram obtidos com base na definição de Englyst, Kingman e Cummings (1992).

3.4 Avaliação dos amidos

Os amidos foram avaliados quanto às características estruturais, funcionais e nutricionais.

3.4.1 Composição

Os teores de umidade, proteínas, cinzas, lipídios e fibras dietéticas totais do amido natural foram determinados assim como descrito para as farinhas.

O teor de amilose aparente foi determinado de acordo com a metodologia proposta pela Megazyme (MEGAZYME INTERNATIONAL IRELAND LIMITED, 2006) utilizando-se o Kit Amilose/ amilopectina.

3.4.2 Índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA)

O IAA e o ISA do amido natural foram determinados conforme descrito para as farinhas.

3.4.3 Difratometria de raios X e cristalinidade relativa

As amostras de amido permaneceram em dessecador saturado com água por uma noite, para padronizar o teor de umidade antes da análise. As amostras foram submetidas a um difrator de raios X (Shimadzu - XRD 7000) com radiação Cu, utilizando-se velocidade de varredura de $2^{\circ}.\text{min}^{-1}$, sob ângulo 2θ variando de 4 a 50° nas condições de trabalho com voltagem de 40 kV e corrente de 30 mA. Os perfis de difração dos raios X foram classificados de acordo com os padrões de Zobel (1964).

Um exemplo de difratograma do amido de banana verde (tipo B) está apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Difratograma de raios-X do amido de banana: tipo B

Fonte: Teixeira et al. (1998).

A cristalinidade relativa dos amidos foi determinada quantitativamente segundo metodologia descrita por Nara e Komiya (1983) com a utilização do *software* Origin 7.5 (Origin – version 7.5, Microcal Inc., Northampton, MA, USA). Os gráficos foram plotados entre os ângulos 2θ de 4 e 30° e suavizados com a ferramenta ‘*Adjacent Averaging*’. Foi plotada nos difratogramas uma curva conectando as bases dos picos e uma base linear, conforme demonstrado na Figura 16. Dessa forma, a área entre a curva e o difratograma corresponde à área cristalina, e a área entre a curva e a base linear à amorfa. A razão entre a área cristalina e a área total é a cristalinidade relativa.

Figura 16 – Difratograma de raios-X, onde a seção hachurada corresponde à área amorfa e a seção entre a área hachurada e o gráfico corresponde a área cristalina

Fonte: Cheetham e Tao (1997).

3.4.4 Calorimetria diferencial de varredura

As propriedades térmicas dos amidos foram avaliadas em calorímetro diferencial de varredura (DSC-Pyris 1, Perkin Elmer, EUA), de acordo com o método descrito por Liu et al. (2005), com modificações. O amido somente irradiado foi pesado (6 mg) com precisão em pequenos recipientes de aço inoxidável de alta pressão (PE 0319-0218) e a água deionizada adicionada com uma microseringa na proporção 1:3 p/v (amido : água). Os recipientes foram selados em prensa universal (PE B013-9005) com adaptador (PE B050-5340) e mantidos em repouso por 24 h em temperatura ambiente antes da análise para o equilíbrio entre o amido e a água. O equipamento foi calibrado com índio. As análises foram realizadas a uma taxa de aquecimento de $5\text{ }^\circ\text{C.min}^{-1}$ entre 40 e $160\text{ }^\circ\text{C}$. Um recipiente vazio foi utilizado como referência.

Com base no termograma foram obtidos os seguintes valores de gelatinização: temperatura de início (T_o), temperatura de pico (T_p), temperatura final (T_f), faixa de temperatura ($\Delta T = T_f - T_o$) e variação de entalpia (ΔH). Esta análise foi realizada em duplicata. No caso do amido irradiado que passou por tratamentos hidrotérmicos foram utilizados para a análise 3 mg de amido e taxa de $10\text{ }^{\circ}\text{C.min}^{-1}$.

3.4.5 Permeação em gel

Os perfis de distribuição do peso molecular dos amidos foram determinados por cromatografia de permeação em gel, utilizando-se 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 a metodologia de Song e Jane (2000), que consta da adição de 10 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) 90 % a 0,1 g de amido. A mistura foi aquecida em banho de água fervente por 1 hora, e a seguir, permaneceu por 24 h a 25°C sob agitação constante. Uma alíquota de 3 mL foi misturada com 10 mL etanol absoluto para precipitar o amido, com posterior centrifugação 30 min. a 3000 g. O amido precipitado foi re-dissolvido em 10 mL de água destilada quente e a mistura foi levada para banho fervente por 30 min. Uma alíquota foi aplicada durante 4 minutos na base da coluna e eluída de forma ascendente. Uma solução contendo 25 mM de NaCl e 1 mM de NaOH foi usada como eluente numa taxa de 60 min.h^{-1} . Frações de 125 gotas foram coletadas em coletora de frações Gilson FC 203B e analisadas quanto ao teor de açúcares totais (CHO) a 490 nm, pela metodologia de fenol sulfúrico (DUBOIS et al., 1956) modificada para uso em microleitora de absorbância Asys Expert Plus, e reações de coloração com iodo através do método *blue value* (BV) a 630 nm (JULIANO, 1971).

3.4.6 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta dos amidos foram avaliadas em Rapid Visco Analyser (RVA), assim como descrito para farinhas.

3.4.7 Digestibilidade *in vitro*

A digestibilidade foi avaliada como descrito para farinhas.

3.4.8 Determinação de ligações $\beta(1-3)$ e $\beta(1-4)$

As ligações $\beta(1-3)$ e $\beta(1-4)$ foram determinadas segundo a metodologia de Rombo, Taylor e Minnaar (2004), com algumas modificações. As amostras (0,5 g) foram submetidas a banho térmico em água fervente (40 min) com 2 mL de álcool e 38 mL de tampão fosfato de sódio (20 mM, pH 6,9). Duas alíquotas de 4 mL foram retiradas. Em uma das alíquotas foi adicionado 1 mL de solução de lichenase (200 U/ g de amido), seguido de incubação (40 °C por 1,5 horas). Na segunda alíquota foi apenas adicionado 1 mL de tampão. Em ambas as alíquotas foi adicionado 1 mL de solução de α -amilase (100 U/ g de amido), seguido de incubação (40 °C por 2 horas) e centrifugação 30 min a 3000 g. O sobrenadante resultante foi quantificado por DNS (540 nm) e o teor de amido com ligações tipo beta foi calculado pela diferença entre os resultados das duas alíquotas.

3.5 Análise estatística

O delineamento experimental constou de 3 blocos, com 5 tratamentos dentro de irradiação (I) e 5 tratamentos dentro de irradiação com tratamentos hidrotérmicos (ITH). Os resultados gerados foram avaliados por análise de variância (ANOVA) e diferenças de médias pelo teste de Tukey em nível de 5% ($p < 0,05$) utilizando-se o sistema estatístico SAS (Statistical Analysis System, 1989).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação das farinhas de banana verde

4.1.1 Parâmetros de cor das farinhas

Os parâmetros de cor analisados nas farinhas de banana verde foram L, a* e b*, e a partir destes foram calculados o croma (C), ângulo Hue (°H) e índice de escurecimento (IE).

Os valores do teste F e da significância dos parâmetros de cor (L, C, °H e IE) de farinhas de banana verde são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de F e significância dos parâmetros de cor (L, C, °H e IE) das farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação e tratamentos hidrotérmicos adicionais

Parâmetro	Causas da variação			
	Blocos	Doses de radiação (DR)	Tratamentos hidrotérmicos (TH)	DR x TH
Luminosidade (L)	1,31 ns	0,95 ns	8642,74 **	0,72 ns
Croma (C)	0,64 ns	36,46 **	7289,76 **	0,87 ns
Hue (°H)	2,37 ns	5,61 **	2308,56 **	6,35 **
Índice de Escurecimento (IE)	0,75 ns	41,34 **	13796,73 **	6,35 **

Teste F: ** significativo em nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo.

A luminosidade (L) das farinhas de banana verde submetidas aos diversos tratamentos é apresentada na Tabela 4, o croma (C) na Tabela 5, o ângulo Hue (°H) na Tabela 6 e o índice de escurecimento (IE) na Tabela 7.

Tabela 4 – Valores médios de luminosidade das farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação, seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente irradiadas (I)	Farinhas irradiadas e tratadas hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiada)	82,63 ± 0,76 Aa	62,28 ± 0,67 Ba
1 kGy	82,17 ± 0,31 Aa	62,01 ± 0,32 Ba
2 kGy	82,52 ± 0,55 Aa	61,53 ± 0,26 Ba
5 kGy	82,22 ± 0,93 Aa	61,45 ± 0,54 Ba
10 kGy	82,48 ± 0,99 Aa	61,31 ± 0,32 Ba
CV = 0,84 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Considerando que os valores de luminosidade variam do claro ao escuro, sendo o valor 0 (zero) correspondente à cor preta e o valor 100 (cem) à cor branca (CARDOSO et al., 2007), tem-se que a farinha controle (I0), cujo valor de L é 82,63, apresentou coloração que tende para o branco. Este valor é superior aos encontrados por Ormenese (2010) para farinhas de banana da variedade Nanicão, que variaram com a técnica de secagem utilizada. Estes autores constataram luminosidade de 74,42 (secagem em bandeja), 75,67 (secagem tambor rotativo), 75,79 (secagem por atomização) e 81,51 (liofilização). Uehara (2011) reportou luminosidade de 81,7 em farinha de banana verde da variedade Nanicão.

Comparando dentro de cada dose de radiação, as farinhas do tratamento ITH se mostraram mais escuras do que aquelas apenas irradiadas (I). Este comportamento pode ter ocorrido porque as farinhas somente irradiadas foram expostas à secagem apenas uma vez, enquanto que as farinhas tratadas hidrotermicamente foram desidratadas novamente após passarem por banho a 80 °C e refrigeração.

Tabela 5 – Valores médios de croma (C) das farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente irradiadas (I)	Farinhas irradiadas e tratadas hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiada)	10,05 ± 0,02 Bc	17,85 ± 0,44 Ac
1 kGy	10,30 ± 0,10 Bbc	18,04 ± 0,22 Ac
2 kGy	10,51 ± 0,03 Bbc	18,70 ± 0,32 Ab
5 kGy	10,78 ± 0,14 Bb	18,69 ± 0,28 Ab
10 kGy	11,52 ± 0,07 Ba	19,62 ± 0,41 Aa
CV = 1,74 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Como os valores de croma próximos ao zero são indicativos de cores mais neutras (branco e/ou cinza) e aqueles ao redor de 60 indicam cores mais vívidas e/ou intensas (MCGUIRE, 1992).

Dentro das farinhas do tratamento I e ITH houve aumento da intensidade de cor com a irradiação. No tratamento I, o aumento foi significativo doses 5 e 10 kGy, e no tratamento ITH, nas doses 2, 5 e 10 kGy.

Em todas as doses de radiação houve substancial elevação dos valores de C devido aos tratamentos hidrotérmicos, indicando que as farinhas ficaram com cores mais intensas com esse tipo de tratamento posterior à irradiação.

Tabela 6 – Valores médios de ângulo Hue ($^{\circ}\text{H}$) das farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente irradiadas (I)	Farinhas irradiadas e tratadas hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiada)	81,10 $\pm$ 0,18 Aa	72,36 $\pm$ 0,55 Ba
1 kGy	79,65 $\pm$ 0,29 Abc	71,88 $\pm$ 0,39 Ba
2 kGy	79,00 $\pm$ 0,06 Ac	72,34 $\pm$ 1,08 Ba
5 kGy	79,31 $\pm$ 0,15 Abc	72,58 $\pm$ 0,21 Ba
10 kGy	80,15 $\pm$ 0,16 Aab	72,12 $\pm$ 0,54 Ba
CV = 0,56 %		

Média de triplicata $\pm$ desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Os resultados do ângulo Hue indicam atributo da cor vermelha a 0 $^{\circ}\text{H}$, amarelo a 90 $^{\circ}\text{H}$, verde a 180 $^{\circ}\text{H}$ e azul a 270 $^{\circ}\text{H}$ (MCGUIRE, 1992). A farinha de banana verde controle (I0) apresentou 81,10 $^{\circ}\text{H}$, denotando coloração mais próxima do amarelo.

Considerando as farinhas somente irradiadas (I) houve redução dos valores do ângulo Hue das farinhas I1, I2 e I5, indicando que as colorações amareladas se tornam alaranjadas porque tendem ao vermelho, porém I10 apresentou valor de $^{\circ}\text{H}$ semelhante às demais, com exceção de I2.

O ângulo Hue das farinhas somente irradiadas (I) foi maior que o das farinhas produzidas pela irradiação com tratamentos hidrotérmicos (ITH) nas mesmas doses de radiação, indicando que com os tratamentos hidrotérmicos as colorações tenderam para o vermelho.

Tabela 7 – Índice de escurecimento (IE) das farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente irradiadas (I)	Farinhas irradiadas e tratadas hidrotérmicamente (ITH)
0 (não irradiada)	11,95 ± 0,15 Bb	28,90 ± 0,47 Ac
1 kGy	12,26 ± 0,04 Bb	29,31 ± 0,61 Ac
2 kGy	12,43 ± 0,05 Bb	30,87 ± 0,52 Ab
5 kGy	12,84 ± 0,19 Bab	30,94 ± 0,50 Ab
10 kGy	13,78 ± 0,23 Ba	32,68 ± 0,65 Aa
CV = 1,93 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Tanto em I como em ITH houve aumento do IE com o aumento das doses aplicadas. Em ambos os casos as farinhas irradiadas com dose de 10 kGy foram as que apresentaram o maiores valores de IE. Em I, o aumento foi significativo entre I10 e as farinhas I0, I1 e I5, sendo semelhante a I5. Já em ITH, a farinha ITH10 teve IE superior a ITH0, ITH1, ITH2 e ITH5.

As farinhas apresentaram aumento do IE pelo efeito adicional dos tratamentos hidrotérmicos realizados após a irradiação dentro de cada uma das doses avaliadas. Este fato corrobora os resultados anteriores de parâmetros de cor mostrando que estas farinhas se tornaram mais escuras (< L) e de cor mais intensa (> C).

A radiação gama também produz radicais livres e produtos da radiólise de açúcares e glicina. Tais produtos e radicais livres podem se condensar para produzir produtos coloridos em reação de escurecimento não enzimático (Lee et al., 2007).

4.1.2 Composição das farinhas

A composição da farinha de banana verde utilizada no experimento é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 – Composição (% base seca) da farinha de banana verde não irradiada, antes e após os tratamentos hidrotérmicos

Componente	Antes dos tratamentos hidrotérmicos (controle)	Após os tratamentos hidrotérmicos
Amido	78,60 ± 1,00	77,20 ± 1,47
Açúcares redutores	1,43 ± 0,05	1,42 ± 0,02
Açúcares redutores totais	3,42 ± 0,45	3,92 ± 0,14
Proteínas	5,42 ± 0,05	5,36 ± 0,06
Lipídios	0,52 ± 0,05	0,30 ± 0,06
Cinzas	2,91 ± 0,06	2,90 ± 0,05

Média de triplicata ± desvio padrão.

O elevado teor de amido e o baixo teor de açúcares redutores na farinha de banana verde indicam que o grau de maturação do fruto estava adequado para o experimento, correspondendo ao grau 1.

O teor de amido da farinha controle está dentro do intervalo de valores citados pela literatura científica para este produto, como no estudo de Torres et al. (2005), que reportaram 87,8 % de amido em farinhas de bananas AAA; de Leonel et al. (2008), que constataram 80,0 % (*Musa AAA Cavendish*) e de Rodriguez-Ambriz et al. (2008), que encontraram 76,8 % para bananas AAB (secas em estufa). Mota et al. (2000) estudaram farinhas de diversas variedades de bananas obtidas por liofilização e o teor de amido encontrado foi 76,5 %. Ao analisarem bananas da variedade *Harton/Horn* descascadas, fatiadas e que seguiram processamento de 4 formas diferentes, Pacheco-Delahaye et al. (2008) encontraram teores variáveis de 63,5 % (*drum drier*), 64,52 % (microondas), 74,3 % (*chamber drier*) e 74,65 % (liofilização).

O teor de açúcares redutores na farinha controle (1,43 %) é semelhante ao encontrado para farinhas de bananas *Harton/Horn* processadas por liofilização (1,37 %) e em *chamber drier* (1,27 %) por Pacheco-Delahaye et al. (2008). Já o teor de carboidratos redutores totais na farinha controle (3,42 %) foi inferior aos citados por Pacheco-Delahaye et al. (2008) para farinhas obtidas em *chamber drier* (4,23 %) e em liofilizadora (6,98 %).

O conteúdo de proteínas da farinha de banana controle é superior aos citados na bibliografia para bananas secas em estufa, que foi de 3,30 % (JUAREZ-GARCIA et al., 2006); de 4,03 % (AGUIRRE-CRUZ et al., 2008) e de 4,43 % (OVANDO-MARTINEZ et al., 2009).

O teor de lipídios da farinha controle se mostrou dentro dos valores citados em bibliografia, como 0,31 % (PACHECO-DELAHAYE et al., 2008); 0,34 % (OVANDO-MARTINEZ et al., 2009) e 0,78 % (MOTA et al., 2000). Já a composição em cinzas está no intervalo citado pela bibliografia, sendo de 2,02 % (PACHECO-DELAHAYE et al., 2008); 2,67 % (OVANDO-MARTINEZ et al., 2009) e 3,5 % (MOTA et al., 2000).

A composição das farinhas submetidas à irradiação (I) e à irradiação seguida de tratamentos hidrotérmicos (ITH), ou seja, banho aquecido e posterior refrigeração, foi avaliada apenas quanto à umidade, açúcares e fibras dietéticas totais.

Os teores de umidade (Tabela 9) estão abaixo de 13-14 %, o que garante a qualidade do produto durante o período do experimento.

Tabela 9 – Teores médios de umidade de farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação, seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente	Farinhas irradiadas e tratadas
	irradiadas (I)	hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiada)	8,94 ± 0,27	8,40 ± 0,39
1 kGy	9,04 ± 0,15	8,01 ± 0,27
2 kGy	9,17 ± 0,27	7,95 ± 0,24
5 kGy	9,09 ± 0,05	8,21 ± 0,14
10 kGy	9,35 ± 0,27	7,91 ± 0,27

Média de triplicata ± desvio padrão.

Os valores do teste F e a significância da análise estatística para teores de amido, açúcares redutores, redutores totais e fibra dietética total das farinhas são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores de F e significância das variáveis de composição em amido, açúcares redutores, açúcares redutores totais e fibras dietéticas das farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação e tratamentos hidrotérmicos adicionais

Componente	Causas da variação			
	Blocos	Doses de radiação (DR)	Tratamentos hidrotérmicos (TH)	DR x TH
Amido	1,47 ns	1,31 ns	1,82 ns	0,59 ns
Açúcares redutores	9,46 **	26,36 **	3,00 ns	0,78 ns
Açúcares redutores totais	0,74 ns	4,64 **	11,81 **	0,99 ns
Fibras dietéticas totais	0,88 ns	2,96 *	40,44 **	1,42 ns

Teste F: ** significativo em nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo.

Os teores de amido das farinhas de banana verde sob diferentes tratamentos são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Teores médios de amido (% base seca) das farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação, seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente irradiadas (I)	Farinhas irradiadas e tratadas hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiada)	78,6 ± 1,00 Aa	77,2 ± 1,47 Aa
1 kGy	77,5 ± 1,10 Aa	76,1 ± 0,70 Aa
2 kGy	76,9 ± 1,45 Aa	76,4 ± 1,02 Aa
5 kGy	76,7 ± 1,62 Aa	76,2 ± 1,32 Aa
10 kGy	76,1 ± 1,78 Aa	76,7 ± 1,74 Aa
CV = 1,72 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Apesar dos valores demonstrarem tendência de redução do teor de amido devido à irradiação, esta redução não foi significativa. A fragmentação das moléculas de amido e de proteínas foram também constatadas por Vakil et al. (1973) em trigo submetido à irradiação, o que influenciou suas propriedades reológicas. Existe ainda a possibilidade da formação de ligações beta com a irradiação (ROMBO; TAYLOR; MINNAAR, 2004), gerando assim, maior dificuldade na quebra destes polímeros pela alfa amilase utilizada no procedimento analítico para quantificação dos mesmos.

Os teores de açúcares redutores das farinhas de banana verde sob diferentes tratamentos são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Teores médios de açúcares redutores (% base seca) das farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação, seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de Radiação	Farinhas somente irradiadas (I)	Farinhas irradiadas e tratadas hidrotérmicamente (ITH)
0 (não irradiada)	1,43 ± 0,05 Ac	1,42 ± 0,02 Ad
1 kGy	1,48 ± 0,04 Abc	1,48 ± 0,07 Acd
2 kGy	1,53 ± 0,03 Aab	1,56 ± 0,08 Abc
5 kGy	1,56 ± 0,03 Aab	1,61 ± 0,06 Aab
10 kGy	1,61 ± 0,05 Aa	1,66 ± 0,05 Aa
CV = 2,45 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Dentro do tratamento de irradiação (I) houve tendência de aumento dos teores de açúcares redutores com o aumento da dose de radiação. O teor de açúcares redutores da farinha não irradiada se diferenciou dos teores das farinhas irradiadas nas doses mais elevadas (I2, I5 e I10). Esta elevação de açúcares redutores pode ser devido à quebra das moléculas de amido pelo efeito da radiação, entretanto, a elevação total aqui foi de apenas 0,18 %.

A literatura registra elevação no poder redutor de produtos amiláceos irradiados. Ananthaswamy, Vakil e Sreenivasan (1970a, 1970b) relataram a elevação na produção de maltose, maltotriose e maltotetrose juntamente com mudanças estruturais no amido de trigo pela irradiação. E em estudo sobre os efeitos da radiação gama no amido de arroz, El Saadany, el Saadany e Foda (1974) relataram aumento no poder redutor, assim como degradação e quebra molecular, com redução acentuada de viscosidade.

No caso das farinhas irradiadas seguidas de tratamentos hidrotérmicos (ITH), a partir da dose de 2 kGy também houve aumento significativo de açúcares redutores em relação à farinha ITH0.

Os teores de açúcares redutores totais das farinhas de banana verde sob diferentes tratamentos são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Teores médios de açúcares redutores totais (% base seca) das farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente irradiadas (I)	Farinhas irradiadas e tratadas hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiada)	3,42 ± 0,21 Bb	3,92 ± 0,13 Ab
1 kGy	3,89 ± 0,22 Aa	3,86 ± 0,14 Ab
2 kGy	3,95 ± 0,27 Ba	4,56 ± 0,16 Aa
5 kGy	4,02 ± 0,25 Ba	4,85 ± 0,14 Aa
10 kGy	4,17 ± 0,12 Ba	4,70 ± 0,08 Aa
CV = 4,40 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Os teores de açúcares redutores totais das farinhas (I e ITH) foram elevados com as doses de radiação, assim como para os redutores (Tabela 12). Em I, a farinha I0 apresentou valor inferior às demais, enquanto que em ITH, as farinhas ITH0 e ITH1 apresentaram valores inferiores.

Analisando o efeito dos tratamentos hidrotérmicos dentro de cada dose de radiação, observa-se, em geral, aumento de açúcares redutores totais, com exceção do tratamento com dose de 1 kGy.

Os teores de fibras dietéticas totais (FDT) das farinhas de banana verde sob diferentes tratamentos (doses de radiação e tratamentos hidrotérmicos) são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Teores médios de fibras dietéticas totais (% base seca) das farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente irradiadas (I)	Farinhas irradiadas e tratadas hidrotérmicamente (ITH)
0 (não irradiada)	6,56 ± 1,03 Aa	7,50 ± 0,45 Aa
1 kGy	7,21 ± 0,55 Aa	7,80 ± 0,43 Aa
2 kGy	6,94 ± 0,81 Ba	8,60 ± 0,42 Aa
5 kGy	7,40 ± 0,19 Ba	8,84 ± 0,36 Aa
10 kGy	6,58 ± 0,49 Ba	8,54 ± 0,41 Aa
CV = 7,46 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

O teor de FDT das farinhas engloba AR e outras fibras naturalmente existentes na banana. Segundo Pourchet-Campos (1990), entre os diversos componentes da fração fibra estão celulosas, ligninas, hemicelulosas, pectinas, gomas e mucilagens. O teor de fibras dietéticas totais da farinha de banana controle (I0) foi inferior aos citados pela literatura, como 7,76 % (MOTA et al., 2000); 9,37 % (PACHECO-DELAHAYE et al., 2008) e 10,4 % (RODRIGUEZ-AMBRÍZ et al., 2008).

Os teores destes componentes não se alteraram com as doses de radiação. Os tratamentos hidrotérmicos, entretanto, causaram elevação nos teores de fibras dentro das doses superiores a 1 kGy. Possivelmente a quebra da molécula de amido nas doses mais elevadas poderia ter proporcionado maior possibilidade de retrogradação e produção de AR₃.

4.1.3 Digestibilidade *in vitro* das farinhas

Os valores do teste F e da significância das frações de digestibilidade (ARD, ALD e AR) das farinhas de banana verde são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Valores de F e significância das análises dos teores de amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR) em farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação e tratamentos hidrotérmicos adicionais

Fração de digestibilidade	Causas da variação			
	Blocos	Doses de radiação (DR)	Tratamentos hidrotérmicos (TH)	DR x TH
ARD	0,84 ns	27,43 **	87462,21 **	58,69 **
ALD	4,34 *	76,19 **	6121,11 **	1,79 ns
AR	6,40 **	145,25 **	56593,49 **	110,48 **

Teste F: * significativo em nível de 5% de probabilidade; ** significativo em nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo.

Os teores de ARD das farinhas de banana verde são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Teores médios de amido rapidamente digerível (% base seca) nas farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação, seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente irradiadas (I)	Farinhas irradiadas e tratadas hidrotérmicamente (ITH)
0 (não irradiada)	4,95 ± 0,22 Bb	71,10 ± 0,51 Aa
1 kGy	5,07 ± 0,49 Bab	69,11 ± 0,80 Ab
2 kGy	5,75 ± 0,87 Bab	67,75 ± 0,71 Ab
5 kGy	5,78 ± 0,61 Bab	65,23 ± 0,24 Ac
10 kGy	6,42 ± 0,48 Ba	63,57 ± 0,58 Ad
CV = 1,57 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

O teor de ARD para a farinha não irradiada dentro do tratamento I (I0) foi superior à faixa citada por Englyst, Kingman e Cummings (1992) para farinhas de banana verde, que variou de 3,0 a 4,4 %.

No tratamento de irradiação (I) o teor de ARD houve aumento (1,47 %) de ARD dentro da faixa de doses de radiação utilizadas. Efeito oposto foi constatado por Chung e Liu (2009), com pequena redução (0,5 %) dos teores de ARD entre o amido de milho não irradiado e o irradiado a 10 kGy (taxa de 2 kGy/h). Tal diferença de comportamento pode decorrer da taxa de dose utilizada e/ou da fonte de amido.

O teor de ARD das farinhas dentro do tratamento de irradiação com posteriores tratamentos hidrotérmicos (ITH) foi reduzido de modo mais substancial (7,53 %) com a elevação das doses de radiação de 0 a 10 kGy.

Os teores de ARD dentro de cada dose, entretanto, se elevaram muito em decorrência dos tratamentos hidrotérmicos. No caso das farinhas não irradiadas (dose 0) foi de 66,15 %, ao passo que no caso da farinha submetida à maior dose de radiação este valor foi menor, de 57,15 %. O processo de gelatinização durante o tratamento a quente pode ser responsável pelo aumento da digestibilidade dos amidos.

Os teores de amido lentamente digerível (ALD) das farinhas de banana verde estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Teores médios de amido lentamente digerível (% base seca) das farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente irradiadas (I)	Farinhas irradiadas e tratadas hidrotérmicamente (ITH)
0 (não irradiada)	20,61 ± 0,89 Ab	3,88 ± 0,42 Bc
1 kGy	20,45 ± 0,39 Ab	3,82 ± 0,14 Bc
2 kGy	21,57 ± 0,55 Ab	4,13 ± 0,31 Bc
5 kGy	23,64 ± 0,82 Aa	6,92 ± 0,60 Bb
10 kGy	24,62 ± 0,60 Aa	8,96 ± 0,76 Ba
CV = 4,20 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

O teor de ALD para a farinha não irradiada e não tratada hidrotermicamente (I0) foi de 20,61 %, superior ao encontrado por Englyst, Kingman e Cummings (1992) para farinha de banana verde, que foi de 15,00 %.

Dentro das farinhas do tratamento I e do tratamento ITH houve aumento dos teores de ALD com a elevação das doses de radiação. A elevação foi de 4,01%, entre os valores de I0 e I10 e de 5,08 % entre os valores de ITH0 e ITH10. Já Chung e Liu (2009) constataram redução de 2,1 % nos teores de ALD entre o amido de milho não irradiado e o irradiado a 10 kGy numa taxa de 2 kGy/h.

Os tratamentos hidrotérmicos das farinhas, ao contrário do que ocasionaram para o teor de ARD, reduziram muito o teor de ALD dentro de cada dose estudada. Entre os amidos não irradiados, a redução do teor de ALD devido aos tratamentos hidrotérmicos foi de 16,73%, variação proporcionalmente maior do que a causada pela irradiação.

Os teores de amido resistente (AR) das farinhas de banana verde são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Teores médios de amido resistente (% base seca) das farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente irradiadas (I)	Farinhas irradiadas e tratadas hidrotérmicamente (ITH)
0 (não irradiada)	54,68 ± 0,58 Aa	7,69 ± 0,28 Bbc
1 kGy	52,01 ± 0,76 Ab	8,72 ± 0,54 Bab
2 kGy	49,12 ± 0,54 Ac	9,55 ± 0,32 Ba
5 kGy	45,94 ± 0,88 Ad	8,06 ± 0,48 Bbc
10 kGy	44,36 ± 0,28 Ae	6,93 ± 0,51 Bc
CV = 1,65 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

O teor de AR da farinha de banana verde I0 foi de 54,68 %. Na literatura, os teores de AR encontrados são variáveis. Usando a mesma metodologia deste presente trabalho, Englyst, Kingman e Cummings (1992) encontraram teor de 57,0 %. Utilizando metodologia de Goñi et al. (1996) um teor de 42,5 % foi encontrado por Ovando-Martinez et al. (2009) e em um estudo mais amplo, Vatanasuchart, Niyomwit e Wongkrajang (2009) encontraram valores entre 52,2 a 61,4 %, ao avaliarem farinhas de 11 diferentes cultivares deste fruto.

Houve tendência de decréscimo dos teores de AR com a elevação das doses de radiação para o caso das farinhas somente irradiadas (I). Uma redução de 10,32 % de AR foi encontrada entre I0 e I10, o que é negativo do ponto de vista nutricional.

De acordo com Chung e Liu (2009) a radiação gama aplicada em uma taxa baixa (0,4 kGy/h) pode resultar tanto em degradação do amido quanto em formação de ligações cruzadas, as quais podem originar novas estruturas cristalinas, reduzindo sua digestibilidade. No presente estudo, as farinhas foram irradiadas nesta mesma taxa.

Dentro das farinhas com tratamentos hidrotérmicos adicionais (ITH), o comportamento foi variável, com elevação inicial de AR e posterior redução na elevação das doses.

Os tratamentos hidrotérmicos reduziram consideravelmente os teores de AR das farinhas, pois aumentaram muito os teores de ARD, independente da dose de radiação utilizada. Enquanto a irradiação causou redução de 10,32 % (entre I0 e I10) no teor de AR, a variação causada pelos tratamentos hidrotérmicos chegou a 46,99 % (entre I0 e ITH0).

Comportamento semelhante foi observado por Cardenette (2006), que encontrou teor de AR de 53,5 % (b.s.) em banana verde Nanica sem cozimento e apenas 8,2 % (b.s.) em massa de banana verde cozida em água. A redução foi justificada pela gelatinização do amido presente durante a cocção da banana. No presente trabalho, redução semelhante devido aos tratamentos hidrotérmicos ocorreu, com teores indo de 54,68 % (I0) para 7,69 % (ITH0).

Apesar de possuírem certo teor de AR₁ (amido fisicamente inacessível) as bananas verdes cruas contêm essencialmente AR₂ (estrutura granular diferenciada) (FAISANT et al., 1995a). Em presença de água e altas temperaturas, os grânulos de AR₂, abundantes nas bananas verdes, são gelatinizados (CHAMP et al., 2003). Assim, nas farinhas do tratamento I o AR é, em sua maioria, do tipo AR₂ e nas farinhas IHT o AR é, em sua maioria, do tipo AR₃.

Os tipos AR₁ e AR₂ têm valor nutricional menor, por causa de sua instabilidade frente aos diferentes processamentos dos alimentos. Segundo Englyst, Kingman e Cummings (1992) e

Haralampu (2000) a fração AR₃ é formada pela recristalização das macromoléculas de amilose, após a gelatinização do amido, em duplas hélices resistentes à ação enzimática por meio da estabilização das pontes de hidrogênio e se caracteriza por elevada estabilidade térmica. De acordo com Sajilata, Singhal e Kulkarni (2006) o AR₃ é quimicamente medido como a fração que resiste a dispersão por fervura e digestão enzimática, sendo completamente resistente à digestão pela amilase pancreática.

Ao se comparar os teores de fibras dietéticas totais (FDT) com os de AR, observam-se valores muito próximos, no caso das farinhas ITH. No caso das farinhas somente irradiadas (I), os valores de AR (44,4 a 54,7 %) foram muito superiores aos de FDT (6,5 a 7,4 %), devido ao tratamento com temperaturas elevadas utilizadas na metodologia de determinação de fibras, confirmando a estabilidade térmica do AR obtido pelos tratamentos hidrotérmicos (retrogradado).

Os teores de fibras dietéticas totais das farinhas I e ITH não se alteraram com a elevação das doses de radiação, entretanto, os tratamentos hidrotérmicos causaram elevação nestes teores dentro das amostras que passaram por irradiação (doses superiores a 1 kGy). Este aumento de FDT pode ser atribuído à formação de AR₃, o qual é termicamente estável.

A análise conjunta das 3 frações de digestibilidade (ARD, ALD e AR) mostra que no tratamento de irradiação (I) ocorre aumento de ARD e de ALD e conseqüente redução de AR com a elevação das doses. Dentro das farinhas irradiadas e tratadas hidrotérmicamente (ITH) os valores de ARD são reduzidos, enquanto que os de ALD elevados com o aumento das doses. Já os teores de AR em doses baixas de radiação (até 2 kGy) são elevados e, após isto, reduzidos.

Por fim, o efeito dos tratamentos hidrotérmicos adicionais dentro de cada dose, resultou em aumento substancial do ARD e redução, tanto do ALD como do AR. Este comportamento é idêntico ao obtido por Periago, Englyst e Hudson (1996), que estudaram as frações de digestibilidade *in vitro* do amido de 2 cultivares de pêssego (Citrina e Warindo), com e sem tratamento térmico. Reportaram que para ambos os cultivares, houve elevação dos teores de ARD e redução dos teores de ALD e AR devido ao tratamento térmico.

4.1.4 Propriedades de pasta das farinhas

Os perfis viscoamilográficos obtidos no RVA para as farinhas de banana verde tratadas por irradiação e por irradiação acrescida de tratamentos térmicos encontram-se nas Figuras 17 e 18, respectivamente. Cabe destacar, que o perfil viscoamilográfico obtido para farinhas mostra

não apenas o comportamento do amido, principal componente, mas também a influência de outros compostos não amiláceos presentes na mesma, como gomas e outros agentes espessantes, que fornecem viscosidade na presença de água.

Figura 17 – Perfis de viscosidade, obtidos em Rapid Visco Analyser, de suspensões de farinha de banana verde (10,7 % p/p), submetidas a diferentes doses de radiação e sem tratamentos hidrotérmicos

Os perfis viscoamilográficos foram bastante similares dentro das farinhas somente irradiadas (I), evidenciando, entretanto, redução dos valores nas curvas de viscosidade com o aumento das doses de radiação.

De acordo com Ciesla e Eliasson (2002) a degradação dos grânulos de amido devido ao processo de irradiação pode causar alterações no comportamento de gelatinização, que se correlacionam com a redução da absorção de água. Como somente os grânulos de amido danificados absorvem água em temperatura ambiente e incham, o IAA está relacionado com a viscosidade de pasta a frio (LINKO et al., 1980).

Figura 18 – Perfis de viscosidade, obtidos em Rapid Visco Analyser, de suspensões de farinhas de banana verde (10,7 % p/p), submetidas a diferentes doses de radiação seguidas de tratamentos hidrotérmicos

Os perfis viscoamilográficos das farinhas submetidas à irradiação e tratamentos hidrotérmicos (ITH) foram também similares entre si, evidenciando o decréscimo de valores de viscosidade com o aumento das doses. Estes perfis, entretanto, evidenciam pastas menos viscosas que os seus pares apenas irradiados. Estas pastas também se mostraram mais estáveis ao cisalhamento a quente, ou seja, com menor quebra de viscosidade e também maior estabilidade durante o resfriamento.

Os valores do teste F e da significância das propriedades de pasta das farinhas submetidas aos diferentes tratamentos encontram-se na Tabela 19. Todos os pontos críticos de viscosidade avaliados apresentaram valores de F significativos para as doses de radiação, tratamentos hidrotérmicos e interações, mostrando que a viscosidade é um parâmetro bastante afetado pelos procedimentos avaliados neste trabalho.

Tabela 19 – Valores de F e significância de parâmetros obtidos em Rapid Visco Analyser, das farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação e tratamentos hidrotérmicos adicionais

Parâmetro	Causas da variação			
	Blocos	Doses de radiação (DR)	Tratamentos hidrotérmicos (TH)	DR x TH
Temperatura de pasta	2,73 ns	37,77 **	173,03 **	58,41 **
Viscosidade máxima	1,65 ns	800,79 **	245,68 **	10,98 **
Viscosidade final	4,77 *	601,64 **	1255,32 **	64,05 **
Quebra de viscosidade	2,17 ns	122,65 **	7394,76 **	84,61 **
Tendência a retrogradação	1,95 ns	124,34 **	600,87 **	24,62 **

Teste F: * significativo em nível de 5% de probabilidade; ** significativo em nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo.

As temperaturas de pasta das farinhas de banana submetidas a diferentes tratamentos são apresentadas na Tabela 20, as viscosidades máximas na Tabela 21, viscosidade final na Tabela 22, a viscosidade de quebra na Tabela 23 e a tendência a retrogradação na Tabela 24.

Tabela 20 – Temperaturas médias de pasta (°C) obtidas em Rapid Visco Analyser para as farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente irradiadas (I)	Farinhas irradiadas e tratadas hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiada)	77,81 ± 0,71 Aa	64,63 ± 0,45 Bd
1 kGy	77,33 ± 0,53 Aa	68,31 ± 1,17 Bc
2 kGy	77,66 ± 0,12 Aa	69,66 ± 0,97 Bc
5 kGy	76,40 ± 1,38 Aa	72,85 ± 1,26 Bb
10 kGy	76,05 ± 0,28 Ba	81,90 ± 2,97 Aa
CV = 1,56 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Entre as farinhas somente irradiadas (I), as doses de radiação não alteraram a temperatura de pasta. Dentro das que passaram por tratamentos hidrotérmicos adicionais à irradiação (ITH), entretanto, se observa elevação da temperatura de pasta, de 64,63 °C (não irradiada) para 81,90 °C (10 kGy).

Os tratamentos hidrotérmicos reduziram a temperatura de pasta das farinhas irradiadas dentro de cada uma das doses, exceto dentro de 10 kGy. Tal redução é consequência da pré-gelatinização dos grânulos de amido.

Tabela 21 – Médias de viscosidades máximas (RVU) obtidas em Rapid Visco Analyser para as farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente irradiadas (I)	Farinhas irradiadas e tratadas hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiada)	419,58 ± 4,03 Aa	410,00 ± 10,08 Aa
1 kGy	372,66 ± 3,06 Ab	302,14 ± 22,41 Bb
2 kGy	329,83 ± 6,92 Ac	271,75 ± 6,42 Bc
5 kGy	255,11 ± 3,82 Ad	182,83 ± 15,89 Bd
10 kGy	156,94 ± 1,35 Ae	90,25 ± 3,33 Be
CV = 3,47 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

O aumento da dose de radiação reduziu consideravelmente a viscosidade máxima (RVU) das farinhas do tratamento I, de 419,58 RVU (não irradiada) para 156,94 RVU (10 kGy) e das tratadas hidrotermicamente (ITH) de 410,00 RVU (não irradiada) para 90,25 RVU (10 kGy).

Bhat e Karim (2009) citam que ocorre redução da capacidade de inchamento dos grânulos amido com a irradiação. Em trigo, diminuição significativa no pico de viscosidade no amilograma com o aumento dos níveis de radiação foi relatada na literatura (RAO et al., 1975; MACARTHUR; D'APPOLONIA, 1983; NG; BUSHUK; BORSA, 1989).

Dentro de cada uma das doses de irradiação, a viscosidade máxima também foi reduzida pelo efeito dos tratamentos hidrotérmicos, exceto na dose 0 (não irradiada). Isto em função da gelatinização realizada.

Tabela 22 – Médias de viscosidades finais (RVU) obtidas em Rapid Visco Analyser para as farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente irradiadas (I)	Farinhas irradiadas e tratadas hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiada)	251,83 ± 3,68 Ba	489,11 ± 9,43 Aa
1 kGy	216,30 ± 1,71 Bb	395,89 ± 35,01 Ab
2 kGy	188,63 ± 0,58 Bb	351,00 ± 14,50 Ac
5 kGy	133,08 ± 1,47 Bc	229,86 ± 13,3 Ad
10 kGy	57,97 ± 1,29 Bd	107,36 ± 2,93 Ae
CV = 4,63 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Houve redução da viscosidade final (RVU) com o aumento das doses de radiação de 0 a 10 kGy tanto para as farinhas somente irradiadas (I), em 194 RVU como para as tratadas hidrotermicamente (ITH), em 382 RVU.

Os tratamentos hidrotérmicos praticamente dobraram a viscosidade final das farinhas dentro de todas as doses de radiação avaliadas.

Tabela 23 – Médias de quebra de viscosidades (RVU) obtidas em Rapid Visco Analyser para as farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente	Farinhas irradiadas e tratadas
	irradiadas (I)	hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiada)	211,75 ± 5,48 Aa	22,11 ± 10,25 Ba
1 kGy	193,25 ± 4,80 Ab	7,69 ± 3,34 Bb
2 kGy	171,67 ± 5,73 Ac	5,30 ± 0,61 Bb
5 kGy	145,19 ± 4,88 Ad	12,55 ± 6,55 Bab
10 kGy	108,80 ± 1,51 Ae	6,33 ± 1,31 Bb
CV = 5,59 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

O aumento das doses de radiação reduziu a quebra de viscosidade (RVU) das farinhas irradiadas (I), evidenciando elevação da estabilidade das pastas à quente.

O efeito dos tratamentos hidrotérmicos também foi notório reduzindo a quebra de viscosidade em 189,64 RVU entre as farinhas não irradiadas e em 102,47 RVU entre as irradiadas na dose de 10 kGy.

Tabela 24 – Médias de tendências a retrogradação (RVU) obtidas em Rapid Visco Analyser para as farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente	Farinhas irradiadas e tratadas
	irradiadas (I)	hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiada)	44,00 ± 1,44 Ba	101,22 ± 5,39 Aa
1 kGy	36,89 ± 0,20 Bab	101,44 ± 11,47 Aa
2 kGy	30,47 ± 1,96 Bbc	84,55 ± 23,16 Ab
5 kGy	23,16 ± 0,81 Bc	59,58 ± 9,83 Ac
10 kGy	9,83 ± 0,82 Bd	23,44 ± 2,06 Ad
CV = 9,81 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Os valores da tendência a retrogradação também foram reduzidos com o aumento da dose de radiação de 0 a 10 kGy, decrescendo entre as farinhas somente irradiadas (I) em 34,2 RVU e em 77,8 RVU entre as tratadas hidrotérmicamente (ITH).

Os tratamentos hidrotérmicos também reduziram a viscosidade final das farinhas dentro de todas as doses de radiação avaliadas.

As propriedades de pasta de farinhas de 3 cultivares de banana verdes (*Musa* AA, AAA e ABB) em suspensões de 10 % (p/p) foram estudadas por Nimsung, Thongngam e Naivikul (2007), que reportaram viscosidade máxima entre 243,25 e 320,58 RVU, quebra de viscosidade entre 115,04 a 313,83 RVU, tendência à retrogradação entre 192,12 a 337,04 RVU e viscosidade final entre 280,33 e 344,00 RVU. O valor encontrado no presente trabalho para a viscosidade máxima (419 RVU) foi superior aos encontrados por Nimsung, Thongngam e Naivikul (2007), o de viscosidade de quebra (251 RVU) e final (211 RVU) foram similares, e a tendência a retrogradação (44 RVU) foi inferior.

4.1.5 Índices de solubilidade em água (ISA) e de absorção de água (IAA) das farinhas

Os índices de absorção e de solubilidade em água são importantes para a avaliação da adequabilidade do uso de produtos amiláceos. Os valores do teste F e da significância para estas variáveis são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 – Valores de F e significância das variáveis índice de índice de absorção de água (IAA) e o índice de solubilidade em água (ISA) em farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação e tratamentos hidrotérmicos adicionais

Índice	Causas da variação			
	Blocos	Doses de radiação (DR)	Tratamentos hidrotérmicos (TH)	DR x TH
IAA	1,41 ns	17,88 **	2864,91 **	13,00 **
ISA	0,98 ns	17,22 **	112,81 **	5,14 **

Teste F: ** significativo em nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo.

Os valores de IAA das farinhas de diversos tratamentos são mostrados na Tabela 26.

Tabela 26 – Índices médios de absorção de água (peso resíduo (g) / peso amostra seca menos peso sobrenadante evaporado (g)) das farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente irradiadas (I)	Farinhas irradiadas e tratadas hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiada)	3,55 ± 0,08 Ba	6,84 ± 0,06 Aa
1 kGy	3,54 ± 0,01 Ba	6,46 ± 0,06 Ab
2 kGy	3,48 ± 0,01 Ba	6,46 ± 0,06 Ab
5 kGy	3,32 ± 0,04 Ba	6,30 ± 0,42 Ab
10 kGy	3,45 ± 0,03 Ba	5,59 ± 0,16 Ac
CV = 2,98 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

O IAA é um parâmetro relacionado à capacidade de absorção e retenção de água pelos constituintes da matéria-prima analisada (FERREIRA, 2006) e pode variar também com as condições de processamento (LUSTESA; LEONEL; MISCHAN, 2009).

De acordo com Ciesla e Eliasson (2002) a degradação dos grânulos de amido devida ao processo de irradiação pode causar redução da absorção de água. No presente estudo, entretanto, este comportamento não foi observado (Tabela 26) dentro do tratamento que contou apenas com a irradiação (I), talvez devido à faixa de doses utilizadas. Já dentro do tratamento irradiação com subseqüentes tratamentos hidrotérmicos (ITH) houve redução dos IAA com o aumento das doses.

Dentro de cada dose de radiação avaliada, houve aumento do IAA com os tratamentos hidrotérmicos. Isto porque o amido pré-gelatinizado tem a capacidade de absorver mais água do que em seu estado natural, aumentando o seu IAA.

A intensidade de ocorrência da gelatinização e fragmentação determinam maior ou menor valor de IAA (CARVALHO et al., 2010). Devido a mudanças conformacionais em suas

estruturas, como variação no seu balanço hidrofílico-hidrofóbico, os grãos de amido gelatinizados absorvem mais água que os grãos de amido nativo e as proteínas, podendo contribuir para alterações no IAA (CARDOSO FILHO, 1993).

Os valores médios de ISA das farinhas de diversos tratamentos são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 – Índices médios de solubilidade em água (peso do sobrenadante evaporado x 100 / peso amostra seca) das farinhas de banana verde submetidas a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Farinhas somente irradiadas (I)	Farinhas irradiadas e tratadas hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiada)	8,38 ± 0,48 Ab	6,50 ± 0,78 Bc
1 kGy	9,00 ± 0,41 Aab	6,68 ± 0,34 Bc
2 kGy	9,43 ± 0,10 Aab	6,66 ± 0,25 Bc
5 kGy	9,61 ± 0,38 Aa	7,91 ± 0,58 Bb
10 kGy	9,67 ± 0,58 Aa	9,22 ± 0,40 Aa
CV = 5,66 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

O índice de solubilidade em água reflete o grau de degradação total do grânulo de amido, somando os efeitos da gelatinização, dextrinização e conseqüente solubilização que ocorre. Variação na solubilidade, em função das condições de processamento, pode ser atribuída à dispersão das moléculas de amilose e amilopectina em conseqüência da gelatinização e da formação de compostos de baixo peso molecular (COLONNA; BULEON; MERCIER, 1987).

Vale ressaltar que o amido é insolúvel em água fria, portanto, o ISA das farinhas do tratamento I foi devido aos demais componentes solúveis de baixo peso molecular presentes na farinha, como açúcares e frações solúveis de fibras dietéticas (FERREIRA, 2006).

Tanto as farinhas somente irradiadas (I) como as irradiadas e tratadas hidrotermicamente (ITH) tiveram aumento dos valores de ISA com o aumento da dose de radiação. Isto é confirmado pela literatura, que cita que o aumento da dose de radiação está invariavelmente associado com o aumento da solubilidade em água devido à degradação do grânulo de amido por este processo (BHAT; KARIM, 2009; BAO; CORKE, 2002; BAO et al., 2001). A degradação do grânulo de amido também foi comprovada pelo efeito da irradiação nos valores do ISA.

O aumento da solubilidade em água das farinhas com o aumento da dose de radiação no tratamento I pode estar relacionado também com o aumento dos teores de açúcares redutores observado no presente trabalho.

Ao se comparar o efeito dos tratamentos hidrotérmicos dentro das mesmas doses de radiação, houve decréscimo do ISA, exceto para a maior dose (10 kGy).

4.2 Avaliação do amido natural de banana verde

4.2.1 Composição

A composição do amido natural quanto ao teor de umidade, proteínas, lipídios e cinzas é apresentada na Tabela 28.

Tabela 28 – Composição do amido natural isolado de banana verde

Componente	Amido natural
Umidade (%)	11,44 ± 0,23
Proteínas (% bs)	0,52 ± 0,05
Lipídios (% bs)	0,17 ± 0,02
Cinzas (% bs)	0,17 ± 0,01

Média de triplicata ± desvio padrão.

Os teores das substâncias acompanhantes atestam que o procedimento de extração foi adequado. A soma das substâncias na base seca é igual a 0,86 %, ou seja, menor que 1 %, podendo ser utilizado no presente estudo, sem maiores interferências nas análises posteriores.

Bello-Pérez et al. (1999) analisaram a composição do amido isolado de duas variedades de bananas (Macho e Criolo). O amido da variedade Criolo apresentou teor de proteínas de 1,95 %; lipídios de 2,30 % e cinzas de 0,43 % e o da variedade Macho teor de proteínas de 2,03 %; lipídios de 2,20 % e cinzas de 1,30 %. Izidoro et al. (2011) estudaram a composição do amido de banana verde da mesma variedade do presente estudo (Nanica) e encontraram teores de cinzas entre 0,09 e 0,11 %, proteínas entre 0,36 e 0,43 % e lipídios entre 0,27 e 0,29 %, variando com os processos de obtenção.

4.2.2 Índices de solubilidade em água (ISA) e de absorção de água (IAA) do amido natural

Os índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA) do amido natural de banana verde são apresentados na Tabela 29.

Tabela 29 – Índice de Absorção de Água (g.g^{-1}) e Índice de Solubilidade em Água (% base seca) do amido natural de banana verde

Índice	Amido natural
IAA	$2,17 \pm 0,07$
ISA	$0,63 \pm 0,06$

Média de triplicata $\pm$ desvio padrão.

Silva e Silva (2005) estudaram os índices de absorção e de solubilidade de bananas verdes da variedade Nanica. As bananas foram descascadas, homogeneizadas com água, passadas em despolpadeira e lavadas com água. O material foi decantado por 12 horas, sob refrigeração. O material depositado passou 5 vezes por lavagem com água e centrifugação, desidratado em estufa a 50° C por 12 horas. O material seco foi pulverizado em almofariz com pistilo e analisado. Neste amido foram encontrados 1,89 de IAA e 0,61 de ISA, valores muito próximos aos encontrados neste experimento, com pequena diferença no IAA, que deve ser devido às diferenças na forma de extração do amido.

4.3 Avaliação dos amidos submetidos ao processo de irradiação e de irradiação seguida de tratamentos hidrotérmicos

No experimento realizado para as farinhas o tratamento de irradiação seguido de tratamentos hidrotérmicos (ITH), quando aplicado com baixas doses de radiação (1 e 2 kGy) resultou em elevação dos teores de AR em relação às farinhas não irradiadas. Com doses mais altas (5 e 10 kGy) foi constatada redução destes teores nas farinhas. Sendo o objetivo da irradiação neste estudo o de produzir quebra das macromoléculas de amido visando facilitar o pareamento durante a retrogradação e elevar seu teor de AR, optou-se pelo detalhamento de faixa menor de doses (até 2 kGy) a serem aplicadas à fração amido extraída.

4.3.1 Parâmetros de cor dos amidos

Os parâmetros Luminosidade (L), Croma (C), ângulo Hue ($^{\circ}$ H) e o Índice de Escurecimento (IE) dos amidos de banana verde oriundos dos diversos tratamentos foram avaliados. Os valores de teste F e da significância para tais variáveis são apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 – Valores de F e significância dos parâmetros de cor (L, C, H e IE) dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação e tratamentos hidrotérmicos adicionais

Parâmetro de cor	Causas da variação			
	Blocos	Doses de radiação (DR)	Tratamentos hidrotérmicos (TH)	DR x TH
Luminosidade (L)	4,11 *	2,30 ns	576,09 **	2,14 ns
Croma (C)	0,51 ns	4,49 *	672,62 **	0,05 ns
Hue ($^{\circ}$ H)	1,44 ns	1,71 ns	142,20 **	2,41 ns
Índice de Escurecimento (IE)	0,55 ns	4,42 *	796,77 **	0,03 ns

Teste F: * significativo em nível de 5% de probabilidade; ** significativo em nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo.

De um modo geral, para amidos houve variações menos significativas que as ocorridas para farinhas sobre os mesmos tratamentos. Há que se considerar aqui, entretanto, que as doses

utilizadas nesta parte do experimento oscilaram em faixa menor (0 a 2 kGy) do que nas farinhas (0 a 10 kGy).

A luminosidade (L) dos amidos de banana verde nos diversos tratamentos é apresentada na Tabela 31, o croma (C) na Tabela 32, o ângulo Hue ($^{\circ}$ H) na Tabela 33 e o índice de escurecimento (IE) na Tabela 34.

Tabela 31 – Valores médios de luminosidade dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos somente irradiados (I)	Amidos irradiados e tratados hidrotermicamente (ITH)
0 (sem irradiação)	96,22 $\pm$ 0,37 Aa	92,45 $\pm$ 0,53 Ba
0,5 kGy	96,35 $\pm$ 0,67 Aa	93,12 $\pm$ 0,35 Ba
1,0 kGy	96,21 $\pm$ 0,44 Aa	92,41 $\pm$ 0,99 Ba
1,5 kGy	97,20 $\pm$ 0,20 Aa	92,60 $\pm$ 0,14 Ba
2,0 kGy	97,02 $\pm$ 0,50 Aa	92,64 $\pm$ 0,44 Ba
CV = 0,47 %		

Média de triplicata $\pm$ desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

O valor de L do amido controle (I0) foi superior ao encontrado por Waliszewski et al. (2003), que foi de 73,60 para amido de banana Valery. Isto pode decorrer dos procedimentos de extração do polissacarídeo.

Os valores de L de um modo geral se apresentaram próximos a 100, indicando coloração próxima à branca. O aumento das doses de radiação aplicadas aos amidos dentro do tratamento I e dentro do tratamento ITH não causou alteração na luminosidade das amostras.

Alterações nos valores de L foram observadas somente devido aos tratamentos hidrotérmicos, os quais foram reduzidos de modo uniforme em todas as doses avaliadas. Tal redução no grau de brancura decorre dos procedimentos adicionais recebidos por estas amostras, pois ocorreram tanto para as amostras irradiadas como para as não irradiadas.

Tabela 32 – Valores médios de croma dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos somente irradiados (I)	Amidos irradiados e tratados hidrotermicamente (ITH)
0 (sem irradiação)	1,69 ± 0,02 Ba	3,88 ± 0,39 Aa
0,5 kGy	1,81 ± 0,18 Ba	4,03 ± 0,29 Aa
1,0 kGy	1,91 ± 0,12 Ba	4,07 ± 0,28 Aa
1,5 kGy	2,06 ± 0,11 Ba	4,27 ± 0,21 Aa
2,0 kGy	2,23 ± 0,23 Ba	4,35 ± 0,18 Aa
CV = 7,60 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Os valores de croma (intensidade da cor) das amostras de um modo geral foram baixos, confirmando os resultados de luminosidade, e contrastam com o valor obtido por Waliszewski et al. (2003), que foi de 15,05 para o amido nativo de banana verde.

O aumento das doses de radiação aplicadas aos amidos dentro do tratamento I e dentro do tratamento ITH não causou alteração na cromaticidade das amostras. Os tratamentos hidrotérmicos, entretanto, elevaram de modo uniforme os valores de C dos amidos em todas as doses avaliadas, apresentando coloração um pouco mais vívida.

Tabela 33 – Valores médios de ângulo Hue (°H) dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos somente irradiados (I)	Amidos irradiados e tratados hidrotérmicamente (ITH)
0 (sem irradiação)	79,71 ± 0,77 Bb	88,50 ± 0,31 Aa
0,5 kGy	82,62 ± 1,04 Bab	88,26 ± 0,71 Aa
1,0 kGy	82,81 ± 3,73 Bab	88,60 ± 0,74 Aa
1,5 kGy	83,13 ± 0,49 Ba	88,09 ± 0,48 Aa
2,0 kGy	83,78 ± 1,37 Ba	88,11 ± 0,29 Aa
CV = 1,59 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

O aumento das doses de radiação aplicadas aos amidos dentro do tratamento I causou elevação nos valores °H das amostras, mas no tratamento ITH os valores não se alteraram.

Os tratamentos hidrotérmicos também elevaram os valores de °H dos amidos em todas as doses avaliadas. No caso do amido não irradiado, o valor de °H subiu de 79,61 (I0) para 88,50 (ITH0), demonstrando que o amido tratado hidrotérmicamente apresentou tendência a se tornar mais amarelado.

Tabela 34 – Índices médios de escurecimento (IE) dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos somente irradiados (I)	Amidos irradiados e tratados hidrotérmicamente (ITH)
0 (sem irradiação)	1,64 ± 0,03 Ba	4,11 ± 0,40 Aa
0,5 kGy	1,77 ± 0,19 Ba	4,24 ± 0,29 Aa
1,0 kGy	1,88 ± 0,14 Ba	4,33 ± 0,30 Aa
1,5 kGy	2,01 ± 0,11 Ba	4,52 ± 0,22 Aa
2,0 kGy	2,19 ± 0,22 Ba	4,60 ± 0,21 Aa
CV = 7,62 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

O aumento das doses de radiação aplicadas aos amidos dentro do tratamento I e dentro do tratamento ITH não causou alteração no IE das amostras.

Os tratamentos hidrotérmicos, entretanto, elevaram os IE dos amidos em todas as doses avaliadas. Considerando apenas o efeito dos tratamentos hidrotérmicos (amostras não irradiadas), o valor de IE se elevou de 1,64 (I0) para 4,11 (ITH0), aumento semelhante ao das demais amostras que receberam irradiação, ficando claro que o escurecimento foi causado devido a estes processos térmicos.

4.3.2 Composição dos amidos

Os teores de umidade dos amidos de banana verde que foram submetidos ao processo de irradiação (I) e à irradiação seguida de tratamentos hidrotérmicos (ITH) são apresentados na Tabela 35. Os teores de umidade dos amidos, assim como no caso das farinhas, estão abaixo dos 14 %, o que garantiu a qualidade do produto durante o período do experimento.

Tabela 35 – Teores médios de umidade dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos irradiados	Amidos irradiados e tratados
	(I)	hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiado)	11,44 ± 0,23	11,27 ± 0,62
0,5 kGy	11,82 ± 0,17	10,56 ± 0,40
1,0 kGy	12,27 ± 0,47	10,48 ± 0,29
1,5 kGy	11,96 ± 0,32	10,54 ± 0,95
2,0 kGy	11,94 ± 0,13	10,23 ± 0,51

Média de triplicata ± desvio padrão.

A composição dos amidos isolados de banana verde sob os diversos tratamentos foi avaliada também quanto ao teor de amilose e de fibras dietéticas totais. Os valores do teste F e da significância para estas variáveis são apresentados na Tabela 36.

Tabela 36 – Valores de F e significância da análise do teor de amilose e de fibras dietéticas totais (FDT) em amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação e tratamentos hidrotérmicos adicionais

Teor	Causas da variação			
	Blocos	Doses de radiação (DR)	Tratamentos hidrotérmicos (TH)	DR x TH
Amilose	0,93 ns	8,93 **	68,27 **	1,48 ns
FDT	2,53 ns	0,13 ns	573,64 **	0,04 ns

Teste F: ** significativo em nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo.

Os teores de amilose aparente dos amidos de banana verde submetidos aos diversos tratamentos são apresentados na Tabela 37.

Tabela 37 – Teores médios de amilose aparente (% base seca) dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos somente irradiados (I)	Amidos irradiados e tratados hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiado)	16,95 ± 0,22 Aa	15,91 ± 0,39 Ba
0,5 kGy	16,69 ± 0,44 Aab	15,84 ± 0,49 Ba
1,0 kGy	16,47 ± 0,20 Aab	15,05 ± 0,41 Bab
1,5 kGy	16,48 ± 0,38 Aab	14,49 ± 0,32 Bb
2,0 kGy	15,82 ± 0,45 Ab	14,43 ± 0,16 Bb
CV = 2,80 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

O teor de amilose aparente em amido de banana verde varia na bibliografia, sendo influenciado pela variedade, tipo de processamento e metodologia analítica utilizada no estudo. Teixeira et al. (1998) encontraram o teor de 19,2% para banana Terra (AAB) e Nimsung, Thongngam e Naivikul (2007) constatarem valores de 13,36% (AAA), 20,32 % (AA) e 28,03 % (ABB). Para o grupo AAA, subgrupo *Cavendish*, mesma variedade usada no presente trabalho, foi encontrado o teor de 17 % (GARCIA; LAJOLO, 1988) e de 19,5% (LING et al., 1982), teores muito próximos ao amido controle deste trabalho.

O aumento das doses de radiação no tratamento I causou redução de 1,13 % entre as doses extremas (I0 e I2) e dentro do tratamento ITH a redução foi de 1,48 % entre ITH0 e ITH2.

As alterações dos teores de amilose com a irradiação pode variar com as doses e com as fontes de amido. Em alguns estudos da literatura, entre doses de zero e 2 kGy, Chung e Liu (2009) constatarem redução de amilose em 0,7 % em amido de milho. Nessa mesma faixa de radiação, Yu e Wang (2007) observaram que o teor de amilose aparente foi reduzido em 0,5 % em amido de arroz. Ao utilizar intervalos maiores de doses de radiação (entre 0 e 10 kGy) Chung e Liu (2010) constatarem redução de 4,9 % nos teores de amilose em amido de batata e de 1,1 % em amido de feijão. Sokhey e Chinnaswamy (1993) sugeriram que o decréscimo do teor de

amilose do amido de milho irradiado seja devido à degradação das cadeias lineares levando ao decréscimo da habilidade de ligação destas cadeias com o iodo.

Os tratamentos hidrotérmicos causaram redução dos teores de amilose de 1,04 % dentro dos amidos não irradiados (I0 e ITH0) e de 1,39 % dentro dos irradiados na dose 2 kGy (I2 e ITH2).

Os teores de fibras dietéticas totais dos amidos de banana verde submetidos aos diversos tratamentos são apresentados na Tabela 38.

Tabela 38 – Teores médios de fibras dietéticas totais (% base seca) dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos somente irradiados (I)	Amidos irradiados e tratados hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiado)	0,88 ± 0,07 Ba	5,65 ± 0,41 Aa
0,5 kGy	0,72 ± 0,26 Ba	5,64 ± 0,27 Aa
1,0 kGy	0,68 ± 0,21 Ba	5,48 ± 0,72 Aa
1,5 kGy	0,75 ± 0,28 Ba	5,43 ± 1,43 Aa
2,0 kGy	0,68 ± 0,38 Ba	5,49 ± 0,55 Aa
CV = 17,44 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Como ocorrido para as farinhas, os teores de FDT dos amidos não foram afetados pelas diferentes dosagens de radiação.

Houve considerável elevação dos teores de FDT após os tratamentos hidrotérmicos, tanto para os amidos não irradiados, como para os irradiados nas diferentes doses. Comportamento similar foi observado no estudo de Polesi e Sarmento (2011) ao avaliarem amido de grão-de-bico submetido a tratamentos hidrotérmicos (121 °C/ 30 min, seguido de armazenamento à 5 °C/ 24 horas). Os autores sugerem que a elevação de 2,66 % (amido nativo) para 11,06 % (amido

submetido a tratamentos hidrotérmicos) seja decorrente da retrogradação da amilose, formando AR₃, com maior estabilidade térmica.

A fervura elimina o AR₂ existente em amidos de banana (BRUMOVSKY; THOMPSON, 2001). Métodos de análise de FDT que incluem fervura podem ser utilizados para quantificar o AR₃, excluindo o AR₂. Assim, quando o teor de AR estável a fervura aumenta, ou seja, quando o teor de FDT aumenta, a probabilidade do AR resistir ao tratamento térmico durante o processamento do alimento também aumenta. Portanto, quando o AR for ser utilizado em alimentos que receberão tratamento térmico, o teor de FDT deve ser levado em conta.

4.3.3 Digestibilidade *in vitro* dos amidos

Os valores do teste F e significância para as análises das frações de digestibilidade dos amidos de banana verde são apresentados na Tabela 39.

Tabela 39 – Valores de F e significância das análises de amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR) em amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação e tratamentos hidrotérmicos adicionais

Fração de digestibilidade	Causas da variação			
	Blocos	Doses de radiação (DR)	Tratamentos hidrotérmicos (TH)	DR x TH
ARD	0,58 ns	0,27 ns	84897,37 **	0,10 ns
ALD	3,41 ns	0,64 ns	2111,66 **	3,49 *
AR	2,88 ns	0,16 ns	38908,67 **	0,79 ns

Teste F: * significativo em nível de 5% de probabilidade; ** significativo em nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo.

As frações de digestibilidade *in vitro* dos amidos de banana verde sob os diversos tratamentos são apresentadas na Tabela 40 (ARD), Tabela 41 (ALD) e Tabela 42 (AR).

Tabela 40 – Teores médios de amido rapidamente digerível (% base seca) dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos somente irradiados (I)	Amidos irradiados e tratados hidrotérmicamente (ITH)
0 (não irradiado)	4,44 ± 0,80 Ba	86,68 ± 0,61 Aa
0,5 kGy	4,35 ± 0,77 Ba	86,65 ± 1,06 Aa
1,0 kGy	4,33 ± 0,53 Ba	86,80 ± 0,55 Aa
1,5 kGy	4,06 ± 0,35 Ba	86,79 ± 1,41 Aa
2,0 kGy	4,03 ± 0,22 Ba	86,31 ± 0,48 Aa
CV = 1,70 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

O processo de irradiação (I) não afetou os teores de ARD dos amidos em nenhuma das doses. O amido processado com irradiação em várias doses seguida de tratamentos hidrotérmicos (ITH) também não teve alteração dos teores de ARD.

A exemplo do ocorrido para farinhas, os tratamentos hidrotérmicos elevaram em muito a digestibilidade dos amidos, em média 82 %.

Tabela 41 – Teores médios de amido lentamente digerível (% base seca) dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos somente irradiados (I)	Amidos irradiados e tratados hidrotérmicamente (ITH)
0 (não irradiado)	16,08 ± 0,56 Aa	6,16 ± 1,00 Ba
0,5 kGy	16,28 ± 0,70 Aa	6,07 ± 1,09 Ba
1,0 kGy	17,58 ± 0,45 Aa	5,38 ± 0,71 Ba
1,5 kGy	17,32 ± 0,97 Aa	5,42 ± 0,11 Ba
2,0 kGy	17,19 ± 0,75 Aa	6,09 ± 0,41 Ba
CV = 5,80 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Os teores de ALD não se alteraram com a elevação das doses de irradiação nem dentro do tratamento I e nem dentro do tratamento ITH.

Os tratamentos hidrotérmicos reduziram em muito os teores destes componentes.

Tabela 42 – Teores médios de amido resistente (% base seca) dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos somente irradiados (I)	Amidos irradiados e tratados hidrotérmicamente (ITH)
0 (não irradiado)	77,80 ± 0,71 Aa	5,47 ± 1,40 Ba
0,5 kGy	77,57 ± 1,14 Aa	5,65 ± 1,35 Ba
1,0 kGy	76,58 ± 1,00 Aa	5,96 ± 0,70 Ba
1,5 kGy	76,99 ± 1,48 Aa	6,15 ± 1,20 Ba
2,0 kGy	77,39 ± 0,87 Aa	5,95 ± 0,42 Ba
CV%	2,38	

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Na literatura consultada, valores superiores ao do presente trabalho para o amido controle (I0) foram encontrados. Amidos de banana Nanica verde estudados por Izidoro et al. (2011) apresentaram 79,89 % de AR. No estudo de Cardenette (2006) foi reportado 80 % em amido da mesma cultivar.

Lehmann, Lacobasch e Schmiedi (2002) utilizaram a mesma cultivar deste trabalho (*Musa AAA acuminata*) e constataram 6 % de AR em amidos que passou por tratamentos hidrotérmicos (121 °C por 30 min. e armazenamento a 5 °C por 24 horas). Este valor é próximo dos 5,5 % encontrados para a amostra ITH0 no presente estudo.

O aumento das doses de radiação aplicadas aos amidos dentro do tratamento I e dentro do tratamento ITH não causou alteração nos teores de AR das amostras. Este comportamento não era o esperado, uma vez que a definição destas doses (de 0 a 2 kGy) foi baseada na elevação dos teores de AR nas farinhas.

Os tratamentos hidrotérmicos reduziram de modo considerável e uniforme estes teores nos amidos submetidos a todas as doses (de 0 a 2 kGy). Houve, portanto, a perda de AR₂.

Houve aumento dos teores de ARD de 82,24 % e conseqüente redução dos teores de ALD de 9,92 % e dos teores de AR de 72,34 %. Essas alterações podem ser atribuídas ao efeito da gelatinização sobre a fração amido durante os tratamentos hidrotérmicos. Esse efeito evidente da gelatinização já foi demonstrado por Vatanasuchart, Niyomwit e Wongkrajang (2009), quando compararam teores de AR de amidos de mandioca, que foram reduzidos de 44,6 % (amido não gelatinizado) para 2,2 % (amido gelatinizado).

A redução do teor de AR em amido de grão-de-bico com o tratamento hidrotérmico (121 °C por 30 min. e armazenamento a 5 °C por 24 horas) foi também observada por Polesi e Sarmiento (2011). No estudo, o teor de AR decresceu de 31,87 % (amido nativo) para 16,35 % (amido submetido a tratamentos hidrotérmicos). Segundo os autores, o tipo de AR entre tais amostras é diferente, porque o amido nativo tem, em geral, o AR₂ e o processado termicamente tem, pela gelatinização e subsequente retrogradação, a produção do AR₃.

4.3.4 Determinação de amido com ligações $\beta(1-3)$ e $\beta(1-4)$

Os valores do teste F e a significância para os teores de amido com ligações $\beta(1-3)$ e $\beta(1-4)$ presentes nas frações amido de banana verde submetidas aos diferentes tratamentos são apresentados na Tabela 43.

Tabela 43 – Valores de F e significância da análise do teor de amido com ligações β em amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação e tratamentos hidrotérmicos adicionais

Parâmetro	Causas da variação			
	Blocos	Doses de radiação (DR)	Tratamentos hidrotérmicos (TH)	DR x TH
Ligações β	1,64 ns	10,68 **	3,97 ns	0,67 ns

Teste F: ** significativo em nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo.

Os teores de amido com ligações $\beta(1-3)$ e $\beta(1-4)$ presente nos amidos de banana verde submetidos aos diferentes tratamentos são apresentados na Tabela 44.

Tabela 44 – Teores médios de amido com ligações $\beta(1-3)$ e $\beta(1-4)$ (g.kg^{-1}) nos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos somente irradiados (I)	Amidos irradiados e tratados hidrotermicamente (ITH)
0 (não irradiado)	0,04 $\pm$ 0,02 Ab	0,03 $\pm$ 0,02 Ab
0,5 kGy	0,29 $\pm$ 0,09 Aa	0,14 $\pm$ 0,03 Aab
1,0 kGy	0,37 $\pm$ 0,15 Aa	0,29 $\pm$ 0,11 Aa
1,5 kGy	0,41 $\pm$ 0,13 Aa	0,28 $\pm$ 0,06 Aa
2,0 kGy	0,33 $\pm$ 0,14 Aa	0,33 $\pm$ 0,09 Aa
CV = 39,25 %		

Média de triplicata $\pm$ desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Tanto no caso dos amidos do tratamento I como no ITH, houve aumento dos conteúdos de amido com ligações $\beta(1-3)$ e $\beta(1-4)$ com a irradiação dos amidos. No caso do ITH a menor dose (0,5 kGy) não diferiu da amostra não irradiada.

Rombo, Taylor e Minnaar (2004) avaliaram o efeito da irradiação nas propriedades físico-químicas dos amidos presentes em farinhas de feijão e de milho. Para a determinação dos conteúdos de ligações tipo beta, reportaram inicialmente que isolaram os amidos de milho e de feijão a partir de suas respectivas farinhas irradiadas. Em ambos os casos observaram que os conteúdos de ligações $\beta(1-3)$ e $\beta(1-4)$ aumentaram de 2 para 4 g.kg⁻¹ (milho) e de 4,5 para 8 g.kg⁻¹ (feijão) entre as doses de 5 e 10 kGy e mantiveram elevação com o aumento da dose de radiação, chegando a 9 g.kg⁻¹ (milho) e 17 g.kg⁻¹ (feijão) em uma dose de 40 kGy. Os autores relataram que é possível a formação de novas ligações β como resultado da transglucosilação e que o amido que contém ligações β pode ter sido somente parcialmente digerido pela α -amilase de pâncreas suíno. Isto poderia explicar em parte a redução da digestibilidade do amido em altas doses de radiação. Também relataram que altas doses de radiação induzem a redução do tamanho da molécula de amilopectina, envolvendo degradação da mesma e aumento da produção de moléculas de cadeia curta. Relatam ainda que a despolimerização da amilopectina e a formação de ligações β no amido contribuem para o aumento da cristalinidade do amido. Por fim os autores concluem que os dois fatores e seus efeitos inter-relacionados são provavelmente responsáveis pela redução da digestibilidade do amido. No estudo destes pesquisadores a variação dos valores de ligações β ficou mais evidente, pois foi utilizada uma faixa maior de doses de radiação (até 40 kGy).

4.3.5 Difractometria de raios X e cristalinidade relativa

Os difratogramas de raios X dos amidos somente irradiados (I) estão apresentados na Figura 19 e dos amidos irradiados e tratados hidrotermicamente (ITH) na Figura 20.

Figura 19 – Difratoformas de raios X de amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação, sem os tratamentos hidrotérmicos

O amido natural apresentou padrão de cristalinidade do tipo B, com pico de intensidade forte no ângulo de difração 2θ 17,2°, intensidade média-forte nos ângulos 22,2° e 24° e intensidade média no ângulo 5,5° (ZOBEL, 1964).

O tipo de cultivar pode ter influência no padrão de cristalinidade do amido de banana (Bello-Perez et al., 2005). O mesmo padrão de cristalinidade (tipo B) foi encontrado em bibliografia para bananas *Musa acuminata* por Lii, Chang e Young (1982) e Faisant et al. (1995a). Padrão de cristalinidade do tipo C foi encontrado em bibliografia para o caso de bananas *Musa paradisíaca* (Jane et al., 1999; Bello-Perez et al., 2005) e cultivar Valery por Waliszewski et al. (2003).

Figura 20 – Difrátogramas de raios X amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação com posteriores tratamentos hidrotérmicos

Após os tratamentos hidrotérmicos os amidos perderam a presença da maioria dos picos característicos do amido natural ou perderam a intensidade, como é o caso do pico no ângulo $5,5^\circ$. Este fato já era esperado uma vez que se trata de amido que foi gelatinizado e retrogradado, estabelecendo nova estrutura.

As alterações na estrutura dos amidos podem ser também percebidas pela avaliação da cristalinidade relativa dos mesmos. Os valores do teste F e a significância deste parâmetro são apresentados na Tabela 45 e os valores reais na Tabela 46.

Tabela 45 – Valores de F e significância dos valores de cristalinidade relativa dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação e tratamentos hidrotérmicos adicionais

Parâmetro	Causas da variação			
	Blocos	Doses de radiação (DR)	Tratamentos hidrotérmicos (TH)	DR x TH
Cristalinidade relativa	0,23 ns	44,22 **	19473,90 **	4,65 **

Teste F: ** significativo em nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 46 – Cristalinidade relativa média (%) dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação, seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos somente irradiados (I)	Amidos irradiados e tratados hidrotérmicamente (ITH)
0 (não irradiado)	38,43 ± 0,33 Aa	15,15 ± 0,57 Ba
0,5 kGy	37,94 ± 0,55 Aa	14,02 ± 0,57 Bab
1,0 kGy	37,75 ± 0,40 Aa	13,06 ± 0,77 Bbc
1,5 kGy	36,47 ± 0,25 Ab	12,56 ± 0,34 Bc
2,0 kGy	36,19 ± 0,18 Ab	10,73 ± 0,18 Bd
CV = 1,88 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

A cristalinidade relativa do amido natural foi similar à encontrada por Bello-Pérez et al. (2005), que foi de $36,0 \pm 2,5$ % para amido da variedade Macho (*Musa paradisíaca*).

Houve tendência de redução da cristalinidade relativa com o aumento das doses de radiação. Entre os amidos somente irradiados (I) o decréscimo total foi de 2,25 %. Esta redução da cristalinidade pode estar relacionada com a quebra da molécula de amilopectina e possíveis danos na estrutura granular dos amidos.

Kong et al. (2009) estudaram os efeitos da irradiação na cristalinidade relativa de amidos de duas variedades de grãos de amaranto. No intervalo de zero a 2 kGy, a cristalinidade decresceu de 31,6 para 29,3 % (perda de 2,3 %) para a variedade *Hy030* e de 27,6 para 26,6 % (perda de 1,0 %) para a variedade *Tibet Yellow*.

Chung e Liu (2010) também constataram redução da cristalinidade relativa pelo efeito da irradiação. No estudo observaram que, entre zero e 10 kGy, a cristalinidade decresceu de 32,8 para 30,7% em amidos de batata e de 27,2 para 26,0% em amidos de feijão. Sugeriram que esse efeito de redução da cristalinidade é altamente influenciado pelo padrão de cristalinidade do amido,

sendo a estrutura do tipo A relativamente mais compacta e, a do tipo B, mais aberta e sensível à irradiação.

Dentro do tratamento ITH também houve redução de cristalinidade de 15,15% (ITH0) para 10,73% (ITH2) com a elevação das doses de radiação.

Os tratamentos hidrotérmicos adicionais à irradiação reduziram para menos da metade a cristalinidade relativa dos amidos em todas as doses de radiação.

4.3.6 Calorimetria diferencial de varredura

Os termogramas obtidos em calorímetro diferencial de varredura (DSC) dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação sem tratamentos hidrotérmicos posteriores estão apresentados na Figura 21 e com tratamentos hidrotérmicos posterior à irradiação na Figura 22.

Figura 21 – Perfis endotérmicos obtidos em calorímetro diferencial de varredura para os amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação sem tratamentos hidrotérmicos (6mg de amostra e taxa de 5°C/min)

Figura 22 – Perfis endotérmicos obtidos em calorímetro diferencial de varredura dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação e com tratamentos hidrotérmicos (3mg de amostra e taxa de 10 °C/min)

Não foi detectada variação de entalpia de gelatinização para os tratamentos ITH, pois os mesmos já foram gelatinizados e retrogradados previamente.

Os valores do teste F e da significância dos parâmetros avaliados pelo DSC (Temperatura inicial, Temperatura de gelatinização, Temperatura final e variação de entalpia de gelatinização) dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação são apresentados na Tabela 47.

Tabela 47 – Valores de F e significância dos parâmetros obtidos em DSC dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação

Parâmetro	Dose de radiação (DR)
Temperatura inicial	1,74 ns
Temperatura de gelatinização	1,00 ns
Temperatura final	0,64 ns
Variação de temperatura	1,99 ns
Entalpia de gelatinização	1,98 ns

Teste F: ns = não significativo.

A temperatura inicial (T_o), de pico (T_p) e final (T_f) de gelatinização para os amidos submetidos a diferentes doses de radiação são apresentadas na Tabela 48. As propriedades térmicas de variação de temperatura (ΔT) e variação de entalpia de gelatinização (ΔH) são apresentadas na Tabela 49.

Tabela 48 – Valores médios de temperatura inicial de gelatinização (T_o) em °C, temperatura de pico de gelatinização (T_p) em °C e temperatura final de gelatinização (T_f) em °C dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação

Dose de radiação	T_o	T_p	T_f
0 (não irradiado)	$61,81 \pm 0,18$ a	$64,86 \pm 0,34$ a	$68,56 \pm 0,46$ a
0,5 kGy	$61,73 \pm 0,01$ a	$64,96 \pm 0,11$ a	$68,89 \pm 0,25$ a
1,0 kGy	$61,86 \pm 0,10$ a	$64,89 \pm 0,08$ a	$68,67 \pm 0,20$ a
1,5 kGy	$61,75 \pm 0,06$ a	$64,73 \pm 0,18$ a	$68,63 \pm 0,22$ a
2,0 kGy	$61,59 \pm 0,10$ a	$64,63 \pm 0,22$ a	$68,60 \pm 0,21$ a

Média de triplicata $\pm$ desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%.

O amido natural apresentou temperaturas inicial, de pico e final, respectivamente, de 61,81, 64,86 e 68,56 °C. Zhang et al. (2005) reportaram temperaturas de 69,6 °C (To), 74,5 °C (Tp) e 81,6 °C (Tf) para amidos de banana variedade Macho e 71,4 °C (To), 75,0 °C (Tp) e 80,4 °C (Tf) para amidos de banana variedade Criollo, ambas cultivar *Musa paradisiaca*. Lehmann, Jacobasch e Schmiedi (2002) estudando amidos de banana (*Musa acuminata* variedade Nandigobe) encontraram temperaturas de gelatinização de 69,5 °C (To), 73,3 °C (Tp) e 78,7 °C (Tf). Para variedade Cavendish (*Musa acuminata*), Ling et al. (1982) reportaram faixa de temperatura de gelatinização entre 70,1 e 74,6 °C. Estes estudos apresentaram valores de temperaturas superiores aos do presente trabalho.

Tabela 49 – Valores médios de variação de temperatura (ΔT) em °C e de entalpia de gelatinização (ΔH) em J.g⁻¹ obtidas por DSC para os amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação sem tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	ΔT	ΔH
0 (não irradiado)	6,75 ± 0,30 a	19,50 ± 0,18 a
0,5 kGy	7,15 ± 0,23 a	20,50 ± 0,24 a
1,0 kGy	6,81 ± 0,12 a	20,30 ± 1,01 a
1,5 kGy	6,88 ± 0,16 a	19,76 ± 0,19 a
2,0 kGy	7,01 ± 0,14 a	19,77 ± 0,06 a

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%.

O amido natural apresentou variação de temperatura de gelatinização de 6,75 °C e de entalpia de 19,5 J.g⁻¹. No estudo de Lehmann, Jacobasch e Schmiedi (2002) foram reportados valores de 9,2 °C (ΔT) e 10,0 J.g⁻¹ (ΔH). No estudo de Zhang et al. (2005) os valores reportados foram de 12,0 °C (ΔT) e 13,0 J.g⁻¹ (ΔH) para a variedade Macho e de 9,0 °C (ΔT) e 14,8 J.g⁻¹ (ΔH) para a variedade Criollo. A variedade da banana usada, o método de isolamento e o grau de pureza do amido isolado podem causar diferenças nos valores de entalpia reportados em literatura (BELLO-PÉREZ et al., 2005).

Izidoro et al. (2011) encontraram valores de entalpia, obtidos em DSC, de 62,75 °C (T_o), 65,16 °C (T_p), 71,29 °C (T_f), 9,54 °C (ΔT) e 16,70 J.g⁻¹ (ΔH), em amidos de banana verde Nanica.

Amidos de arroz irradiados entre zero e 9 kGy apresentaram propriedades térmicas similares, sem variação na T_o ou na ΔT , mas com pequena redução de T_p (1,2 °C), de T_f (0,9 °C) e de ΔH (2,4 J.g⁻¹), estatisticamente confirmada apenas entre as doses zero e 3 kGy (BAO; AO; JANE, 2005).

Estudando o efeito da irradiação em amido de milho, Chung e Liu (2009) não encontraram variações estatísticas nas propriedades térmicas obtidas por DSC (T_p , T_c , ΔT e ΔH). Apenas a temperatura inicial (T_o) apresentou redução (0,5 °C) em doses de até 2 kGy. Reportaram que em uma mesma taxa (2 kGy/h) a aplicação de uma dose de radiação mais elevada (50 kGy) causou redução nos valores de T_o em 3,7 °C, T_p em 2,8 °C e de T_f em 2,2 °C e elevação de ΔT em 1,5 °C.

4.3.7 Permeação em gel

Os cromatogramas de permeação em gel dos amidos de banana verde sob diferentes tratamentos estão apresentados na Figura 23. O primeiro pico corresponde à fração amilopectina. O segundo pico que mostrou reação significativa com iodo corresponde à fração amilose. O pico final corresponde à glicose adicionada para marcar o final da eluição.

Figura 23 – Cromatogramas de permeação em gel dos amidos de banana verde (BV = *blue value*; CHO = carboidrato total). **A)** Não irradiados. **B)** Não irradiados, mas tratados hidrotermicamente. **C)** Irradiados (1 kGy). **D)** Irradiados (1 kGy) e tratados hidrotermicamente. **E)** Irradiados (2 kGy). **F)** Irradiados (2 kGy) e tratados hidrotermicamente.

Pela análise dos cromatogramas de permeação em gel foi observada redução das intensidades do primeiro pico (fração amilopectina) com o aumento da dose de radiação, tanto para o caso dos amidos somente irradiados (A, C e E) como para os irradiados e tratados hidrotermicamente (B, D e F). Bao, Ao e Jane (2005) observaram o mesmo efeito de redução do

primeiro pico (fração amilopectina) em cromatogramas de amidos de arroz irradiados entre 0 e 9 kGy.

A fração amilose apresentou picos menos acentuados com a irradiação e distribuídos em uma maior faixa de tamanhos.

De acordo com Yu e Wang (2007) o conteúdo e o grau de polimerização da amilopectina são geralmente mais elevados que o da amilose. Assim, a amilopectina tem maior probabilidade de ser quebrada durante a irradiação. Para Chung e Liu (2010) a radiação gama induz a degradação da amilose e amilopectina na região amorfa e na região cristalina, conseqüentemente alterando estruturas moleculares e propriedades físico-químicas dos amidos.

4.3.8 Propriedades de pasta dos amidos

Os perfis viscoamilográficos obtidos no RVA para os amidos de banana verde tratados por irradiação e por irradiação acrescida de tratamentos hidrotérmicos encontram-se nas Figuras 24 e 25, respectivamente.

Figura 24 – Perfis de viscosidade, obtidos em Rapid Visco Analyser, de suspensões de amidos de banana verde (10,7 % p/p), submetidas a diferentes doses de radiação sem tratamentos hidrotérmicos

Figura 25 – Perfis de viscosidade, obtidos em Rapid Visco Analyser, de suspensões de amidos de banana verde (10,7 % p/p), submetidas a diferentes doses de radiação e subsequentes tratamentos hidrotérmicos

Os perfis viscoamilográficos do amido dentro do tratamento irradiação (I) apresentaram viscosidade com picos bem definidos, quebras acentuadas e baixas tendências à retrogradação. Já os perfis dos amidos irradiados e tratados hidrotérmicamente (ITH) mostraram valores de viscosidade superiores aos de seus pares apenas irradiados. Este comportamento foi oposto ao observado para as farinhas, onde as ITH apresentaram redução de viscosidade e da quebra de viscosidade se comparadas com as do tratamento I. Os perfis dos amidos ITH, além de viscosidade mais elevada que os de amidos I, mostraram tendência mais acentuada à quebra pelo efeito do cisalhamento a quente.

Os valores do teste F e da significância das propriedades de pasta obtidas no RVA, para os amidos de banana verde submetidos aos diferentes tratamentos, encontram-se na Tabela 50.

Tabela 50 – Valores de F e significância dos parâmetros, obtidos em Rapid Visco Analyser, dos amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação e tratamentos hidrotérmicos adicionais

Parâmetro	Causas da variação			
	Blocos	Doses de radiação (DR)	Tratamentos hidrotérmicos (TH)	DR x TH
Temperatura de pasta	0,74 ns	3,11 *	0,002 ns	4,11 *
Viscosidade máxima	0,77 ns	295,89 **	7366,86 **	98,88 **
Viscosidade final	0,09 ns	33,42 **	5850,85 **	11,70 **
Quebra de viscosidade	0,47 ns	106,40 **	529,95 **	42,80 **
Tendência a retrogradação	0,25 ns	7,84 **	295,09 **	1,26 ns

Teste F: * significativo em nível de 5% de probabilidade; ** significativo em nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo.

Os parâmetros críticos de viscosidade apresentaram, assim como as farinhas, muitas alterações com os tratamentos. As temperaturas de pasta (°C) são apresentadas na Tabela 51, as viscosidades máximas (RVU) na Tabela 52, as viscosidades finais (RVU) na Tabela 53, as viscosidades de quebra (RVU) na Tabela 54 e as tendências a retrogradação (RVU) na Tabela 55.

Tabela 51 – Temperaturas médias de pasta (°C), obtidas em Rapid Visco Analyser para os amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos somente irradiados (I)	Amidos irradiados e tratados hidrotermicamente (ITH)
0 (sem irradiação)	74,48 ± 1,05 Aa	71,76 ± 0,55 Bc
0,5 kGy	73,80 ± 1,49 Aa	73,46 ± 2,71 Abc
1,0 kGy	74,20 ± 0,90 Aa	73,68 ± 1,15 Aabc
1,5 kGy	73,60 ± 0,28 Ba	76,75 ± 1,35 Aa
2,0 kGy	74,88 ± 0,67 Aa	75,41 ± 0,63 Aab
CV = 1,72 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Não houve variação deste parâmetro com o aumento das doses para as amostras apenas irradiadas. Já dentro dos processamentos que passaram por tratamentos hidrotérmicos posteriores, as temperaturas de pasta tenderam a ser mais elevadas nas doses superiores.

No tratamento I, apesar da variação encontrada na cristalinidade relativa (Tabela 46), ela não foi suficiente para causar variação significativa na temperatura de pasta obtida em RVA.

Tabela 52 – Médias de viscosidades máximas (RVU) obtidas em Rapid Visco Analyser para os amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos somente irradiados (I)	Amidos irradiados e tratados hidrotermicamente (ITH)
0 (sem irradiação)	467,22 ± 3,15 Ba	1005,19 ± 3,39 Aa
0,5 kGy	421,55 ± 5,05 Bb	861,91 ± 21,79 Ab
1,0 kGy	404,66 ± 4,34 Bbc	813,61 ± 20,29 Ac
1,5 kGy	381,69 ± 4,35 Bcd	712,61 ± 15,24 Ad
2,0 kGy	370,77 ± 1,81 Bd	640,58 ± 19,11 Ae
CV = 2,08 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

O amido natural apresentou viscosidade máxima de 467,22 RVU (concentração de 10,71% p/p), valor que está próximo aos obtidos por Nimsung, Thongngam e Naivikul et al. (2007) para suspensões a 10 % de amidos de 3 cultivares de banana verdes (*Musa* AA, AAA e ABB), que variaram entre 356,83 e 432,54 RVU.

Ficou evidenciado no estudo de Nimsung, Thongngam e Naivikul (2007), que a viscosidade máxima dos amidos dos 3 cultivares são superiores às das farinhas de mesmo cultivar, o que pode ser resultado da presença de outros componentes na farinha, como proteínas e lipídeos, que podem influenciar o inchamento dos grânulos de amido. Este resultado também

ficou demonstrado neste trabalho (Tabela 52), onde a viscosidade máxima do amido controle (467,22 RVU) foi superior à da farinha controle (419,58 RVU).

Houve decréscimo da viscosidade máxima com o aumento das doses de radiação. Tanto no tratamento I como no ITH os valores de máxima (RVU) foram reduzidos com o aumento das doses de radiação.

A redução do pico da fração amilopectina pode estar relacionada com a redução da viscosidade, pois é esta fração que absorve água e promove a expansão do grânulo, aumentando a viscosidade do meio.

A adição dos tratamentos hidrotérmicos elevou as viscosidades máximas em todas as doses de radiação avaliadas.

Tabela 53 – Médias de viscosidades finais (RVU) obtidas em Rapid Visco Analyser para os amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos somente irradiados (I)	Amidos irradiados e tratados hidrotérmicamente (ITH)
0 (sem irradiação)	259,72 ± 5,79 Ba	583,08 ± 18,52 Aa
0,5 kGy	233,13 ± 1,97 Bab	547,11 ± 3,17 Ab
1,0 kGy	232,50 ± 4,19 Bb	530,05 ± 8,23 Ab
1,5 kGy	227,97 ± 3,19 Bb	546,91 ± 20,87 Ab
2,0 kGy	225,19 ± 2,77 Bb	475,03 ± 10,92 Ac
CV = 2,79 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Houve redução da viscosidade final dos amidos dentro do tratamento I e dentro do tratamento ITH com a elevação das doses de radiação.

Assim como no caso da viscosidade máxima, as demais propriedades de pasta foram elevadas pelo efeito dos tratamentos hidrotérmicos dentro da mesma dose de radiação.

Tabela 54 – Médias de quebra de viscosidades (RVU) obtidas em Rapid Visco Analyser para os amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos somente irradiados (I)	Amidos irradiados e tratados hidrotermicamente (ITH)
0 (sem irradiação)	247,77 ± 1,89 Ba	506,53 ± 21,21 Aa
0,5 kGy	212,52 ± 7,45 Bab	376,94 ± 12,60 Ab
1,0 kGy	195,58 ± 3,77 Bb	355,30 ± 25,64 Ab
1,5 kGy	185,72 ± 3,71 Bb	237,05 ± 29,15 Ac
2,0 kGy	184,58 ± 3,28 Bb	237,47 ± 17,79 Ac
CV = 5,96 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

Houve redução das quebras de viscosidade ou elevação da estabilidade ao cisalhamento à quente para os amidos dentro do tratamento I e dentro do tratamento ITH com a elevação das doses de radiação.

Os tratamentos hidrotérmicos geraram elevação dos valores de quebra de viscosidade.

Tabela 55 – Médias de tendências a retrogradação (RVU) obtidas em Rapid Visco Analyser para os amidos de banana verde submetidos a diferentes doses de radiação seguidas ou não de tratamentos hidrotérmicos

Dose de radiação	Amidos somente irradiados (I)	Amidos irradiados e tratados hidrotérmicamente (ITH)
0 (sem irradiação)	40,27 ± 5,42 Ba	84,41 ± 9,83 Aa
0,5 kGy	24,11 ± 6,43 Bb	62,02 ± 6,01 Ab
1,0 kGy	23,41 ± 2,55 Bb	71,75 ± 2,36 Aab
1,5 kGy	32,00 ± 3,41 Bab	71,36 ± 7,78 Aab
2,0 kGy	39,00 ± 1,34 Bab	71,91 ± 9,81 Aab
CV = 12,42 %		

Média de triplicata ± desvio padrão.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%. CV = coeficiente de variação.

As propriedades de pasta de amidos de 3 cultivares de banana verdes (Musa AA, AAA e ABB) em suspensões de 10 % (p/p) foram estudadas. A viscosidade de quebra variou entre 118,20 e 426,58 RVU, a tendência à retrogradação variou entre 74,58 e 396,88 RVU e a viscosidade final variou entre 361,12 e 542,92 RVU (NIMSUNG; THONGNGAM; NAIVIKUL, 2007).

Houve redução da tendência à retrogradação dos amidos dentro do tratamento I e dentro do tratamento ITH com a elevação das doses de radiação. Reduções dos valores de propriedades de pasta de amidos causadas pelo efeito da radiação já foram observadas por Chung e Liu (2009), que constataram que amidos de milho tiveram sua viscosidade máxima e final reduzidas com o aumento da dose de radiação. Bao, Ao e Jane (2005) também reportaram redução de viscosidade em amidos de milho pelo efeito da irradiação indicando que a radiação causa degradação molecular dos grânulos de amido.

Tendência oposta foi constatada por Abd Allah, Foda e El Saadany (1974), com maior retrogradação para o amido de trigo irradiado que para o não irradiado, acompanhada por aumento das frações de amilose. Uma elevação da oxidação do amido com íons periodatos foi

observada após a irradiação pela formação de maiores teores de ácido fórmico nas amostras irradiadas, indicando a destruição da amilopectina.

No estudo de Chung e Liu (2009), que avaliaram o efeito da irradiação em amido de milho foi reportada, entre as doses de zero e 2 kGy, redução em todas as variáveis de viscosidade aparente obtidas em RVA, com exceção da quebra de viscosidade. Quando comparados entre as doses de zero a 2 kGy, os amidos de milho tiveram diminuição de 1 °C nos valores encontrados de temperatura de pasta, 7,2 % na viscosidade máxima, 35,2 % na viscosidade final e 34,4 % na tendência a retrogradação, porém apresentaram elevação de 17,9 % na viscosidade de quebra.

Chung e Liu (2010) estudaram amidos de batata e de feijão, reportando que as viscosidades máxima, final e a tendência a retrogradação foram reduzidas com o aumento da dose de radiação. Sugeriram que a degradação da amilopectina e amilose causada pela irradiação dos amidos causou redução substancial na capacidade de ligação com água e no grau de intumescimento dos grânulos de amido, resultando em significativa redução da viscosidade máxima. Para o caso da viscosidade final e da tendência a retrogradação, sugeriram que a redução dos valores ocorreu principalmente devido ao rearranjo ou polimerização da amilose lixiviada e amilopectina com longas cadeias lineares.

Os valores obtidos em RVA mostraram que a temperatura de pasta e a tendência a retrogradação da farinha controle (77,8 °C e 44 RVU) foram superiores a do amido controle (74,5 °C e 40 RVU), e as viscosidades máxima, final e de quebra da farinha foram inferiores a do amido, sendo 419, 251 e 211 RVU (farinha) e 467, 259 e 247 RVU (amido).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em farinhas de banana verde irradiadas o aumento da dose de radiação de 0 a 10 kGy causou elevação dos teores de açúcares redutores e de redutores totais. A irradiação também alterou a digestibilidade das farinhas, com elevação dos teores de ARD e ALD e redução do AR, embora os teores de FDT não tenham sido alterados. Quanto aos parâmetros de cor houve elevações no croma, onde as amostras tenderam para cores mais vívidas, e no índice de escurecimento, principalmente nas doses mais elevadas. As farinhas apresentaram índices de absorção de água inalterados e de solubilidade em água mais elevados com a irradiação. Os valores de viscosidades das pastas foram consideravelmente reduzidos pela irradiação, juntamente com a quebra de viscosidade (aumento da estabilidade da pasta a quente) e com a tendência a retrogradação (aumento da estabilidade ao armazenamento sob frio).

Nas farinhas irradiadas que passaram por tratamentos hidrotérmicos posteriores, o aumento da dose radiação aplicada também resultou em elevação dos teores de açúcares. A digestibilidade do amido das farinhas apresentou redução em ARD e elevação do ALD com a elevação das doses de radiação. Doses baixas de radiação (até 2 kGy) elevaram seus teores de AR, porém, doses mais altas (acima de 2 kGy) reduziram esses valores. A cor destas farinhas foi alterada devido à elevação dos parâmetros croma (cores mais vívidas) e do índice de escurecimento. O índice de absorção de água foi reduzido e o de solubilidade em água foi aumentado com a elevação das doses. Os perfis viscoamilográficos mostraram redução de viscosidade, redução da quebra de viscosidade e da tendência a retrogradação.

A inclusão dos tratamentos hidrotérmicos (gelatinização e retrogradação do amido) alterou a digestibilidade de forma intensa, elevando o teor de ARD e reduzindo o de ALD e, mais consideravelmente, o de AR. Também houve elevação dos teores de FDT em doses acima de 2 kGy. A cor das farinhas tratadas foi alterada, com redução de parâmetros de luminosidade e ângulo Hue, e elevação de croma e índice de escurecimento, alterações causadas em função dos procedimentos adicionais, ou seja, dos tratamentos hidrotérmicos, nova secagem e moagem. Houve aumento do índice de absorção de água e redução do de solubilidade em água. Os tratamentos hidrotérmicos alteraram o perfil viscoamilográfico das amostras gerando picos menos agudos, com menor quebra de viscosidade e maior tendência a retrogradação.

Para amidos de banana verde as alterações observadas foram menos intensas que para farinhas. Tanto para os amidos irradiados como para os irradiados com subseqüentes tratamentos hidrotérmicos, as doses de 0 a 2 kGy promoveram aumento do conteúdo de amido com ligações beta e redução do teor de amilose aparente, da cristalinidade relativa, das viscosidades de pasta e dos picos de amilopectina obtidos em cromatografia, sem alterar significativamente suas frações de digestibilidade.

Os tratamentos hidrotérmicos após a irradiação dos amidos promoveram alterações significativas nas variáveis avaliadas em todas as doses estudadas. Houve alterações de cor, tendo redução de luminosidade e elevação do croma, ângulo Hue e índice de escurecimento. Os teores de amilose aparente foram reduzidos e os de FDT elevados. A digestibilidade *in vitro* apresentou elevação considerável de ARD acompanhada de redução em ALD e AR, principalmente neste último. Foi observada redução dos picos de amilopectina na permeação de gel e também da cristalinidade relativa dos amidos. Todos os parâmetros críticos dos viscoamilogramas apresentaram elevação com os tratamentos hidrotérmicos, exceto a temperatura de pasta, que permaneceu inalterada.

6 CONCLUSÕES

A viscosidade das farinhas e amidos foi o parâmetro mais afetado pelas doses de radiação, apresentando queda em quase todos os pontos críticos. Os tratamentos hidrotérmicos promoveram elevação de quase todos os pontos críticos dos viscoamilogramas de amidos e, para farinhas, gerou maior estabilidade ao cisalhamento a quente e maior tendência a retrogradação.

Houve escurecimento mais acentuado para as farinhas e amidos que receberam tratamentos posteriores à irradiação, principalmente devido à secagem adicional após os tratamentos hidrotérmicos.

A irradiação causou degradação das macromoléculas de amido na farinha e na fração amido isolada de banana verde, resultando em maiores teores de açúcares simples. Houve redução do teor de amilose e também foi evidenciada quebra da amilopectina presente no amido.

Quanto ao teor de FDT nas farinhas, a maior elevação ocorreu para o tratamento conjunto da irradiação na dose de 2 kGy com tratamentos hidrotérmicos posteriores. Já no caso do amido, os tratamentos hidrotérmicos elevaram o teor de FDT em todos os tratamentos, inclusive no amido não irradiado.

No caso do tratamento apenas de irradiação a digestibilidade foi alterada, com farinhas apresentando elevação dos teores de ARD e de ALD e redução de AR com o incremento das doses. Assim, os amidos resistentes do tipo 2 foram reduzidos com a irradiação. Com a inclusão dos tratamentos hidrotérmicos após a irradiação das farinhas os teores de AR foram reduzidos, entretanto, estes AR passaram a ser do tipo 3. Em doses mais baixas, ou seja, até 2 kGy, seguido de gelatinização e retrogradação das farinhas, houve aumento dos teores de AR₃, o que é nutricionalmente interessante. Este tipo de AR é mais estável termicamente do que o presente na farinha natural. Na fração amido isolada, entretanto, a irradiação e tratamentos hidrotérmicos nestas mesmas doses não causaram esta elevação.

REFERÊNCIAS

ABD ALLAH, M.A.; FODA, Y.H.; EL SAADANY, R. Effect of gamma rays extracted from irradiated wheat flour. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 26, p. 89-93, 1974.

AGUIRRE-CRUZ, A.; ÁLVAREZ-CASTILLO, A.; YEE-MADEIRA, H.; BELLO-PÉREZ, L.A. Production of fiber-rich powder by the acid treatment of unripe banana flour. **Journal of Applied Polymer Science**, New York, v. 109, p. 382-387, 2008.

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

ANANTHASWAMY, H.N.; VAKIL, U.K.; SREENIVASAN, A. Effect of gamma radiation on starch and its components. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 35, p. 795-798, 1970a.

_____. Susceptibility to amylolysis of gamma-irradiated wheat. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 35, p. 792-794, 1970b.

ANDERSON, R.A.; CONWAY, V.F.P.; GRIFFIN, E.L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 4-7, 1969.

APARÍCIO-SAGUILÁN, A.; FLORES-HUICOCHEA, E.; TOVAR, J.; GARCIA-SUÁREZ, F.; GUTIÉRREZ-MERAZ, F.; BELLO-PÉREZ, L.A. Resistant Starch-rich powders prepared by autoclaving of native and lintnerized banana starch: Partial characterization. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 57, p. 405-412, 2005.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY – AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 18 th ed. Arlington, 2006. 1141 p.

BADOLATO, G.G.; ALMEIDA, C.P.M.; LIMA, U.A. Desenvolvimento de uma formulação de hambúrguer de peixe com farinha de banana. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 20, n.141, p 45-49, 2006.

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

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

BAO, J.S.; SHU, Q.Y.; XIA, Y.W.; BERGMAN, C.; MCCLUNG, A. Effects of gamma irradiation on aspects of milled rice (*Oryza sativa*) end-use quality. **Journal of Food Quality**, Westport, v. 24, p.327-336, 2001.

BEHALL, K.M.; SCHLFIELD, D.J.; CANARY, J. Effect of starch structure on glucose and insulin responses in adults. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 47, p. 428-432, 1988.

BELLO-PÉREZ, L.A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; SANCHEZ-HEMNDEZ, L., PAREDES-LOPEZ, O. Isolation and parcial characterization of banana starches. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 47, n.3, p. 854-857, 1999.

BELLO-PÉREZ, L.A.; FRANCISCO, A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; GUTIERREZ-MERAZ, F; GARCIA-JUAREZ, F.J.L. Morphological and molecular studies of banana starch. **Food Science and Technology Internacional**, London, v. 11, p. 367-372, 2005.

BERTOLINI, A.C.; MESTRES, C.; COLONNA, P.; RAFFI, J. Free radical formation in UV – and gamma-irradiated cassava starch. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 44, p. 269-271, 2001.

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

BIBLE, B.B.; SINGHA, S. Canopy position influences cielab coordinates of peach color. **Hortscience**, St. Joseph, v. 28, n. 10, p. 992-993, 1993.

BICCHIERINI, M.; DAVALLI, A.; SACCHETTI, R.; PAGANELLI, S. Colorimetric analysis of silicone cosmetic prostheses for upper-limb amputees. **Journal of Rehabilitation Research & Development**, Baltimore, v. 42, n. 5, p. 655-673, 2005.

BLEINROTH, E.W. **Maturação da banana**. Campinas: ITAL, 1972.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução - RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002**. Disponível em <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2002/275_02rdc.htm>. Acesso em: 12 maio 2009.

BRUMOVSKY, J.O.; THOMPSON, D.B. Production of boiling-stable granular resistant starch by partial acid hydrolysis and hydrothermal treatments of high-amylose maize starch. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 78, n. 6, p. 680-689, 2001.

BUTTRISS, J.L.; STOKES, C.S. Dietary fibre and health: an overview. **British Nutrition Foundation Bulletin**, London, v. 33, p. 186-200, 2008.

CARDENETTE, G.H.L. **Produtos derivados da banana verde (Musa ssp.) e sua influência na tolerância à glicose e na fermentação colônica**. 2006. 180 p. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CARDOSO FILHO, N. **Efeito de algumas variáveis no processo de extrusão e nas características funcionais da farinha de feijão comum**. 1993. 128 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

CARDOSO, W.S.; PINHEIRO, F.A.; PATELLI, T.; PEREZ, R.; RAMOS, A.M. Determinação da concentração de sulfito para a manutenção da qualidade da cor em maçã desidratada. **Revista Analytica**, São Paulo, v. 29, p. 69-72, 2007.

CARVALHO, A.V.; VASCONCELOS, M.A.M.; SILVA, P.A.; ASSIS, G.T.; ASCHERI, J.L.R. Caracterização tecnológica de extrudados de terceira geração à base de farinhas de mandioca e pupunha. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 995-1003, jul./ago., 2010.

CEREDA, M.P (Ed.). **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, 2001. v. 1, 224 p. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).

CHAMP, M.; LANGKILDE, A.; BROUNS, F.; KETTLITZ, B.; BAIL-COLLET, Y.L. Advances in dietary fibre characterization. 2. Consumption, chemistry, physiology and measurement of resistant starch; implications for health and food labeling. **Nutrition Research Reviews**, Cambridge, v. 16, p. 143-161, 2003.

CHEETAM, N.W.H.; TAO, L. The effects of amylose content on the molecular size of amylose, and the distribution of amylopectin chain length in maize starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 33, p. 251-261, 1997.

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. 353-361, 2009.

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

CHUNG, H.J.; JEONG, H.; LIM, S. Effects of acid hydrolysis and defatting on crystallinity and pasting properties of freeze-thawed high amylose corn starch. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 54, p. 449-455, 2003.

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, p. 137-148, 2002.

COLONNA, P.; BULEON, A.; MERCIER, C. Physically modified starch. In: GALLIARD, T. **Starch: properties and potencial**. Chischester: John Wiley & Sons, 1987. chap. 4, p. 79-114.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION. **Banana ripening guide**. Melbourne: Australia Division of Research 1972. (Circular 8).

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

EL SAADANY, R.M.A.; EL SAADANY, F.M.; FODA, Y.H. Modification of rice starch by gamma irradiation to produce soluble starch of low viscosity for industrial purposes. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 26, p. 422-425, 1974.

ENGLYST, H.N.; CUMMINGS, J.H. Digestion of the carbohydrates of banana (*Musa paradisiacal* sapientum) in the human small intestine. **The American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 44, p. 42-50, 1986.

ENGLYST, H.N.; KINGMAN, S.M.; CUMMINGS, J.H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal Clinical Nutrition**, Basingstoke, v. 46, n. 2, p. S33-S50, 1992.

FAISANT, N.; CHAMP, M.; COLONNA, P.; BULÉON, A.; MOLIS, C.; LANGKILDE, A.-M.; SCHWEIZER, T.; FLOURIE, B.; GALMICHE, J.-P. Structural features of resistant starch at the end of the human small intestine. **European Journal Clinical Nutrition**, Basingstoke, v. 47, p. 285-296, 1993.

FAISANT, N.; BULÉON, A.; COLONNA, P.; MOLIS, C.; LARTIGUE, S.; GALMICHE, J.P.; CHAMP, M. Digestion of raw banana starch in the small intestine of healthy humans: structural features of resistant starch. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 73, p. 111-123, 1995a.

FAISANT, N.; GALLANT, D.J.; BOUCHET, B.; CHAMP, M. Banana starch breakdown in the human small intestine studied by electron microscopy. **European Journal Clinical Nutrition**, Basingstoke, v. 49, p. 98-104, 1995b.

FAO, 2010. **Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT statistic database**. Disponível em: <<http://www.fao.org/>>. Acesso em 14 abr. 2010.

FERREIRA, R.E. **Avaliação de parâmetros do processo de extrusão e do teor de farelo de trigo adicionado em características de “snacks” expandidos de milho**. 2006. 163 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

FNP CONSULTORIA & COMERCIO. Banana. In:_____ **Agrianual 2010**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2010. p 348.

FREITAS, M.C.J.; TAVARES, D.Q. Caracterização do Grânulo de Amido de Bananas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, p. 217-222, 2005.

FUENTES-ZARAGOZA, E.; SÁNCHEZ-ZAPATA, E.; SENDRA, E.; SAYAS, E.; NAVARRO, C.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; PÉREZ-ALVAREZ, J.A. Resistant starch as prebiotic: A review. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 63, p. 406-415, 2011.

GARCIA, E.; LAJOLO, F.M. Starch transformation during banana ripening: The amylase and glucosidase behavior. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 53, p. 1181-1186, 1988.

GELENSECSÉR, T.; JUHÁSZ, R.; HÓDSÁGI, M.; GERGELY, S.Z.; SALGÓ, A. Comparative study of native and resistant starches. **Acta Alimentaria**, Budapest, v. 37, n.2, p. 255-270, 2008.

GOÑI, I.; GARCIA-DIAZ, L.; MAÑAS, E.; SAURA-CALIXTO, F. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. **Food Chemistry**, London, v. 45, p. 445-449, 1996.

HARALAMPU, S.G. Resistant starch – a review of the physical properties and biological impact of RS3. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 41, n. 4, p. 285-292, 2000.

HOENNE, F.C. **Botânica e agricultura no Brasil (Século XVI)**. Brasileira: Companhia Editora Nacional, 1937.

IZIDORO, D.R.; SIERAKOWSKI, M.R.; HAMINIUK, C.W.I.; SOUZA, C.F.S.; SCHEER, A.P. Physical and chemical properties of ultrasonically, spray-dried green banana (*Musa cavendish*) starch. **Journal of Food Engineering**, London, v. 104, p. 639-648, 2011.

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

JUAREZ-GARCIA, E.; AGAMA-ACEVEDO, E.; SÁYAGO-AYERDI, S.G.; RODRÍGUEZ-AMBRÍZ, S.L.; BELLO-PÉREZ, L.A. Composition, digestibility and application in breadmaking of banana flour. **Plant Foods for Human Nutrition**, London, v. 61, p. 131-137, 2006.

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

KAYISU, K.; HOOD L.F.; VANSOEST, P.J. Characterization of Starch and Fiber of Banana Fruit. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 46, p. 1885-1890, 1981.

KONG, X.; KASAPIS, S.; BAO, J.; CORKE, H. Effect of gamma irradiation on the thermal and rheological properties of grain amaranth starch. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 78, p. 954-960, 2009.

LAJOLO, F.M.; SAURA-CALIXTO, F.; PENNA, E.W.; MENEZES, E.W. **Fibra dietética en Iberoamérica: tecnología y salud**. São Paulo: Varela, 2001.

LEÃO, A.C.; ARAÚJO, A. de A.; SOUZA, L. A. C. **Implementação de sistema de gerenciamento de cores para imagens digitais**. Poços de Caldas: Editora PUC-Minas, 2005. cap. 3, p. 61-96.

LEE, J. W.; OH, S.H.; KIM, J.H.; BYUN, E.H. The effect of irradiation temperature on the nonenzymatic browning reaction in cooked rice. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 76, p. 886-892, 2007.

LEITE, F. N. **Calibração de dispositivos a cores utilizando uma câmera digital**. 2006. 73p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

LEHMANN, U.; JACOBASCH, G.; SCHMIEDI, D. Characterization of Resistant Starch Type III from banana (*Musa acuminata*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, p. 5236-5240, 2002.

LEHMANN, U.; ROBIN, F. Recrystallisation of starch and its impact on SDS formation. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 18, p. 346-355, 2007.

LEONEL, M.; MISCHAN, M.M.; FILHO, J.D.; LEONEL, S. Efeitos de parâmetros de extrusão sobre as propriedades físicas de extrudados de banana e mandioca. **Publicativo UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 14, p. 51-58, 2008.

LII, C.; CHANG, S.; YOUNG, Y. Investigation of the physical properties of banana starches. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 47, p. 1493-1497, 1982.

LING, L.H.; OSMAN, E.M.; FERNANDES, J.B.; REILLY, P.J. Physical properties of starch from Cavendish banana fruit. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 34, p. 184-188, 1982

LINKO, Y.Y.; VUORIEIN, H.; OLKKU, J.; LINK, P. The effect of HTST on retention of cereal alfa-amylase activity and enzymatic hydrolysis of barley starch. In: LINKO, P.; LARINKARI, J. **Food processing engineering**, London, v. 2, p. 210-223, 1980.

LINTNER, C. J. Studien uber diastase. **Journal für Praktische Chemie**, Weinheim, v. 34, p. 378-386, 1886.

LIU, H.; XIE, F.; CHEN, L.; YU, L.; DEAN, K.; BATEMAN, S. Thermal behavior of high amylase cornstarch studied by DSC. **International Journal of Food Engineering**, Berkeley, v. 1, n. 1, p. 1-6, 2005.

LOBO, A.R.; SILVA, G.M.L. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista da Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 1-10, 2003.

LUSTESA, B.H.B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M.M. Influência de parâmetros de extrusão na absorção e solubilidade em água de farinhas pré-cozidas de mandioca e caseína. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 2, p. 223-229, abr./jun. 2009.

MACARTHUR, L.A.; D'APPOLONIA, B.L. Gamma radiation of wheat. I. Effects on dough and baking properties. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 60, p. 456-460, 1983.

MCGUIRE, R.G. Reporting of objective color measurements. **Horticultural Science**, Alexandria, v. 27, n. 12, p. 1254-1255, 1992.

MEDINA, J.C.; BLEINROTH, E.W.; MARTIN, Z.J.; TRAVAGLINI, D.A.; OKADA, M.; QUAST, D.G.; HASHIZUME, T.; MORETTI, V.A.; BICUDO NETO, L.C.; ALMEIDA, L.A.S.B.; RENESTO O.V. **Banana: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. Campinas: ITAL, 1985.

MEGAZYME INTERNATIONAL IRELAND LIMITED. **Amylose/amylopectin: assay procedure**. Wicklow, 2006. 11 p.

MIAO, M.; JIANG, B.; ZHANG, T. Effect of pullulanase debranching and recrystallization on structure and digestibility of waxy maize starch. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 76, p. 214-221, 2009.

MINOLTA CORP. **Precise color communication: color control from feeling to instrumentation**. Ransey: Minolta Corporation Instrument Systems Division, 1994.

MISHRA, S.; MONRO, J.; HEDDERLEY, D. Effect of processing on slowly digestible starch and resistant starch in potato. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 60, p. 500-507, 2008.

MOTA, R.V; LAJOLO, F.M.; CIACCO, C.; CORDENUNSI, B.R. Composition and functional properties of banana flour from different varieties. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 52, p. 63-68, 2000.

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, p. 123-127, 1992.

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.

NATIONAL STARCH AND CHEMICAL COMPANY. **About resistant starch**. Disponível em <<http://www.resistantstarch.com/resistantstarch/about+RS/>>. Acesso em 21 mar. 2009.

NIMSUNG, P.; THONGNGAM, M.; NAIVIKUL, O. Compositions, morphological and thermal properties of green banana flour and starch. **Kasetsart Journal: Natural Science**, Bangkok, v. 41, p.324-330, 2007.

NG, P.K.W.; BUSHUK, W.; BORSA, J. Effect of gamma ray and high-energy electron irradiations on breadmaking quality of two Canadian wheat cultivars. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, Ottawa, v. 22, p. 173-176, 1989.

O'BRYAN, C.A.; CRANDALL, P.G.; RICKE, S.C.; OLSON, D.G. Impact of irradiation on the safety and quality of poultry and meat products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 48, p. 442-457, 2008.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD – OMS. **Inocuidad e idoneidad nutricional de los alimentos irradiados**. Ginebra, 1995. 172 p.

ORMENESE, R.C.S.C. **Obtenção de farinha de banana verde por diferentes processos de secagem e aplicação em produtos alimentícios**. 2010. 156 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

OVANDO-MARTINEZ, M.; SÁYAGO-AYERDI, S.; AGAMA-ACEVEDO, E.; GOÑI, I.; BELLO-PÉREZ, L.A. Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. **Food Chemistry**, Barking, v. 113, p. 121-126, 2009.

OZTURK, S.; KOKSEL, H.; KAHRAMAN, K.; PERRY, K. W. Ng. Effect of debranching and heat treatments on formation and functional properties of resistant starch from high-amylose corn starches. **European Food Research Technology**, Berlin, v. 229, p. 115-125, 2009.

PACHECO-DELAHAYE, E.; MALDONADO, R.; PÉREZ, E.; SCHROEDER, M. Production and characterization of unripe plantain (*Musa paradisiaca* L.) flours. **Interciência**, Caracas, v. 33, n. 4, p. 290-296, 2008.

PALOU, E.; LÓPEZ-MALO, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; WELTI-CHANES, J.; SWANSON, B.G. Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 64, p. 42-45, 1999.

PEREIRA, K.D. Amido resistente, a última geração no controle de energia e digestão saudável. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, p. 88-92, 2007.

PERIAGO, M.J.; ENGLYST, H.N.; HUDSON, G.J. The influence of thermal processing on the non-starch polysaccharide (NSP) content and *in vitro* digestibility of starch in peas (*Pisum sativum*, L.). **Lebensmittel Wissenschaft & Technologie**, London, v. 29, p. 33-40, 1996.

PILON, L. **Conservação de abacaxi minimamente processado utilizando como coadjuvantes cloreto de cálcio, película comestível e radiação gama**. 2007. 122 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

POLESI, L.F.; SARMENTO, S.B.S. Structural and physicochemical characterization of prepared usinf hydrolysis and heat treatment of chickpea starch. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 63, p. 226-235, 2011.

POURCHET-CAMPOS, M.A. Fibra: a fração alimentar que desafia os estudiosos. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 2, p. 53-63, 1990.

RAMOS, D.P.; LEONEL, M.; LEONEL, S. Amido resistente em farinhas de banana verde. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 3, p. 479-483, 2009.

RAO, S.R.; HOSENEY, R.C.; FINNEY, K.F.; SHOGREN, M.D. Effect of gamma-irradiation of wheat on breadmaking properties. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 2, p. 506-512, 1975.

RENDÓN-VILLALOBOS, R.; AGAMA-ACEVEDO, E.; ISLAS-HERNÁNDEZ, J.J.; SÁNCHEZ-MUÑOZ, J.; BELLO-PÉREZ, L.A. *In vitro* starch bioavailability of corn tortillas with hydrocolloids. **Food Chemistry**, Barking, v. 97, p. 632-636, 2006.

RIBEIRO, S.C.A.; RIBEIRO, C.F.A.; PARK, K.J.; ARAUJO, E.A.F.; TOBINAGA, S. Alteração da cor da carne de mapará (*Hypophthalmus edentatus*) desidratada osmoticamente e seca. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p.125-135, 2007.

RICKARD, J.E.; BEHN, K.R. Evaluation of acid and enzyme hydrolytic methods for the determination of cassava starch. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 41, n. 4, p. 373-379, 1987.

RODRIGUEZ-AMBRÍZ, S.L.; ISLAS-HERNÁNDEZ, J.J.; AGAMA-ACEVEDO, E.; TOVAR, J.; BELLO-PÉREZ, L.A. Characterization of a fibre-rich poder prepared by liquefaction of unripe banana flour. **Food Chemistry**, Barking, v. 107, p. 1515-1521, 2008.

ROMBO, G.O.; TAYLOR, J.R.N.; MINNAAR, A. Effect of irradiation, with and without cooking of maize and kidney bean flours, on porridge viscosity and *in vitro* starch digestibility. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 81, p. 497-502, 2001.

_____. Irradiation of maize and bean flours: effects on starch physicochemical properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 84, 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**, Chicago, v. 5, p. 1-17, 2006.

SANZ, T.; SALVADOR, A.; BAIXAULI, R.; FISZMAN, S. M. Evaluation of four types of resistant starch in muffins. II. Effects in texture, colour and consumer response. **European Food Research Technology**, Dresden, v. 229, p. 197-204, 2009.

SAS/IML. **Software**: usange and reference, version 6. Cary, 1989. 501p.

SILVA, M.H.L.; SILVA, C.O. Caracterização parcial de amido de banana-nanica (*Musa sp.* AAA *Cavendish*). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 52(303), p.751-762, 2005.

SOKHEY, A.S.; CHINNASWAMY, R. Chemical and molecular properties of irradiated starch extrudates. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 70, p. 260-268, 1993.

SOMOGY, M. A new reagent for the determination of sugar. **The Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 160, n.1, p. 61-68, 1945.

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

SOUSA, J.S.I.; PEIXOTO, A.M.; TOLEDO, F.R. **Enciclopédia Agrícola Brasileira**, v. A-B 1. São Paulo: Editora Edusp, 1995. p. 163-165.

TEIXEIRA, M.A.V.; CIACCO, C.F.; TAVARES, D.Q.; BONEZZI, A.N. Ocorrência do amido resistente em amidos de milho e de banana. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, p. 246-252, 1998.

THOMPSON, D.B. Strategies for the manufacture of resistant starch. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 11, p. 245-253, 2000.

TORRES, L.L.G.; EL-DASH, A.A.; CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI J.L.R.; GERMANI, R.; MIGUEZ, M. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*Musa acuminata*, grupo AAA) por extrusão termoplástica. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 23, n. 2, p. 273-290, jul./dez. 2005.

TRIBESS, T.B.; HERNANDEZ-URIBE, J.P.; MÉNDEZ-MONTEALVO, M.G.C.; MENEZES, E.W.; BELLO-PEREZ, L.A.; TADINI, C.C. Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. **Food Science and Technology**, London, v. 42, p. 1022-1025, 2009.

UEHARA, V.B. **Efeito da radiação gama em propriedades da farinha de banana verde** (2011). 89 p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/SP, São Paulo, 2011.

VAKIL, K.U.; ARAVINDAKSHAN, M.; SRINIVAS, H.; CHAUHAN, P.S.; REENIVASAN, A. In: Nutricional and wholesomeness studies with irradiated foods- Indian's program. **Radiation preservation of food**. Vienna: Intl. Atomic Energ Agency, 1973. p. 673-702.

VAN DOKKUM, W. Propriedades funcionais de fibras alimentares, amido resistente e oligossacarídeos não digeríveis. In: COSTA, N.M.B.; ROSA, C.O.B. (Ed.). **Alimentos funcionais: benefícios para a saúde**. Viçosa: Editora Rubio, 2008.

VATANASUCHART, N.; NIYOMWIT, B.; WONGKRAJANG, K. Resistant starch contents and *in vitro* starch digestibility of Thai starchy foods. **Kasetsart Journal: Natural Science**, Bangkok, v. 43, p.178-186, 2009.

YOSHIDA, S.; FORNO, D.A.; COCK, J.H.; GOMEZ, K.A. Determination of sugar and starch in plant tissue. In: Yoshida, S. (Ed.). **Laboratory manual for physiological studies of rice**. 3rd ed. Los Baños: International Rice Research Institute, 1976. p. 46-49.

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

WALISZEWSKI, K.N.; APARICIO, M.A.; BELLO, L.A.; MONROY, J.A. Changes of banana starch by chemical and physical modification. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 52, p. 237-242, 2003.

WILLIS, H.J.; ELDRIDGE, A.L.; BEISEIGEL, J.; THOMAS, W.; SLAVIN, J.L. Greater satiety response with resistant starch and corn bran in human subjects. **Nutrition Research**, New York, v. 29, p. 100-105, 2009.

ZANÃO, C.F.P.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; SARMENTO, S.B.S.; ARTHUR, V. Efeito da irradiação gama nas características físico-químicas e sensoriais do arroz (*Oryza sativa* L.) e no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 46-55, 2009.

ZHAO, X.; LIN, Y. Resistant starch prepared from high-amylose maize starch with citric acid hydrolysis and its simulated fermentation in vitro. **European Food Research Technology**, Springer, v. 228, p. 1015-1021, 2009.

ZHANG, P.; WHISTLER, R.L.; BEMILLER, J.N.; HAMAKER, B.R. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility – a review. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 59, p. 443-458, 2005.

ZOBEL, H.F. X-ray analysis of starch granules In: Whistler, R.L. (Ed.). **Methods in carbohydrates chemistry**. New York: Academic Press, 1964. v. 4, chap. 29, p. 109-143.