

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ – REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

RENATA FRANKLIN AZEDO DOURADO DE CASTRO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE DIFERENTES CULTIVARES DE
ARROZ COM AVALIAÇÃO TÉRMICA DOS AMIDOS**

PONTA GROSSA

2014

RENATA FRANKLIN AZEDO DOURADO DE CASTRO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE DIFERENTES CULTIVARES DE
ARROZ COM AVALIAÇÃO TÉRMICA DOS AMIDOS**

Defesa de dissertação apresentada como requisito para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Curso de Pós Graduação da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya

PONTA GROSSA

2014

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

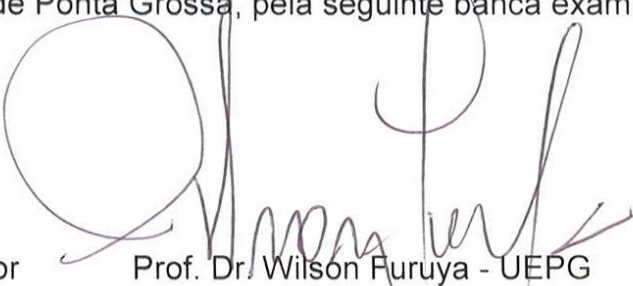
C355	Castro, Renata Franklin Azedo Dourado de Caracterização físico-química de diferentes cultivares de arroz com avaliação térmica dos amidos/ Renata Franklin Azedo Dourado de Castro. Ponta Grossa, 2014. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Área de Concentração: Ciências e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa. Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya. 1.Arroz. 2.Propriedade física. 3.Ácido fítico. 4.Análise térmica. I.Furuya, Wilson Massamitu. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. T. CDD: 633.18
------	---

TERMO DE APROVAÇÃO

Renata Franklin Azedo Dourado De Castro

**Caracterização Físico-Química de Diferentes Cultivares de Arroz com
Avaliação Térmica dos Amidos.**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:


Orientador Prof. Dr. Wilson Furuya - UEPG


Prof. Dr. Ivo Mottin Demiate – UEPG


Prof. Dr. Egon Schnitzler - UEPG


Prof. Dr. Gilbert Bannach - UNESP

Ponta Grossa, 25 de Julho de 2014.

*Dedico com amor, a Deus e aos meus amados,
André Luiz Dourado e Victor Dourado.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo privilégio de viver e vencer todas as adversidades com ele.

Ao meu marido e filho, minhas fontes de alegria, amor, apoio e incentivo ao longo deste projeto e por compreenderem todas as minhas ausências.

À minha mãe, Ana Maria, por disponibilizar seu tempo e cuidados com meu filho e me possibilitar tranquilidade para finalizar este trabalho.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia em Alimentos por disponibilizar a estrutura física e corpo docente que possibilitaram a realização desse trabalho.

À Capes pela concessão da bolsa de estudos e auxílio financeiro.

Ao meu orientador professor Dr. Wilson Furuya pelos conselhos, paciência, confiança e respeito ao longo deste projeto.

Ao professor Dr. Ivo Demiate por todo seu apoio, sugestão e ensinamentos do primeiro ao último dia deste trabalho.

Ao professor Dr. Egon Schnitzler pelas sugestões e por toda contribuição para enriquecimento desse trabalho.

À Dra. Kelly de Oliveira Cohen por toda ajuda disponibilizada e por todo meu carinho e admiração.

À Prof^a Dr^a Neiva Deliberali Rosso e a sua aluna de iniciação científica, Ana Carolina Mendes Hacke, pela imensa contribuição na análise de Ácido Fítico.

Ao M.Sc. Carlos Alberto Fagundes do IRGA-RS, à Dra. Gabriela Neves Martins da EPAGRI-SC e ao Eng^o. Agr^o, Humberto Matias Bernardo, da Cooperja-SC. Agradeço por todo material disponibilizado para pesquisa.

As colegas Tiago Colman, Cristina e Marina pelo apoio na elaboração deste trabalho.

Ao C-LABMU/PROESP pela possibilidade das análises que contemplam este trabalho.

À técnica de laboratório Denise Mendes, pelo auxílio com reagentes, materiais e equipamentos, e pela ajuda imensurável.

Agradeço à Thaís Pereira da Cruz, aluna do curso de Zootecnia da UEPG, por toda ajuda e carinho, pela amizade que me ofereceu neste projeto e no momento de minha gravidez.

A CODEPAR pelo auxílio dos funcionários no beneficiamento do arroz.

A todos que me ajudaram direta e indiretamente, meu profundo agradecimento.

O correr da vida embrulha tudo. A vida é assim:
esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois
desinquieta. O que ela quer da gente é coragem.
(João Guimarães Rosa)

RESUMO

A composição e propriedades físicas variam de acordo com o cultivar de arroz. O conhecimento das propriedades físicas de grãos é útil para a criação de mecanismos apropriados para operações de qualquer processo promovendo um melhor destino a cada cultivar. Experimentos foram realizados para avaliar as características físicas e a composição de quatro cultivares de arroz (EPA, SCS, BRS e IAS) integral e polido. Foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) nas propriedades físicas entre arroz com casca, integral e polido, sendo que as cultivares EPA, SCS e BRS possuem grãos longo-fino com alto teor de amilose (27,39-30,19%) e IAS possui grãos curtos com baixo teor de amilose (19,46%). No beneficiamento o maior rendimento foi da cultivar IAS (74,47%), sendo que este genótipo apresentou maior grau de polimento (10,43%). Nas avaliações químicas do arroz integral, verificou-se diferença significativa ($p < 0,05$) tanto para o arroz polido quanto para o integral, sendo que a cultivar BRS apresentou maior teor de proteínas, tanto na forma integral (10,56%), quanto na polida (9,10%). Com o processo de polimento as composições de minerais e ácido fítico reduziram, sendo que a cultivar EPA apresentou uma maior redução ($p < 0,05$) na concentração de ferro (18,56 para 1,2 μ g/g), fósforo (451,24 para 84,43 μ g/g) e ácido fítico (2,77 para 0,12mg/g), porém com menores perdas para o zinco (24,73 para 19,48 μ g/g). As amostras de amidos começaram a ganhar viscosidade ao mesmo tempo. O grau de cristalinidade relativa (%) foi maior nos amidos com maior teor de amilose, porém não na mesma proporção, sendo assim, cada cultivar possui sua característica particular. As microimagens obtidas através da NC-AFM revelaram que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) no diâmetro dos grânulos dos amidos das diferentes cultivares. A espectrofotometria de reflectância demonstra que em relação a cor do amido não houve diferença entre as cultivares para L^* , WI, verificando-se uma coloração extremamente clara. Já em relação aos grãos, verificam-se cores mais claras para cultivares polidas em relação a integrais, tanto em grãos como nas farinhas. As informações do presente estudo podem ser úteis nos projetos de máquinas de pós-colheita, para o processamento e estruturas de armazenamento na indústria de processamento de alimentos baseada nas diferentes cultivares de arroz.

Palavras-chave: Arroz. Propriedade física. Ácido fítico. Amido. Análise térmica.

ABSTRACT

The composition and physical properties vary with the rice cultivar. The knowledge of the physical properties of grain materials is useful for establishing appropriate mechanisms to operate any process promoting the best destination of each cultivar. Experiments were conducted to evaluate the physical characteristics and composition of four cultivars of rice (EPA, SCS, and IAS BRS) brown and polished. Significant differences ($p < 0.05$) were observed in the physical properties of paddy, brown and milled rice. EPA, SCS and BRS cultivars have long-fine grains with high amylose (27.39 to 30.19%) and IAS has short grains with low amylose content (19.46%). At processing the biggest yield was the cultivar IAS (74.47%) and this genotype showed higher degree of polishing (10.43%). In chemical evaluations of brown rice, a significant difference ($p < 0.05$) for both the polished rice as for brown rice was found, BRS cultivar showed higher protein content both in brown rice form (10.56%), as the polished (9.10%). In the process of polishing the composition of minerals and phytic acid were reduced, EPA cultivar had a bigger reduction ($p < 0.05$) in the iron concentration (18.56 to 1.2 $\mu\text{g/g}$), phosphorus (451.24 to 84.43 $\mu\text{g/g}$) and phytic acid (2.77 to 0.12 mg/g), but with lower losses for zinc (24.73 to 19.48 $\mu\text{g/g}$). When cooked in water, starch started to gain viscosity at same time. The relative degree of crystallinity (%) was higher in starches with higher amylose content, but not in the same proportion, so each cultivar has its particular characteristic. Micro images obtained through the NC-AFM showed no significant difference ($p < 0.05$) in the diameter of the starch granules of different cultivars. The reflectance spectrophotometry showed that regarding the color of starch, there was no difference among cultivars for L^* , W , where there is a very light color. In relation to grains, there were lighter colors for polished in relation to brown kernels, what was also found for the respective flours. The information from this study may be useful in the design of post harvest machinery, for processing and storage structures in food processing industry based on the different cultivars of rice.

Keywords: Rice. Physical property. Phytic acid. Starch. Thermal analysis.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPÍTULO 2

EPA	Epagri 109
SCS	SCS 114 Andosan
BRS	BRS Firmeza
IAS	IAS 12-9 Formosa
a*f	a* da farinha
a*g	a* do grão
AF	Ácido Fítico
Amy	Amilose
b*f	b* da farinha
b*g	b* do grão
C	Comprimento
C*f	Cromaticidade da farinha
C*g	Cromaticidade do grão
Ca	Cálcio
Carb.	Carboidratos
Deq	Diâmetro Equivalente
E	Espessura
FA	Fibra Alimentar
Fe	Ferro
L	Largura
L*f	L* da farinha
L*g	L* do grão
Lip.	Lipídeos
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
P	Fósforo
PMG	Peso de mil grãos
Pro	Proteínas
R _a	Relação (L/C)
RMF	Resíduo Mineral Fixo
S	Área de superfície do grão
U	Umidade
V	Volume
Zn	Zinco
ε	Porosidade
pb	Densidade Aparente
pt	Densidade Real
φ	Esfericidade

CAPÍTULO 3

TG	Termogravimetria
DTG	Termogravimetria derivada
DSC	Calorimetria exploratória diferencial
NC-AFM	Microscopia de força atômica método não contato
RVA	Rápido Viscoanalisador
T _o	Temperatura “onset” inicial
T _p	Temperatura de pico
T _c	Temperatura de conclusão
ΔH	Variação de entalpia
ΔH_{gel}	Entalpia de gelatinização
cP	Centipoise
Da	Diâmetro médio
Ra	Rugosidade média
Hue*	Tonalidade
WI	Índice de Brancura

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 - Estruturas básicas do grão de arroz	18
--	----

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 - Curvas TG/DTG: Amidos das Cultivares (a) Epagri 109, (b) SCS 114 Andosan, (c) BRS Firmeza, (d) IAS 12-9 Formosa	82
Figura 3.2 - Curvas DSC de gelatinização: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa	84
Figura 3.3 - Propriedades da pasta de amido de arroz das Cultivares (EPA) Epagri 109, (SCS) SCS 114 Andosan, (BRS) BRS Firmeza, (IAS) IAS 12-9 Formosa	86
Figura 3.4 - Difractometria de Raios X: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa	88
Figura 3.5 - Micrografias obtidas pela NC-AFM: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa	90

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1.1 -	Classificação do arroz em relação ao grupo e subgrupo	20
Tabela 1.2 -	Classificação e descrição quanto às classes de arroz beneficiado segundo regulamento técnico do arroz no Brasil	21

CAPÍTULO 2

Tabela 2.1 -	Propriedades Físicas das cultivares de arroz em casca, integral e polido	51
Tabela 2.2 -	Características do Beneficiamento de diferentes cultivares de arroz	54
Tabela 2.3 -	Classificação dos diferentes cultivares de arroz de acordo com os teores de amilose	55
Tabela 2.4 -	Composição química em diferentes cultivares de arroz Integral e Polido	56
Tabela 2.5 -	Minerais e ácido fítico contidos em diferentes cultivares de arroz na forma integral e polida	57
Tabela 2.6 -	Perda de minerais e ácido fítico no processo de polimento	59
Tabela 2.7 -	Parâmetros de cor para o Grão e Farinha de arroz polido e integral	60
Tabela 2.8 -	Coeficiente de correlação de Pearson para variáveis físicas e químicas de quatro cultivares integral e polido	62
Tabela 2.9 -	Coeficiente de correlação de Spearman para variáveis físicas e químicas de quatro cultivares integral e Polido	63

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1 -	Classificação das cultivares quanto ao teor de amilose e rendimento.....	80
--------------	--	----

Tabela 3.2 -	Composição do química do amido: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa	81
Tabela 3.3 -	Resultados das curvas TG/DTG: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (b) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (c) amido da cultivar BRS Firmeza, (d) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa ...	83
Tabela 3.4 -	Resultados de DSC de gelatinização: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa	84
Tabela 3.5 -	Resultados de RVA: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa	86
Tabela 3.6 -	Resultados de Raios-X: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa.....	88
Tabela 3.7 -	Resultados da NC-AFM: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da Cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da Cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da Cultivar IAS 12-9 Formosa	89
Tabela 3.8 -	Parâmetros de cor: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa	91

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - REVISÃO DA LITERATURA.....	17
1.1 ARROZ.....	17
1.1.1 CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA	17
1.1.2 SISTEMA DE CULTIVO E CULTIVARES DE ARROZ.....	18
1.1.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DO ARROZ	19
1.1.4 BENEFICIAMENTO.....	19
1.1.5 COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DO ARROZ.....	21
1.1.5.1 MINERAIS NO ARROZ	22
1.1.5.2 ÁCIDO FÍTICO NO ARROZ	23
1.2 AMIDO DE ARROZ	23
1.2.1 Usos do amido de arroz	23
1.2.2 Extração do amido de arroz	24
1.2.3 Estrutura do amido	25
1.2.3.1 Amilose.....	25
1.2.3.2 Amilopectina.....	25
1.2.4 Propriedades do amido	26
1.2.4.1 Gelatinização.....	26
1.2.5 PROPRIEDADES DE PASTA	27
1.2.6 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X e cristalinidade.....	28
1.3 TÉCNICAS TERMOANALÍTICAS	29
1.3.1.1 TERMOGRAVIMETRIA (TG)	29
1.3.1.2 TERMOGRAVIMETRIA DERIVADA (DTG).....	29
1.3.1.3 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)	29
1.3.2 MICROSCOPIA DE FORÇA ATÔMICA – MÉTODO NÃO CONTATO (NC-AFM)	30
1.3.3 COLORIMETRIA.....	30
REFERÊNCIAS.....	32
 CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE DIFERENTES CULTIVARES DE ARROZ DO BRASIL	 39
RESUMO.....	39
ABSTRACT	40

2.1 INTRODUÇÃO	41
2.2 OBJETIVOS	42
2.2.1 GERAL	42
2.2.2 ESPECÍFICOS	42
2.3 MATERIAL E MÉTODOS	43
2.3.1 MATERIAIS	43
2.3.2 MÉTODOS	43
2.3.2.1 DESCASQUE E POLIMENTO	43
2.3.2.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	44
2.3.2.2.1 TAMANHO E FORMA	44
2.3.2.2.2 DENSIDADE APARENTE E DENSIDADE REAL	45
2.3.2.2.3 POROSIDADE	45
2.3.2.2.4 PESO DE MIL GRÃOS	46
2.3.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE GRÃOS DE ARROZ INTEGRAL E POLIDO DE DIFERENTES CULTIVARES.	46
2.3.3.1 MOAGEM DO GRÃO	46
2.3.3.2 COMPOSIÇÃO DO ARROZ INTEGRAL E POLIDO	46
2.3.3.3 DETERMINAÇÃO DE AMIOLOSE	46
2.3.3.4 DETERMINAÇÃO DE MINERAIS EM ARROZ INTEGRAL E POLIDO	47
2.3.3.5 DETERMINAÇÃO DE ÁCIDO FÍTICO EM ARROZ POLIDO E INTEGRAL ..	47
2.3.3.5.1 EXTRAÇÃO	47
2.3.3.5.2 PURIFICAÇÃO	48
2.3.3.5.3 DETECÇÃO E DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO DE ÁCIDO FÍTICO ...	48
2.3.3.6 DETERMINAÇÃO DE COR	49
2.3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	49
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
2.5 CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS	66

CAPÍTULO 3 - CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DOS AMIDOS DE DIFERENTES CULTIVARES DE ARROZ DO BRASIL	70
RESUMO	70
ABSTRACT	71
3.1 INTRODUÇÃO	72

3.2 OBJETIVOS	73
3.2.1 GERAL	73
3.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	73
3.3 MATERIAL E MÉTODOS	74
3.3.1 MATERIAIS	74
3.3.2 MÉTODOS	74
3.3.2.1 EXTRAÇÃO DO AMIDO DE ARROZ	74
3.3.2.2 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO.....	75
3.3.2.3 DETERMINAÇÃO DA AMILOSE.....	75
3.3.2.4 TERMOGRAVIMETRIA (TG) E TERMOGRAVIMETRIA DERIVADA (DTG)	75
3.3.2.5 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)	76
3.3.2.6 PROPRIEDADES DE PASTA (RVA).....	76
3.3.2.7 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X.....	77
3.3.2.8 DETERMINAÇÃO DA COR.....	77
3.3.2.9 MICROSCOPIA DE FORÇA ATÔMICA MÉTODO NÃO CONTATO (NC-AFM).	78
3.3.2.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA	79
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	80
3.5 CONCLUSÃO.....	92
REFERÊNCIAS	93
CONSIDERAÇÕES FINAIS	97

CAPÍTULO 1 - REVISÃO DA LITERATURA

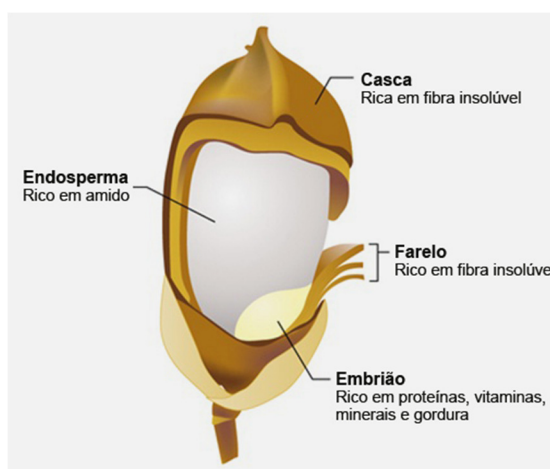
1.1 ARROZ

O arroz (*Oryza sativa* L) é um dos cereais mais consumidos no mundo, caracterizando-se como a base da alimentação para mais da metade da população mundial, sendo produzido em mais de 100 países como alimento de primeira necessidade, contribuindo com aproximadamente 25% de toda a produção de cereais em grãos (ADEBIYI et al., 2009; NAGENDRA PRASAD et al., 2011; WALTER et al., 2008). É o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando área aproximada de 158 milhões de hectares (SOSBAI, 2012).

1.1.1 CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA

O gênero *Oryza* possui duas espécies cultiváveis de arroz e 21 espécies silvestres, sendo encontradas em todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo, cada uma com sua distribuição geográfica característica. Dessas, quatro (*O. glumaepatula*, *O. alta*, *O. grandiglumis* e *O. latifolia*) são originárias das Américas do Sul e Central (ROSA et al., 2006). No Brasil apenas a *Oryza sativa* L. tem importância comercial. Esta espécie é dividida em três principais subespécies: *Índica*, *Japônica* e *Javânica*, sendo as duas primeiras mais consumidas. A subespécie *Índica* é a mais comumente encontrada em regiões tropicais e subtropicais, representando cerca de 80% da produção mundial. Seus grãos são longos e finos, medindo 6,0 mm ou mais de comprimento, com espessura menor ou igual a 1,90 mm, apresentam-se mais duros quando cozidos do que a subespécie *Japônica*, que tem normalmente grãos curtos e largos menores que 5,0 mm de comprimento. Devido ao baixo teor de amilose da subespécie *Japônica*, os grãos depois de cozidos ficam mais macios (JULIANO, 2003; KENNEDY, BURLINGAME, 2003). Botanicamente, o arroz é o fruto-semente das gramíneas, conhecido como cariopse ou grão, cujo tegumento que envolve a semente, encontra-se diretamente ligado ao pericarpo, membrana que envolve o fruto. No caso do arroz, toda essa estrutura encontra-se envolvida pelas glumas, lema e pálea, que constituem a casca (Figura 1.1) e são removidas durante o beneficiamento do produto para consumo (VIEIRA, RABELO, 2006).

Figura 1.1 - Estruturas básicas do grão de arroz.



Fonte – IRRI, 2006

1.1.2 SISTEMA DE CULTIVO E CULTIVARES DE ARROZ

A cultura irrigada contribui com 75% do arroz mundial. Outros 20% são cultivados em várzeas inundáveis. O restante da produção é proveniente de culturas secas, sendo essa predominante no Brasil (MACLEAN, HETTEL, 2002). O Brasil é o nono maior produtor mundial, com safra de 11.606,7 mil toneladas em 2011/2012, sendo que 66,9% da produção nacional está localizada no estado do Rio Grande do Sul (CONAB, 2013).

O sistema de várzea é dividido em sistema irrigado por inundação e sistema por irrigação não controlada (várzea úmida), enquanto de terras altas, pode ser em um sistema de sequeiro tradicional, onde a disponibilidade de água para a cultura é totalmente dependente da precipitação pluvial, ou sistema de sequeiro sob irrigação suplementar por aspersão (MORAES et al., 2004).

Dentre as cultivares de arroz Irrigado no Brasil, conhecidas atualmente, incluem-se a EPAGRI 109, SCS 114 Andosan, BRS Firmeza e IAS 12-9 Formosa. A cultivar Epagri 109, desenvolvida pela Epagri, possui um excelente potencial produtivo e boa qualidade de grãos. O cultivar SCS 114 Andosan desenvolvida pela Epagri, destaca-se pela alta produtividade e qualidade de grãos tanto beneficiados para arroz branco, como para parboilizado. O cultivar BRS Firmeza, foi desenvolvida pela Embrapa e possui um bom rendimento industrial. A cultivar IAS 12-9 Formosa foi desenvolvida pela Embrapa e pertence a subespécie japônica, apresentando

tolerância às baixas temperaturas, que ocorrem principalmente na zona sul do RS, durante o período reprodutivo das plantas. Esta cultivar possui grãos curtos do tipo japonês ou cateto, com baixo teor de amilose (SOSBAI, 2012).

1.1.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DO ARROZ

Para processar diferentes cultivares após a colheita, com características de qualidade, é necessário conhecer as propriedades físicas. O conhecimento das propriedades físicas e de engenharia de grãos, são úteis para a criação de mecanismos apropriados para operações de processo, como triagem, secagem, aquecimento, refrigeração, moagem e para encontrar as soluções para os problemas associados a estes processos (CORRÊA et al., 2007; LIU et al., 2009, SAHAY, SINGH, 1994).

Para viabilizar a conservação do produto por longo tempo, algumas práticas se tornam necessárias, entre elas, tem importante destaque as operações de limpeza, secagem e aeração, em razão de sua eficiência e rapidez em atender ao fluxo da produção agrícola. O atraso na época de colheita, a alta temperatura de secagem e os danos mecânicos são, dentre outros fatores, os principais responsáveis pela baixa qualidade da semente, insumo básico para produção dos produtos agrícolas (VIEIRA et al., 1993).

De acordo com Mohsenin (1986), informação concernente ao tamanho, forma e massa específica, dentre outras características físicas, são consideradas de grande importância para os estudos envolvendo transferência de calor e massa, além de movimentação de ar em massas granulares. O conhecimento das propriedades físicas de produtos agrícolas é de fundamental importância para uma correta conservação, dimensionamento de operação dos equipamentos e para as principais operações no pós-colheita.

1.1.4 BENEFICIAMENTO

Na cultura do arroz, a época adequada de colheita, o grau de umidade das sementes e o tipo da cultivar são fatores que contribuem para o alto rendimento, o alto percentual de grãos inteiros no beneficiamento, além da qualidade fisiológica das sementes e do produto final com excelente aceitação comercial (BINOTTI et al., 2007).

O arroz é um cereal consumido principalmente como grão inteiro, constituído de diferentes tecidos, com estrutura, composição e funções bastante diferenciadas (VIEIRA, RABELO, 2006). No Brasil, a Portaria nº 269 de 17 de novembro de 1988 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento estabelece classificação e os critérios para definir e comercializar o arroz (MAPA, 1998), como apresentada na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Classificação do arroz em relação ao grupo e subgrupo

GRUPO	SUBGRUPO
Arroz em casca	natural
	parboilizado
Arroz beneficiado	integral
	parboilizado
	parboilizado integral
	polido

Fonte: MAPA (1988)

Na cultura do arroz, a época adequada de colheita, o grau de umidade das sementes e o tipo da cultivar são fatores que contribuem para o alto rendimento, o alto percentual de grãos inteiros no beneficiamento, além da qualidade fisiológica das sementes e do produto final com excelente aceitação comercial (BINOTTI et al., 2007).

Além das diferentes formas de beneficiamento, o arroz é caracterizado em cinco classes, em função das dimensões do grão que variam de acordo com cada cultivar e subespécie, independentemente do sistema de cultivo (Instrução Normativa No 6 (IN 6/2009). As classes e suas respectivas descrições estão apresentadas na Tabela 1.2.

O arroz submetido ao descascamento, origina casca com aproximadamente, 20 e 22% do peso total do grão (GRIST, 1975; CASTRO et al., 1999). Em seguida, o grão descascado integral é brunido, ou seja, polido, retirando-se o embrião (total ou parcialmente) e a maior parte da película que recobre o grão (CASTRO et al., 1999).

Reid et al. (1998) definiram o polimento como uma operação que remove a camada do farelo. No beneficiamento do arroz, após a retirada da casca, são removidas as camadas mais externas do grão, que compreendem o pericarpo, tegumento, camada de aleurona e parte do endosperma, originando o farelo. O farelo de arroz, por sua vez, é um subproduto originário do beneficiamento do arroz em casca (ADEBIYI et al., 2009). Segundo Grist (1975), durante o processo de polimento,

o farelo de arroz corresponde de 5-8% do peso de arroz em casca. De acordo com Kaewka et al. (2009), o farelo corresponde, em peso do grão, de 5 a 13,5%. Em estudos realizados por Nagendra Prasad et al. (2011), verificaram que na produção do arroz branco polido, o farelo produzido constitui cerca de 8 a 10% do grão de arroz

Tabela1.2 - Classificação e descrição quanto às classes de arroz beneficiado segundo regulamento técnico do arroz no Brasil.

CLASSES	DESCRIÇÃO
Longo-Fino	Contém, no mínimo, 80% do peso de grãos inteiros, com comprimento igual ou superior a 6,00mm e no máximo 1,90mm de espessura. A relação comprimento/largura deve ser superior a 2,75 após o polimento.
Longo	Contém, no mínimo, 80% do peso de grãos inteiros, com comprimento igual ou superior a 6,00mm após o polimento
Médio	Contém, no mínimo, 80% do peso de grãos inteiros, medindo entre 5,00 e 6,00mm de comprimento após o polimento dos grãos.
Curto	Contém, no mínimo, 80% do peso de grãos inteiros, de comprimento inferior a 5,00 mm após o polimento dos grãos.
Misturado	Produto que não se enquadra em nenhuma das classes anteriores.

Durante as etapas do processamento do arroz são gerados grãos quebrados, que representam 14% dos grãos com casca, podendo chegar até 60%. Após a distribuição dos grãos quebrados adicionados ao produto final, 4% dos grãos são, usualmente, destinados a indústria cervejeira. (LIMBERGER et al., 2008).

1.1.5 COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DO ARROZ

O arroz é constituído, principalmente, por amido, apresentando quantidades menores de proteínas, lipídios, fibras e cinzas. De acordo com Zhou et al. (2002), a composição do grão e de suas frações está sujeita a diferenças de cultivares, variações ambientais, de manejo, de processamento e de armazenamento, produzindo grãos com características nutricionais diferenciadas (WALTER et al., 2008).

Os carboidratos são os principais constituintes do arroz, correspondendo a aproximadamente 90% da matéria seca do arroz polido, conforme relatado por Juliano (1993). O amido é composto por cadeias de amilose e amilopectina, sendo o conteúdo de amilose considerado um dos principais parâmetros para a qualidade tecnológica e de consumo do arroz. De forma geral, grãos com maior teor de amilose apresentam textura mais firme após o cozimento, sendo preferidos em diversos países, como o Brasil, e por isso essa característica é avaliada durante o desenvolvimento de cultivares. Entretanto, outros fatores como a estrutura das cadeias de amilopectina e o teor de proteína, também influenciam essa característica (JULIANO, 1993; ONG, BLANSHARD, 1995).

O conteúdo de proteínas no arroz é considerado baixo, em média 7%. Entretanto, observa-se grande variação na concentração desse nutriente, com valores entre 4,3 e 18,2%, conforme estudados por Lumen e Chow (1995), a qual é afetada por características genótípicas, adubação nitrogenada, radiação solar e temperatura, durante o desenvolvimento do grão (JULIANO, BECHTEL, 1985).

A concentração de lipídios é maior no arroz integral, sendo reduzida com o polimento, geralmente são observadas concentrações inferiores a 1% no arroz polido. O teor de lipídios no grão, também é afetado pelas características genótípicas. Os lipídios podem ser encontrados organizados nos esferossomos (corpos lipídicos) da camada de aleurona, no embrião e no endosperma ou associados a grânulos de amido (LUMEN, CHOW, 1995).

1.1.5.1 MINERAIS NO ARROZ

A concentração de minerais difere nas frações do grão. Enquanto no arroz com casca o silício é componente dominante, no arroz integral e polido, destacam-se fósforo, potássio e magnésio. Ferro e zinco, dois minerais essenciais para a saúde humana, estão disponíveis em baixas concentrações no grão, conforme verificado por Juliano e Bechtel (1985). O conteúdo mineral é grandemente influenciado pelas condições de cultivo, incluindo fertilização e condições do solo, e pelo processamento. De forma geral, os minerais apresentam-se em maior concentração nas camadas externas do grão, com aproximadamente 72% no farelo e 28% no grão polido. Entretanto, alguns minerais apresentam distribuição mais uniforme, como sódio e cálcio, permanecendo no arroz branco polido, 63% do sódio e 74% do cálcio do arroz

integral (ITANI et al., 2002). Embora o arroz integral tenha maior concentração de minerais do que o polido, isso não significa necessariamente maior quantidade de minerais absorvidos pelo organismo, visto que a biodisponibilidade pode ser afetada pela presença de maiores teores de fibra e ácido fítico no arroz integral (JULIANO, 1993).

1.1.5.2 ÁCIDO FÍTICO NO ARROZ

O ácido fítico (mioinositol hexafosfato, IP6) é uma forma de armazenamento de fósforo, constituindo aproximadamente 70% do conteúdo desse mineral em sementes. Ele pode ser encontrado na forma de fitato, ligado a cátions como potássio, magnésio, cálcio, ferro e zinco, tornando-os compostos biologicamente inativos, sendo assim denominado antinutriente. A maioria destes compostos são degradados pelo calor, com exceção da fitina. O grau de ação inibitório dos inositol fosfatos na absorção mineral depende do grau de fosforilação (BRUNE et al., 1992; HAN et al., 1994; LIU, 2005).

Em sementes, como arroz em casca, o ácido fítico se encontra com uma mistura de sais de diferentes cátions como K, Mg, Ca, Mn, Zn e Fe. O teor de Ácido fítico e minerais é maior nas camadas externas do grão (aproximadamente 88%), estando associado principalmente à camada de aleurona (farelo). Dessa forma, o polimento resulta em redução significativa da sua concentração, como observado por Hunt et al. (2002), que obtiveram 0,065% de ácido fítico para o arroz branco polido, comparado a 0,78% para o arroz integral. O percentual de ácido fítico e minerais, especialmente para o ácido fítico e magnésio, diminui a partir da camada exterior para a interior porção do arroz durante o polimento (WANG et al., 2011).

Devido a sua capacidade quelante, historicamente o ácido fítico tem sido considerado um composto com ação prejudicial à nutrição, contribuindo para a menor absorção de vários minerais importantes, como cálcio, ferro e zinco, podendo provocar deficiências, como desnutrição em humanos (HURRELL et al., 2003).

1.2 AMIDO DE ARROZ

1.2.1 USOS DO AMIDO DE ARROZ

Amido de arroz nativo encontra aplicações como talco cosmético, agente de endurecimento de roupa, papel e pó de papel fotográfico, revestimento em produtos de confeitaria, sopas, macarrão como espessante e excipiente farmacêuticos para comprimidos (SINGH et al., 2006a, 2006b). Os grânulos de amido de arroz apresentam um tamanho pequeno e fornecem uma percepção de textura semelhante ao da gordura e tem um baixo índice glicêmico (CHAMPANHE, 1996). Amido de arroz atua como um transportador e proteção dos sabores da oxidação (ZHAO, WHISTLER, 1994). Além disso, é uma abundante matéria-prima com características de antialérgica (GUJSKA et al., 1994). Segundo Guan et al. (2000), o uso farmacêutico do amido incluem a sua utilização como veículos de entrega, que protegem as proteínas ativas para digestão, tais como micro-cápsulas para pequenas moléculas e uso como películas biodegradáveis (KORUS et al., 2003; RINDLAV-WESTLING et al., 2002).

O foco no amido não é surpreendente considerando que o amido corresponde a até 95% da matéria seca em um grão de arroz beneficiado. (DERYCKE et al., 2005).

A grande diversidade de amido de arroz em relação a outros grãos de cereais (milho e trigo) é importante, pois permite o isolamento para diferentes funcionalidades (VANDEPUTTE, DELCOUR, 2004). No entanto, a disponibilidade de amido de arroz é baixa em função da dificuldade de extração e necessidade de tecnologia de custo elevado. O grânulo de amido de arroz é muito pequeno, quando comparado com os de milho (15µm) e de trigo (30µm), variando de 2 a 10µm (HOSENEY, 1994).

1.2.2 EXTRAÇÃO DO AMIDO DE ARROZ

O isolamento do amido de arroz é diferente de outros amidos ou féculas por causa de sua composição proteica. O processo de isolamento consiste principalmente da separação do amido da proteína, fibras e lipídios. (WANI et al., 2012).

Considerações importantes são realizadas para evitar danos mecânicos ou amilolíticas aos grânulos de amido, desproteinização efetiva do amido, minimização da perda de pequenos grânulos e evitar a gelatinização do amido (SCHULMAN, KAMMIOVIRTA, 1991). Isolamento do amido de arroz também está associado com o aprisionamento de pequenos grânulos na proteínas e sedimentos de fibra fina gerados durante a centrifugação (ANDERSSON et al., 2001; XIE, SEIB, 2002). Para reduzir a captura de pequenos grânulos na camada de proteína, os pesquisadores podem

degradar a proteína enzimaticamente, seguido pela separação dos peptídeos e amido usando centrifugação (RADOSAVLJEVIC et al., 1998; WANG, WANG, 2001). Amplas faixas de variações no rendimento de amido de arroz foram observadas de cultivares de arroz diferentes: 59 a 71,6% (MOHAN et al. 2005; WANG, WANG, 2004).

Proteína de arroz consiste de albumina (5%), globulina (12%), prolamina (3%) e glutelina (80%), que se dissolvem na água, sal, etanol e alcalinos, respectivamente (JULIANO, 1985). Estas proteínas são solúveis em meio alcalino; Portanto, solução alcalina tem sido convencionalmente utilizado para o isolamento do amido de arroz, com boa recuperação e conteúdo de baixa proteína residual (SASAKI et al., 2009).

1.2.3 ESTRUTURA DO AMIDO

1.2.3.1 AMILOSE

A amilose é essencialmente linear formada através da polimerização da D-glicose ligadas por ligações α -1,4 enquanto que a amilopectina apresenta-se altamente ramificada e, além das ligações α -1,4, apresenta de 5 a 6% de ligações α -1,6 nos pontos de ramificação. A grande maioria dos amidos contém 20 – 30% de amilose e 70 – 80% de amilopectina e essa proporção varia de acordo com a fonte botânica e, em alguns casos, a amilose encontra-se quase ausente e o amido é denominado de “ceroso” (waxy). (CEREDA et al., 2001; HOOVER, 2001; DELCOUR et al., 2003).

A massa molecular da amilose é dependente da fonte e das condições de processamento empregadas na extração do amido, mas geralmente varia de 1×10^5 a 1×10^6 g/mol, com tamanho médio de 10^3 unidades de glicose (YOU et al., 2002)

A localização de amilose em um grânulo de amido é conhecido como amorfas lamelas, anéis de crescimento, podendo ser amorfo ou ainda como intercaladas ou cristalizadas com moléculas de amilopectina (HOOVER et al., 2010).

O Conteúdo de amilose parece ser o principal fator que controla quase todas as propriedades físico-químicas de amido de arroz, tais como turvação, sinérese, estabilidade de gelo-degelo, pasta, gelatinização e propriedades retrogradação (WICKRAMASINGHE, NODA, 2008).

1.2.3.2 AMILOPECTINA

A amilopectina é uma macromolécula altamente ramificada e consiste em cadeias lineares mais curtas de ligações α -1,4 contendo 10 a 60 unidades de glicose e cadeias laterais com 15 a 45 unidades de glicose com uma média de 5% de ligações α -1,6 nos pontos de ramificação (VAN DER MAAREL et al., 2002). O peso molecular da amilopectina é cerca de 1000 vezes o peso molecular da amilose e varia de 1×10^7 a 5×10^8 g/mol (You et al., 2002).

Acreditava-se que as propriedades físicas do arroz eram controladas pela amilose. Posteriormente, a pesquisa científica mostrou que outros componentes presentes no grão de arroz devem ser considerados para explicar seu comportamento no cozimento. Por exemplo, as hélices de amilose parecem formar complexos de inclusão com os lipídios (BANKS, GREENWOOD, 1972; HEINECK et al., 2008) que desempenham um papel importante nas propriedades viscoamilográficas.

O arroz japonica tem uma início gelatinização com temperatura menor que o arroz Índico, resultantes de seus comprimentos mais curtos da ramificação da cadeia de amilopectina (OKUDA et al., 2005).

A diversidade na estrutura e na composição do amido pode resultar em uma variedade de propriedades viscoamilográficas. Além disso, a textura do arroz tem sido associada a outros componentes não amídicos do grão (CHAMPAGNE et al., 1999). Alguns dos componentes que afetam as propriedades do empaste são os compostos fosforados (LIN, CZUCHAJOWSCA, 1998), a proteína (TEO et al., 2000) e os comprimentos das cadeias laterais de amilopectina. Pode haver condições nas variações estruturais, tais como grau de ramificação, comprimento das cadeias ramificadas laterais e estrutura coloidal.

1.2.4 PROPRIEDADES DO AMIDO

As propriedades funcionais do amido são extremamente importantes na sua forma de aplicação, pois a escolha do amido para determinado tipo de utilização está baseado em suas propriedades.

1.2.4.1 GELATINIZAÇÃO

O aquecimento de suspensões de amido em excesso de água e acima de uma determinada temperatura causa uma transição irreversível denominada gelatinização, que pode ser caracterizada por uma endoterma, obtida através de calorimetria exploratória diferencial (DSC), pela perda da birrefringência, observada através de microscopia de luz polarizada (perda da cruz de malta) e pelo desaparecimento da cristalinidade, evidenciada pela difração de raios X (GARCIA et al., 1997). A gelatinização do amido é o colapso do arranjo molecular, em que o grânulo de amido sofre mudanças irreversíveis em suas propriedades, ocorre perda da cristalinidade, absorção de água, intumescimento do grânulo e lixiviamento de alguns componentes, principalmente amilose (ZHONG et al., 2009).

Gelatinização é uma propriedade importante e funcional de amidos que varia em relação a sua composição (tais como a proporção de amilose para amilopectina, fósforo, lipídios, proteínas e enzimas), a estrutura molecular da arquitetura de grânulo de amilopectina (unidade CL, ponto de ramificação, peso molecular) (proporção de cristalino e amorfo), grânulo morfologia e distribuição de tamanho do grânulo em amilopectina (HOOVER et al., 2010). Essas cadeias mais longas requerem uma temperatura mais elevada para dissociar-se completamente do que o necessário para menores (YAMIN et al., 1999).

1.2.5 PROPRIEDADES DE PASTA

O aquecimento de amido com água sob agitação promove nos grânulos uma condição para torná-los túrgidos, levando os grânulos ao rompimento. Então a amilose extravasa e os grânulos começam a se desintegrar, resultando na formação de um material viscoso chamado pasta (BEMILLER, 2007). A pasta ocorre depois ou simultaneamente com a gelatinização. As propriedades da pasta são indicadores importantes de como se comportará o amido durante o processamento. O amido é geralmente considerado como o mais importante constituinte do arroz em termos de qualidade e funcionalidade. As propriedades de pasta são utilizadas na determinação e adequação do amido em diferentes alimentos e outros produtos. A mais importante característica da pasta de dispersão é sua viscosidade. As características da pasta são determinadas usando um visco analisador rápido (RVA) (WICKRAMASINGHE, NODA, 2008; TUKOMANE, VARAVINIT, 2008; LIN et al., 2009).

A análise de viscosidade aparente consiste na submissão da amostra a um programa controlado de aquecimento e arrefecimento sob agitação rotacional constante, onde os parâmetros de viscosidade são determinados em função da temperatura e/ou do tempo. No início do aquecimento os grânulos de amido tornam-se gradativamente túrgidos, ocasionando um aumento na viscosidade da pasta, neste ponto, polímeros com menor peso molecular, particularmente moléculas de amilose, começam a extravasar dos grânulos. O pico de viscosidade é observado quando os grânulos, em sua maioria, estão totalmente túrgidos. A se manter a pasta em 95 °C sob agitação constante, os grânulos começam a se romper, e a solubilização dos polímeros proporciona uma diminuição da viscosidade (quebra/break). Com o resfriamento ocorre a reorganização de alguns polímeros de amilose e amilopectina, formando um gel que aumenta a opacidade e a viscosidade da pasta. Este processo é chamado de retrogradação/setback (WHISTLER; BEMILLER, 1997). Isto ocorre devido à forte tendência de formação de pontes de hidrogênio entre moléculas adjacentes. A associação das moléculas dos polímeros constituintes do amido, propicia o desenvolvimento de uma rede tridimensional, mantida coesa pelas áreas cristalinas. Esta rede é formada por grânulos de amido parcialmente túrgidos e componentes do amido em solução (SILVA et al., 2008).

1.2.6 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X E CRISTALINIDADE

A organização das regiões amorfas e cristalinas alternadas forma camadas concêntricas que contribuem para o crescimento do anel. Na região cristalina pares de cadeias vizinhas formam hélices duplas que são responsáveis pela cristalinidade do grânulo de amido. Dependendo do empacotamento em dupla hélice das cadeias ramificadas de amilopectina, as estruturas cristalinas dos grânulos de amido podem ser classificadas em tipo-A (cerais como milho e arroz), tipo-B (tubérculos como a batata) e tipo-C (raízes como a mandioca), sendo que cada um destes padrões de cristalinidade resultam em diferentes perfis de difração de raios-X. Segundo Cereda (2002), amidos com padrão de cristalinidade tipo-B possuem maiores proporções de cadeias longas que os dos tipos A e C, já os amidos com padrão do tipo-A, possuem amilopectinas com alta quantidade de cadeias ramificadas e os com padrão do tipo-C possuem arranjos intermediários entre A e B (CEREDA, 2002).

A radiação de raios X é gerada a partir do bombardeamento do ânodo por elétrons do cátodo. Os raios X são difratados por um cristal, porque os elétrons dos seus átomos absorvem a radiação e então servem como fontes secundárias que reemitem radiações em todas as direções. A difratometria de raios X aplicada a amidos, permite a determinação matemática da porção cristalina do polímero, que em geral reemite a radiação em uma faixa de 5° a 25° (2θ) (BENINCA et al., 2013; ZHANG et al., 2009).

1.3 TÉCNICAS TERMOANALÍTICAS

Análise Térmica (TA) é o estudo da relação entre uma propriedade da amostra e sua temperatura, enquanto a amostra é aquecida ou resfriada de maneira controlada (ROUQUEROL et al., 2007)

1.3.1.1 TERMOGRAVIMETRIA (TG)

É uma técnica analítica que mede a variação da massa de uma amostra em função da variação de temperatura ou tempo, quando uma amostra é submetida a uma variação controlada de temperatura. Durante este processo de variação de massa em função da variação da temperatura é gerada uma curva termogravimétrica também conhecida como curva TG. As curvas TG fornecem dados necessários para prever a estequiometria, estabilidade térmica, composição e estabilidade dos compostos intermediários e a composição final da amostra (WENDLANDT, 1986).

1.3.1.2 TERMOGRAVIMETRIA DERIVADA (DTG)

A termogravimétrica derivada (DTG) é um recurso matemático que corresponde à primeira derivada da curva TG, que fornece picos onde pode-se determinar com mais clareza pontos que não são tão claros pela observação da curva TG (IONASHIRO, 2005).

1.3.1.3 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

É a medida da diferença de energia fornecida entre a amostra e um material de referência em função da temperatura ou tempo, durante o processo de aquecimento ou resfriamento de ambos, o registro desta variação é a curva DSC (WENDLANDT, 1986). Esta técnica possibilita estudos que envolvem as variações de entalpia (ΔH), e também as transições vítreas, cristalinas, em reações exotérmicas ou endotérmicas (IONASHIRO, 2005).

1.3.2 MICROSCOPIA DE FORÇA ATÔMICA – MÉTODO NÃO CONTATO (NC-AFM)

É um método em que a ponteira (cantilever), é mantida a uma distância constante de alguns ângstrons da superfície da amostra, quando a fonte de laser interage por atração eletrônica entre esta e os átomos da superfície da amostra. Controlada a frequência oscilatória acima da frequência de ressonância há possibilidade da detecção entre as interações das forças de Van der Waals e eletrostáticas com o escaneamento da superfície dos grânulos. Este método permite estudar superfícies de materiais, além dos alcances das microscopias eletrônica e óptica, pois fornece resolução quase a níveis atômicos. A microscopia de força atômica, método não contato, aplicada a análise de amidos, possibilita o cálculo da rugosidade média das amostras, bem como a determinação dos diâmetros médios dos grânulos (BENINCA et al., 2012; ZANETTE, 2010).

1.3.3 COLORIMETRIA

O modelo de cor CIELAB é utilizado para medição de cores de um objeto e está presente em todos os campos de aplicação. Os parâmetros de cor são definidos pela refletância de um feixe de luz, disparado em direção da amostra. Os valores captados pelo calorímetro, são matematicamente distribuídos em três eixos de forma a criar um espaço tridimensional de determinação de cor. O valor L^* indica a luminosidade (brancura) e traduz a variação da tonalidade branco/escuro numa escala de 0 a 100%, onde o branco equivale a 100% e o preto 0%. O diagrama de cromacidade L^* , a^* , b^* . Neste diagrama a^* e b^* indicam a direção das cores: $+a^*$ é a direção do vermelho, $-a^*$ é a direção do verde, $+b^*$ é a direção do amarelo, $-b^*$ é a direção do azul. Quando os valores de a^* e b^* se aproximam de zero ou zero, corresponde ao neutro.

A intensidade da cor e a brancura do arroz dependem da taxa de remoção da do farelo durante o processo de descasque e branqueamento (LU et al., 2005). No entanto, cada lote de arroz tem um grau de descasque específico, pois a quantidade de farelo do endosperma do arroz varia com o cultivar, as condições ambientais e práticas agrícolas, segundo Roy et al. (2008). O ângulo Hue (H^*), considerado o atributo qualitativo de cor, é o atributo que de acordo com as cores, têm sido tradicionalmente definido como avermelhado, esverdeado, e é usado para definir a diferença de uma determinada cor, com referência da cor cinza, com a mesma fração. Este atributo está relacionado com as diferenças de absorbância a comprimentos de onda diferentes. Um ângulo de matiz mais elevado representa um caractere amarelo menor nos ensaios e uma maior intensidade de vermelhidão.

REFERÊNCIAS

- ADEBIYI, A. P.; ADEBIYI, A. O.; HASEGAWA, Y.; OGAWA, T.; MURAMOTO, K. Isolation and characterization of protein fractions from deoiled rice bran. **European Food Research and Technology**, v. 228, p. 391–401, 2009.
- ANDERSSON, A. A. M.; ANDERSSON, R.; ÅMAN, P. Starch and By-Products from a Laboratory-Scale Barley Starch Isolation Procedure. **Cereal Chemistry**, v. 78, n. 5, p. 507–513, 2001.
- BANKS, W.; GREENWOOD, C. T. On hydrogen bonding in amylose. **Biopolymers**, v. 11, n. 1, p. 315–318, 1972.
- BEMILLER JN. 2007. **Carbohydrate chemistry for food scientists**. 2nd ed. St. Paul, Minn.: AACCC Intl., 389.p
- BENINCA, C.; COLMAN, T. A. D.; LACERDA, L. G.; et al. Thermal, rheological, and structural behaviors of natural and modified cassava starch granules, with sodium hypochlorite solutions. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 111, n. 3, p. 2217–2222, 2012.
- BENINCA, C.; COLMAN, T. A. D.; LACERDA, L. G.; et al. The thermal, rheological and structural properties of cassava starch granules modified with hydrochloric acid at different temperatures. **Thermochimica Acta**, v. 552, p. 65–69, 2013.
- BINOTTI, F. F. DA S.; ARF, O.; FERNANDES, F. A.; SÁ, M. E. DE. Momento de colheita e períodos de armazenamento omento no rendimento industrial e na qualidade fisiológica do arroz de terras altas. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 2, p. 219–226, 2007.
- BRUNE, M.; ROSSANDER-HULTÉN, L.; HALLBERG, L.; GLEERUP, A.; SANDBERG, A. S. Iron absorption from bread in humans: inhibiting effects of cereal fiber, phytate and inositol phosphates with different numbers of phosphate groups. **The Journal of Nutrition**, v. 122, n. 3, p. 442–9, 1992.
- CASTRO, E. da M. et al. **Qualidade de grãos em arroz**. Embrapa Arroz e Feijão, . Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30p.
- CEREDA, M.P. **Propriedades gerais do amido**. São Paulo: Fundação Cargill, (Série: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-americanas, v. 1), 2002. 221p.
- CHAMPAGNE ET. Rice starch composition and characteristics. **Cereal Foods World**, v.41, p.833–838, 1996.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Grãos, safra 2011/2012. Oitavo levantamento, maio 2012. Disponível em:<<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 05 janeiro 2014.
- CORRÊA, P. C.; DA SILVA, F. S.; JAREN, C.; AFONSO, P. C.; ARANA, I. Physical and mechanical properties in rice processing. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 1, p. 137–142, 2007.

DELCOUR, J.A.; VANDEPUTTE, G.E.; VERMEYLEN, R.; GEEROMS, J. Rice Starches I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinization behavior of granular starch. **Journal of Cereal Science**, v. 3, p. 43-52, 2003.

DERYCKE, V.; VERAVERBEKE, W. S.; VANDEPUTTE, G. E.; et al. Impact of Proteins on Pasting and Cooking Properties of Nonparboiled and Parboiled Rice. **Cereal Chemistry**, v. 82, n. 4, p. 468–474, 2005.

GARCIA, V.; COLONNA, P.; BOUCHET, B.; GALLANT, D. J. Structural changes of cassava starch granules after heating at intermediate water contents. **Starch/Stärke**, v. 49, n. 5, p. 171-179, 1997.

GELDERS, G. G.; VANDERSTUKKEN, T.C.; GOESAERT, H.; DELCOUR J. A. Amylose-lipid complexation: a new fractional method. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, p. 447-458, 2004.

GRIST, D.H. Nutritional value of rice. **Rice**. Longman, London. 1975. 601p.

GUAN, H.P., MCKEAN, A.L., KEELING, P.L. Starch encapsulation technology for producing recombinant proteins in plants. **American Association of Cereal Chemists**: v. 115, n.11, p.5–9; 2000.

GUJSKA E, DUSKIEWICZ-REINHARD W, KHAN K. Physicochemical properties of field pea, pinto and navy bean starches. **Journal of Food Science**, v.59, n.3, p.634-636. 1994.

HAN, O.; FAILLA, M. L.; HILL, A. D.; MORRIS, E. R.; SMITH, J. C. Inositol phosphates inhibit uptake and transport of iron and zinc by a human intestinal cell line. **The Journal of Nutrition**, v. 124, n. 4, p. 580–7, 1994.

HEINECK, M. E.; CARDOSO, M. B.; GIACOMELLI, F. C.; DA SILVEIRA, N. P. Evidences of amylose coil-to-helix transition in stored dilute solutions. **Polymer**, v. 49, n. 20, p. 4386–4392, 2008.

HOOVER, R. Composition, molecular structure and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polimers**, v. 45, p. 253-267, 2001.

HOOVER, R.; HUGHES, T.; CHUNG, H. J.; LIU, Q. Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. **Food Research International**, v. 43, n. 2, p. 399–413, 2010.

HOSENEY, R. Carl et al. Principles of cereal science and technology. **American Association of Cereal Chemists (AACC)**, 1994. 378p.

HUNT, J. R.; JOHNSON, L. K.; JULIANO, B. O. Bioavailability of zinc from cooked philippine milled, undermilled, and brown rice, as assessed in rats by using growth, bone zinc, and zinc-65 retention. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 18, p. 5229–35, 2002.

HURRELL, R. F.; REDDY, M. B.; JUILLERAT, M.-A.; COOK, J. D. Degradation of phytic acid in cereal porridges improves iron absorption by human subjects. **American Journal Clinical Nutrition**, v. 77, n. 5, p. 1213–1219, 2003.

IONASHIRO, M. Giolito: **Fundamentos da Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial/Calorimetria Exploratória Diferencial**. São Paulo: Giz. 2005. p.10–44.

ITANI, T.; TAMAKI, M.; ARAI, E.; HORINO, T. Distribution of amylose, nitrogen, and minerals in rice kernels with various characters. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 19, p. 5326–32, 2002.

J. Korus, P. Tomasik, C.Y. Lii. Microcapsules from starch granules. **Journal of Microencapsulation**, v. 20, n. 1, p. 47-56, 2003.

JAROWENKO, W. Starch based adhesives. In: SKEIST, I. (Ed.) **Handbook of adhesives**. 2. ed. New York: Van Nostrand Reinhold Co, 1977. p. 192-211.

JULIANO, B. O. **Rice Chemistry and Quality**. Philippines: Philippine Rice Research Institute, 2003. 480p.

JULIANO, B.O. Grain structure, composition and consumers' criteria for quality. In: JULIANO, B. O. **Rice in human nutrition**. Rome: FAO, 1993. 162 p. cap. 3

JULIANO, B.O.; BECHTEL, D.B. The rice grain and its gross composition. In: JULIANO, B.O. (Ed.). **Rice: Chemistry and Technology**. Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985. Cap.2, p.17-57.

KAEWKA, K.; THERAKULKAIT, C.; CADWALLADER, K. R. Effect of preparation conditions on composition and sensory aroma characteristics of acid hydrolyzed rice bran protein concentrate. **Journal of Cereal Science**, v. 50, n. 1, p. 56–60, 2009.

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. **Food Chemistry**, v. 80, n. 4, p. 589–596, 2003.

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

LIMBERGER, V. M.; SILVA, L. P. DA; EMANUELLI, T.; COMARELA, C. G.; PATIAS, L. D. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. **Química Nova**, v. 31, n. 1, p. 84–88, 2008.

LIN, P.-Y.; CZUCHAJOWSKA, Z. Role of Phosphorus in Viscosity, Gelatinization, and Retrogradation of Starch. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 5, p. 705–709, 1998.

LIN Q, XIAO H, ZHAO J, LI L, YU F. Characterization of the pasting, flow and rheological properties of native and phosphorylated rice starches. **Starch/Starke**, v.61, n.12, p.709–715, 2009.

LIU, K.; CAO, X.; BAI, Q.; WEN, H.; GU, Z. Relationships between physical properties of brown rice and degree of milling and loss of selenium. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 1, p. 69–74, 2009.

LIU, Z. Grain phytic acid content in japonica rice as affected by cultivar and environment and its relation to protein content. **Food Chemistry**, v. 89, n. 1, p. 49–52, 2005.

LU, Z.-H.; LI, L.-T.; MIN, W.-H.; WANG, F.; TATSUMI, E. The effects of natural fermentation on the physical properties of rice flour and the rheological characteristics of rice noodles. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 40, n. 9, p. 985–992, 2005.

LUMEN, B.O.; CHOW, H. Nutritional quality of rice endosperm. In: LUH, B. S. (Ed.). **Rice utilization**. 2.ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995. V.2, cap.15, p.363–395.

MACLEAN, J.L.; HETTEL, G.P. **Rice Almanac: Source Book for the Most Important Economic Activity on Earth**. 3 Ed. CABI Publishing: Oxford, UK, 2002. 253 p.

MITCHELL, C. R. Rice starches: production and properties. Starch: **Chemistry and technology**, p. 570, 2009.

MOHAN, B. H.; GOPAL, A.; MALLESHI, N. G.; THARANATHAN, R. N. Characteristics of native and enzymatically hydrolyzed ragi (*Eleusine coracana*) and rice (*Oryza sativa*) starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 59, n. 1, p. 43–50, 2005.

MOHSENIN. **Physical Properties of Plant and Animal Materials: Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties**. Gardan and Beach Science Pub., 1980. 742p.

MOHSENIN, N. N. **Physical Properties of Plant and Animal Material: Structure and Physical Characteristics and Mechanical Properties**. Gordon and Breach, New York, 1986. p. 151-152

MORAES, M. F. DE; SANTOS, M. G. DOS; BERMÚDEZ-ZAMBRANO, O. D.; et al. Resposta do arroz em casa de vegetação a fontes de micronutrientes de diferentes granulometria e solubilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 611–614, 2004.

NAGENDRA PRASAD, M. N.; SANJAY, K. R.; SHRAVYA KHATOKAR, M.; VISMAYA, M. N.; NANJUNDA SWAMY, S. Health Benefits of Rice Bran-A Review. **Journal of Nutrition & Food Sciences**, v. 1, n. 108, p. 2, 2011.

OKUDA, M, ARAMAKI I, KOSEKI T, SATOH H, AND HASHIZUME, K. Structural characteristics, properties, and in vitro digestibility of rice. **Cereal Chemistry**, v.82, p.361–368, 2005.

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

RADOSAVLJEVIC, M.; JANE, J.; JOHNSON, L. A. Isolation of Amaranth Starch by Diluted Alkaline-Protease Treatment 1. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 2, p. 212–216, 1998.

Raina CS, Singh S, Bawa AS, Saxena DC. A comparative study of Indian rice starches using different modification model solutions. **LWT – Food Science and Technology**, v. 40, n. 5, p. 885-892, 2007.

REID, J. D.; SIEBENMORGEN, T. J.; MAUROMOUSTAKOS, A. Factors Affecting the Slope of Head Rice Yield vs. Degree of Milling. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 5, p. 738–741, 1998.

RINDLAV-WESTLING A, STADING M, GATENHOLM P. Crystallinity and morphology in films of starch, amylose and amylopectin blends. **Biomacromolecules**, v.3, n.1, p. 84–91, 2002.

Rouquerol, J.; Wadsö, I.; Haines, P. J. Em **Handbook of Thermal Analysis & Calorimetry**; Gallagher, P.; Brown M., eds.; Elsevier: Amsterdam, 2007, vol. 5, p. 21-62.

ROSA, M. S.; SANTOS, P. P.; VERASEY, E. A. Caracterização agromorfológica interpopulacional em *Oryza glumaepatula*. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 1-10, 2006.

ROY, P.; IJIRI, T.; OKADOME, H.; et al. Effect of processing conditions on overall energy consumption and quality of rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 89, n. 3, p. 343–348, 2008.

RUSSEL, J. B. Química Geral. vol. 1 e 2. **Química Geral**. v. 1 e 2. p.409–416, 1994.

SAHAY, K. M.; SINGH, K. K. **Unit Operations of Agricultural Processing**. Vikas Publishing House Pvt. Ltd., New Delhi, India, 1994. 340p.

SASAKI, T.; KOHYAMA, K.; SUZUKI, Y.; et al. Physicochemical characteristics of waxy rice starch influencing the in vitro digestibility of a starch gel. **Food Chemistry**, v. 116, n. 1, p. 137–142, 2009.

SCHULMAN, A. H.; KAMMIOVIRTA, K. Purification of Barley Starch by Protein Extraction. **Starch - Stärke**, v. 43, n. 10, p. 387–389, 1991.

SILVA, R. M.; FERREIRA, G. F.; SHIRAI, M. A.; et al. Características físico-químicas de amidos modificados com permanganato de potássio/ácido láctico e hipoclorito de sódio/ácido láctico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 66–77, 2008.

SINGH, N.; INOUCHI, N.; NISHINARI, K. Structural, thermal and viscoelastic characteristics of starches separated from normal, sugary and waxy maize. **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 6, p. 923–935, 2006.

SINGH, N.; KAUR, L.; SANDHU, K. S.; KAUR, J.; NISHINARI, K. Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 4, p. 532–542, 2006.

SOSBAI. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado (29. : 2012 : Gravatal, SC). **Anais**. p.179, 2012.

TEO, C. H.; KARIM, A. A.; CHEAH, P. B.; NORZIAH, M. H.; SEOW, C. C. On the roles of protein and starch in the aging of non-waxy rice flour. **Food Chemistry**, v. 69, p. 229-236, 2000.

TUKOMANE T, VARAVINIT S. Classification of rice starch amylose content from rheological changes of starch paste after cold recrystallization. **Starch - Stärke**, v.60, n.6, p. 292- 297, 2008.

TSAI, M.L.;LI, C.F.; LII, C.Y. Effects of granular structures on the pasting behaviors of starches. **Cereal Chemistry**, v.74, n.6, p. 750-757, 1997.

VAN DER MAAREL, M. J. E. .; VAN DER VEEN, B.; UITDEHAAG, J. C. .; LEEMHUIS, H.; DIJKHUIZEN, L. Properties and applications of starch-converting enzymes of the α -amylase family. **Journal of Biotechnology**, v. 94, n. 2, p. 137–155, 2002.

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

VIEIRA, R.F.; VIEIRA, C.; RAMOS, J.A.O. **Produção de sementes de feijão**. Viçosa: EPAMIG/EMBRAPA, 1993. 131p.

VIEIRA, N. R. DE A., RABELO, R. R. Qualidade tecnológica. In: N. R. de A. SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA (Ed.); **A cultura do arroz no Brasil**. Cap. 23, p 869–900, 2006.

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

WANG, L.; WANG, Y.-J. Comparison of Protease Digestion at Neutral pH with Alkaline Steeping Method for Rice Starch Isolation. **Cereal Chemistry**, v. 78, n. 6, p. 690–692, 2001.

WANG, L.; WANG, Y.-J. Rice starch isolation by neutral protease and high-intensity ultrasound. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 2, p. 291–296, 2004.

WANG, K. M.; WU, J. G.; LI, G.; et al. Distribution of phytic acid and mineral elements in three indica rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Journal of Cereal Science**, v. 54, n. 1, p. 116–121, 2011.

WANI, A. A. A.; SINGH, P.; SHAH, M. A. A.; et al. Rice Starch Diversity: Effects on Structural, Morphological, Thermal, and Physicochemical Properties - **A Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 11, n. 5, p. 417–436, 2012.

WENDLANDT, W. W. **Thermal Analysis**. New York: Wiley-Interscience. Ed.:3. 1986. 815p.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. Starch. In: **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**, Saint Paul: AACC, Eagan Press, p. 117-151, 1997

WICKRAMASINGHE, HAM; NODA, T. Physicochemical properties of starches from Sri Lankan rice varieties. **Food Science and Technology Research**, v. 14, n. 1, p. 49-54, 2008.

XIE, X. J.; SEIB, P. A. Laboratory Wet-Milling of Grain Sorghum With Abbreviated Steeping to Give Two Products. **Starch - Stärke**, v. 54, n. 5, p. 169–178, 2002.

Yamin FF, Lee M, Pollak LM, White PJ. Thermal properties of starch in corn variants isolated after chemical mutagenesis of inbred lines B73. **Cereal Chemistry**, v.76, p.175–81, 1999.

YOU, S.; STEVENSON, S. G.; IZYDORCZYK, M. S.; PRESTON, K. R. Separation and Characterization of Barley Starch Polymers by a Flow Field-Flow Fractionation Technique in Combination with Multiangle Light Scattering and Differential Refractive Index Detection. **Cereal Chemistry**, v. 79, n. 5, p. 624–630, 2002.

ZANETTE, S.I. **Introdução à Microscopia de Força Atômica**. Ed. livraria da física, 2010. 112. p

ZHANG, L.; XIE, W.; ZHAO, X.; LIU, Y.; GAO, W. Study on the morphology, crystalline structure and thermal properties of yellow ginger starch acetates with different degrees of substitution. **Thermochimica Acta**, v. 495, n. 1-2, p. 57–62, 2009.

ZHAO J, WHISTLER R L. Spherical aggregates of starch granules as flavor carriers. **Food Technology**, v. 48, n. 7, p.104–105, 1994.

ZHONG, F.; LI, Y.; IBANZ, A.M.; OH, M.H.; MCKENZIE, K.S.; SHOEMAKER, C. The effect of rice variety and starch isolation method on the pasting and rheological properties of rice starch pastes. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 2, p. 406-414, 2009.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, n. 8, p. 849–868, 2002.

CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE DIFERENTES CULTIVARES DE ARROZ DO BRASIL

RESUMO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é o alimento básico para dois terços da humanidade, sendo a fonte alimentícia mais importante, pois atende as necessidades diárias em calorias e em proteínas. Após o beneficiamento, entre as formas mais consumidas estão o arroz polido e integral. No presente trabalho foi realizada a caracterização do beneficiamento, além das propriedades físicas e químicas de quatro cultivares brasileiras de arroz nas formas integral e polidas para as cultivares EPA, SCS, BRS e IAS. Foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) nas propriedades físicas incluindo comprimento, largura, espessura, diâmetro equivalente, área superficial, esfericidade, proporção, volume, densidade, densidade real, porosidade e peso de mil grãos entre arroz com casca, integral e polido, sendo as cultivares EPA, SCS e BRS possuem grãos longo-fino com alto teor de amilose (27,39-30,19%) e IAS possui grão curto com baixo teor de amilose (19,46%). No beneficiamento o maior rendimento de beneficiamento foi da cultivar IAS (74,47%), sendo que este genótipo apresentou maior grau de polimento (10,43%). Nas avaliações químicas do arroz, verificou-se diferença significativa ($p < 0,05$) tanto para o arroz polido quanto para o integral, sendo que a cultivar BRS apresentou maior teor de proteínas tanto na forma integral (10,56%), quanto na polida (9,10%). Com o processo de polimento as composições de minerais e ácido fítico reduziram sendo que a cultivar EPA apresentou uma maior redução ($p < 0,05$) na concentração de ferro (18,56 para 1,2 $\mu\text{g/g}$), fósforo (451,24 para 84,43 $\mu\text{g/g}$) e ácido fítico (2,77 para 0,12 mg/g), porém com menores perdas para o zinco (24,73 para 19,48 $\mu\text{g/g}$). Os grãos polidos apresentaram maior luminosidade e menor intensidade de cor em relação ao integral em função ausência do farelo. As informações do presente estudo podem ser úteis nos projetos de máquinas de pós-colheita, para o processamento e estruturas de armazenamento na indústria de processamento de alimentos baseada nas diferentes variedades de cultivares de arroz.

Palavras-chave: Arroz. Propriedade física. Composição mineral. Ácido fítico.

ABSTRACT

Rice (*Oryza sativa* L.) is the basic food for two thirds of humanity, being the most important food source, because it meets the daily needs for calories and protein. After processing, among the most consumed ways, are polished and brown rice. In the present work the characterization of the processing was done in addition to physical and chemical properties of four Brazilian rice cultivars in brown and polished forms for cultivars EPA, SCS, BRS and IAS. The results showed a significant difference ($p < 0.05$) in physical properties including length, width, thickness, equivalent diameter, surface area, sphericity, proportion, volume, density, bulk density, porosity and grain weight of thousand grains among, paddy, brown and polished, being EPA, SCS and BRS cultivars that have long-fine grains with high amylose content (27.39 to 30.19%) and IAS has short grain with low amylose content (19.46%). In processing the highest yield was the cultivar IAS (74.47%), and this genotype showed higher degree of polishing (10.43%). In chemical evaluations of rice, a significant difference for both the polished rice and brown was found, and BRS showed higher protein content both in brown (10.56%), as in polished (9.10 %). With the milling process the minerals and phytic acid were reduced, EPA cultivar showed a bigger reduction ($p < 0.05$) in iron (18.56 to 1.2 $\mu\text{g} / \text{g}$), Phosphorus (from 451.24 to 84.43 $\mu\text{g} / \text{g}$) and phytic acid (2.77 to 0.12 mg / g), but with lower losses for Zinc (24.73 to 19.48 $\mu\text{g} / \text{g}$). Regarding color of polished grains presented bigger clarity and less color intensity compared to brown grains due to absence of bran. The information from this study may be useful in the design of post-harvest machinery for processing and storage structures in processing industry based on the different varieties of rice cultivars.

Keywords: Rice. Physical properties. Mineral composition. Phytic acid.

2.1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial. Atualmente, a cadeia produtiva do arroz, se configura como uma das mais importantes para o agronegócio brasileiro, pelo elevado consumo interno e por representar um volume expressivo da produção de grãos no país (ZAMBERLAN, SONAGLIO, 2011).

Na tentativa de obter características de qualidade, no processamento de diferentes variedades de arroz, tornou-se necessário o conhecimento das propriedades físicas no pós-colheita. O conhecimento das propriedades físicas dos grãos, é útil para a criação de mecanismos apropriados para operações de processos, ou encontrar as soluções para os problemas associados a estes processos (CORRÊA et al., 2007; LIU et al., 2009; SAHAY, SINGH, 1994).

A qualidade nutricional e química de grãos de arroz varia consideravelmente. Isso pode ser atribuído a fatores genéticos, espessura das camadas anatômicas, tamanho, forma e resistência dos grãos a quebra, influências ambientais, tratamentos com fertilizantes, grau de moagem e condições de estocagem (ABDUL-HAMID et al., 2007; IZAWA, 2008; SINGH et al., 2005).

O beneficiamento é o processo em que o produto maduro se encontra desprovido da casca. O arroz integral é composto pelas camadas do pericarpo, embrião ou gérmen e endosperma (MATSUO, HOSHIKAWA, 1993). Quando o arroz integral passa pelo processo de polimento e as camadas mais externas são removidas, obtém-se o arroz branco. Quanto maior a intensidade do polimento, maior número de camadas são perdidas e conseqüentemente, maior é a perda de nutrientes (COFFMAN, JULIANO, 1987).

Apenas uma pequena quantidade de arroz é consumida como ingrediente em produtos processados, sendo seu maior consumo na forma de grão. O arroz é uma excelente fonte de energia, devido à alta concentração de amido, fornecendo também proteínas, vitaminas e minerais, e possui baixo teor de lipídios (KENNEDY et al., 2002).

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 GERAL

Caracterizar física e quimicamente o arroz polido e integral de diferentes cultivares.

2.2.2 ESPECÍFICOS

Beneficiar os grãos de arroz das cultivares Epagri 109, SCS 114 Andosan, BRS Firmeza e IAS 12-9 Formosa, além disso, calcular o percentual de rendimento dos grãos inteiros, a renda do beneficiamento e o grau de polimento para cada cultivar.

Caracterizar as propriedades físicas das diferentes cultivares em casca, integral e polida, através do comprimento, largura, espessura, diâmetro equivalente, esfericidade, área superficial, volume, peso de mil grãos, porosidade e densidades aparente e real.

Definir a composição química por meio de análise da umidade, proteína bruta, cinzas, lipídios, fibra alimentar, carboidratos totais e amilose.

Determinar os teores de ferro, cálcio, magnésio, manganês, zinco e fósforo, além do teor de ácido fítico.

Estabelecer os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* e Cromaticidade das amostras.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

2.3.1 MATERIAIS

Foram utilizados grãos inteiros de quatro variedades de arroz. As cultivares avaliadas foram todas originadas do sistema irrigado no sul do Brasil: Epagri 109 (EPA), SCS Andosan 114 (SCS), BRS Firmeza (BRS) e IAS 12-9 Formosa (IAS), sendo as duas primeiras provenientes do estado de Santa Catarina, enquanto as demais foram cultivadas no Rio Grande do Sul. As amostras foram preparadas através dos três níveis de beneficiamento: casca, descascado (integral) e polido. Antes do início das análises foi realizada a retirada de impurezas e a classificação do arroz de cada variedade.

Os reagentes foram de grau analítico, incluindo o peróxido de hidrogênio p.a. 50% (marca: Synth; fabricante: Labsynth Produtos para laboratório Ltda.), adquiridos de empresas fornecedoras de reagentes químicos para laboratórios.

Os equipamentos utilizados foram disponibilizados pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), exceto a “máquina testadora de arroz” (marca: Suzuki; modelo: MT; Fabricante: Máquinas Suzuki S.A.; Brasil) cedida para o processamento do arroz pela Companhia de Desenvolvimento do Paraná (CODEPAR). A balança de peso hectolitro (marca: Dallemolle; modelo: tipo 40; Fabricante: Dallemolle LTDA.; Brasil) foi cedida pelo Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade da UEPG. O paquímetro digital (marca: Insize; modelo: 1137-150; fabricante: Insize do Brasil LTDA; Brasil) cedido pelo Departamento de Engenharia de Alimentos da UEPG.

2.3.2 MÉTODOS

2.3.2.1 DESCASQUE E POLIMENTO

Os grãos de arroz dos diferentes cultivares, foram descascados e polidos usando uma “máquina testadora de arroz” (marca: Suzuki; modelo: MT; Fabricante: Máquinas Suzuki S.A.; Brasil), sendo anotados os valores de peso do arroz em casca, antes do início do processamento e após as etapas de descasque e polimento. Uma amostra de 100 g de arroz em casca foi submetida ao processo de descascamento, sendo o descascador composto por dois roletes de borracha, com composição

semelhante às usadas pelas máquinas industriais. A amostra resultante do descascamento foi o arroz integral, este foi submetida ao polimento durante 60 segundos. Após a etapa de polimento, a amostra resultante foi submetido à classificação de arroz inteiros e quebrados, através de um cilindro denominado: "Trieur". As variáveis de rendimento foram determinadas de acordo com os métodos de (ADAIR, 1952; DELA CRUZ; KHUSH, 2000). Após o beneficiamento, as amostras de arroz Integral e polido, foram armazenadas em uma geladeira a 6 °C até a realização de análises laboratoriais.

2.3.2.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

2.3.2.2.1 TAMANHO E FORMA

Foram selecionados 50 grãos, ao acaso, para arroz em casca, integral e polido e procedidas às medições do comprimento (C), da largura (L) e da espessura (E) do grão, com auxílio de paquímetro digital (marca: Insize; modelo: 1137-150; fabricante: Insize do Brasil LTDA; Brasil). O diâmetro equivalente (D_{eq}) em mm, considerando a forma esférica para o arroz em casca, integral e polido, foi determinado usando a equação 2.1, com base em Jain e Bal (1997) e Mohsenin (1986).

$$D_{eq} = \left(L \frac{(W + T)^2}{4} \right)^{1/3} \quad (2.1)$$

A esfericidade (ϕ) foi definida como a razão entre a área da superfície da esfera, com o mesmo volume que o do grão para a área da superfície do grão, foi determinada usando a equação 2.2, com base em Mohsenin (1986).

$$\phi = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} \quad (2.2)$$

O volume(V) e a área superficial (S) de cada grão de arroz foram avaliados utilizando as equações 2.3, 2.4 e 2.5 de Jain e Bal (1997), respectivamente:

$$V = 0.25 \left[\left(\frac{\pi}{6} \right) L (W + T)^2 \right] \quad (2.3)$$

$$S = \frac{\pi B L^2}{2L - B} \quad (2.4)$$

Onde:

$$B = \sqrt{WT} \quad (2.5)$$

A relação (R_a) foi calculada conforme a equação 2.6, descrita por Varnamkhasti et al. (2008):

$$R_a = \frac{L}{C} \quad (2.6)$$

2.3.2.2.2 DENSIDADE APARENTE E DENSIDADE REAL

A densidade aparente (ρ_b) foi determinada utilizando-se balança de peso hectolitro (marca: Dallemolle; modelo: tipo 40; fabricante: Dallemolle LTDA.; Caxias do Sul, RS, Brasil) com capacidade de 250 mL, sendo necessária transformação para g/cm^3 e balança eletrônica digital com precisão de 0,01g. O procedimento é caracterizado pelas amostras não sofrerem compactação, de acordo com Kashaninejad et al. (2006).

A densidade real (ρ_t) foi determinada pelo método de deslocamento do volume de querosene. O deslocamento foi encontrado através de uma quantidade de grãos de arroz imersos em um volume conhecido de querosene, seguindo a metodologia descrita por Bhattacharya et al. (1972).

2.3.2.2.3 POROSIDADE

A porosidade (ε) foi definida como a razão do volume do espaço vazio intergranular e o volume dos grãos. A porosidade foi calculada usando a equação 2.7, como descrita por Jain e Bal (1997):

$$\varepsilon = \frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} \times 100 \quad (2.7)$$

2.3.2.2.4 PESO DE MIL GRÃOS

O peso de mil grãos foi determinado por meio da escolha aleatória de mil grãos de arroz em casca, integral e polido (VARNAMKHAISTI et al., 2008).

2.3.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE GRÃOS DE ARROZ INTEGRAL E POLIDO DE DIFERENTES CULTIVARES.

2.3.3.1 MOAGEM DO GRÃO

Para obtenção da farinha, foram moídos os grãos em moinho de laboratório, sendo a farinha passada em peneiras com abertura de 60 mesh, para maior uniformidade das partículas.

2.3.3.2 COMPOSIÇÃO DO ARROZ INTEGRAL E POLIDO

O conteúdo de umidade foi determinado de acordo com a AOAC (1997), utilizando estufa a 105 °C, de acordo com o protocolo 925.10. O teor de nitrogênio total foi determinado, de acordo com o protocolo 960.52, pelo método de Kjeldahl da AOAC (1997), sendo o teor de proteína bruta obtido pela multiplicação pelo fator 5,95. O teor de cinza foi analisado pelo protocolo 923.03, da AOAC (1997), usando mufla a 550°C até queima total da amostra. O teor de lipídios foi determinado de acordo com o método 920.39C, da AOAC (1997), utilizando extrator Soxhlet. O teor de Fibra alimentar foi determinado através da metodologia adaptada da AOAC (1997).

2.3.3.3 DETERMINAÇÃO DE AMIOLOSE

A determinação do teor de amilose aparente foi realizada por método colorimétrico com iodo, de acordo com metodologia proposta por McGrance et al. (1998), com modificações sugeridas por Hoover e Ratnayake (2001). Uma amostra de amido foi desengordurada, usando hexano em um aparelho de Soxhlet durante 6 horas, seguido por secagem em estufa a 38°C, durante 12 h. Em seguida, 20 mg de cada amido foram pesados em tubos de 10 mL com tampa, e dissolvidos em 8,0 mL de solução de dimetilsulfóxido a 90% v/v. O conteúdo dos tubos foi agitado por 20

minutos e então aquecido em banho-maria (com agitação contínua) a 85°C por 15 minutos. O conteúdo dos tubos foi resfriado a temperatura ambiente e diluído com água deionizada em um balão volumétrico de 25 mL. Uma alíquota da amostra diluída (1,0 mL) foi transferida para balão volumétrico de 50 mL e 5 mL de solução de Iodo /Iodeto de Potássio (I_2 0,0025 mol.L⁻¹ e KI 0,0065 mol.L⁻¹), foi adicionada. O volume foi ajustado a 50 mL e o conteúdo permaneceu em repouso por 15 minutos a temperatura ambiente, para posteriormente ser feita leitura da absorbância em espectrofotômetro a 600 nm.

2.3.3.4 DETERMINAÇÃO DE MINERAIS EM ARROZ INTEGRAL E POLIDO

A determinação dos micronutrientes foi realizada de acordo com o método descrito por Wang et al. (2011), com algumas modificações. Foram adicionados, aproximadamente, 0,7 g de amostra em tubos de ensaio, além de 2 mL de peróxido de hidrogênio 30% (m/v) e 5mL de ácido nítrico concentrado ultra-puro. As amostras foram digeridas utilizando um sistema de digestão Hot Block (Modelo Sc154, Ambiental Express, MT. Pleasant, SC, EUA) a 85°C durante 12 h. Em seguida, as soluções foram diluídas para 50 mL com água ultra-pura (resistividade abaixo de 18,25 $\mu\Omega \cdot cm^{-1}$), obtido por um aparelho de água Milli-Q (Milli- RO/Milli-Q-System, Millipore, Molsheim, France). Os metais: cobre (Cu), ferro (Fe), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Manganês (Mn) e Zinco (Zn), foram determinados, sendo realizadas curvas de calibração com os padrões dos elementos citados da Marca Qhemis High Purity (Rastreado ao SRM NIST-USA). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro de absorção atômica de chama (Varian Inc, SpectrAA 240FS, Palo. Alto, CA, EUA), utilizando como acessórios, o amostrador automático SPS3 e o sistema diluidor automático SIPS no Complexo (C-LABMU).

2.3.3.5 DETERMINAÇÃO DE ÁCIDO FÍTICO EM ARROZ POLIDO E INTEGRAL

2.3.3.5.1 EXTRAÇÃO

A extração do ácido fítico foi realizada de acordo com Harland e Oberleas (1977 e 1986) e Kanumfre (2010) com algumas modificações. À amostra de 2,5 g de arroz, foram adicionados 50 mL de uma solução de HCl 0,65 mol.L⁻¹. A solução resultante

foi mantida sob agitação por 1 hora à temperatura ambiente. Em seguida, o extrato foi centrifugado (Hitachi Koki Co Ltd; CR21GII; Chyoda, Tokyo, Japão) por 30 minutos a 3000 rpm a 10 °C. O sobrenadante foi separado, filtrado, e armazenado sob refrigeração para purificação.

2.3.3.5.2 PURIFICAÇÃO

O ácido fítico foi purificado por cromatografia de troca iônica segundo Harland e Oberleas (1977 e 1986). Uma coluna de vidro 1,0 x 20,0 foi empacotada com 8 g de resina de troca aniônica (Dowex MWA⁻¹ livre de base). A coluna foi primeiramente lavada com 30 mL de HCl 1,0 mol.L⁻¹, para assegurar a saturação de cloreto e mantida por 24 horas em repouso. Em seguida, foi lavada com 400 mL de água deionizada para remover o excesso de íons cloreto da coluna. O eluado foi testado com uma solução de AgNO₃ 0,10 mol.L⁻¹, para assegurar a remoção completa dos íons Cl⁻¹ livres. O extrato contendo ácido fítico foi aplicado na coluna e eluído primeiramente com 40 mL de água deionizada, para remover as impurezas solúveis, em seguida com 40 mL de HCl 0,10 mol.L⁻¹, para remover o fosfato inorgânico remanescente. O ácido fítico foi eluído com 100 mL da solução de HCl 1,0 mol.L⁻¹ e coletado em frações de 4 mL. Para assegurar que o ácido fítico foi eluído apenas na fração de HCl 1,0 mol.L⁻¹, todos os eluados foram testados com o reagente de Wade, quanto à presença de ácido fítico. As frações contendo ácido fítico foram agrupadas e conservadas sob refrigeração. As amostras contendo ácido fítico foram reduzidas em um evaporador rotativo (Tecnal; TE – 211; Piracicaba, SP, Brasil) à temperatura de 80 °C e pressão reduzida. Isso permitiu a eliminação do excesso de HCl que ainda permaneceu na solução, além de obter uma solução mais concentrada do ácido fítico. A coluna foi regenerada, com água deionizada e HCl 1,0 mol.L⁻¹, para a sua reutilização. Após duas amostras eluídas, a resina de troca aniônica foi substituída.

2.3.3.5.3 DETECÇÃO E DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO DE ÁCIDO FÍTICO

A partir de uma solução de ácido fítico padrão, foi construída uma curva de calibração na faixa de concentração de 0 a 1,20 x 10⁻⁴ mol.L⁻¹, $Y = 0,82775 - 4422,38147X$, $R^2 = 0,99798$. Em balões volumétricos de 5 mL foi adicionada alíquota de 10 µL dos eluados finais, 4,0 mL do reagente de Wade e completou-se com água.

A absorbância foi registrada em 500 nm. O conteúdo de ácido fítico nos grãos foi calculado a partir do número de mols (n) de ácido fítico na solução concentrada. Sabendo-se que a massa molar do ácido fítico é 660,0342 g mol⁻¹, calculou-se a massa de ácido fítico presente na solução concentrada. A relação entre a massa inicial do grão e a massa de ácido fítico na solução multiplicada por 100, forneceu a massa de ácido fítico em g.100 g⁻¹ de grão. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.3.3.6 DETERMINAÇÃO DE COR

Os parâmetros de cor do arroz polido e integral, na condição de farinha e grão, foram determinados utilizando o espectrofotômetro de reflectância MiniScan EZ (Hunter Inc; Reston, Virginia, USA), que consiste na determinação de três componentes de cor: L*, a* e b*. A cor das amostras do grão e da farinha foi avaliada pelos parâmetros L*, que representa a luminosidade e varia de 0 (preto) a 100 (branco), a* que varia do positivo (vermelho) a negativo (verde) e b* que varia do positivo (amarelo) a negativo (azul). As medições de cor foram realizadas em triplicata.

A Cromaticidade do arroz depende da taxa de remoção do farelo durante o processo de descasque e polimento (ROY et al., 2008). A Cromaticidade (C) pode ser calculada através da equação 2.8:

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2.8)$$

2.3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise do coeficiente de correlação com base em Pearson (dados paramétricos) ou de Spearman (não paramétricos) foi realizada para avaliar a força da associação entre os parâmetros estudados. A distribuição de dados foi testada para normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, e a igualdade de variâncias foi avaliada pelo teste de Levene. Um fator de ANOVA (dados paramétricos) ou teste de Welch (dados não paramétricos), seguido pelo teste de Tukey ou Kruskal-Wallis foram aplicados para verificar a diferença entre as médias; p-valor<0,05 foi considerado significativo (GRANATO et al., 2014). Os testes estatísticos foram realizados com o Software Statistica v 10.0 (Stat-Soft Inc., Tulsa EUA).

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características físicas das diferentes cultivares do arroz em casca, integral e polido são apresentadas na Tabela 2.1. Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as dimensões físicas das cultivares de arroz Indica e Japônica. O comprimento do arroz em casca variou de 6,65 (IAS) a 10,32 mm (SCS). Da mesma forma, foram avaliados comprimentos para o arroz integral, onde a variação foi de 4,64 (IAS) a 7,63 mm (SCS), enquanto no polido foi de 4,60 (IAS) a 7,50mm (EPA). De maneira semelhante, a variação em largura foi observada para arroz em casca de 3,23 (IAS) a 2,61mm (EPA), juntamente com a variação de 2,11 (BRS) a 2,84 mm (IAS) para arroz integral e 2,10 mm (BRS) a 2,74 (IAS), para os polidos.

A espessura da casca variou de 2,01 (BRS) a 2,22 mm (IAS), enquanto a espessura do arroz integral foi de 1,80 (SCS) a 2,03 mm (IAS), e de 1,77 (BRS) a 1,99 mm (IAS) para arroz polido. Os valores de comprimento, largura e espessura no arroz em casca e polido foram semelhantes aos encontrados por Sosbai (2012).

De acordo com Shittu et al. (2012), após um estudo avaliando as características físicas de quatro diferentes variedades de arroz em casca, também encontraram diferenças significativas no comprimento, com variação de comprimento de 9,27 a 10,27 mm, largura de 2,74 a 3,33 mm e espessura de 1,91 a 2,25 mm. Segundo Kamath et al. (2008). Em um estudo com variedade Basmati, foi verificado maior comprimento dos grãos finos, com valor de 7,63 mm, sendo o comprimento semelhante a cultivar SCS. De acordo com Varnamkhasti et al. (2008), as principais dimensões: largura, espessura e comprimento, originarão outras propriedades físicas importantes nas operações de beneficiamento de arroz.

O diâmetro equivalente das amostras em casca variou de 3,57 (BRS) a 3,81 mm (EPA), enquanto no arroz integral variou de 3,02 (IAS) a 3,18 mm (EPA), e para arroz polido variou de 2,93 (BRS) a 3,14 mm (EPA).

A menor esfericidade foi observada por meio do valor 36,64% (SCS) e a maior, de 54,52% (IAS), para arroz em casca. No arroz integral, o menor valor obtido foi de 41,27% (SCS) e o maior valor para a variedade IAS foi de 64,49%. Nas amostras polidas o menor valor obtido foi de 41,76% (EPA) e o maior foi de 63,59% (IAS).

Tabela 2.1 - Propriedades Físicas das cultivares de arroz em casca, integral e polido.

Variáveis	Cultivares em Grãos				CV%	*valor-p	**valor-p	***valor-p	
	EPA	SCS	BRS	IAS					
CASCA	U, %	12,26 ^{ab}	12,13 ^{ab}	12,33 ^a	11,92 ^b	1,73	0,813	0,56	<0,01
	C, mm	10,16 ^a	10,32 ^a	9,61 ^b	6,65 ^c	16,76	0,064	0,242	<0,01
	L, mm	2,61 ^b	2,58 ^b	2,34 ^c	3,23 ^a	12,74	0,34	0,699	<0,01
	E, mm	2,06 ^b	2,03 ^{bc}	2,01 ^c	2,22 ^a	4,13	0,164	0,297	<0,01
	Ra, adm	0,26	0,25	0,24	0,49	34,2	0,005	0,009	<0,01
	Deq, mm	3,81 ^a	3,80 ^a	3,57 ^c	3,67 ^b	2,95	0,418	0,531	<0,01
	φ, %	37,4	36,64	37,1	54,52	18,93	0,004	0,003	<0,01
	S, mm²	41,82 ^a	41,73 ^a	36,87 ^b	35,02 ^c	8,14	0,198	0,423	<0,01
	V, mm³	29,08 ^a	28,75 ^a	23,80 ^c	25,88 ^b	8,74	0,409	0,568	<0,01
	pb, kg/m³	596,59 ^a	590,94 ^a	586,17 ^a	556,10 ^c	3,06	0,524	0,295	<0,01
	pt, kg/m³	1334,2	1314,8	1316,5	1092,5	8,17	0,011	0,772	<0,01
	ε, %	55,28 ^b	55,05 ^b	56,84 ^a	49,09 ^c	5,72	0,153	0,952	<0,01
	PMG, g	31,75 ^a	30,17 ^b	28,99 ^b	23,67 ^c	11,1	0,419	0,633	<0,01
INTEGRAL	C, mm	7,51	7,63	7,15	4,64	18,91	0,039	0,778	<0,01
	L, mm	2,31 ^b	2,27 ^c	2,11 ^d	2,84 ^a	12,19	0,243	0,746	<0,01
	E, mm	1,83	1,8	1,81	2,03	5,4	0,04	0,218	<0,01
	Ra, adm	0,31	0,3	0,29	0,62	37,39	0,003	<0,01	<0,01
	Deq, mm	3,18 ^a	3,16 ^a	3,02 ^b	3,02 ^b	2,67	0,12	0,556	<0,01
	φ, %	42,18	41,27	42,15	64,49	21,54	0,004	0,178	<0,01
	S, mm²	28,11 ^a	27,92 ^a	25,41 ^b	23,66 ^c	7,45	0,363	0,615	<0,01
	V, mm³	16,84 ^a	16,52 ^a	14,37 ^b	14,47 ^b	7,96	0,118	0,599	<0,01
	ρb, kg/m³	773,95 ^b	762,55 ^c	777,19 ^b	816,10 ^a	2,68	0,248	0,979	<0,01
	pt, kg/m³	1386,58 ^a	1350,20 ^b	1360,94 ^{ab}	1159,47 ^c	7,23	0,051	0,191	<0,01
	ε, %	44,2	43,57	42,96	29,71	15,74	0,011	0,137	<0,01
	PMG, g	26,03	24,71	23,48	18,34	13,28	0,367	0,045	<0,01
	POLIDO	C, mm	7,50 ^a	7,33 ^b	6,70 ^c	4,60 ^d	18,41	0,156	0,208
L, mm		2,25 ^b	2,20 ^c	2,10 ^d	2,74 ^a	11,17	0,16	0,991	<0,01
E, mm		1,82 ^b	1,78 ^c	1,77 ^c	1,99 ^a	4,91	0,056	0,718	<0,01
Ra, adm		0,3	0,3	0,32	0,59	34,76	0,004	0,128	<0,01
Deq, mm		3,14 ^a	3,08 ^b	2,93 ^c	2,95 ^c	3,06	0,482	0,349	<0,01
φ, %		41,76	41,85	43,65	63,59	20,1	0,009	0,034	<0,01
S, mm²		27,52 ^a	26,39 ^b	23,71 ^c	22,61 ^d	8,27	0,645	0,458	<0,01
V, mm³		16,24 ^a	15,20 ^b	13,15 ^c	13,48 ^c	9,23	0,478	0,216	<0,01
pb, kg/m³		802,80 ^c	800,91 ^c	810,93 ^b	851,47 ^a	2,61	0,068	0,573	<0,01
pt, kg/m³		1387,83 ^a	1351,57 ^b	1362,44 ^{ab}	1160,69 ^c	7,23	0,05	0,649	<0,01
ε, %		42,13	40,67	40,37	26,6	17,61	0,022	0,245	<0,01
PMG, g		24,96	23,52	22,38	17,2	14,01	0,385	0,019	<0,01
CGP		LF	LF	LF	C	-	-	-	-

Testes de Tukey's HSD ou Kruskal-Wallis para $p < 0.05$ foi considerado significativo. CV: Coeficiente de Variação; *Teste de Normalidade; **Valores de probabilidade obtidos pelo teste de Hartley (F max)/Levene para homogeneidade de variâncias; ***Valores de probabilidade obtidos por ANOVA/Welch. LF: Longo-Fino; C: Curto

Mir et al. (2013) ao estudarem as propriedades físicas de sete variedades de arroz cultivadas na Índia, verificaram diferenças significativas ($p < 0,05$) na esfericidade entre as cultivares, que variaram de 32,71 a 52,71% no arroz com casca e de 37,44 a 63,44% no arroz integral, desta forma, a esfericidade de grãos de arroz foi mais baixa do que a do arroz integral, verificadas também em estudos por Shittu et al. (2012). Isto pode ser devido à forma típica da casca, com presença de pontas ao longo do eixo de comprimento, aumentando assim o comprimento característico, comparado com o arroz integral, com pontas mais arredondadas, como observado por Thakur e Gupta (2006). O valor de esfericidade do grão de arroz em casca variou de 32 a 100%, como avaliado por Mohsenin (1986), para a maioria dos materiais agrícolas.

A relação L/C (largura/comprimento) é importante para a classificação dos grãos, além de determinar a extensão e grau de polimento (VARNAMKHASTI et al., 2008). No presente trabalho, a relação (L/C) foi significativamente diferente ($p < 0,05$) entre as cultivares, no arroz em casca, integral e polido, sendo o menor valor encontrado para a cultivar BRS tanto na amostra em casca (0,24), quanto na integral (0,29), enquanto os maiores valores encontrados foram para amostra IAS (0,49) e (0,62), tanto para o arroz em casca, quanto para o arroz integral, respectivamente. No arroz polido, as cultivares EPA e SCS apresentaram o menor valor, com uma relação de 0,30, e a cultivar IAS apresentou o valor de 0,59. As relações encontradas, segundo Varnamkhasti et al. (2008), foram de 0,24 a 0,28 para variedades de arroz em casca.

O volume apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre as variedades, sob as condições em estudo. Os volumes dos grãos de arroz em casca variaram de 23,80 (BRS) a 29,08 mm³ (EPA), sendo que o arroz BRS apresentou na forma integral e polida, os menores valores encontrados de 14,37 e 13,15 mm³, respectivamente. Os maiores valores foram encontrados na cultivar EPA, de 16,84 e 16,24 mm³ nos grãos integrais e polidos, respectivamente. Enquanto a área superficial para os grãos foi observada por meio das variações em casca 35,02 (IAS) a 41,82 mm² (SCS), integral 23,66 (IAS) a 28,11 mm² (EPA) e polida, 22,61 (IAS) a 27,52 mm² (EPA).

As densidades aparente e real, foram significativamente diferentes ($p < 0,05$) nas condições estudadas, exceto em casca, onde a densidade real não foi significativamente diferente ($p > 0,05$) entre as cultivares longas e finas. As densidades aparentes de arroz em casca, integral e polido apresentaram as variações de 556,10 (IAS) a 596,59 kg/m³ (EPA), 762,55 (SCS) a 816,10 (IAS) kg/m³ e 800,91 (SCS) a 851,47 kg/m³ (IAS), respectivamente. Os valores encontrados foram semelhantes aos

apresentados por Mir et al. (2013), para arroz em casca com variação de 498,59 a 599, 63 kg/m³ e arroz integral com variação de 736,49 a 817, 85 kg/m³. Segundo Bhattacharya et al. (1972), em estudos com algumas variedades de arroz, observaram que a variação no arroz em casca foi de 563 a 642 kg/m³ e arroz polido, de 777 a 847 kg/m³. De acordo com Juliano (1993), a densidade aparente apresentou variação para arroz em casca, arroz integral e arroz polido de 560-640 kg/m³, 680 kg/m³ e 780-850 kg/m³, respectivamente. Ainda avaliando a densidade do farelo obtido no polimento e da casca adquirida no descascamento, de acordo com Juliano (1993), a variação foi de 200 a 400 kg/m³ e 100 a 160 kg/m³, respectivamente. As densidades reais apresentaram para os grãos de arroz em casca, integral e polido os respectivos valores, com variação de 1093 a 1334 kg/m³, 1399 a 1441 kg/m³ e 1436 a 1494 kg/m³. De acordo com Mir et al. (2013), o arroz integral possui densidade maior em relação ao arroz com casca em função do descasque. Segundo Juliano (1993), a variação da densidade real para cultivares em casca, integral e polido, foi de 1170 a 1230, 1310 e 1440 a 1460 kg/m³, respectivamente, além da densidade real obtida na casca e farelo foram de 670 a 740 e 1160 a 1290 kg/m³, respectivamente. O conhecimento da densidade aparente é útil para a criação de silos e tremonhas para manipulação e armazenagem durante a chuva (NALLADURAI et al., 2002).

A porosidade foi significativamente diferente ($p < 0,05$), entre as cultivares em casca, porém no arroz integral e polido as cultivares não foram significativamente diferentes ($p > 0,05$), com variação de 49,0 (IAS) a 56,84% (BRS) para os grãos em casca, enquanto que para os grãos integrais variou de 29,71 (IAS) a 44,20% (EPA). No polido, a variação foi 26,6 (IAS) a 42,13% (EPA). Segundo, Bhattacharya et al. (1972) em estudos sobre as propriedades físicas, avaliaram que a porosidade é proporcional a largura do grão, porém a porosidade será menor para os grãos de forma esférica segundo Mohapatra e Bal (2012).

O peso de mil grãos foi significativamente diferente ($p < 0,05$) entre as cultivares em casca, porém no arroz integral e polido as cultivares não foram significativamente diferentes ($p > 0,05$). Foram observadas variação de 23,67 (IAS) a 31,75g (EPA) para o arroz em casca, enquanto que o arroz integral e polido, os valores de 18,34 (IAS) a 26,03g (EPA) e de 17,20 (IAS) a 24,96g (EPA), respectivamente. O peso de mil grãos diminuiu com grau de polimento no arroz integral, levando em consideração a avaliação na mesma cultivar. Esses valores foram superiores aos observados para as

variedades de arroz em casca e integral (ÖZGÜVEN, VURSAVUŞ, 2005; VARNAMKHASTI et al., 2008).

As características do beneficiamento de diferentes cultivares de arroz em casca são mostrados na Tabela 2.2. As quatro cultivares avaliadas diferem estatisticamente ($p < 0,05$) para todos os parâmetros avaliados. As características do beneficiamento são premissas para determinação do arroz com qualidade.

Tabela 2.2 - Características do Beneficiamento de diferentes cultivares de arroz

Variáveis (%)	Cultivares				CV%	*valor-p	**valor-p	***valor-p
	EPA	SCS	BRS	IAS				
RB	71,13 ^c	69,88 ^c	72,79 ^b	74,47 ^a	2,75	0,93	0,36	<0,01
RI	59,93 ^c	63,27 ^b	69,00 ^a	55,02 ^d	8,62	0,99	0,38	<0,01
GQ	11,20 ^b	6,60 ^c	3,79 ^d	19,45 ^a	60,05	0,69	0,17	<0,01
GP	7,91 ^{bc}	9,57 ^{ab}	8,33 ^{bc}	10,43 ^a	15,43	0,66	0,10	0,02
Casca	22,76 ^a	22,73 ^a	20,60 ^b	16,86 ^c	12,24	0,20	0,84	<0,01
Farelo	6,11 ^b	7,40 ^{ab}	6,62 ^b	8,67 ^a	17,52	0,76	0,11	<0,01

Testes de Tukey HSD para $p < 0.05$ foi considerado significativo. CV: Coeficiente de variação; *Teste de Normalidade; **Valores de probabilidade obtidos pelo teste de Hartley (F max)/Levene para homogeneidade de variâncias; ***Valores de probabilidade obtidos por ANOVA; RB: Renda do Beneficiamento; RI: Rendimento de Inteiros; GQ: Grãos Quebrados; GP: Grau de Polimento

A Renda do beneficiamento (RB), Rendimento de inteiros (RI) e Grãos Quebrados (GQ), variaram de 69,88 a 74,47%, 55,02 a 69,00% e 3,79 a 19,45%, respectivamente. O valor da renda do benefício é dado pela percentagem de arroz polido, obtida do total de arroz em casca. Assim, a amostra IAS apresentou maior renda (74,47%) em relação a cultivar BRS (72,79%), EPA (71,13%) e SCS (69,88%). Valores semelhantes foram encontrados por SOSBAI (2012), com EPA (71,13%), SCS (69,88%) e BRS (70%). A amostra BRS (69,00%) apresentou maior rendimento de grãos inteiros, seguida pelas cultivares SCS (63,27%), EPA (59,93%) e IAS (55,02%). As características dos grãos de cada cultivar e as condições de processamento influenciaram o rendimento do arroz no beneficiamento. O resultado foi inverso ao apresentado por Bhattacharya et al. (1980), onde as cultivares que apresentam um endosperma mais longo e delgado foram beneficiadas com menores rendimentos de inteiros. Nos grãos quebrados a cultivar IAS (19,45%) apresentou maior percentual de grãos quebrados, seguidos por EPA (11,20%), SCS (6,60%) e BRS (3,70%).

Para as cultivares estudadas, verificou-se que a IAS apresentou estatisticamente, maior grau de polimento (10,43%), seguida pela cultivar SCS

(9,58%), BRS (8,33%) e EPA (7,91%). As diferenças no grau de polimento entre as cultivares se deve ao formato dos grãos de arroz, pois os mais espessos tendem a ter maior remoção das camadas periféricas, conforme relatado por Mohapatra e Bal (2007). Assim, a amostra IAS, por apresentar maior espessura no grão integral (Tabelas 2.1), apresentou maior grau de polimento, portanto, apresentou maior percentual de farelo de 8,67%, seguida pelas amostras SCS (7,40%), BRS (6,62%) e EPA (6,11%).

As percentagens de casca variaram de 22,76 (EPA) a 16,86% (IAS). Os valores foram semelhantes aos descritos por SOSBAI (2012), com os valores de 21,20% (EPA), 21,00% (SCS) e 17,80% (BRS). O percentual de farelo para as cultivares EPA, SCS, BRS, IAS foram de 6,11, 7,40, 6,62 e 8,67%, respectivamente. Dependendo do beneficiamento, o farelo corresponde em peso do grão, de 5 a 13,5%, segundo Kaewka et al. (2009).

Os teores de amilose estão apresentados na Tabela 2.3, e houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as cultivares. Nas cultivares EPA, SCS, BRS e IAS foram de 30,19; 28,46; 27,39 e 19,46%, respectivamente. Wang et al. (2012) relataram que o teor de amilose variaram entre 18,1-31,6% para amidos isolados de cultivares de arroz chineses. De acordo com Juliano (1993) a classificação de arroz em grãos como: cerosos (1-2% de amilose), conteúdo de amilose muito baixo (2-12%), baixo, (12-20%), intermediário (20-25%) e alto (25-33%).

Tabela 2.3 - Classificação dos diferentes cultivares de arroz de acordo com os teores de amilose

Parâmetros	Cultivares				CV	*valor-p	**valor-p	***valor-p
	EPA	SCS	BRS	IAS				
¹ Amilose (%bs) ²	30,19 ^a	28,46 ^{ab}	27,39 ^b	19,46 ^c	16,89	0,191	0,385	<0,01
Amilose (classificação)	Alto	Alto	Alto	Baixo	-	-	-	-
Subespécie	<i>Indica</i>	<i>Indica</i>	<i>Indica</i>	<i>Japônica</i>	-	-	-	-

Testes de Tukey HSD para $p < 0.05$ foi considerado significativo. CV: Coeficiente de variação; *Teste de Normalidade; **Valores de probabilidade obtidos pelo teste de Hartley (F max)/Levene para homogeneidade de variâncias; ***Valores de probabilidade obtidos por ANOVA

¹Amilose: grãos como ceroso (1-2% de amilose), conteúdo de amilose muito baixo (2-12%), baixo, (12-20%), intermediário (20-25%) e alto (25-33%) (JULIANO, 2003).

(%bs)²: Porcentagem em base seca. Resultados médios expressos como média das análises em triplicata.

Na composição química em diferentes cultivares de arroz integral e polido, apresentadas na Tabela 2.4, ocorreu diferença significativa ($p < 0,05$) nas variáveis avaliadas, exceto para cinzas, onde não ocorreu diferença significativa ($p > 0,05$) entre

as cultivares. A composição das amostras de arroz integral revelou maiores teores de proteína, gordura, cinzas, fibras e menores quantidades de carboidratos em comparação com cultivares de arroz polido. No arroz integral ocorreu variação na umidade de 10,96 (IAS) a 12,69% (SCS), na proteína bruta de 6,58 (EPA) a 10,56% (BRS), nos lipídeos de 2,05 (BRS) a 2,45% (IAS), nas cinzas de 2,02 (IAS) a 2,64% (EPA), na fibra Alimentar de 3,77 (BRS) a 6,37 % (IAS), nos carboidratos de 85,30 (IAS) a 88,47% (EPA).

Tabela 2.4 - Composição química em diferentes cultivares de arroz Integral e Polido.

Tabela 2.1 Composição química em diferentes cultivares de arroz integral e 4000.									
	Variáveis (%, B.U)	Cultivares				CV%	*valor-p	**valor-p	***valor-p
		EPA	SCS	BRS	IAS				
INTEGRAL	Umidade	12,12 ^{ab}	12,69 ^a	11,65 ^{bc}	10,96 ^c	5,9	0,99	0,916	<0,01
	Proteína bruta	6,58 ^d	7,23 ^c	10,56 ^a	10,23 ^b	21,33	0,198	0,769	<0,01
	Lipídeos	2,32 ^{ab}	2,24 ^{bc}	2,05 ^c	2,45 ^a	7,26	0,943	0,061	<0,01
	Cinzas	2,64	2,12	2,08	2,02	19,89	0,051	0,051	0,316
	FA	4,58 ^{bc}	4,89 ^b	3,77 ^c	6,37 ^a	20,95	0,745	0,342	<0,01
	Carboidratos	88,47	88,41	85,31	85,3	1,94	0,03	0,221	<0,01
POLIDO	Umidade	13,12	13,4	13,07	12,83	2,1	0,889	0,269	0,062
	Proteína bruta	5,27 ^c	6,02 ^b	9,15 ^a	9,10 ^a	24,99	0,132	0,161	<0,01
	Lipídeos	0,22 ^c	0,23 ^c	0,44 ^b	0,51 ^a	39,38	0,201	0,178	<0,01
	Cinzas	0,39	0,35	0,48	0,4	24,91	0,993	0,855	0,516
	FA	0,14 ^d	0,58 ^b	0,87 ^a	0,29 ^c	62,68	0,817	0,109	<0,01
	Carboidratos	94,12 ^a	93,40 ^b	89,92 ^c	89,97 ^c	2,19	0,116	0,206	<0,01

Testes de Tukey HSD ou Kruskal-Wallis para $p < 0.05$ foi considerado significativo. *Teste de Normalidade; **Valores de probabilidade obtidos pelo teste de Hartley (F max)/Levene para homogeneidade de variâncias; ***Valores de probabilidade obtidos por ANOVA/Welch. FA: Fibra alimentar; B.U.: base umida

Nas amostras de arroz polido, verificou-se que houve diferença significativa ($p < 0,05$) nas variáveis avaliadas, exceto para cinzas e umidade onde não ocorreu diferença significativa ($p > 0,05$) entre as cultivares. Os teores de umidade variaram de 12,83 (IAS) a 13,40% (SCS), proteína bruta de 5,27 (EPA) a 9,15% (BRS), lipídeos 0,22 (BRS) a 0,51% (IAS), cinzas de 0,35 (SCS) a 0,48% (BRS), fibra alimentar de 0,14 (EPA) a 0,87% (BRS) e carboidratos de 89,92 (BRS) a 94,12% (EPA).

Segundo Lumen e Chow (1995), o conteúdo de proteínas do arroz varia de 4,3 a 18,2%. A grande variação ocorre em função de características genotípicas, adubação nitrogenada, radiação solar e temperatura durante o desenvolvimento do grão, de acordo com Juliano e Bechtel (1985). A concentração de lipídios é maior no

arroz integral, sendo reduzida com o polimento, geralmente inferior a 1% no arroz polido.

A Tabela 2.5 apresenta teores de minerais e ácidos fítico contidos em arroz integral e polido. As análises estatísticas indicaram que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as quatro cultivares em relação ao teor de ácido fítico e minerais, tanto na forma polida, quanto na forma integral, exceto para Mg e Zn. O grau de polimento tem um efeito significativo na qualidade e aspectos nutricionais do arroz branco, afetando os teores de minerais (LIANG et al., 2008).

Tabelas 2.5 - Minerais e ácido fítico contidos em diferentes cultivares de arroz na forma integral e polida.

Integral e polido.									
Variáveis		Cultivares				CV%	*valor-p	**valor-p	***valor-p
		EPA	SCS	BRS	IAS				
INTEGRAL	Fe (µg/g)	18,56 ^c	27,66 ^a	27,04 ^{ab}	22,90 ^{bc}	16,99	0,443	0,681	<0,01
	Zn (µg/g)	24,73	24,55	28,33	26,5	9,68	0,389	0,925	0,23
	Mg (µg/g)	1989	2027	1845	2008	7,22	0,099	0,779	0,43
	Ca (µg/g)	114,60 ^a	139,01 ^a	93,34 ^{ab}	114,98 ^a	15,9	0,222	0,201	<0,01
	Mn (µg/g)	30,02 ^c	38,46 ^b	36,52 ^b	52,74 ^a	22,33	0,555	0,174	<0,01
	P (µg/g)	451,24	459,99	464,39	453,34	3,83	0,632	0,325	0,83
	AF (g/100g)	2,77 ^a	2,19 ^b	1,81 ^c	1,45 ^d	25,2	0,938	0,978	<0,01
POLIDO	Fe (µg/g)	1,23 ^c	3,47 ^b	1,45 ^{bc}	9,30 ^a	89,93	0,443	0,468	<0,01
	Zn (µg/g)	19,48 ^a	14,70 ^b	18,36 ^{ab}	17,06 ^{ab}	12,89	0,833	0,579	0,02
	Mg (µg/g)	246,31 ^c	306,47 ^b	421,54 ^a	439,43 ^a	23,95	0,416	0,416	<0,01
	Ca (µg/g)	108,63	84,05	79,28	94,47	24,84	0,843	0,025	0,05
	Mn (µg/g)	6,93	8,83	10,5	14,89	30,3	0,744	0,006	<0,01
	P (µg/g)	84,43 ^b	86,40 ^b	96,60 ^{ab}	108,43 ^a	11,58	0,473	0,085	<0,01
	AF (g/100g)	0,12 ^d	0,41 ^c	0,84 ^a	0,50 ^b	57,72	0,924	0,415	<0,01

Testes de Tukey HSD ou Kruskal-Wallis para $p < 0.05$ foi considerado significativo. *Teste de Normalidade; **Valores de probabilidade obtidos pelo teste de Hartley (Fmax)/Levene para homogeneidade de variâncias; ***Valores de probabilidade obtidos por ANOVA/Welch. AF: Ácido Fítico

A variação de minerais no arroz integral, para o Fe, foi de 18,56 (EPA) a 27,66 µg/g (SCS), Zn de 24,55 (SCS) a 28,33 µg/g (BRS), Mg de 1845 (BRS) a 2027 µg/g (SCS), Ca de 93,34 (BRS) a 139 µg/g (SCS), Mn de 30,02 (EPA) a 52,74 µg/g (IAS) e P de 451,25 (EPA) a 464,39 µg/g (BRS). Os teores de minerais Fe, Zn, Mn e P foram semelhantes aos encontrados por Wang et al. (2011).

Os seis minerais apresentaram a seguinte ordem quantitativa para arroz integral: Mg>P>Ca>Mn>Zn>Fe, em todas as cultivares, sendo que o resultado da

distribuição foi semelhante a avaliação realizada por Wang et al. (2011), ou seja, semelhantes a distribuição do arroz chinês. Os grãos de arroz brasileiro e chinês apresentaram semelhanças físicas, com variação de comprimento de 5,30-7,21mm.

As concentrações no arroz polido seguiram a mesma ordem apresentada em estudos realizado no arroz japonês, como citado por Tsukada et al. (2007), através da distribuição: $Mg > Ca > P > Zn > Mn > Fe$, exceto entre os minerais Zn e Mn, pois foi verificado entre as cultivares em estudo, levando em consideração os mesmos minerais avaliados, que a diferença em relação às cultivares japonesas, que apresentaram distribuição, $Mg > Ca > P > Mn > Zn > Fe$, apresentou maior Mn em relação ao Zn nas quatro cultivares japonesas avaliadas. Essas diferenças ocorrem em função de vários fatores adotados por cada país como: variedade do arroz, fertilizantes e produtos químicos agrícolas (D'ILIO et al., 2002).

O ácido fítico apresentou, no arroz integral, uma variação de 1,45 (IAS) a 2,77g/100g (EPA), enquanto no arroz polido, foi de 0,12 (EPA) a 0,84 g/100g (BRS). O teor de ácido fítico no arroz integral, foi abaixo do observado em Wu et al. (2007), onde sua variação foi de 0,699g/100g a 1,034g/100g. Segundo Liang et al. (2008), a variação de ácido fítico se deu em função do tempo de polimento, sendo a variação em arroz integral de 0,73 a 1,1 g/100g e no polido a variação foi de 0,48 a 0,63g/100g, considerando o tempo de polimento, semelhante ao estudado, de 60 s. Devido a sua capacidade quelante, historicamente o ácido fítico tem sido considerado um composto com ação prejudicial à nutrição, contribuindo para a menor absorção de vários minerais importantes, como cálcio, ferro e zinco, podendo provocar deficiências (HURRELL et al., 2003).

O resultado mais evidente do polimento, são perdas de elementos minerais que estão associadas a retirada do farelo (Tabela 2.6) e a distribuição heterogênea dentro do grão de acordo com Lombi et al. (2009). Por meio do polimento, observou-se redução nas concentrações de Fe, Mg, P e Mn entre 59,39 a 94,64% em todas cultivares. Os valores são semelhantes aos apresentados por Hansen et al. (2012), cuja variação nas perdas de minerais foi de 60 a 90%.

Tabela 2.6 – Perda* de minerais e ácido fítico (AF) no processo de polimento

Amostras	Fe (%)	Zn (%)	Mg (%)	Ca (%)	Mn (%)	P (%)	AF (%)
EPA	93,37	21,23	87,62	5,2	76,92	81,29	95,67
SCS	87,45	40,12	84,88	39,54	77,04	81,22	81,28
BRS	94,64	35,19	77,15	15,07	71,25	79,2	53,59
IAS	59,39	35,62	78,12	17,84	71,77	76,08	65,52

Perda*: (Minerais no grão integral – minerais no grão polido)

Geralmente as concentrações dos elementos apresentam um declínio acentuado da região do farelo ao endosperma, posteriormente, um declínio mais gradual em direção ao centro do grão (ITANI et al., 2002; LAMBERTS et al., 2007).

A proporção relativamente elevada de Fe, Mg, P e Mn está relacionada a estas camadas exteriores dos grãos e estes elementos são, portanto, rapidamente perdidos durante o polimento de acordo com Hansen et al. (2012). No entanto, Zn e Ca são mais uniformemente distribuídos e apresentaram proporcionalmente menor diminuição em direção ao centro do endosperma (BRYANT et al., 2005; HANSEN et al., 2012; OGIYAMA et al., 2008).

As cultivares apresentaram redução de Zn, através do polimento, de 21,23 a 40,12%. De acordo com Hansen et al. (2012), essas variações ocorrem em função das diferenças de genótipos. No entanto, supõe-se geralmente que uma parte substancial de ambos, Zn e Fe no grão de cereal, está ligado a fitato conforme observado por Greffeuille et al. (2011). Segundo Wang et al. (2011), até 80% do teor de P de grão de cereal pode estar presente sob a forma de fitato.

A maior parte dos consumidores prefere o arroz branco bem polido, com pouco ou nenhum farelo restante no endosperma (MOHAPATRA, BAL, 2007; ROY et al., 2008). No entanto, somente a superfície do arroz integral contém pigmentos mais evidentes conforme estudos realizados por Champagne (2004), através do arroz integral e polido de diferentes cultivares, na condição de grãos e farinhas.

Os parâmetros de cor L*, a*, b* e Cromaticidade (C*) são demonstrados na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 - Parâmetros de cor para o Grão e Farinha de arroz polido e integral

Tabela 27. Parâmetros de cor para o Grão e Farinha de arroz polido e integral.										
Variáveis		Cultivares				CV%	*valor-p	**valor-p	***valor-p	
		EPA	SCS	BRS	IAS					
GRÃO	INTEGRAL	L*	66,98 ^a	67,10 ^a	63,07 ^b	62,65 ^b	3,45	0,07	0,83	<0,01
		a*	4,02 ^b	4,20 ^b	5,48 ^a	4,89 ^a	13,75	0,72	0,72	<0,01
		b*	24,09 ^{bc}	23,20 ^c	24,44 ^b	25,39 ^a	3,58	0,84	0,35	<0,01
		C*	24,43 ^{bc}	23,57 ^c	25,04 ^{ab}	25,86 ^a	3,7	0,67	0,4	<0,01
	POLIDO	L*	80,6 ^a	81,67 ^a	78,05 ^b	80,35 ^a	1,81	0,26	0,39	<0,01
		a*	0,38 ^c	0,61 ^d	0,27 ^a	0,10 ^b	54,57	0,26	0,17	<0,01
		b*	14,68 ^b	13,66 ^c	16,38 ^a	16,54 ^a	8,33	0,08	0,13	<0,01
		C*	14,69 ^b	13,68 ^c	16,39 ^a	16,54 ^a	8,29	0,08	0,13	<0,01
FARINHA	INTEGRAL	L*	86,21	86,48	86,47	83,87	1,42	0,01	0,81	<0,01
		a*	0,84 ^d	1,18 ^b	1,26 ^a	1,10 ^c	15,17	0,54	0,86	<0,01
		b*	11,63 ^b	12,01 ^b	11,66 ^b	13,68 ^a	7,26	0,05	0,26	<0,01
		C*	11,66 ^b	12,07 ^b	11,73 ^b	13,72 ^a	7,21	0,06	0,27	<0,01
	POLIDO	L*	94,37 ^a	95,04 ^{ab}	92,86 ^b	92,59 ^b	1,36	0,80	0,82	0,01
		a*	-0,34	-0,15	-0,06	-0,11	50,63	0,32	<0,01	<0,01
		b*	5,17 ^c	5,10 ^c	6,22 ^b	7,07 ^a	14,6	0,35	0,27	<0,01
		C*	5,18 ^c	5,11 ^c	6,22 ^b	7,07 ^a	14,5	0,36	0,29	<0,01

Testes de Tukey HSD ou Kruskal-Wallis para $p < 0.05$ foi considerado significativo. CV: Coeficiente de Variação; *Teste de Normalidade; **Valores de probabilidade obtidos pelo teste de Hartley (Fmax)/Levene para homogeneidade de variâncias; ***Valores de probabilidade obtidos por ANOVA/Welch.

Na condição de grãos houve diferença significativa ($p < 0,05$) nos parâmetros que caracterizam cor nas cultivares, integral e polida. Elevados valores de L indicaram maior reflectância da luz traduzindo-se em arroz com coloração clara. A cultivar SCS possui coloração mais clara tanto no grão polido ($L=81,67$) quanto no grão integral ($L=67,10$), no entanto, a cultivar IAS apresentou coloração mais escura ($L=62,65$) nos grãos integrais, entretanto nos polidos, foi a cultivar BRS ($L=78,05$) que se apresentou mais clara. Segundo Lamberts et al. (2007), diferenças de cultivares, espessura do farelo, quantidade de mineral e ácido fítico, interferem na cor e claridade do grão.

As farinhas apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) nas cultivares, para grãos integrais e polidos, exceto para claridade (L), onde verifica-se que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) para o arroz integral e polido; a cultivar SCS ($L=81,67$

e 95,04, respectivamente) apresentou coloração mais clara, contudo a cultivar IAS apresentou, através dos valores $L = 83,87$ e $L = 92,59$, coloração mais escura para grãos integrais e polidos, respectivamente.

Os valores encontrados foram superiores aos observados por Falade et al. (2014), indicando uma excelente claridade segundo Sarker e Miyahara (1984). Neste caso, as diferenças numéricas para os parâmetros de cor, caracterizaram elevada claridade para farinha integral em função de ser usada na condição de farinha, pois a mesma é uma mistura de farelo (fração pigmentada) e endosperma (fração clara), dando como resultado, um efeito de diluição sobre os parâmetros de cor medidos por Lamberts et al. (2007).

Maiores valores de a^* (desvio para o vermelho) indicam coloração mais escura no arroz. O arroz integral apresentou maior tendência à cor vermelha quando comparado ao polido, tanto para grãos, quanto para farinhas. Os grãos apresentaram maiores valores em relação à farinha quando comparados sob mesmo beneficiamento. A maior tendência a cor vermelha nos grãos e farinha foi de 5,48 e 4,02, respectivamente, ambos para a cultivar EPA. A cultivar BRS apresentou valores menores em relação à condição integral, nas formas de grãos e farinhas $a^* = 4,02$ a 0,06, respectivamente. No arroz polido, a tendência para a cor vermelha foi menor, sendo que na farinha foi evidenciada essa menor tendência, comparada aos grãos. Para o parâmetro b^* , os valores elevados são traduzidos para amostras com forte coloração amarelada ou dourada. O arroz em grãos apresentou maior valor para este parâmetro quando comparado a farinha, sendo maior no arroz integral que no polido. No grão integral o parâmetro b^* variou entre as cultivares de 23,20 (SCS) a 25,39 (IAS), e no grão polido a variação foi 13,66 (SCS) a 16,54 (IAS). Em relação a farinha a variação no arroz integral foi de 11,63 (EPA) a 13,68 (IAS). Na farinha com arroz polido a variação foi de 5,10 (SCS) a 7,07 (IAS).

As diferenças nos valores de C (Cromaticidade) foram apresentadas através da variação no grão integral a variação foi de 23,57 (SCS) a 25,86 (IAS). No grão polido a variação foi de 13,68 (SCS) a 16,54 (IAS). Na farinha Integral a intensidade variou de 11,66 (EPA) a 13,72 (IAS), enquanto na farinha de grãos polidos, a intensidade variou de 5,11 (SCS) a 7,07 (IAS).

Os coeficientes de correlação de Pearson (dados paramétricos) ou Spearman (dados não paramétricos) são apresentados nas tabelas 2.8 e 2.9.

Tabela 2.8 - Coeficiente de correlação de Pearson para variáveis físicas e químicas de quatro cultivares integral e polido

Variáveis	L	D _{eq}	S	V	pb	pt	Amy	U	Pro	Lip.	RMF	FA	Zn	Fe	Mg	P	AF	L*g	a*g	b*g	C*g	C*f
L	1																					
D _{eq}	p= --- -0,19	1																				
S	p=,375 -0,50	p= --- 0,95	1																			
V	p=,013 -0,19	p=,000 1,00	p= --- 0,95	1																		
pb	p=,367 0,60	p=,000 -0,69	p=,000 -0,81	p= --- -0,69	1																	
pt	p=,002 -0,92	p=,000 0,50	p=,000 0,74	p=,000 0,50	p= --- -0,73	1																
Amy	p=,000 -0,86	p=,013 0,60	p=,000 0,81	p=,012 0,60	p=,000 -0,72	p= --- 0,96	1															
U	p=,000 -0,44	p=,002 0,05	p=,000 0,20	p=,002 0,05	p=,000 0,14	p=,000 0,38	p= --- 0,42	1														
Pro	p=,030 0,33	p=,821 -0,71	p=,359 -0,74	p=,803 -0,71	p=,512 0,26	p=,065 -0,54	p=,040 -0,65	p= --- -0,64	1													
Lip.	p=,118 0,22	p=,000 0,34	p=,000 0,22	p=,000 0,34	p=,220 -0,56	p=,006 -0,09	p=,001 -0,10	p=,001 -0,80	p= --- 0,38	1												
RMF	p=,302 0,07	p=,107 0,41	p=,298 0,34	p=,107 0,41	p=,005 -0,65	p=,673 0,08	p=,647 0,07	p=,000 -0,73	p=,066 0,25	p= --- 0,94	1											
FA	p=,760 0,29	p=,045 0,32	p=,104 0,18	p=,044 0,32	p=,001 -0,50	p=,706 -0,16	p=,739 -0,16	p=,000 -0,80	p=,245 0,37	p=,000 0,97	p= --- 0,88	1										
Zn	p=,174 0,06	p=,128 0,20	p=,390 0,15	p=,130 0,20	p=,012 -0,52	p=,463 0,00	p=,463 -0,02	p=,000 -0,81	p=,075 0,44	p=,000 0,86	p=,000 0,85	p= --- 0,82	1									
Fe	p=,778 0,18	p=,348 0,24	p=,474 0,16	p=,350 0,24	p=,009 -0,53	p=,984 -0,14	p=,910 -0,15	p=,000 -0,72	p=,030 0,45	p=,000 0,93	p=,000 0,85	p=,000 0,87	p= --- 0,84	1								
Mg	p=,397 0,16	p=,249 0,35	p=,463 0,26	p=,255 0,35	p=,007 -0,61	p=,528 -0,04	p=,479 -0,05	p=,000 -0,77	p=,027 0,36	p=,000 0,99	p=,000 0,95	p=,000 0,96	p=,000 0,87	p= --- 0,94	1							
P	p=,464 0,12	p=,092 0,36	p=,228 0,28	p=,093 0,36	p=,002 -0,63	p=,853 -0,01	p=,812 -0,03	p=,000 -0,78	p=,087 0,36	p=,000 0,99	p=,000 0,95	p=,000 0,95	p=,000 0,89	p=,000 0,95	p= --- 0,99	1						
AF	p=,563 -0,07	p=,082 0,43	p=,193 0,39	p=,084 0,43	p=,001 -0,70	p=,963 0,20	p=,896 0,19	p=,000 -0,54	p=,081 0,19	p=,000 0,89	p=,000 0,92	p=,000 0,81	p=,000 0,72	p=,000 0,80	p=,000 0,90	p= --- 0,89	1					
L*g	p=,753 -0,15	p=,038 -0,21	p=,056 -0,13	p=,035 -0,21	p=,000 0,54	p=,342 0,07	p=,384 0,11	p=,006 0,87	p=,386 -0,51	p=,000 -0,97	p=,000 -0,91	p=,000 -0,94	p=,000 -0,92	p=,000 -0,92	p=,000 -0,96	p=,000 -0,97	p= --- -0,82	1				
a*g	p=,493 0,11	p=,322 0,24	p=,534 0,17	p=,328 0,24	p=,006 -0,58	p=,736 -0,04	p=,620 -0,07	p=,000 -0,82	p=,011 0,49	p=,000 0,97	p=,000 0,90	p=,000 0,93	p=,000 0,92	p=,000 0,94	p=,000 0,97	p=,000 0,98	p=,000 0,84	p= --- -0,99	1			
b*g	p=,609 0,23	p=,253 0,23	p=,418 0,12	p=,259 0,23	p=,003 -0,49	p=,847 -0,13	p=,746 -0,16	p=,000 -0,86	p=,016 0,50	p=,000 0,98	p=,000 0,93	p=,000 0,95	p=,000 0,91	p=,000 0,92	p=,000 0,97	p=,000 0,98	p=,000 0,86	p=,000 -0,98	p= --- 0,98	1		
C*g	p=,283 0,22	p=,289 0,23	p=,580 0,12	p=,290 0,23	p=,015 -0,50	p=,539 -0,13	p=,464 -0,15	p=,000 -0,86	p=,014 0,50	p=,000 0,98	p=,000 0,93	p=,000 0,95	p=,000 0,91	p=,000 0,93	p=,000 0,98	p=,000 0,98	p=,000 0,86	p=,000 -0,99	p=,000 0,98	p= --- 1,00	1	
C*f	p=,299 0,32	p=,289 0,23	p=,572 0,09	p=,290 0,23	p=,013 -0,45	p=,554 -0,22	p=,476 -0,23	p=,000 -0,85	p=,013 0,49	p=,000 0,99	p=,000 0,91	p=,000 0,97	p=,000 0,87	p=,000 0,94	p=,000 0,98	p=,000 0,97	p=,000 0,83	p=,000 -0,97	p=,000 0,96	p= --- 0,99	0,99	1
	p=,128	p=,282	p=,665	p=,285	p=,028	p=,300	p=,272	p=,000	p=,016	p=,000	p=,000	p=,000	p=,000	p=,000	p=,000	p=,000	p=,000	p=,000	p=,000	p=,000	p=,000	p= ---

** Valores significativos (p<0,05) estão destacados em negrito.

Dentre as características do arroz, como apresentado na Tabela 2.8, a área de superfície foi positivamente correlacionada ao volume ($r = 0,95$), amilose ($r = 0,81$) e densidade real ($r = 0,74$), porém a área de superfície foi negativamente correlacionada a densidade aparente ($r = -0,81$) e proteínas ($r = -0,74$). O diâmetro equivalente do grão foi positivamente correlacionado à área de superfície ($r = 0,95$), volume ($r = 1,00$), porém as proteínas ($r = -0,71$) apresentaram correlação negativa.

A densidade aparente possui relação negativa à densidade real ($r = -0,73$), a amilose ($r = -0,72$) e ácido fítico ($r = -0,70$). A densidade real apresentou relação negativa com a largura ($r = -0,92$) e amilose ($r = 0,96$), enquanto a amilose ($r = -0,86$) possui correlação negativa com a largura.

Tabela 2.9 - Coeficiente de correlação de Spearman para variáveis físicas e químicas de quatro cultivares integral e polido

Variável	C	E	R _a	φ	ε	PMG	Carb.	Mn	Ca	L*f	a*f	b*f
C	1											

E	-0,38 p=,068	1										

R _a	-0,63 p=,001	0,56 p=,005	1									

φ	-0,90 p=,687	0,54 p=,007	0,81 p=,000	1								

ε	0,79 p=,000	-0,25 p=,229	-0,62 p=,001	-0,65 p=,000	1							

PMG	0,89 p=,000	-0,26 p=,218	-0,53 p=,008	-0,74 p=,000	0,86 p=,000	1						

Carb.	0,22 p=,297	-0,35 p=,093	-0,05 p=,818	-0,30 p=,149	-0,20 p=,349	0,13 p=,551	1					

Mn	-0,18 p=,405	0,43 p=,038	0,12 p=,576	0,26 p=,215	0,10 p=,627	-0,18 p=,407	-0,92 p=,000	1				

Ca	0,00 p=,995	0,27 p=,208	0,19 p=,369	0,06 p=,791	-0,08 p=,706	0,12 p=,587	0,11 p=,607	-0,11 p=,618	1			

L*f	0,13 p=,541	-0,51 p=,010	-0,17 p=,416	-0,31 p=,144	-0,17 p=,438	0,06 p=,788	0,85 p=,000	-0,91 p=,000	0,07 p=,747	1		

a*f	0,07 p=,737	0,14 p=,526	-0,31 p=,133	-0,04 p=,847	0,38 p=,070	0,05 p=,806	-0,86 p=,000	0,84 p=,000	-0,30 p=,154	-0,81 p=,000	1	

b*f	-0,09 p=,666	0,49 p=,015	0,16 p=,446	0,24 p=,256	0,16 p=,446	-0,10 p=,637	-0,89 p=,000	0,95 p=,000	-0,16 p=,458	-0,89 p=,000	0,79 p=,000	1

** Valores significativos ($p < 0,05$) estão destacados em negrito.

Dentre as características do arroz, como apresentado na Tabela 2.9, foi apresentado que a esfericidade foi positivamente correlacionada a proporção ($r = 0,81$), porém foi negativamente correlacionada ao comprimento ($r = -0,90$) e ao peso de mil grãos ($r = -0,74$). A porosidade foi positivamente correlacionada o peso de mil grãos ($r = 0,86$) e comprimento do grão ($r = 0,79$). Segundo Mohapatra (2011), a

porosidade foi correlacionada com o comprimento ($r = 0,88$) e os carboidratos foram negativamente correlacionados com o manganês ($r = -0,92$).

2.5 CONCLUSÃO

A cultivar BRS Firmeza dentre as cultivares estudadas, foi a que apresentou maior rendimento de inteiros, enquanto a cultivar IAS 12-9 Formosa apresentou maior renda do beneficiamento, maior grau de polimento e maior percentual de quebrados. Pode-se sugerir que a cultivar BRS Firmeza e SCS Andosan podem ser destinadas ao consumo *in natura*, em função da menor quantidade de grãos quebrados.

As dimensões físicas relacionadas com as características do arroz em casca, integral e polido de diferentes cultivares variam significativamente. A maior variação encontra-se no grão de arroz curto e grão longo, considerando as demais cultivares. Esta informação é importante para otimizar operações no processo de beneficiamento, projetar estruturas de armazenamento e maquinário, que auxiliará em evitar perdas no pós-colheita e destinar o uso de uma cultivar considerando suas características físicas.

Variações na composição do arroz integral se deram em função das diferentes cultivares avaliadas. A diferença nas características nutricionais entre arroz integral pode ser utilizada em diferentes fins, como na elaboração de rações. Através do polimento é verificado a perda nutricional, com a redução de proteínas.

As cultivares avaliadas apresentaram perdas de ácido fólico e seis elementos minerais após o polimento. As maiores perdas ocorreram entre as cultivares com grão longo e fino. A cultivar Epagri - 109 apresentou maior perda de ácido fólico e menor perda de Zn. Dependendo da forma de cada cultivar, o polimento poderá apresentar menor teor de ácido fólico e maior teor de minerais.

Após o polimento ocorreu cor mais clara entre as cultivares de arroz em grão e, principalmente, na farinha de arroz, porém tanto no grão integral como no grão polido, as mesmas cultivares apresentaram tendência ao amarelado.

REFERÊNCIAS

- ADAIR, C. The McGill miller method for determining the milling quality of small samples of rice. **Rice Journal**, v. 55, n. 2, p. 21–23, 1952.
- AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. 16th edition. Gaithersburg: AOAC International, 1997.
- BHATTACHARYA, K. R.; SOWBHAGYA, C. M.; SWAMY, Y. M. I. Some physical properties of paddy and rice and their interrelations. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 23, n. 2, p. 171-186, 1972.
- BHATTACHARYA, K. R.; SOWBHAGYA, C. M.; SWAMY, Y. M. I. Quality of Indian rice. **Journal of Food Science and Technology**, India, v. 17, n. 4, p. 189–193, 1980.
- BRYANT, R. J.; DORSCH, J. A.; PETERSON, K. L.; RUTGER, J. N.; RABOY, V. Phosphorus and Mineral Concentrations in Whole Grain and Milled Low Phytic Acid (lpa) 1-1 Rice. **Cereal Chemistry**, v. 82, n. 5, p. 517–522, 2005.
- CHAMPAGNE, E. T. **Rice: chemistry and technology**. American Association of Cereal Chemists, 2004. 640p.
- CORRÊA, P. C.; DA SILVA, F. S.; JAREN, C.; AFONSO, P. C.; ARANA, I. Physical and mechanical properties in rice processing. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 1, p. 137–142, 2007.
- DELA CRUZ, N.; KHUSH, G. Rice grain quality evaluation procedures. In: Aromatic rices. Singh RK, Singh, US, Khush GS, (Eds). Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi, India, **Aromatic Rices**, 2000. p.16–28.
- D'ILIO, S.; ALESSANDRELLI, M.; CRESTI, R.; FORTE, G.; CAROLI, S. Arsenic content of various types of rice as determined by plasma-based techniques. **Microchemical Journal**, v. 73, n. 1-2, p. 195–201, 2002.
- FALADE, K. O.; SEMON, M.; FADAIRO, O. S.; OLADUNJOYE, A. O.; OROU, K. K. Functional and physico-chemical properties of flours and starches of African rice cultivars. **Food Hydrocolloids**, v. 39, p. 41–50, 2014.
- GRANATO, D.; DE ARAÚJO CALADO, V. M.; JARVIS, B. Observations on the use of statistical methods in Food Science and Technology. **Food Research International**, v. 55, p. 137–149, 2014.
- GREFFEUILLE, V.; POLYCARPE KAYODÉ, A. P.; ICARD-VERNIÈRE, C.; et al. Changes in iron, zinc and chelating agents during traditional African processing of maize: Effect of iron contamination on bioaccessibility. **Food Chemistry**, v. 126, n. 4, p. 1800–1807, 2011.
- HANSEN, T. H.; LOMBI, E.; FITZGERALD, M.; et al. Losses of essential mineral nutrients by polishing of rice differ among genotypes due to contrasting grain hardness and mineral distribution. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 307–315, 2012.

HARLAND, B. F.; OBERLEAS, D. A modified method for phytate analysis using anion-exchange procedure: Application to textured vegetable proteins. **Cereal chemistry**, v. 54, p. 827–832, 1977.

HARLAND, B. F.; OBERLEAS, D. Anion-exchange method for determination of phytate in foods: collaborative study. **Journal - Association of Official Analytical Chemists**, v. 69, n. 4, p. 667–70, 1986.

HOOVER, R.; RATNAYAKE, R. M. W. S. Determination of total amylose content of starch. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry** (Section E, Unit 2–3). John Wiley and Sons, USA. 2001.

HURRELL, R. F.; REDDY, M. B.; JUILLERAT, M.-A.; COOK, J. D. Degradation of phytic acid in cereal porridges improves iron absorption by human subjects. **American Journal Clinical Nutrition**, v. 77, n. 5, p. 1213–1219, 2003.

ITANI, T.; TAMAKI, M.; ARAI, E.; HORINO, T. Distribution of amylose, nitrogen, and minerals in rice kernels with various characters. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 19, p. 5326–32, 2002.

IZAWA, T. The Process of Rice Domestication: A New Model Based on Recent Data. **Rice**, v. 1, n. 2, p. 127–134, 2008.

JAIN, R. K.; BAL, S. Properties of Pearl Millet. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 66, n. 2, p. 85–91, 1997.

JULIANO, B.O. Grain structure, composition and consumers' criteria for quality. In: JULIANO, B. O. **Rice in human nutrition**. Rome: FAO, 1993. p.35-59.

JULIANO, B. O.; BECHTEL, D. B. The rice grain and its gross composition. In B.O. Juliano, ed. **Rice Chemistry and Technology**, 2nd ea., p. 17-57, 1985.

KAEWKA, K.; PORTONGKUM, K.; THEERAKULKAIT, C. Preparation of ultrafiltered rice bran extract and some factors affecting its browning inhibition in potato puree. **Preparative Biochemistry & Biotechnology**, v. 39, n. 4, p. 360–71, 2009.

KAMATH, S.; STEPHEN, J. C.; SURESH, S.; et al. Basmati rice: its characteristics and identification. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 10, p. 1821–1831, 2008.

KANUMFRE, F. **Extração de ácido fítico de fontes alternativas, purificação, caracterização e avaliação do potencial quelante e antioxidante**. 2010, 139f. Dissertação (Mestrado Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Some physical properties of Pistachio (*Pistacia vera* L.) nut and its kernel. **Journal of Food Engineering**, v. 72, n. 1, p. 30–38, 2006.

LAMBERTS, L.; DE BIE, E.; VANDEPUTTE, G. E.; et al. Effect of milling on colour and nutritional properties of rice. **Food Chemistry**, v. 100, n. 4, p. 1496–1503, 2007.

LAMBERTS, L.; ROMBOUTS, I.; BRIJS, K.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J. A. Impact of parboiling conditions on Maillard precursors and indicators in long-grain rice cultivars. **Food Chemistry**, v. 110, n. 4, p. 916–922, 2008.

LIANG, J.; LI, Z.; TSUJI, K.; et al. Milling characteristics and distribution of phytic acid and zinc in long-, medium- and short-grain rice. **Journal of Cereal Science**, v. 48, n. 1, p. 83–91, 2008.

LIU, K.; CAO, X.; BAI, Q.; WEN, H.; GU, Z. Relationships between physical properties of brown rice and degree of milling and loss of selenium. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 1, p. 69–74, 2009.

LOMBI, E.; SCHECKEL, K. G.; PALLON, J.; et al. Speciation and distribution of arsenic and localization of nutrients in rice grains. **New Phytologist**, v. 184, n. 1, p. 193–201, 2009.

LUMEN, B.O.; CHOW, H. Nutritional quality of rice endosperm. In: LUH, B. S. (Ed.). **Rice utilization**. 2.ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995. V.2, cap.15, p.363–395.

MCGRANCE, S. J.; CORNELL, H. J.; RIX, C. J. A Simple and Rapid Colorimetric Method for the Determination of Amylose in Starch Products. **Starch - Stärke**, v. 50, n. 4, p. 158–163, 1998.

MIR, S.; BOSCO, S.; SUNOOJ, K.; MIR, S. A.; BOSCO, S. J. D.; SUNOOJ, K. V. Evaluation of physical properties of rice cultivars grown in the temperate region of India. **International Food Research Journal**, v. 20, n. 4, p. 1521–1527, 2013.

MOHAPATRA, D.; BAL, S. Effect of degree of milling on specific energy consumption, optical measurements and cooking quality of rice. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 1, p. 119–125, 2007.

MOHAPATRA, D.; BAL, S. Physical Properties of Indica Rice in Relation to Some Novel Mechanical Properties Indicating Grain Characteristics. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 6, p. 2111–2119, 2012.

MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plant and animal material: structure, physical characteristics and mechanical properties**. 2nd ed. New York: Gordon and Breach, 1986. v. 1, 534 p.

NALLADURAI, K.; ALAGUSUNDARAM, K.; GAYATHRI, P. PH—Postharvest Technology: Airflow Resistance of Paddy and its Byproducts. **Biosystems Engineering**, v. 83, n. 1, p. 67–75, 2002.

OGIYAMA, S.; TAGAMI, K.; UCHIDA, S. The concentration and distribution of essential elements in brown rice associated with the polishing rate: Use of ICP-AES and Micro-PIXE. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, v. 266, n. 16, p. 3625–3632, 2008.

ÖZGÜVEN, F.; VURSAVUŞ, K. Some physical, mechanical and aerodynamic properties of pine (*Pinus pinea*) nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 68, n. 2, p. 191–196, 2005.

ROY, P.; IJIRI, T.; OKADOME, H.; et al. Effect of processing conditions on overall energy consumption and quality of rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 89, n. 3, p. 343–348, 2008.

SAHAY, K. M.; SINGH, K. K. **Unit Operations of Agricultural Processing**. Vikas Publishing House Pvt. Ltd: New Delhi, India, 1994. 340 p.

SARKER NN, MIYAHARA S. BREAKAGE. Characteristics and Bran Particle Distribution of Selected Rice Varieties during the Whitening Process Using Friction Roll Type Machine. **Report of Special Research Project on Tropical Agricultural Resources**, The University of Tsukuba; Ibaraki, Japan, v. 3, 1984, p. 157–168.

SHITTU, T. A.; OLANIYI, M. B.; OYEKANMI, A. A.; OKELEYE, K. A. Physical and Water Absorption Characteristics of Some Improved Rice Varieties. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 1, p. 298–309, 2012.

SINGH, N.; KAUR, L.; SINGH SODHI, N.; SINGH SEKHON, K. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. **Food Chemistry**, v. 89, n. 2, p. 253–259, 2005.

SOSBAI. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado (29. : 2012 : Gravatal, SC). **Anais**. p.179, 2012.

THAKUR, A. K.; GUPTA, A. K. Water absorption characteristics of paddy, brown rice and husk during soaking. **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 2, p. 252–257, 2006.

TSUKADA, H.; HASEGAWA, H.; TAKEDA, A.; HISAMATSU, S. Concentrations of major and trace elements in polished rice and paddy soils collected in Aomori, Japan. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 273, n. 1, p. 199–203, 2007.

VARNAMKHAISTI, M. G.; MOBLI, H.; JAFARI, A.; et al. Some physical properties of rough rice (*Oryza sativa* L.) grain. **Journal of Cereal Science**, v. 47, n. 3, p. 496–501, 2008.

WANG, K. M.; WU, J. G.; LI, G.; et al. Distribution of phytic acid and mineral elements in three indica rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Journal of Cereal Science**, v. 54, n. 1, p. 116–121, 2011.

WANG, L.; XIE, B.; XIONG, G.; et al. Study on the granular characteristics of starches separated from Chinese rice cultivars. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 2, p. 1038–1044, 2012.

WU, W.; CHENG, F.; LIU, Z.; WEI, K. Difference of Phytic Acid Content and its Relation to Four Protein Composition Contents in Grains of Twenty-nine japonica Rice Varieties from Jiangsu and Zhejiang Provinces, China. **Rice Science**, v. 14, n. 4, p. 311–314, 2007.

ZAMBERLAN, C. O.; SONAGLIO, C. M. A produção orizícola brasileira a partir da década de 1990: Evolução e Perspectivas Econômicas. **Qualit@s Revista Eletrônica**, v. 11, n. 1, 2011.

CAPÍTULO 3 - CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DOS AMIDOS DE DIFERENTES CULTIVARES DE ARROZ DO BRASIL

RESUMO

O mercado de amido vem se ampliando e aperfeiçoando nos últimos anos, levando a estudos de amidos com características específicas, como no amido de arroz, que possui comportamentos diferentes, dependendo da cultivar avaliada. No presente trabalho, objetivou-se avaliar a composição química, Termogravimetria e Termogravimetria Derivada (TG/DTG), Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), Análise Viscoamilográficas (RVA), Difração de raios X, microscopia de força atômica pelo método não-contato (NC-AFM) e as características de cor foram determinadas por espectrofotometria de refletância de amidos de diferentes cultivares de arroz. Foram avaliadas quatro cultivares: Epagri 109 (EPA), SCS Andosan (SCS), BRS Firmeza (BRS) e IAS 12-9 Formosa (IAS), cultivadas no Brasil. Realizou-se a extração do amido e foram caracterizados para teor de umidade, cinzas, proteína, lipídeos, amilose e cor do amido. Após a avaliação da composição química, foram determinadas as propriedades de pasta, propriedades térmicas. As cultivares não apresentaram diferença significativa ($p>0,05$) para os teores de cinzas e lipídeos, enquanto as proteínas e o teor de amilose apresentaram diferença significativa ($p<0,05$) entre IAS e as demais cultivares. O maior e menor rendimento de extração de amido foi obtido com a cultivar EPA e IAS, respectivamente. Na caracterização da coloração dos amidos de arroz, não houve diferença significativa ($p>0,05$) entre as cultivares na luminosidade (L^*), na componente de cor verde (a^* negativo) e índice de brancura (WI). As cultivares EPA e IAS apresentaram maior tendência a cor amarela (b^* positivo) e maior intensidade de brancura (C^*). A cultivar IAS apresentou o maior valor para o componente de cor amarelo (H^*). Nas propriedades de pasta, a cultivar EPA apresentou maior valor para viscosidade final e viscosidade máxima, enquanto a cultivar IAS apresentou maior quebra, que são características importantes para fabricação de alimentos. A microestrutura de grânulos, de amido de arroz dos diferentes cultivares, mostrou a presença de grânulos no tamanho médio na faixa de 4,31-5,35 μm . As propriedades térmicas (T_o , T_p , T_c) e entalpia de gelatinização (ΔH_{gel}) apresentaram diferenças significativas ($p<0,05$), afetando deste modo a estabilidade de estruturas cristalinas entre os amidos de arroz.

Palavras-chave: Amido de arroz. DSC. Gelatinização. Propriedades da pasta. Rugosidade.

ABSTRACT

The starch market has been expanding and improving in recent years, leading to studies of starches with specific characteristics such as the rice that is a cereal which consists mainly of starch. In the present work aimed to evaluate the chemical composition, thermogravimetry and derivative thermogravimetry (TG/DTG); differential scanning calorimetry (DSC); rapid viscoamylographic analysis (RVA); X-ray diffraction powder, and non-contact atomic force microscopy (NC-AFM). Colour characteristics were determined by reflectance spectrophotometry of starch from different cultivars of rice. Four cultivars were evaluated: Epagri 109 (EPA), SCS Andosan (SCS), BRS Firmeza (BRS) e IAS 12-9 Formosa (IAS), grown in Brazil. The starches were characterized according to the values found for moisture content, ashes, protein, lipids, amylose and starch color. Starch extraction was performed and it was evaluated for chemical composition, pasting properties, thermal properties and apparent amylose content. The cultivars showed no significant difference ($p > 0.05$) for the ashes content and lipids, while proteins and amylose content showed significant differences ($p < 0.05$) among IAS and other cultivars. The highest and lowest starch extraction yield was obtained with the EPA and IAS cultivars. In characterizing the staining of starches from rice, there was no significant difference ($p > 0.05$) among cultivars in lightness (L^*) in the (a^* negative) green color and whiteness index (WI) component. The EPA and IAS cultivars showed highest tendency to yellow (positive b^*) and greater intensity of whiteness (C^*). The cultivar IAS had the largest value for the yellow color component (H^*). In pasting properties, EPA cultivar showed higher value for final viscosity and maximum viscosity, while the IAS cultivar showed higher rupture which is an important characteristic for food manufacturing. The microstructure of starch granules from rice starch from different cultivars showed the presence of the medium size granules in the range of 4.31 to 5.35 μm . Thermal properties (T_0 ; T_p ; T_c) and gelatinisation enthalpy (ΔH_{gel}) showed significant differences ($p < 0.05$), affecting this way, the stability of crystalline structures among rice starches.

Keywords: Rice starch. DSC. Gelatinization. Paste properties. Roughness.

3.1 INTRODUÇÃO

Arroz (*Oryza sativa* L.) é um cereal utilizado como fonte de alimento básico para metade da população mundial. O amido é o principal componente do arroz e corresponde a mais de 80% dos constituintes totais (WANI et al., 2012).

O amido de arroz é apresentado com características hipoalergênicas, sabor suave, pequenos grânulos, cor branca, fácil digestibilidade, aceitação do consumidor e com uma vasta gama na proporção amilose e amilopectina (LAWAL et al., 2011; MITCHELL, 2009). Essas propriedades têm aumentado a demanda de amido de arroz no alimento e em indústrias farmacêuticas. A diversidade de arroz, em grande parte, afeta seu desenvolvimento físico, propriedades químicas e cozimento (MIR et al., 2013; WANI et al., 2012).

As propriedades físico-químicas do amido de arroz dependem, principalmente, da variedade, condições genéticas, fatores climáticos e de solo, durante o desenvolvimento do grão de arroz (FALADE et al., 2014; WU et al., 2013).

Segundo Deepa et al. (2008), comercialmente, mais de duas mil variedades de arroz são cultivadas em todo o mundo, isso faz com que os amidos sejam diferentes uns dos outros, ou seja, cada amido é único. As diferenças estão nas estruturas finas das moléculas de amilose e amilopectina, e comportamento do grânulo (JI, 2004).

O mercado de amido tem crescido rapidamente nos últimos anos, levando à busca de produtos com características específicas, que suportem as exigências da indústria (RUDNIK et al., 2006).

As diversas aplicações industriais têm estimulado a investigar as propriedades físico-químicas de amidos de arroz de diferentes genótipos. Portanto, o objetivo do presente trabalho é comparar as propriedades físico-químicas e avaliar as características das diferentes variedades de amido de arroz, usando as seguintes técnicas: termogravimetria / termogravimetria derivada (TG / DTG), calorimetria exploratória diferencial (DSC), técnica de reologia (rápida viscoamilográficas análise RVA), os padrões de difração de raios X pelo método do pó (DRX), microscopia de força atômica modo não contato (NC-AFM) e espectrofotometria de refletância do amido de quatro diferentes genótipos de arroz cultivados no Brasil.

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 GERAL

O objetivo deste trabalho foi estudar as propriedades térmicas, propriedades de pasta e propriedades estruturais de amostras de amido de diferentes cultivares de arroz.

3.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar a composição química e teor de amilose nas diferentes cultivares de arroz.

Determinar as propriedades térmicas, estabelecer os parâmetros de gelatinização e as propriedades de pasta das amostras dos amidos nativos.

Determinar o grau de cristalinidade relativa, o diâmetro médio das partículas e a rugosidade média das amostras, além de estabelecer os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* , Cromaticidade (C^*), Índice de Brancura (WI) e Tonalidade (Hue*) das amostras.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

3.3.1 MATERIAIS

No presente estudo, quatro cultivares foram selecionadas a partir do teor de amilose. As cultivares Epagri 109 (EPA) e SCS 114 Andosan (SCS) foram fornecidas pela Epagri do estado de Santa Catarina. Já as cultivares BRS Firmeza (BRS) e IAS 12-9 Formosa (IAS), foram cedidas pela Embrapa no estado do Rio Grande do Sul.

3.3.2 MÉTODOS

3.3.2.1 EXTRAÇÃO DO AMIDO DE ARROZ

A extração alcalina de amido foi baseada no método descrito por Wang e Wang (2004), com algumas modificações. A Farinha de arroz (50g) foi adicionada de solução de NaOH 0,1% (m/v), na proporção 1:2, e deixada em repouso durante 20 horas. Após, a dispersão foi submetida a agitação vigorosa em agitador durante dois minutos. O material resultante foi passado por peneira de 53 μm e centrifugado a 1400 g durante 10 minutos à temperatura ambiente ($24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$). O sobrenadante foi descartado e uma fina camada de coloração amarela foi retirada com auxílio de uma espátula, sendo o precipitado ressuspenso em solução de NaOH 0,1% (m/v) e centrifugado novamente, sendo a operação realizada três vezes. O amido extraído foi disperso com água destilada e reduzido com HCl 1 mol L^{-1} até pH 6,5 e centrifugado. O material sedimentado foi ressuspenso em água destilada e centrifugado; operação repedida três vezes. O amido resultante foi seco em estufa com circulação de ar a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas. O amido seco foi passado através de uma peneira de 250 μm e armazenado em um frasco plástico no dessecador com sílica, em temperatura ambiente, até ser analisado. O rendimento de extração de amido foi calculado com base na quantidade inicial de amido presente na farinha de arroz e na quantidade total de farinha. O procedimento foi realizado em triplicata.

3.3.2.2 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO

A umidade, proteínas, lipídios e cinzas foram determinados de acordo com protocolos: 925.10, 960.52, 920.39C e 923.03, respectivamente, segundo a AOAC (1997).

3.3.2.3 DETERMINAÇÃO DA AMIOLOSE

A determinação do teor de amilose aparente foi realizada por método colorimétrico com iodo, de acordo com a metodologia proposta por McGrance et al. (1998), com modificações sugeridas por Hoover e Ratnayake (2001).

Uma amostra de amido foi desengordurada, usando hexano em um aparelho de Soxhlet durante 6 horas, seguido por secagem em estufa a 40 °C, durante 12 h. As massas com 20 mg de cada amido, foram adicionadas em tubos de 10 mL com tampa, e dissolvidos em 8,0 mL de solução de dimetilsulfóxido a 90% v/v. O conteúdo dos tubos foi agitado vigorosamente por 20 minutos e então aquecido em um banho-maria (com agitação contínua) a 85°C por 15 minutos. O conteúdo dos tubos foi resfriado a temperatura ambiente e diluído com água deionizada em um balão volumétrico de 25 mL. Uma alíquota da amostra diluída (1,0 ml) foi transferida para um balão volumétrico de 50 ml e 5 ml de solução de Iodo/Iodeto de Potássio (I_2 0,0025 mol L⁻¹ e KI 0,0065 mol L⁻¹), foi adicionado. O volume foi ajustado a 50 mL e o conteúdo permaneceu em repouso por 15 minutos à temperatura ambiente, para posteriormente ser feita leitura da absorbância em espectrofotômetro a 600 nm.

3.3.2.4 TERMOGRAVIMETRIA (TG) E TERMOGRAVIMETRIA DERIVADA (DTG)

As curvas de termogravimetria (TG) foram obtidas com o sistema de análise térmica TGA-50 (Shimadzu, Japão), em que as amostras foram aquecidas de 35 °C a 650 °C, utilizando cadinhos de alumina aberto, com aproximadamente 5,0 mg da amostra sob um fluxo de ar sintético com vazão de 150 mL min⁻¹ em uma razão de aquecimento de 10 °C min⁻¹. O instrumento foi preliminarmente calibrado com padrões de massa e com padrão de monohidrato de oxalato de cálcio. Todas as percentagens de perda de massa foram determinadas utilizando software de análise de TA-60 WS. As curvas termogravimétricas derivadas (DTG) foram calculadas a partir da primeira

derivada da curva de TG, calculados do software TA-60 WS, os quais auxiliam nos métodos e interpretações das curvas TG.

3.3.2.5 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

As curvas DSC foram obtidas utilizando o modelo do sistema térmico análise DSC-Q200 (TA-Instruments, EUA). As curvas de DSC foram realizadas com o objetivo de estudar o processo de gelatinização. As curvas foram registradas sob um fluxo de ar de 50 mL min⁻¹, a razão de aquecimento de 5 °C min⁻¹, e amostras com um peso de cerca de 2,5 mg. Uma proporção de 4:1 (água: amido) de uma mistura foi previamente preparada e mantida durante 60 minutos, a fim de equilibrar o teor de umidade. Os cadinhos de alumínio foram hermeticamente selados e em seguida, as curvas foram realizadas. O instrumento foi previamente calibrado com índio 99,99% de pureza, ponto de fusão com $T_p = 156,6$ °C, $H = 28,56$ J g⁻¹. Os resultados foram calculados com o software de Universal Analysis 2000.

3.3.2.6 PROPRIEDADES DE PASTA (RVA)

As propriedades de pasta das amostras foram obtidas usando o viscosímetro RVA-4 (modelo RVA-4, Newport Scientific, Austrália). Uma suspensão de 3 g (6% de umidade) de amido em 25 g de água destilada foi obtida com precisão, sendo submetida a um aquecimento controlado e ciclo de arrefecimento sob cisalhamento constante, onde foi realizada a 50 °C durante dois min, aquecida de 50 a 95 °C a 6 °C min⁻¹, e mantida a 95 °C por 5 min, arrefecido a 50 °C a 6 °C min⁻¹ e permaneceu a 50 °C por 2 min. No início do aquecimento, devido ao inchamento dos grânulos de amido ocorreu um aumento na viscosidade da suspensão (tempo e temperatura da pasta), quando os polímeros de baixo peso molecular, começam a ser lixiviados a partir dos grânulos. O pico de viscosidade foi observado quando os grânulos foram totalmente inchados e, foi mantida a temperatura de gelatinização a 95 °C, sob agitação constante. Os grânulos começaram a se romper e a solubilização dos polímeros proporcionou uma redução da viscosidade (quebra). (BEMILLER, 2011; BENINCA et al., 2013; BHATTACHARYYA et al., 2004; COLMAN et al., 2014).

3.3.2.7 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

Padrões de difração de raios X pelo método do pó (XRD) foram obtidos usando um difratômetro de raios Xi. Ultima4 (Rigaku, Japão), utilizando radiação $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.541 \text{ \AA}$) e as configurações de 40 kV e 20 mA. A radiação dispersa foi detectada no intervalo angular de $5\text{-}50^\circ$ (2θ), com uma velocidade de varredura de 8° min^{-1} , e um passo de $0,06^\circ$. O grau de cristalinidade relativa foi quantitativamente estimado, em triplicata, utilizando a equação 3.1 e seguindo o método descrito na literatura (BHATTACHARYYA et al., 2004; COLMAN et al., 2014).

$$X_c = \frac{A_p}{(A_p + A_b)} \cdot 100 \quad (3.1)$$

Onde: X_c é Cristalinidade relativa, A_p corresponde a Área de picos e A_b , Área de Base.

3.3.2.8 DETERMINAÇÃO DA COR

Para determinar os parâmetros de cor, de cada uma das amostras de amido, foi utilizado a reflectância através espectrofotômetro MiniScan EZ (Hunter Inc., EUA), o qual consistiu em três componentes de cor: L^* , a^* e b^* . A cor das amostras estudadas foram avaliadas pelos parâmetros L^* , o brilho que vai de 0 (preto) a 100 (branco), um a^* variando de positivo (vermelho) e negativo (verde) e b^* , a qual varia de positivo (amarelo) para negativo (azul).

Cromaticidade (C^*), o atributo considerado quantitativa de saturação da cor, foi usado para determinar o grau de diferença de uma tonalidade em comparação com uma cor cinzenta com a mesma mais clara. Quanto maiores forem os valores de Cromaticidade, maior a intensidade da cor e a pureza de uma cor. A cromaticidade foi calculado utilizando a Equação 3.2:

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (3.2)$$

A Tonalidade (Hue*) é considerado o atributo qualitativo de cor, é o atributo que de acordo com as cores, têm sido tradicionalmente definido como é o ângulo que define a tonalidade da cor 0° (vermelho), 90° (amarelo), 180° (verde) e 270° (azul). A tonalidade foi calculada usando a Equação 3.3:

$$\text{Hue}^* = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (3.3)$$

Também foi utilizado o Índice de Brancura (WI) para cada tipo de amido. Esse índice foi medido por meio da conversão dos parâmetros de L*, a* e b*, sendo calculado segundo a Equação 3.4 (LU et al., 2005).

$$\text{WI} = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (3.4)$$

As equações e medição de cor seguiram os procedimentos descritos por Duangmal et al. (2008). Antes de serem medidas as cores das amostras, o espectrofotômetro foi calibrado usando placas, preto e branco como padrão de referência ($L^* = 94,6$, $a^* = -0,1$ e $b^* = -0,5$). Nos ensaios, os amidos foram colocados numa placa de petri, de vidro transparente, e as medições de cor foram realizadas em triplicata (DUANGMAL et al., 2008; GRANATO, MASSON, 2010; PATHARE et al., 2012).

3.3.2.9 MICROSCOPIA DE FORÇA ATÔMICA MÉTODO NÃO CONTATO (NC-AFM).

A microscopia de força atômica foi realizada utilizando um microscópio de força atômica SPM-9600 (Shimadzu, Japão), pelo método não-contato (NC-AFM). As observações de superfície e as medições dos grânulos foram realizadas com amostras de amido distribuídas diretamente sobre uma fita adesiva fixada sobre um suporte de AFM da amostra. Esta preparação da amostra foi suficiente para imobilizar os grânulos e não influenciar a superfície de amido por qualquer contaminação. As amostras, a partir de amidos de arroz estudados, foram observadas com alta resolução em micro-imagens 2D ou 3D e a técnica permitiu observar a superfície dos amidos estudados, que apresentam a forma oval, bem como foi possível calcular o

diâmetro médio (d_a) e a rugosidade média (r_a). Depressões e saliências características foram observadas na superfície de cada amostra (BENINCA et al., 2013; BHATTACHARYYA et al., 2004; RUDNIK et al., 2006). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

3.3.2.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as análises descritas foram feitas em triplicata. Análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey foram utilizados para comparar médias das amostras ao nível de confiança de 95% ($p < 0,05$) utilizando o software Microsoft Excel 2007 for Windows (Microsoft, USA).

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cultivares EPA, SCS, BRS e IAS apresentaram teores de amilose de 30,19; 28,46, 27,39, 19,46%, respectivamente. Estes amidos foram classificados com alto teor de amilose, enquanto a cultivar IAS apresentou baixo teor de amilose, como verificados na Tabela 3.1. As variações nos teores de amilose/amilopectina e estrutura molecular são apresentadas por serem muito afetadas por efeitos genéticos, ambientais e agrônômicos de acordo com Singh et al. (2007).

Tabela 3.1 – Classificação das cultivares quanto ao teor de amilose e rendimento

Cultivares	Subespécie	*Amilose (%bs) ¹	Classificação teor de amilose	Rendimento da extração do amido (%)
EPA	<i>Indica</i>	30,19±1,12 ^a	Alto	54,54±3,05 ^a
SCS		28,46±1,28 ^{ab}	Alto	44,40±1,30 ^b
BRS		27,39±0,63 ^b	Alto	43,44±3,35 ^{bc}
IAS	<i>Japônica</i>	19,46±0,63 ^c	Baixo	37,14±1,76 ^c

Médias seguidas de uma mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$). *Amilose: grãos cerosos (1-2% de amilose), conteúdo de amilose muito baixo (2-12%), baixo, (12-20%), intermediário (20-25%) e alto (25-33%) (JULIANO, 1993).

(%bs)¹: Porcentagem em base seca. Resultados médios expressos como média das análises em triplicata, $\pm$ desvio padrão.

(EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa.

A análise estatística revelou uma diferença significativa ($p<0,05$) de proteína e amido. Não houve diferença significativa ($p>0,05$) no teor de cinzas e lipídeos. Os teores de proteína, lipídeos e cinzas, em base seca (Tabela 3.2), dos amidos isolados das quatro cultivares de arroz foram encontrados na faixa de 0,28 (IAS) - 0,76% (BRS), 0,01 (BRS) - 0,05% (EPA, IAS) e 0,22 (EPA) - 0,26% (BRS), respectivamente. Os valores de resíduo de proteína foram semelhantes aos encontrados segundo Zhu et al. (2011), com variação de 0,25-0,83%. Para cinzas e lipídeos os valores foram próximos aos dos cultivares estudados por Puncha-arnon e Uttapap (2013).

Wang e Wang (2004), em estudos sobre isolamento do amido, obtiveram um rendimento da extração do amido de arroz de 72,2%. De acordo com Omodunbi et al. (2013), foi observado um rendimento de 48%. Ambos usaram extração alcalina. A cultivar IAS apresentou menor rendimento (37,14%) de extração do amido e menor resíduo de proteínas (0,28%), como observado na Tabela 3.2. O menor rendimento

foi apresentado em função da maior absorção de água dos grânulos, dificultando a separação das proteínas aderidas ao grânulo de amido e, assim, ocorrendo uma perda maior de amido liberado, juntamente com as proteínas, como observado por Zavareze et al. (2009).

Tabela 3.2 - Composição do química do amido: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa.

Amostra	Cinzas (%)	Proteínas (%)	Lipídeos (%)	Amido (%)
(EPA)	0,22±0,03 ^a	0,70±0,02 ^a	0,05±0,06 ^a	99,03±0,11 ^b
(SCS)	0,23±0,01 ^a	0,64±0,11 ^a	0,03±0,01 ^a	99,10±0,15 ^b
(BRS)	0,26±0,02 ^a	0,76±0,01 ^a	0,01±0,02 ^a	98,97±0,02 ^b
(IAS)	0,23±0,01 ^a	0,28±0,01 ^b	0,05±0,03 ^a	99,44±0,05 ^a

Médias seguidas de uma mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

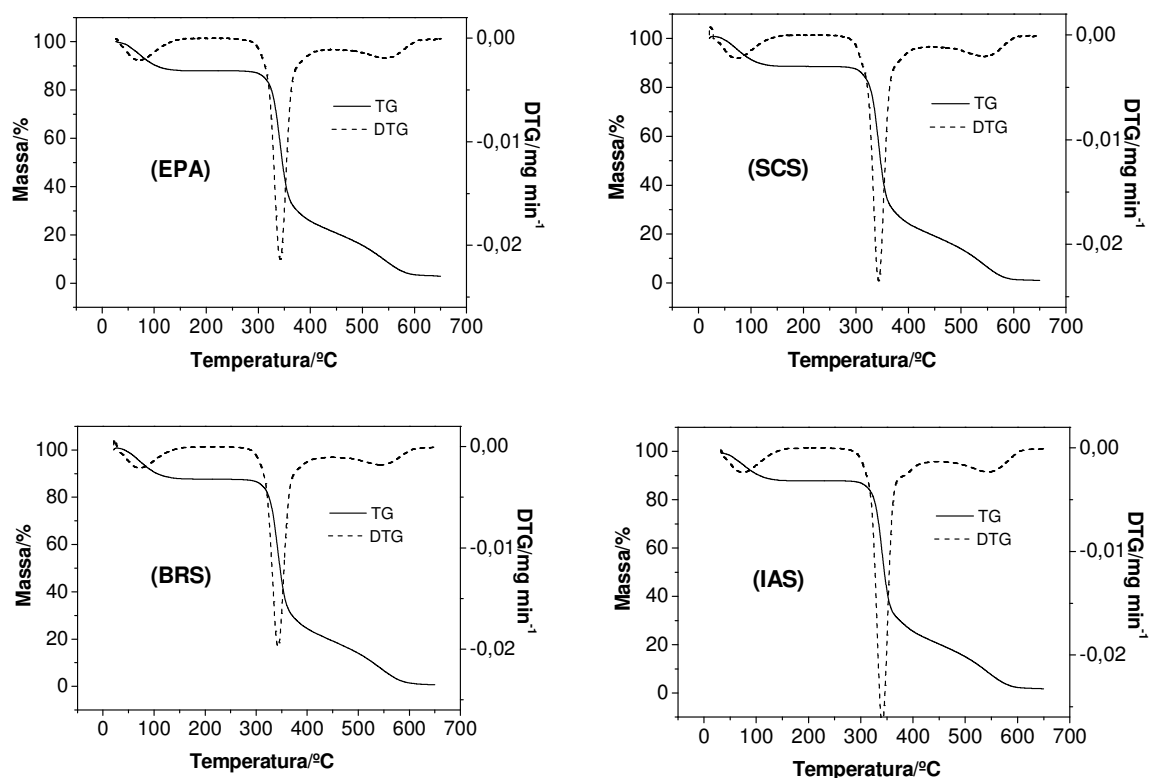
O perfil de todas as curvas TG/DTG, apresentado na Figura 3.1, foi semelhante, com três perdas de massa. A primeira etapa, de perda de massa para as amostras EPA, SCS, BRS e IAS, ocorreu entre a temperatura ambiente e 189°C. Esta etapa corresponde à desidratação da amostra do amido. O teor de Umidade inicial das amostras foi da ordem de 12% (Tabela 3.3)

As curvas TG mostram as três perdas de massa das amostras estudadas. As curvas DTG foram calculadas com base em cada curva TG e mostram os principais picos que correspondem ao máximo de cada reação de decomposição térmica. Este recurso matemático (DTG) é muito importante na interpretação dos dados das curvas TG, e todos os resultados obtidos estão coletadas na Tabela 3.3.

Após desidratadas, cada amostra apresenta uma etapa de estabilidade térmica, sendo a menor para a amostra EPA e a maior para a amostra BRS.

A seguir, ocorreram a 2ª e a 3ª perdas de massa de cada amostra estudada, as quais correspondem respectivamente à decomposição e oxidação da matéria orgânica (amilose e amilopectina) que ocorrem em etapas consecutivas.

Figura 3.1 – Curvas TG/DTG: Amidos das Cultivares (a) Epagri 109, (b) SCS 114 Andosan, (c) BRS Firmeza, (d) IAS 12-9 Formosa.



O resíduo final de decomposição (cinzas), das cultivares EPA, SCS, BRS e IAS, foi de 1,79; 1,02; 0,76 e 1,48% da massa inicial, respectivamente. As curvas DTG (em pontilhado) estão sobrepostas às curvas de TG (linha cheia) e mostram as três principais perdas de massa, apresentadas através da Tabela 3.3.

As propriedades de gelatinização dos amidos, determinadas pela calorimetria exploratória diferencial (DSC), estão representadas na Figura 3.2. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3.4. Os amidos de diferentes cultivares de arroz apresentaram uma variação na Temperatura de pico (T_p) de 65,41 a 72,42 °C.

Krieger et al. (1997), em estudos sobre as propriedades de gelatinização e retrogradação do amido, relataram serem extremamente importantes para determinação de sua funcionalidade e aplicação industrial.

De acordo com Aggarwal e Dollimore (1998), quando os grânulos de amidos são aquecidos, modificações e degradações ocorrem em sua estrutura podendo resultar em uma completa perda das características do carboidrato.

Tabela 3.3 - Resultados das curvas TG/DTG: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (b) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (c) amido da cultivar BRS Firmeza, (d) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa

Amostras	TG		DTG	
	Etapas	Δm (%)	ΔT (°C)	T_p (°C)
(EPA)	1º	12,1	30-150,06	70,75
	Estabilidade	--	150,06-264,41	--
	2º	67,66	264,41-443,98	341,95
	3º	18,45	443,98-624,16	539,29
(SCS)	1º	11,62	30-184,3	70,25
	Estabilidade	--	184,3-280,96	--
	2º	66,28	280,96-417,60	343,07
	3º	21,08	417,60-624,48	539,25
(BRS)	1º	12,52	30-189,58	69,83
	Estabilidade	--	189,58-282,26	--
	2º	67,6	282,26-440,39	342,87
	3º	19,12	440,39-616,87	542,51
(IAS)	1º	12,45	30-188,15	73,95
	Estabilidade	--	188,5-279,95	--
	2º	66,37	279,95-433,54	340,92
	3º	20	433,54-622,53	542,51

(*) Δm perda de massa, (%), ΔT variação de temperatura, T_p temperatura de pico

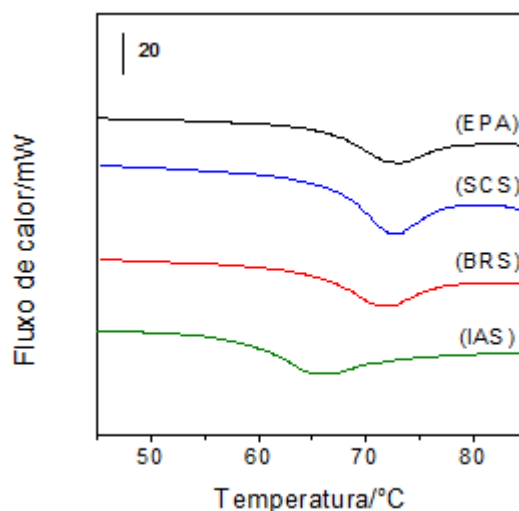
As temperaturas de gelatinização de amidos de arroz foram semelhantes aos encontradas na literatura. Segundo Sasaki et al. (2009), entre as cultivares estudadas ocorreu variação de T_o e T_c entre 56,9 a 75,8 °C. De acordo com Wang et al. (2010) o amido de arroz estudado variou de 61,8 a 76,0 °C.

O amido da cultivar (IAS) apresentou menor temperatura de gelatinização T_o (59,54°C), T_p (65,41°C) e T_c (67,42°C) com menor variação de temperatura (ΔT), correspondente a 7,88°C. O menor valor de ΔT encontrado entre as cultivares, indica uma homogeneidade maior de seus cristais, em função disso, pode apresentar forças intermoleculares mais fortes com maior proporção de cadeias lineares longas, mantendo as moléculas mais unidas, necessitando de maior energia para rompê-las, isso sendo evidenciado em suas elevadas variações de entalpia.

A temperatura de gelatinização classificou o amido de arroz avaliado como altas, para os amidos EPA, SCS e BRS, enquanto o amido IAS foi classificado com baixa temperatura de gelatinização.

De acordo com Juliano (2003), a temperatura de gelatinização é classificada, como baixa (55-69,5°C), intermediária (70- 74°C) ou alta (74,5-80°C).

Figura 3.2 - Curvas DSC de gelatinização: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa.



A cultivar EPA apresentou as maiores temperaturas para T_p (72,42°C) e T_c (78,14°C), porém apresentou menor variação de entalpia ΔH_{gel} (5,90 J g⁻¹). Segundo Noda et al. (1996), os parâmetros, T_p , T_c , e ΔH_{gel} , são influenciados pela arquitetura molecular da região cristalina do amido, o que corresponde à distribuição da cadeia curta de amilopectina e não pela proporção da região cristalina, que corresponde ao teor de amilose.

Tabela 3.4 - Resultados de DSC de gelatinização: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa.

Amostras	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔT	ΔH_{gel} (J.g ⁻¹)
(EPA)	66,90 ± 0,02b	72,42 ± 0,02a	78,14 ± 0,03a	11,24a	5,90 ± 0,07c
(SCS)	67,29 ± 0,06a	72,20 ± 0,04b	76,96 ± 0,31b	9,66b	9,17 ± 0,49a
(BRS)	65,18 ± 0,03c	71,15 ± 0,04c	76,37 ± 0,11b	11,19a	6,81 ± 0,38c
(IAS)	59,54 ± 0,04d	65,41 ± 0,02d	67,42 ± 0,32c	7,88c	8,07 ± 0,50b

(*) T_o "onset" temperatura inicial, T_p temperatura de pico, T_c "endset" temperatura de conclusão, ΔH_{gel} entalpia de gelatinização, (**) Médias seguidas de uma mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O amido da cultivar SCS, apresentou a maior temperatura inicial (67,29 °C) para gelatinização e maior ΔH_{gel} (9,17 J.g⁻¹). Dessa forma, o alto valor de ΔH encontrado para SCS pode ser atribuído a maior quantidade de duplas hélices, presentes nestes amidos, podendo ser oriundo de maior quantidade de cadeias ramificadas da amilopectina, conforme observado por Cooke e Gidley (1992), necessitando assim de maior energia para rompê-las. Estudos anteriores observaram diversos valores para ΔH_{gel} . Segundo Wang et al. (2010), a entalpia de gelatinização apresentou variação de 7,2 a 11,8 J.g⁻¹. De acordo com Lin et al. (2008), a variação de entalpia foi de 3,4 J.g⁻¹.

As propriedades de pasta dos diferentes amidos de arroz avaliados foram determinadas pelo Analisador de Viscosidade Rápida (RVA) e podem ser observadas através das curvas na Figura 3.3 e os valores são apresentados na Tabela 3.5.

A avaliação apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) para todos os parâmetros de viscosidade. A temperatura de pasta que representa o início da viscosidade do amido de arroz variou de 86,6 °C na amostra (SCS), para 89,85 °C no amido (IAS). Os amidos de cereais possuem temperaturas de pasta mais altas, quando comparados a amidos de batata (64-70 °C) e mandioca (67-68°), conforme relatado por Waterschoot et al. (2014).

A viscosidade de pico observada no amido de arroz, apresentou variação de 2073 a 2634 cP, nas amostras (SCS) e (EPA), respectivamente. De acordo com Waterschoot et al. (2014), a viscosidades de pico de amidos de cereais são um pouco baixas devido a sua menor potência no inchaço.

Singh et al. (2006), através de estudos apresentaram variação de 1003-2412 cP, enquanto Banchathanakij e Suphantharika (2009), relataram um valor, ainda menor, de 549 cP. De acordo com Lawal et al. (2011), em estudos sobre amido de arroz não cerosos, apresentou variação de 1771,2 - 2510,4 cP. A viscosidade de pico nas amostras (SCS) e (BRS) apresentaram as menores viscosidades de pico (máximas), o que indica menores forças de ligações, conforme observado por Fitzgerald et al. (2009). A temperatura da pasta aumenta, os grânulos de amido começam a absorver água e inchar, com a elevação da temperatura, a gelatinização é atingida e uma pasta é formada, com isso a viscosidade começa a aumentar até atingir a viscosidade máxima (pico de viscosidade). Alta viscosidade da pasta sugere que o amido seja usado como um agente espessante em alimentos e como agente de acabamento na indústria têxtil e papel, conforme relatado por Wani et al. (2012).

Figura 3.3 - Propriedades da pasta de amido de arroz das Cultivares (EPA) Epagri 109, (SCS) SCS 114 Andosan, (BRS) BRS Firmeza, (IAS) IAS 12-9 Formosa.

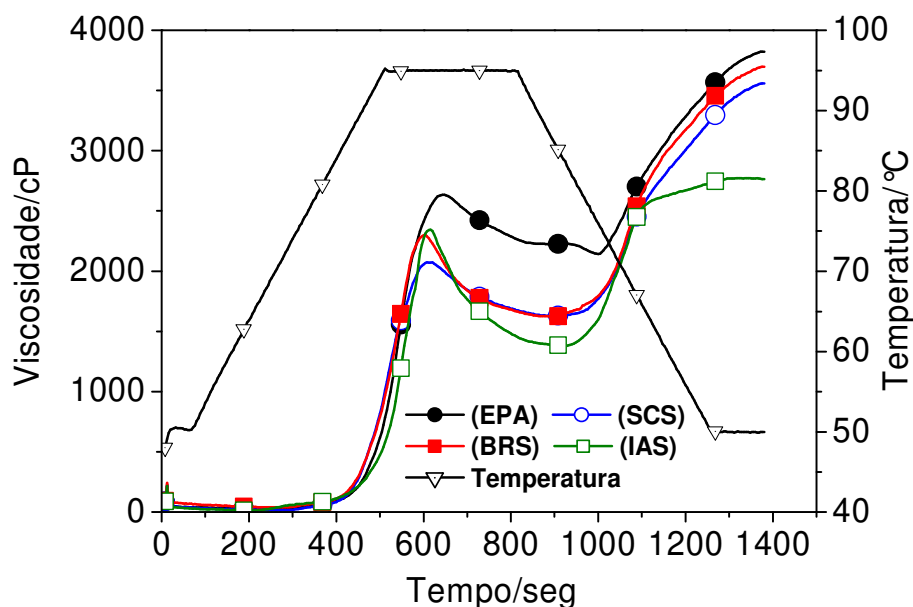


Tabela 3.5 - Resultados de RVA: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa.

Amostras	Temperatura de Pasta/°C	Viscosidade de pico/cP	Tempo de pico/seg	Setback/cP	Quebra/cP	Viscosidade Final/cP
(EPA)	88,08±0,60 ^b	2634±1,41 ^a	642±2,55 ^a	1681±2,12 ^c	491±1,41 ^c	3824±2,12 ^a
(SCS)	86,60±0,28 ^c	2073±2,83 ^d	610±2,97 ^b	1932±2,83 ^b	446±3,54 ^d	3560±2,12 ^c
(BRS)	86,63±0,39 ^c	2301±0,71 ^c	602±2,97 ^b	2070±7,78 ^a	675±2,83 ^b	3695±5,66 ^b
(IAS)	89,85±0,28 ^a	2345±0,71 ^b	614±2,97 ^b	1380±3,54 ^d	961±2,83 ^a	2763±1,41 ^d

(*) cP “centipoides”, (**) Médias seguidas de uma mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Setback: (Viscosidade final - viscosidade mínima). Quebra: (Viscosidade de pico - viscosidade mínima).

A viscosidade de pasta do amido é afetada por tratamentos pós-colheita e ambientais, de acordo com Beckles e Thitisaksakul (2014). Ao nível ambiental, variações na umidade do solo e disponibilidade de nutrientes, temperatura ambiente, e composição atmosférica afetam a funcionalidade do amido.

O tempo de pico foi maior na amostra (EPA) com valor de 642 segundos, sendo que as demais não diferiram significativamente ($p > 0,05$) entre si. A quebra da viscosidade variou de 446 a 961cP, nos amidos das cultivares SCS e IAS,

respectivamente. A resistência dos grânulos à ruptura durante a agitação sob aquecimento pode ser devido ao maior teor de proteínas e lipídeos no arroz. Segundo Likitwattanasade e Hongsprabhas (2010), as proteínas do arroz revestem os grânulos de amido, formando uma barreira espessa que regula seu inchamento e cisalhamento à quente.

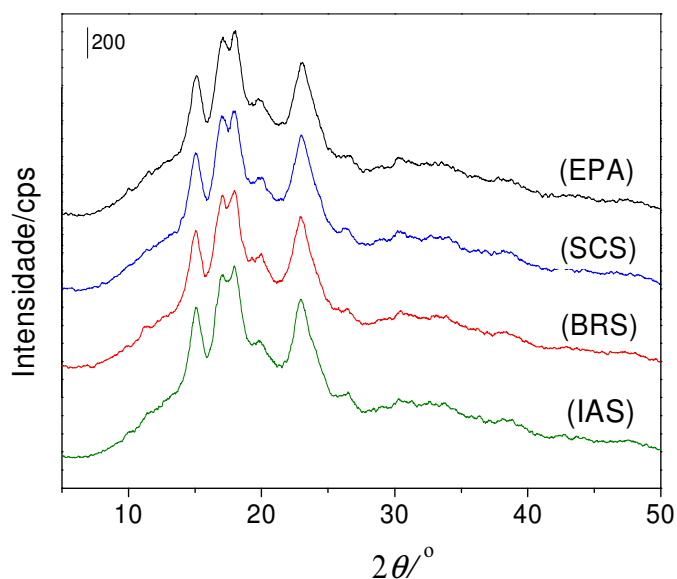
Para a viscosidade final ocorreu variação de 2763 a 3824 cP, para os amidos das cultivares IAS e EPA, respectivamente. A viscosidade final representará as características do produto acabado, quando assim for destinado o amido. Segundo Singh et al. (2003), a altura do pico reflete a habilidade dos grânulos de inchar livremente antes da quebra física e os amidos que são capazes de inchar a um alto grau, também são menos resistentes à quebra no cozimento, exibindo diminuição significativa na viscosidade, depois de atingir o pico máximo. De acordo com o tipo de alimento uma viscosidade maior ou menor será desejável, de acordo com as características do produto final na indústria de alimentos.

Comparando-se as temperaturas iniciais de gelatinização (T_0), obtidas do DSC, com as temperaturas de pasta do RVA, observa-se que a temperatura inicial de formação de pasta do amido de arroz apresentou valor menor, em relação à temperatura de pasta. Segundo Funami (2008), a mesma observação foi realizada para o amido em estudo. De acordo com Pérez et al. (1998), a temperatura de pasta obtida pelo RVA apresenta-se mais elevada, devido à menor sensibilidade em detectar os primeiros acréscimos na viscosidade de pasta dos amidos, diferentemente da temperatura inicial de gelatinização, que é detectada quando os primeiros grânulos começam a se desorganizar. Os valores do DSC são mais precisos, enquanto os do RVA apresentam uma faixa de temperatura (RAMIREZ ASCHERI et al., 2010).

A difração de raios X, apresentada na Figura 3.4, foi utilizada para verificar os picos principais e o grau de cristalinidade relativa das amostras estudadas.

A partir dos difratogramas foi possível determinar a posição dos quatro principais picos de cristalinidade relativa, sendo calculada segundo Bhattacharyya et al. (2004) e Colman et al. (2014). O grau de cristalinidade de amidos estão apresentados na Tabela 3.6.

Figura 3.4 - Difratometria de Raios X: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa.



A cristalinidade do grânulo de amido ocorre em função da molécula de amilopectina. A amilose, embora linear, não é responsável pela cristalinidade do amido, possivelmente pela conformação na forma de hélice, dificultando sua associação regular com outras cadeias (BLANSHARD, 1987).

Tabela 3.6 - Resultados de Raios X: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa.

Amostras	Picos(2θ)				Grau de cristalinidade relativa (%)
	1º	2º	3º	4º	
(EPA)	15,10±0,02 ^{ab}	17,12±0,04 ^a	18,04±0,04 ^a	23,09±0,03 ^a	22,38±0,3 ^a
(SCS)	15,06±0,03 ^{ab}	17,02± 0,02 ^b	17,88±0,03 ^b	22,98±0,01 ^b	21,82±0,12 ^b
(BRS)	15,12± 0,01 ^a	17,04±0,02 ^b	17,98±0,03 ^a	22,96±0,04 ^b	21,22±0,04 ^c
(IAS)	15,04±0,04 ^b	17,00±0,01 ^b	17,96±0,03 ^{ab}	22,94±0,02 ^b	20,42±0,05 ^d

(*) Grau de cristalinidade calculado e porcentagem, Picos determinados 2θ, (**) Médias seguidas de uma mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Cheetham e Tao (1998), observaram que o índice de cristalinidade relativa de amidos nativos variaram de 15 a 45%, dependendo da espécie vegetal. De acordo com Miao et al. (2009), as diferenças entre a cristalinidade dos amidos podem ser

atribuídas a fatores como o tamanho do cristal, número de regiões cristalinas, que são influenciadas pelo conteúdo de amilopectina e comprimento das cadeias.

Não foi observado deslocamento acentuado dos picos principais, mas a cristalinidade relativa calculada de acordo com a Equação 3.1 apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras de amido. As intensidades dos picos mais elevados indicam uma maior cristalinidade e os valores apresentados são semelhantes a estudos anteriores, onde a difração de raios X do amido em diferentes cultivares não cerosos apresentaram picos de $15,1^\circ$, $17,2^\circ$, $18,1^\circ$ e $23,2^\circ(2\theta)$, porém em cerosos $23,16^\circ(2\theta)$ (SINGH et al., 2007; YU et al., 2010).

A Figura 3.5 demonstra as micrografias obtidas através da microscopia de força atômica no método não contato e foram realizados os cálculos de diâmetro médio dos grânulos, além disso, foi calculada a rugosidade e os resultados são apresentados na Tabela 3.7.

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os diâmetros médios do grânulo de amido do arroz. Grânulos de amido de arroz de todas as amostras avaliadas apresentaram grânulos de tamanho uniforme em comparação com os grânulos de amido de arroz de outras cultivares, pois a estrutura granular do amido de arroz varia em tamanho e forma, entre diferentes cultivares.

Os valores encontrados foram similares aos observados por Zhang et al. (2010) com variação de 4,16 a 4,48 μm . Segundo Lawal et al. (2011), encontraram em sua investigação de 1,5 a 6,1 μm . De acordo com Wang et al. (2012), a variação 3,0 a 8,0 μm e formas similares.

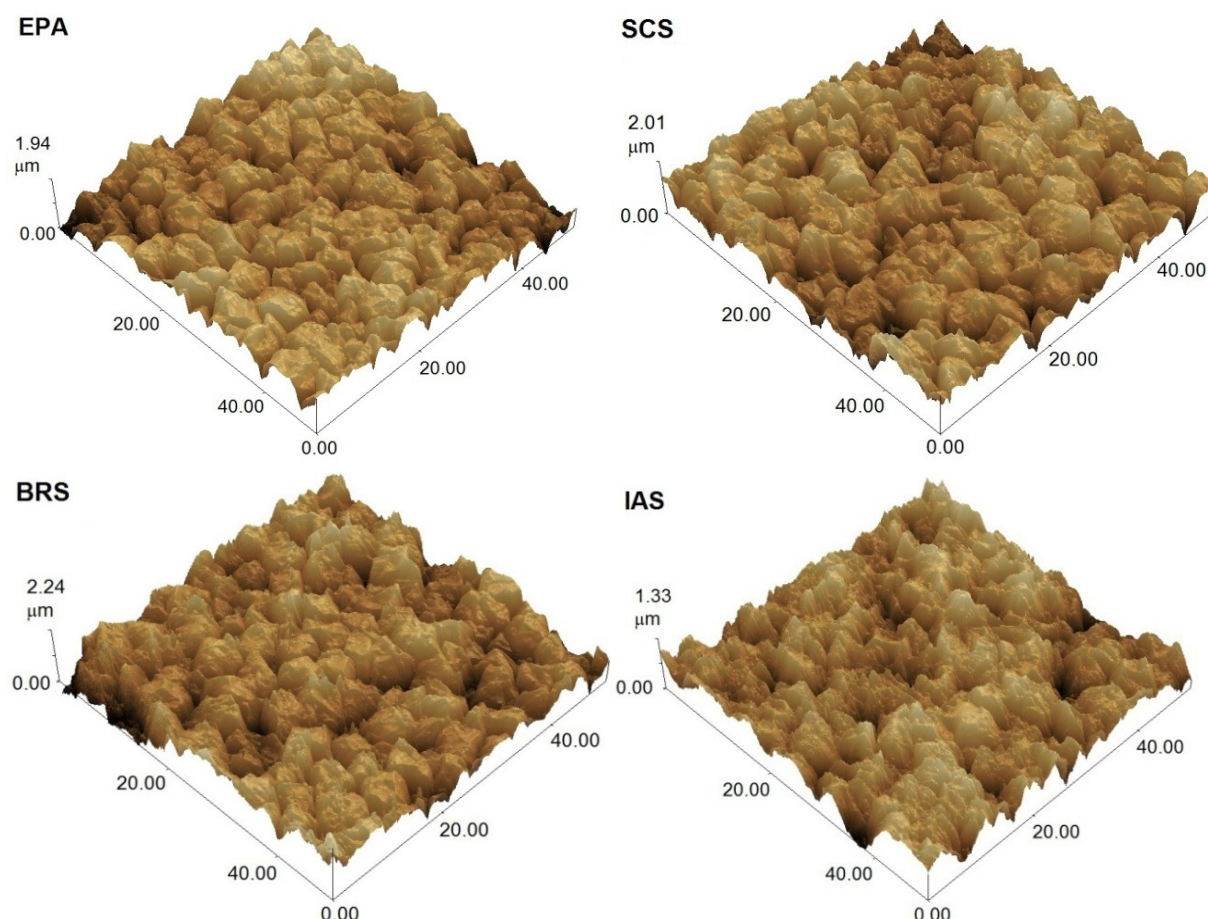
Tabela 3.7: Resultados da NC-AFM: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da Cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da Cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da Cultivar IAS 12-9 Formosa.

Amostra	$d_a/\mu\text{m}$	$r_a/\mu\text{m}$
(EPA)	$4,31 \pm 0,74^a$	$243,24^c$
(SCS)	$5,35 \pm 1,31^a$	$262,52^b$
(BRS)	$4,82 \pm 0,69^a$	$277,12^a$
(IAS)	$4,73 \pm 1,08^a$	$172,15^d$

(*) d_a Diâmetro médio, r_a Rugosidade média, (**) Médias seguidas de uma mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os amidos apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) em relação a rugosidade dos grânulos. A rugosidade apresentou variação de 172,15 a 277,12 μm para amidos das cultivares EPA e BRS, respectivamente.

Figura 3.5 - Micrografias obtidas pela NC-AFM: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa.



Os parâmetros de cor foram determinados e os resultados para os parâmetros L^* , a^* , b^* , WI , C^* e H^* foram apresentados na Tabela 3.8.

Na avaliação verificou-se que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) para as variáveis L^* , a^* e WI nas amostras. No entanto, para b^* , C^* e H^* houve diferença significativa ($p < 0,05$).

Para o parâmetro b^* , os valores são traduzidos para amostras com forte coloração amarelada ou dourada. Apresentou variação de 0,70 a 0,81, para as amostras (SCS) e (EPA), respectivamente. Da mesma maneira, a cromaticidade (C^*)

variou de 0,71 a 0,81 apresentou o mesmo comportamento, para as amostras (SCS) e (EPA), respectivamente.

Tabela 3.8 - Parâmetros de cor: (EPA) amido da cultivar Epagri 109, (SCS) amido da cultivar SCS 114 Andosan, (BRS) amido da cultivar BRS Firmeza, (IAS) amido da cultivar IAS 12-9 Formosa.

Amostras	L^*	a^*	b^*	WI	C^*	Hue*
(EPA)	99,94±0,40 ^a	-0,06±0,02 ^a	0,81±0,02 ^a	99,12±0,09 ^a	0,81±0,02 ^a	-85,31±1,36 ^{ab}
(SCS)	99,70±0,48 ^a	-0,08±0,03 ^a	0,70±0,02 ^c	99,15±0,22 ^a	0,71±0,02 ^b	-83,29±2,17 ^{ab}
(BRS)	99,33±0,30 ^a	-0,10±0,02 ^a	0,75±0,01 ^b	98,97±0,21 ^a	0,76±0,01 ^{ab}	-81,95±1,46 ^b
(IAS)	99,44±0,57 ^a	-0,20±0,28 ^a	0,80±0,02 ^a	98,94±0,32 ^a	0,80±0,02 ^a	-86,67±0,44 ^a

(*) Médias seguidas de uma mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). L^* (Luminosidade), Índice de Brancura (WI), Cromaticidade (C^*) e Tonalidade (Hue*)

A tonalidade cromática (H^*), cujo ângulo vai de vermelho (0°) até amarelo (90°), variou de -81,95 a -86,67 para amostras de amidos (BRS) e (IAS), respectivamente, com isso as amostras de amidos apresentaram tonalidades amareladas. As características encontradas no amido de arroz, foram maiores que as observadas por Falade et al. (2014), que encontrou para amido de arroz uma tonalidade cromática (H^*) com variação de - 63,80 a -64,00.

3.5 CONCLUSÃO

A extração alcalina de amido de arroz resultou em produto com baixo teor de lipídios, enquanto o menor teor de proteína foi verificado para a cultivar IAS, que apresenta o menor teor de amilose.

O maior e menor rendimento de extração de amido foi obtido com a cultivar EPA e IAS, respectivamente.

As propriedades térmicas indicaram que estes amidos apresentam diferenças nas propriedades de gelatinização. Nas propriedades de pasta, a cultivar EPA apresentou maior valor para viscosidade final e viscosidade máxima, enquanto a cultivar IAS apresentou maior quebra, que são características importantes para fabricação de alimentos.

As propriedades térmicas (T_o , T_p , T_c) e entalpia de gelatinização (ΔH_{gel}) apresentaram diferenças significativas, afetando deste modo a estabilidade de estruturas cristalinas entre os amidos de diferentes cultivares de arroz.

A microestrutura de grânulos do amido de arroz, dos diferentes cultivares, apresentou diâmetro médio com variação de 4,31 a 5,35 μm para as cultivares EPA e SCS, respectivamente.

Na caracterização da coloração dos amidos de arroz, não houve diferença significativa entre as cultivares na luminosidade (L^*), no componente de cor verde (a^* negativo) e índice de brancura (WI). As cultivares EPA e IAS apresentaram maior tendência a cor amarela (b^* positivo) e maior intensidade de brancura (WI).

REFERÊNCIAS

- AGGARWAL, P.; DOLLIMORE, D. A thermal analysis investigation of partially hydrolyzed starch. **Thermochimica Acta**, v. 319, n. April, p. 17–25, 1998.
- AOAC; **Official Methods of Analysis of AOAC International**. Gaithersburg: AOAC International, 1997.
- BANCHATHANAKIJ, R.; SUPHANTHARIKA, M. Effect of different β -glucans on the gelatinisation and retrogradation of rice starch. **Food Chemistry**, v. 114, n. 1, p. 5–14, 2009.
- BECKLES, D. M.; THITISAKSAKUL, M. How environmental stress affects starch composition and functionality in cereal endosperm. **Starch-Stärke**, v. 66, n. 1-2, p. 58–71, 2014.
- BEMILLER, J. N. Pasting, paste, and gel properties of starch–hydrocolloid combinations. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 2, p. 386–423, 2011.
- BENINCA, C.; COLMAN, T. A. D.; LACERDA, L. G.; et al. Thermal, rheological, and structural behaviors of natural and modified cassava starch granules, with sodium hypochlorite solutions. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 111, n. 3, p. 2217–2222, 2012.
- BENINCA, C.; COLMAN, T. A. D.; LACERDA, L. G.; et al. The thermal, rheological and structural properties of cassava starch granules modified with hydrochloric acid at different temperatures. **Thermochimica Acta**, v. 552, p. 65–69, 2013.
- BHATTACHARYYA, P.; GHOSH, U.; CHOWDHURI, U. R.; et al. Effects of different treatments on physico-chemical properties of rice starch. **Journal of Scientific & Industrial Research**, v. 63, n. October, p. 826–829, 2004.
- BLANSHARD, J. M. V. Starch granule structure and function: a physicochemical approach. In: GALLIARD, T. **Starch: Properties and Potentials**. Chichester: John Wiley, 1987. p. 16-54.
- CHEETHAM, N. W. .; TAO, L. Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: an X-ray powder diffraction study. **Carbohydrate Polymers**, v. 36, n. 4, p. 277–284, 1998.
- COLMAN, T. A. D.; DEMIATE, I. M.; SCHNITZLER, E. The effect of microwave radiation on some thermal, rheological and structural properties of cassava starch. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 115, n. 3, p. 2245–2252, 2014.
- COOKE, D.; GIDLEY, M. J. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinisation: origin of the enthalpic transition. **Carbohydrate Research**, v. 227, p. 103–112, 1992.
- DEEPA, G.; SINGH, V.; NAIDU, K. A. Nutrient composition and physicochemical properties of Indian medicinal rice – Njavara. **Food Chemistry**, v. 106, n. 1, p. 165–171, 2008.

DUANGMAL, K.; SAICHEUA, B.; SUEEPRASAN, S. Colour evaluation of freeze-dried roselle extract as a natural food colorant in a model system of a drink. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 8, p. 1437–1445, 2008.

FALADE, K. O.; SEMON, M.; FADAIRO, O. S.; OLADUNJOYE, A. O.; OROU, K. K. Functional and physico-chemical properties of flours and starches of African rice cultivars. **Food Hydrocolloids**, v. 39, p. 41–50, 2014.

FITZGERALD, M. A.; BERGMAN, C. J.; RESURRECCION, A. P.; et al. Addressing the Dilemmas of Measuring Amylose in Rice. **Cereal Chemistry**, v. 86, n. 5, p. 492–498, 2009.

FUNAMI, T.; KATAOKA, Y.; NODA, S.; et al. Functions of fenugreek gum with various molecular weights on the gelatinization and retrogradation behaviors of corn starch—1: Characterizations of fenugreek gum and investigations of corn starch/fenugreek gum composite system at a relatively high starch . **Food Hydrocolloids**, v. 22, n. 5, p. 763–776, 2008.

GRANATO, Daniel; MASSON, Maria Lucia. Instrumental color and sensory acceptance of soy-based emulsions: a response surface approach. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 4, p. 1090-1096, 2010.

HOOVER, R.; RATNAYAKE, R. M. W. S. Determination of total amylose content of starch. **Current protocols in food analytical chemistry** (Section E, Unit 2–3). John Wiley and Sons, USA. 2001.

Jl, Y. Waxy maize starch subpopulations with different gelatinization temperatures. **Carbohydrate Polymers**, v. 57, n. 2, p. 177–190, 2004.

JULIANO, B.O. Grain structure, composition and consumers' criteria for quality. In: JULIANO, B. O. **Rice in human nutrition**. Rome: FAO, 1993. p.35-59.

KRIEGER, K.; DUVICK, S.; POLLAK, L.; WHITE, P. Thermal Properties of Corn Starch Extracted with Different Blending Methods: Microblender and Homogenizer. **Cereal Chemistry**, v. 74, n. 5, p. 553–555, 1997.

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

LIKITWATTANASADE, T.; HONGSPRABHAS, P. Effect of storage proteins on pasting properties and microstructure of Thai rice. **Food Research International**, v. 43, n. 5, p. 1402–1409, 2010.

LIN, J.-H.; WANG, S.-W.; CHANG, Y.-H. Effect of molecular size on gelatinization thermal properties before and after annealing of rice starch with different amylose contents. **Food Hydrocolloids**, v. 22, n. 1, p. 156–163, 2008.

LU, Z.-H.; LI, L.-T.; MIN, W.-H.; WANG, F.; TATSUMI, E. The effects of natural fermentation on the physical properties of rice flour and the rheological characteristics of rice noodles. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 40, n. 9, p. 985–992, 2005.

MCGRANCE, S. J.; CORNELL, H. J.; RIX, C. J. A Simple and Rapid Colorimetric Method for the Determination of Amylose in Starch Products. **Starch - Stärke**, v. 50, n. 4, p. 158–163, 1998.

MIAO, M., ZHANG, T., JIANG, B. Characterisations of kabuli and desi chickpea starches cultivated in China. **Food Chemistry**, v.113, p.1025–1032, 2009.

MIR, S. A.; BOSCO, S. J. D.; SUNOOJ, K. V. Evaluation of physical properties of rice cultivars grown in the temperate region of India. **International Food Research Journal**, v. 20, n. 4, 2013.

MITCHELL, C. R. Rice starches: production and properties. **Starch: Chemistry and Technology**. 2009. 570.p

NODA, T.; TAKAHATA, Y.; SATO, T.; IKOMA, H.; MOCHIDA, H. Physicochemical Properties of Starches from Purple and Orange Fleshed Sweet Potato Roots at Two Levels of Fertilizer. **Starch-Stärke**, v. 48, n. 11-12, p. 395–399, 1996.

OMODUNBI, A.; EMMANUEL, A.; AKINTAYO, T. Morphological and functional properties of starches from cereal and legume : A comparative study. **International Journal of Biotechnology and Food Science**, v. 1, n.11, p. 72–83, 2013.

PÉREZ, E. E.; BREENE, W. M.; BAHNASSEY, Y. A. Variations in the gelatinization profiles of cassava, sagu and arrowroot native starches as measured with different thermal and mechanical methods. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 50, n. 2-3, p. 70-72, 1998.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A.-J. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 1, p. 36–60, 2012.

PUNCHA-ARNON, S.; UTTAPAP, D. Rice starch vs. rice flour: differences in their properties when modified by heat-moisture treatment. **Carbohydrate Polymers**, v. 91, n. 1, p. 85–91, 2013.

RAMIREZ ASCHERI, D. P.; DE SOUZA MOURA, W.; RAMÍREZ ASCHERI, J. L.; PILER DE CARVALHO, C. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DE RIZOMAS E AMIDO DO LÍRIO-DO-BREJO (*Hedychium coronarium*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 516- 570, 2010.

RUDNIK, E.; MATUSCHEK, G.; MILANOV, N.; KETTRUP, A. Thermal stability and degradation of starch derivatives. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 85, n. 2, p. 267–270, 2006.

SASAKI, T.; KOHYAMA, K.; SUZUKI, Y.; et al. Physicochemical characteristics of waxy rice starch influencing the in vitro digestibility of a starch gel. **Food Chemistry**, v. 116, n. 1, p. 137–142, 2009.

SINGH, J.; KAUR, L.; MCCARTHY, O. J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications—A review. **Food Hydrocolloids**, v. 21, n. 1, p. 1–22, 2007.

SINGH, N.; KAUR, L.; SANDHU, K. S.; KAUR, J.; NISHINARI, K. Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 4, p. 532–542, 2006.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SINGH SODHI, N.; SINGH GILL, B. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, n. 2, p. 219–231, 2003.

WANG, L.; WANG, Y.-J. Rice starch isolation by neutral protease and high-intensity ultrasound. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 2, p. 291–296, 2004.

WANG, L.; XIE, B.; SHI, J.; et al. Physicochemical properties and structure of starches from Chinese rice cultivars. **Food Hydrocolloids**, v. 24, n. 2-3, p. 208–216, 2010.

WANG, L.; XIE, B.; XIONG, G.; et al. Study on the granular characteristics of starches separated from Chinese rice cultivars. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 2, p. 1038–1044, 2012.

WANI, A. A. A.; SINGH, P.; SHAH, M. A. A.; et al. Rice Starch Diversity: Effects on Structural, Morphological, Thermal, and Physicochemical Properties - A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 11, n. 5, p. 417–436, 2012.

Waterschoot, J., Gomand, S. V., Fierens, E. and Delcour, J. A. Starch blends and their physicochemical properties. **Starch/Stärke**, 2014. doi: 10.1002/star.201300214

WU, F.; CHEN, H.; YANG, N.; et al. Effect of germination time on physicochemical properties of brown rice flour and starch from different rice cultivars. **Journal of Cereal Science**, v. 58, n. 2, p. 263–271, 2013.

YU, S.; MA, Y.; MENAGER, L.; SUN, D.-W. Physicochemical Properties of Starch and Flour from Different Rice Cultivars. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 2, p. 626–637, 2010.

ZAVAREZE, E. R.; HALAL, S.; PEREIRA, J.; et al. Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 5, p. 24–30, 2009.

ZHANG, Z.; ZHAO, S.; XIONG, S. Morphology and physicochemical properties of mechanically activated rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, n. 2, p. 341–348, 2010.

ZHU, L.-J.; LIU, Q.-Q.; WILSON, J. D.; GU, M.-H.; SHI, Y.-C. Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) flours and starches differing in amylose content. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 4, p. 1751–1759, 2011.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cultivares Índicas (EPA, SCS e BRS) apresentaram maior rendimento de inteiros quando comparadas com a cultivar Japônica (IAS), possivelmente por ter sido usado uma única regulação/ajuste no processo de polimento.

Variações na composição do arroz integral, das diferentes cultivares avaliadas, possivelmente porque as mesmas foram desenvolvidas sob diferentes condições, levando em consideração o solo, clima e outras condições de cultivo.

As cultivares avaliadas apresentaram perdas de ácido fítico e seis elementos minerais após o polimento. Tais minerais encontram-se dispostos, em elevada concentração, no farelo.

A extração alcalina de amido de arroz resultou em produto com baixas contaminações de proteínas e lipídeos. Em relação a cultivar IAS, apresentou menor teor de resíduo, sendo a cultivar representada pela subespécie Japônica.

As propriedades térmicas indicaram que estes amidos apresentam diferenças nas propriedades de pasta, porém estas diferenças não foram relacionadas diretamente ao teor de amilose, considerando-se as particularidades de cada cultivar.