

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**COMPOSIÇÃO QUÍMICA E PROPRIEDADES
ANTIOXIDANTES DE GRÃOS DE ARROZ COM
PERICARPO MARROM-CLARO, VERMELHO E
PRETO**

TESE DE DOUTORADO

Melissa Walter

**Santa Maria, RS, Brasil
2009**

**COMPOSIÇÃO QUÍMICA E PROPRIEDADES
ANTIOXIDANTES DE GRÃOS DE ARROZ COM PERICARPO
MARROM-CLARO, VERMELHO E PRETO**

por

Melissa Walter

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Agronomia.**

Orientador: Prof. Enio Marchesan

**Santa Maria, RS, Brasil
2009**

Walter, Melissa, 1980-

W233c

Composição química e propriedades antioxidantes de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto / por Melissa Walter ; orientador Enio Marchesan. - Santa Maria, 2009.

119 f. ; il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2009.

1. Agronomia 2. *Oryza sativa* 3. Arroz vermelho 4. Arroz preto 5. Compostos fenólicos 6. Atividade antioxidante I. Marchesan, Enio, orient. II. Título

CDU: 633.18

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2009

Todos os direitos autorais reservados a Melissa Walter. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Av. Borges de Medeiros, n. 733, Bairro Centro, Santa Rosa, RS, 98900-000

Fone (0xx) 55 35121456; Fax (0xx) 35121474; End. Eletr: melmelissaw@hotmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**COMPOSIÇÃO QUÍMICA E PROPRIEDADES ANTIOXIDANTES DE
GRÃOS DE ARROZ COM PERICARPO MARROM-CLARO,
VERMELHO E PRETO**

elaborada por
Melissa Walter

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Enio Marchesan, Dr.
(Presidente/Orientador)

Erna Vogt de Jong, Dra. (UFRGS)

Márcia Vizzotto, Dra. (Embrapa)

Leila Picolli da Silva, Dra. (UFSM)

Neila Silvia Pereira dos Santos Richards (UFSM)

Santa Maria, 27 de fevereiro de 2009

Aos meus pais, Nelsi e Osmar,
por todo amor, compreensão,
amizade, confiança, força e tempo
que sempre me dedicaram,
dedico esse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a meus pais, Nelsi e Osmar, que sempre me incentivaram e apoiaram, me ajudando a chegar onde estou hoje, e meus irmãos, André e Fábio.

Ao Curso de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos e auxílio financeiro para a realização desse projeto.

Ao meu orientador, prof. Marchesan, pela orientação e amizade.

Aos meus co-orientadores, Leila, Luis e Márcia, pela ajuda durante o desenvolvimento do projeto.

Aos meus colegas de setor, grandes amigos, Gustavo, Mezzomo, Fernando, Paulo, Mara, Cassol, Tiago, Meneghetti, Rafael, Diogo, Dâmaris, Marcos, Alejandro. Durante essa jornada, passamos por muitas coisas e aprendemos juntos.

Aos colegas do Nidal, Jaque, Cris, Bruna Alves e todos os outros que, de alguma forma, me auxiliaram.

Ao IRGA, aos pesquisadores Valmir Gaedke Menezes e Carlos Alberto Alves Fagundes, e à Epagri, ao pesquisador Moacir Antônio Schiocchet, pelos materiais genéticos utilizados no trabalho.

A todos aqueles que conheci na Universidade, aos colegas de curso, professores e funcionários, que participaram desse período da minha vida.

A todos meus sinceros agradecimentos.

“Não se compreende todo o caminho num grande e único passo: novas estradas se abrem quando se persiste no caminhar.”
(Paulo Freire)

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E PROPRIEDADES ANTIOXIDANTES DE GRÃOS DE ARROZ COM PERICARPO MARROM-CLARO, VERMELHO E PRETO

AUTORA: MELISSA WALTER

ORIENTADOR: ENIO MARCHESAN

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de fevereiro de 2009.

O arroz (*Oryza sativa*) destaca-se como um dos principais alimentos, tanto em produção como consumo. Embora o arroz normalmente cultivado na maioria dos países seja aquele com pericarpo marrom-claro, também existem grãos com pericarpo vermelho e preto, utilizados na alimentação em algumas regiões do mundo. O consumo desses grãos está relacionado principalmente as suas características sensoriais, mas algumas pesquisas demonstram que eles também podem apresentar diferenças nutricionais em relação ao arroz com pericarpo marrom-claro. Dessa forma, este trabalho foi conduzido com os objetivos de avaliar a composição química, as características antioxidantes e o efeito fisiológico em ratos, de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto, tanto de genótipos recomendados para cultivo como aqueles considerados daninhos, com vista a sua utilização na alimentação. Os grãos avaliados foram cultivados em ensaio de campo na safra 2006/07, sob iguais condições, em área de várzea da Universidade Federal de Santa Maria, RS. Para a avaliação da composição química foram determinados os teores de carboidratos totais, amilose, fibra alimentar, proteína, lipídios, matéria mineral e minerais, de grãos integrais. As características antioxidantes foram determinadas a partir da concentração de compostos fenólicos solúveis totais (CFST) e da atividade antioxidante (AAO), sendo avaliados grãos submetidos a diferentes processamentos (integral, polido, parboilizado integral e parboilizado polido; cru e cozido). Através de ensaio biológico, com ratos machos Wistar sadios alimentados com rações contendo grãos integrais de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho ou preto, ou ração controle, foi avaliado o efeito do consumo desses grãos. Foram avaliados o ganho de peso, consumo de ração, gordura epididimal, concentração sanguínea de glicose, triglicérides, colesterol total e HDL, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) e glutatona peroxidase no fígado, e peroxidação lipídica no sangue e no fígado. Os resultados mostraram diferença significativa na composição química entre grãos com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto, principalmente no teor de fibra e minerais, sendo que alguns genótipos com pericarpo vermelho e preto se destacaram por possuírem maior concentração de certos componentes avaliados, como proteína e minerais. Na caracterização antioxidante, foi observada diferença significativa na concentração de CFST e na AAO entre genótipos, sendo os maiores valores encontrados nos grãos com pericarpo vermelho e preto, com correlação positiva e significativa entre estes parâmetros. A parboilização reduziu a concentração de CFST nos grãos, com conseqüente redução da AAO. De forma semelhante, o cozimento dos grãos também reduziu a concentração de CFST, principalmente nos grãos integrais e polidos. No ensaio biológico não foi observado efeito significativo das rações contendo grãos de arroz para a maioria dos parâmetros avaliados, observando-se efeito somente para o peso da gordura epididimal e a atividade da enzima SOD no fígado, mas sem diferença entre os tipos de arroz. O aumento na atividade da enzima SOD pode indicar possível redução no estresse oxidativo do organismo, entretanto maiores estudos são necessários.

Palavras-chave: *Oryza sativa*; arroz vermelho; arroz preto; compostos fenólicos; atividade antioxidante

ABSTRACT

PhD Thesis
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

CHEMICAL COMPOSITION AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF RICE GRAINS WITH LIGHT-BROWN, RED AND BLACK PERICARP COLOR

**AUTHOR: MELISSA WALTER
ADVISOR: ENIO MARCHESAN
Santa Maria, February 27th 2009.**

Rice (*Oryza sativa*) stands out as an important food, considering production and consumption. Although the rice usually cultivated in most countries is the one with light-brown pericarp color, there are other grains with red and black pericarp color, used for food in some regions of the world. The consumption of these grains is mainly related to their organoleptic characteristics, but some researches demonstrate that they can also present nutritional differences compared to light-brown color rice grains. So, the present research aimed at evaluating the chemical composition, the antioxidant characteristics and the physiological effect on rats, of rice grains with light-brown, red and black pericarp color, from recommended genotypes and weedy rice, for their utilization in the diet. The grains were obtained in the 2006/07 growing season, under equal conditions, in the experimental area of Universidade Federal de Santa Maria, RS. For the evaluation of the chemical composition the contents of total carbohydrates, amylose, fiber, protein, lipids, mineral matter and minerals were determined in brown rice grains. The antioxidant characteristics were determined from the concentration of total soluble phenolic compounds (TSPC) and the antioxidant activity (AOA), evaluated in grains with different processing (brown, polished, parboiled brown and parboiled polished; raw and cooked). By a bioassay, with healthy Wistar male rats fed diets containing brown rice grains with light-brown, red or black pericarp color, or a control diet, the effect of the consumption of these grains was evaluated. Body weight gain, feed consumption, epididymal fat pad, blood concentration of glucose, triglycerides, total cholesterol and HDL cholesterol, activity of the enzymes superoxide dismutase (SOD) and glutathione peroxidase in the liver, and lipid peroxidation in the blood and liver were determined. The results showed significant difference in the chemical composition among grains with light-brown, red and black pericarp, mainly in the content of fiber and minerals, and some genotypes with red and black pericarp stood out with higher concentration of some of the components evaluated, like protein and minerals. In the antioxidant characterization, significant difference was observed in the concentration of TSPC and AOA among genotypes, with the higher values for grains with red and black pericarp color, with positive and significant correlation between these parameters. Parboiling reduced the concentration of TSPC in the grains, with reduction in the AOA. In a similar way, cooking of the grains also reduced the concentration of TSFC, especially in brown and polished grains. In the bioassay, no significant effect of the diets containing rice grains was observed for most of the evaluated parameters, with effect only on the weight of the epididymal fat pad and on the activity of SOD in the liver, but with no difference among rice types. The increase in the activity of SOD may indicate possible reduction in the oxidative stress of the organism, but more research is necessary.

Palavras-chave: *Oryza sativa*; red rice; black rice; phenolic compounds; antioxidant activity

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
CAPÍTULO 1	12
Arroz: composição e características nutricionais	12
Resumo	12
Abstract.....	12
Introdução.....	13
Estrutura e composição do grão	14
Carboidratos	14
Proteínas	16
Lipídios.....	18
Minerais.....	19
Vitaminas.....	20
Compostos fenólicos	21
Ácido fítico.....	22
Conclusões.....	22
CAPÍTULO 2	32
Compostos fenólicos e atividade antioxidante do arroz	32
Resumo	32
Abstract.....	32
Introdução.....	33
Compostos fenólicos	34
Compostos fenólicos e atividade antioxidante	35
Compostos fenólicos no arroz	36
Atividade antioxidante e efeito biológico.....	38

Considerações finais	40
CAPÍTULO 3	47
Multiplicação de material genético e caracterização de genótipos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto	47
Objetivos.....	47
Materiais e métodos.....	47
Resultados e discussão	50
CAPÍTULO 4	58
Composição química de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto.....	58
Resumo	58
Abstract.....	58
Introdução.....	59
Material e métodos	60
Resultados e discussão	61
CAPÍTULO 5	70
Caracterização das propriedades antioxidantes de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto, e efeito do processamento	70
Resumo	70
Abstract.....	71
Introdução.....	71
Material e métodos	72
Resultados e discussão	75
CAPÍTULO 6	88
Efeitos biológicos da utilização de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto na alimentação de ratos	88
Resumo	88
Abstract.....	88
Introdução.....	89
Material e métodos	90
Resultados e discussão	92
CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
REFERÊNCIAS	107

INTRODUÇÃO

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

O Brasil atualmente encontra-se entre os dez maiores produtores mundiais deste cereal, com produção de 13.140.900 toneladas (2,17% da produção mundial), destinada principalmente ao mercado interno (FAO, 2008). Neste contexto, o Rio Grande do Sul (RS) responde por aproximadamente 60% da produção nacional.

O arroz normalmente cultivado para consumo na maioria dos países, inclusive no Brasil, é aquele com pericarpo marrom-claro, mas também existem grãos com pericarpo vermelho e preto. A forma mais conhecida desses grãos é a espontânea, considerada uma planta daninha na cultura do arroz devido aos prejuízos à lavoura ocasionados pela competição por água, luz e nutrientes, afetando o desenvolvimento do arroz cultivado, e pela depreciação do produto final.

Entretanto, embora o arroz com pericarpo vermelho e preto seja normalmente visto como problema na orizicultura, em diversos países estes grãos são utilizados na alimentação, principalmente em países asiáticos, mas também na região Nordeste do Brasil, onde o consumo de arroz vermelho é um hábito alimentar da população local. Devido a essa utilização pela população, nos últimos anos os programas de melhoramento genético vêm desenvolvendo pesquisas de forma a obter genótipos melhorados, ampliando a disponibilidade desses grãos para consumo.

O consumo de grãos de arroz com pericarpo vermelho e preto está relacionado principalmente às características sensoriais, mas algumas pesquisas demonstram que eles também podem apresentar diferenças nas características nutricionais em relação ao arroz com pericarpo marrom-claro, principalmente no teor de proteínas, minerais e vitaminas. Além disso, a coloração do pericarpo dos grãos, uma das principais características que os diferencia visualmente, está vinculada ao acúmulo de compostos fenólicos, os quais têm sido relacionados a efeitos benéficos à saúde em diversos alimentos.

Considerando o exposto, a presente pesquisa foi conduzida com os objetivos de avaliar a composição química, as características antioxidantes e o efeito biológico de grãos de arroz

com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto, tanto de genótipos recomendados para cultivo como de genótipos considerados daninhos, como forma de melhor avaliar a utilização desses grãos na alimentação.

CAPÍTULO 1

ARROZ: COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS

Rice: composition and nutritional characteristics

Melissa Walter, Enio Marchesan, Luis Antonio de Avila

Ciência Rural, v.38, n.4, p.1184-1192, 2008

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Resumo

Devido à importância do arroz na dieta, sua composição e características nutricionais estão diretamente relacionadas à saúde da população. Esse cereal constitui fonte de energia, devido ao alto teor de amido, fornecendo também proteínas, lipídios, vitaminas e minerais. O presente trabalho de revisão objetivou examinar a composição do arroz, suas características nutricionais e o melhoramento destas através da genética. São observadas variações na composição do arroz, tanto devido ao genótipo quanto ao processamento, afetando as características nutricionais. O arroz apresenta efeito positivo na prevenção de diversas doenças crônicas devido a diferentes constituintes, e sua composição vem sendo melhorada através da genética, obtendo-se grãos com características nutricionais mais interessantes.

Palavras-chave: arroz, composição, carboidratos, proteínas, lipídios, compostos fenólicos.

Abstract

Due to the importance of rice in the diet, its composition and nutritional characteristics are related to human's health. This cereal is a source of energy, due to its high starch content, also providing proteins, lipids, vitamins and minerals. The present review aimed at examining rice composition, its nutritional characteristics, and the improvement of these characteristics through genetic modification. Variations in rice composition are observed due to genotype and processing, affecting nutritional characteristics. Rice has a positive effect on the prevention of several chronic diseases due to different constituents, and its composition have

been improved through genetic modifications, resulting in grains with more interesting nutritional characteristics.

Key words: rice, composition, carbohydrates, proteins, lipids, phenolic compounds.

Introdução

O arroz (*Oryza sativa*) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais de metade da população mundial. Sua importância destaca-se principalmente em países em desenvolvimento, tais como o Brasil, desempenhando papel estratégico em níveis econômico e social. A produção anual de arroz é de aproximadamente 606 milhões de toneladas. Nesse cenário, o Brasil participa com 13.140.900 t (2,17% da produção mundial) e destaca-se como único país não asiático entre os 10 maiores produtores (FAO, 2008).

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. Nos países em desenvolvimento, onde o arroz é um dos principais alimentos da dieta, ele é responsável por fornecer, em média, 715 kcal *per capita* por dia, 27% dos carboidratos, 20% das proteínas e 3% dos lipídios da alimentação. No Brasil, o consumo *per capita* é de 108 g por dia, fornecendo 14% dos carboidratos, 10% das proteínas e 0,8% dos lipídios da dieta (KENNEDY et al., 2002). Portanto, devido à importância do arroz na dieta de grande parte da população, sua qualidade nutricional afeta diretamente a saúde humana.

Diversos componentes do arroz, presentes no farelo e/ou no endosperma, têm sido relacionados a diferentes efeitos no organismo. Pesquisadores relatam efeitos benéficos à saúde, como auxílio no controle da glicose sanguínea, redução dos lipídios séricos e da pressão arterial, entre outros, auxiliando na prevenção e controle de doenças crônicas, como diabetes e doenças cardiovasculares (MILLER et al., 1992; KOIDE et al., 1996; QURESHI et al., 1997; RONG et al., 1997; XIA et al., 2003). Esses efeitos estão relacionados à presença dos compostos no grão, sendo portanto afetados por diferentes fatores, principalmente pela característica genotípica e pelo processamento. Pesquisas vêm sendo desenvolvidas a fim de melhorar a característica nutricional do arroz através do melhoramento genético, sendo que já foram obtidos grãos com maior teor de pró-vitamina A, ferro, zinco e alguns aminoácidos.

Essa revisão bibliográfica objetivou examinar a composição do arroz, suas características nutricionais, e o melhoramento destas características através da genética.

Estrutura e composição do grão

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

Através da descascagem, separa-se a casca da cariopse, obtendo-se o arroz integral. Esse pode ser polido para remoção do farelo (pericarpo, tegumento, camada de aleurona e gérmen), que representa 8,5-14,8% do arroz integral (JULIANO & BECHTEL, 1985), obtendo-se o arroz branco polido. Os grãos também podem ser submetidos à parboilização, processo hidrotérmico através do qual se obtém o arroz parboilizado, o qual pode ser consumido na forma integral ou polido.

O arroz é constituído principalmente por amido, apresentando quantidades menores de proteínas, lipídios, fibras e cinzas (Tabela 1). Entretanto, a composição do grão e de suas frações está sujeita a diferenças varietais, variações ambientais, de manejo, de processamento e de armazenamento (ZHOU et al., 2002), produzindo grãos com características nutricionais diferenciadas. Além disso, os nutrientes não estão uniformemente distribuídos nas diferentes frações do grão. As camadas externas apresentam maiores concentrações de proteínas, lipídios, fibra, minerais e vitaminas, enquanto o centro é rico em amido. Dessa forma, o polimento resulta em redução no teor de nutrientes, exceto de amido, originando as diferenças na composição entre o arroz integral e o polido.

Carboidratos

Os carboidratos são os principais constituintes do arroz. Além do amido, que corresponde a aproximadamente 90% da matéria seca do arroz polido, também estão presentes açúcares livres e fibra. Enquanto o endosperma é composto principalmente por

amido, o farelo e o gérmen apresentam principalmente fibra, contendo pequenas quantidades de outros carboidratos (JULIANO, 1993).

O amido é um homopolissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina. As proporções em que estas cadeias aparecem diferem entre genótipos, podendo-se classificar os 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, 1993). O conteúdo de amilose é 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 (ONG & BLANSHARD, 1995).

A concentração de amido no arroz pode variar devido a fatores genéticos e ambientais, como observado por FREI et al. (2003), que obteve teores de amido entre 72 e 82% em arroz integral de diferentes cultivares. O processamento também influencia o percentual de amido, sendo este maior no arroz branco polido (87,58%) e no parboilizado polido (85,08%) comparado ao integral (74,12%) (Tabela 1), devido à remoção do farelo. Além das variações na concentração, são observadas diferenças na taxa e extensão da digestão do amido, que podem ser influenciadas pela variação na proporção amilose:amilopectina, processamento do grão, propriedades físico-químicas, tamanho de partícula e presença de complexos lipídio-amilose (GODDARD et al., 1984), afetando significativamente algumas respostas metabólicas importantes no organismo. Dessa forma, embora normalmente o arroz seja classificado como um alimento de alta resposta glicêmica comparado a outros produtos amiláceos, são relatados índices glicêmicos variando de 54 a 121%, para o arroz branco polido (MILLER et al., 1992).

Uma das principais características relacionadas à resposta metabólica ao arroz consumido é a relação amilose:amilopectina. O maior teor de amilose no arroz, assim como em outros alimentos amiláceos, resulta em menor resposta glicêmica e insulinêmica (GODDARD et al., 1984; MILLER et al., 1992). Essas diferenças fisiológicas são interessantes na prevenção e tratamento de doenças, como o diabetes, pois a menor digestão e absorção de carboidratos auxilia na manutenção de níveis regulares de glicose no sangue (VELANGI et al., 2005). O consumo de alimentos com menor resposta glicêmica também tem sido associado à redução dos lipídios séricos em pacientes hiperlipidêmicos, diminuindo os riscos de desenvolvimento de doenças cardiovasculares (JENKINS et al., 2002).

O arroz apresenta pequena quantidade de açúcares livres, localizados principalmente nas camadas externas do grão, sendo sua concentração afetada pela variedade, grau de polimento e processamento. Os principais açúcares no arroz são sacarose (aproximadamente 90%), glicose e frutose (MATSUO et al., 1995). TRAN et al. (2004) observaram para o arroz integral 685 mg 100g⁻¹ de sacarose e 40 mg 100g⁻¹ de glicose, ocorrendo redução significativa nos teores após o polimento, com valores de 142 e 20 mg 100g⁻¹ para sacarose e glicose, respectivamente.

Os polissacarídeos não digeridos pelas enzimas no trato gastrointestinal, como celulose, hemiceluloses, amido resistente e pectinas, fazem parte da fração fibra alimentar, que pode ser dividida em solúvel e insolúvel. Sua concentração é maior nas camadas externas do grão e diminui em direção ao centro, resultando em baixa concentração desses componentes nos grãos submetidos ao polimento (Tabela 1). Além das diferenças nos teores de fibra total devido às características genótípicas e de processamento, LAI et al. (2007) observaram diferenças na proporção dos componentes da fibra entre arroz ceroso e não ceroso. O arroz ceroso apresentou maior proporção de hemiceluloses (41,1%), com menor concentração de substâncias pécnicas (31,9%) e celulose (26,9%). Já o não ceroso apresentou maior quantidade de substâncias pécnicas (43,7%) e menor de celulose (32,7%) e hemiceluloses (23,7%).

A fibra alimentar exerce diferentes funções no organismo humano. Sua capacidade de retenção de água auxilia na prevenção da constipação (WARNER, 1981). Além disso, por não ser digerida, a fibra torna-se disponível para fermentação pela microflora no intestino grosso, com diferentes efeitos no organismo. O maior consumo de fibra na dieta tem sido associado à redução na pressão arterial, na concentração de colesterol total, colesterol LDL e triglicerídeos, e ao controle da glicose sanguínea (LI et al., 2003; BEHALL et al., 2006), auxiliando na prevenção e controle de algumas doenças crônicas, como diabetes e doenças cardiovasculares. Entretanto, pesquisadores relatam que, em alguns casos, a fibra pode prejudicar a absorção de minerais devido a sua capacidade de ligação e/ou seqüestro desses.

Proteínas

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% (LUMEN & CHOW, 1995), a qual é afetada por características genótípicas, adubação nitrogenada, radiação solar e temperatura durante o desenvolvimento do grão (JULIANO & BECHTEL, 1985). As proteínas podem ser classificadas em albumina, globulina, prolamina e glutelina, e estão organizadas em dois tipos de corpos protéicos no endosperma. Os corpos

protéicos I são grandes estruturas esféricas, com anéis concêntricos, ricos em prolamina. Já os corpos protéicos II não apresentam a estrutura em anéis, e são ricos em glutelina e globulina (ZHOU et al., 2002). No endosperma, a glutelina forma a principal fração, correspondendo a aproximadamente 80% das proteínas, com menor concentração de albumina e globulina (15%) e prolamina (5-8%). Já o farelo apresenta aproximadamente 60% de albumina, seguido por prolamina e glutelina (27%) e globulina (7%) (JULIANO, 1993). Portanto, a composição em proteínas do endosperma difere do farelo.

A composição em proteínas também é afetada pela característica genotípica. LIU et al. (2005b) observaram não só diferença na concentração total de proteínas (7,35-11,47%) entre genótipos, como também variação nos tipos de proteínas. A maior variação foi observada para a glutelina, com concentração no grão entre 5,9-9,8%, e correlação positiva com o teor total de proteínas, sendo menores as diferenças para prolamina (0,69-0,77%), globulina (0,37-0,52%) e albumina (0,38-0,49%).

A qualidade da proteína depende de seu conteúdo em aminoácidos. Similar a outros cereais, o arroz apresenta a lisina como aminoácido limitante. Entretanto, entre os cereais, o arroz apresenta uma das maiores concentrações de lisina, resultando em balanço de aminoácidos mais completo (JULIANO, 1993). Assim como são observadas variações no teor total de proteínas, também existem diferenças na composição em aminoácidos das proteínas entre o arroz integral e o polido.

Além dos aminoácidos protéicos, o arroz também apresenta pequena quantidade de aminoácidos livres, localizados principalmente no gérmen (594,9 mg 100g⁻¹) e no farelo (361,4 mg 100g⁻¹), com pequena concentração no endosperma (52,7 mg 100g⁻¹). Entre os aminoácidos livres, predominam aspartato e glutamato, que correspondem a aproximadamente 60% do total (SAIKUSA et al., 1994).

Para melhorar o perfil de aminoácidos, pesquisas vêm sendo conduzidas visando aumentar a concentração de certos aminoácidos, como lisina, metionina e cisteína, através de modificação genética. ZHENG et al. (1995) avaliaram a introdução do gene da β -faseolina, proteína de armazenamento do feijão com conteúdo de lisina relativamente alto (6%), observando aumento significativo no teor desse aminoácido nos grãos. SINDHU et al. (1997) relataram a integração, síntese e acúmulo de legumina, uma proteína de armazenamento da ervilha com maior proporção de lisina, enquanto KATSUBE et al. (1999) relataram a transferência e acúmulo de glicinina, uma proteína da soja, melhorando a composição em aminoácidos no arroz transformado. Com o objetivo de aumentar o conteúdo de aminoácidos sulfurados (metionina e cisteína), LEE et al. (2003) avaliaram a introdução do gene da

proteína 2S albumina de gergelim, rica nesses aminoácidos, observando aumento na concentração de metionina (entre 29 e 76%), cisteína (31 a 75%) e proteína total (0,64 a 3,54%) no arroz transformado.

Lipídios

Os lipídios podem ser encontrados organizados em corpos lipídicos (esferossomos) na camada de aleurona, no embrião e no endosperma, ou associados a grânulos de amido (LUMEN & CHOW, 1995). Entretanto, a maior concentração ocorre no gérmen (1/3 do conteúdo total) e na camada de aleurona. Dessa forma, a concentração de lipídios é maior no arroz integral, sendo reduzida com o polimento, geralmente observando-se concentrações inferiores a 1% no arroz polido (Tabela 1).

O teor de lipídios no grão também é afetado pelas características genótípicas. TAIRA & ITANI (1988), avaliando grãos integrais de diferentes cultivares, obtiveram valores entre 2,3 e 3,2%, enquanto os resultados de MANO et al. (1999) variaram entre 2,2 e 2,6%. Na fração lipídica, foi observada proporção de 84-87% de lipídios neutros, 5-7% de glicolipídios e 7-9% de fosfolipídios. Na fração lipídios neutros, 63-69% eram triglicerídeos. A fração de glicolipídios foi formada principalmente por esterilglicosídeos (31-35%), acilesterilglicosídeos (19-23%), cerebrosídeos (20-22%) e diglicosildiacilgliceróis (15-18%). Na fração fosfolipídios predominaram fosfatidilcolina (41-42%), fosfatidiletanolamina (31-33%) e fosfatidilinositol (15-17%) (MANO et al. 1999).

Os principais ácidos graxos no arroz são os ácidos palmítico (16:0), oléico (18:1) e linoléico (18:2), correspondendo a aproximadamente 95% dos ácidos graxos presentes nos lipídios totais (TAIRA & ITANI, 1988; MANO et al., 1999). Portanto, o arroz contém proporção significativa de ácidos graxos insaturados, que possuem papel importante em vários processos fisiológicos e que, por não serem sintetizados pelo organismo humano, devem ser supridos pela alimentação.

O óleo do farelo de arroz apresenta uma fração conhecida como matéria insaponificável, correspondendo a aproximadamente 4% do óleo, que consiste de fitosteróis, álcoois triterpênicos, ésteres do ácido ferúlico (γ -orizanól), tocóis (vitamina E, tocoferóis e tocotrienóis), entre outros compostos (QURESHI et al., 1997). Aproximadamente 50% da matéria insaponificável é constituída por γ -orizanól, um mistura de ésteres de ácido ferúlico com fitosteróis e álcoois triterpênicos (RONG et al., 1997). Estudos têm associado o óleo do farelo de arroz à redução no colesterol total e ao aumento do colesterol HDL, auxiliando na prevenção de doenças cardiovasculares. Esses efeitos são associados não somente à

composição em ácidos graxos do óleo, mas também à matéria insaponificável presente, principalmente γ -orizanol, tocotrienóis e esteróis, atuando de diferentes formas para a redução do colesterol (QURESHI et al., 1997; RONG et al., 1997; VISSERS et al., 2000).

Minerais

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 (JULIANO & 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 (Tabela 2), 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).

Com a parboilização, observa-se aumento no conteúdo mineral comparado ao arroz branco polido (Tabela 1), relacionado à migração de minerais das camadas externas para o endosperma durante o processo (JULIANO, 1993). Entretanto, avaliando-se individualmente os minerais, são observados comportamentos diferenciados. STORCK (2004) e HEINEMANN et al. (2005) relatam maiores concentrações de potássio e fósforo no arroz parboilizado polido comparado ao branco polido, sem efeito na concentração de magnésio. Por outro lado, as concentrações de manganês, zinco e sódio são menores, indicando que os minerais apresentam diferentes padrões de migração durante a parboilização, afetando diferentemente sua concentração nos grãos.

Além do processamento, o genótipo também afeta de forma expressiva o conteúdo de minerais, e estudos têm demonstrado maior concentração de alguns minerais em grãos de arroz com pericarpo vermelho e preto (ITANI et al., 2002; MENG et al., 2005).

Devido à importância do arroz na alimentação, pesquisas vêm sendo desenvolvidas para aumentar a concentração de minerais no grão, principalmente ferro e zinco. Uma das formas utilizadas é o melhoramento convencional, a partir de genótipos com maior

concentração destes minerais, visto que existe grande variação na concentração de ferro (2-52 $\mu\text{g g}^{-1}$) e zinco (6-28 $\mu\text{g g}^{-1}$) entre genótipos (JULIANO, 1985). A transgenia também vem sendo utilizada com esse objetivo. VASCONCELOS et al. (2003) avaliaram a introdução no arroz do gene da ferritina da soja, uma proteína armazenadora de ferro. Foram observados aumentos de até quatro vezes na concentração de ferro, tanto no arroz integral (71 $\mu\text{g g}^{-1}$ vs. 15,7 $\mu\text{g g}^{-1}$) como no branco polido (37 $\mu\text{g g}^{-1}$ vs. 10 $\mu\text{g g}^{-1}$). Segundo os autores, o consumo desse arroz pode suprir até 33% da recomendação diária de ferro com 300 g de grãos. Entretanto, ainda são necessários maiores estudos para avaliar a biodisponibilidade deste mineral.

Além do aumento na concentração de ferro, VASCONCELOS et al. (2003) observaram também aumento na concentração de zinco nos grãos com ferritina. O arroz integral apresentou valores máximos de 55,5 $\mu\text{g g}^{-1}$, comparado ao controle contendo 33,6 $\mu\text{g g}^{-1}$. Embora não se saiba a razão desse aumento, sabe-se que a concentração de ferro e zinco no grão está correlacionada, isto é, alterações nos níveis de um afetam os níveis do outro, sugerindo um possível mecanismo regulatório comum.

Vitaminas

O arroz contém principalmente vitaminas do complexo B e α -tocoferol (vitamina E), com concentrações insignificantes das vitaminas A, D e C. A concentração é maior nas camadas externas do grão, sendo que, para tiamina, riboflavina, niacina e α -tocoferol, aproximadamente 78, 47, 67 e 95%, respectivamente, estão presentes no farelo (JULIANO, 1993). Dessa forma, o polimento reduz significativamente a concentração de vitaminas (Tabela 3).

Pesquisas vêm sendo desenvolvidas para aumentar a concentração de vitaminas no arroz, melhorando suas características nutricionais. Entre elas, destacam-se aquelas relacionadas à vitamina A devido à importância de sua deficiência, que atinge milhões de pessoas, e seus efeitos na saúde. As pesquisas levaram à obtenção do *Golden rice*, um arroz transgênico contendo carotenóides em seu endosperma, precursores da vitamina A. Para obtenção do *Golden rice*, os pesquisadores avaliaram a expressão no arroz de enzimas importantes na biossíntese da pró-vitamina A, como fitoeno sintase do milho ou de *Narcissus pseudonarcissus*, caroteno desaturase de *Erwinia uredovora* e licopeno β -ciclase de *Narcissus pseudonarcissus* (BEYER et al., 2002; PAINE et al., 2005). No trabalho desenvolvido por PAINE et al. (2005), foram obtidos grãos contendo 37 $\mu\text{g g}^{-1}$ de

carotenóides totais, sendo aproximadamente 84% de β -caroteno (principal precursor). Segundo os autores, considerando uma concentração média de $25 \mu\text{g g}^{-1}$ de β -caroteno, atinge-se 50% da recomendação diária de vitamina A para crianças com 72 g desse arroz. Entretanto, são necessárias mais pesquisas para avaliar outros fatores, como absorção do β -caroteno e conversão em vitamina A.

Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos, ou polifenóis, são metabólitos secundários dos vegetais com diferentes funções nas plantas. Eles podem ser classificados em diferentes grupos, sendo os ácidos fenólicos, os flavonóides e os taninos os principais na dieta (KING & YOUNG, 1999).

Diversos compostos fenólicos já foram identificados, destacando-se no arroz os ácidos fenólicos, principalmente os ácidos ferúlico e p -cumárico (TIAN et al., 2004; ZHOU et al., 2004) e no arroz com pericarpo vermelho e preto, as antocianinas cianidina-3-O- β -D-glicosídeo e peonidina-3-O- β -D-glicosídeo (MORIMITSU et al., 2002). Outros compostos identificados no arroz incluem os ácidos vanílico, siríngico, caféico, gálico, protocatéuico, hidroxibenzóico, sinápico e clorogênico, e os ésteres 6'-O-(E)-feruloilsacarose, 6'-O-(E)-sinapoilsacarose e γ -orizanol (TIAN et al., 2004; ZHOU et al., 2004). No arroz com pericarpo vermelho e preto também foram identificadas as antocianidinas cianidina e malvidina, procianidinas poliméricas, siringaldeído, vanilina, ácidos p -cumárico, 4,7-dihidroxivanílico, protocatéuico metil éster, sinápico, ferúlico e caféico, 6'-O-(E)-feruloilsacarose, 6'-O-(E)-sinapoilsacarose e γ -orizanol (MORIMITSU et al., 2002; HYUN & CHUNG, 2004). Os polifenóis estão localizados principalmente no pericarpo, sendo a maior parte removida durante o polimento (TIAN et al., 2004), e sua concentração é maior no arroz com pericarpo vermelho e preto (NAM et al., 2005).

Além de suas conhecidas funções nos vegetais, pesquisas têm demonstrado o efeito benéfico de compostos fenólicos de diferentes fontes, inclusive do arroz, na saúde humana. Este efeito decorre de sua ação antioxidante, auxiliando na prevenção de danos celulares e de doenças crônicas, incluindo doenças cardiovasculares, envelhecimento, diabetes e câncer (KOIDE et al., 1996; XIA et al., 2003; HYUN & CHUNG, 2004). No arroz, maior atividade antioxidante é observada nos grãos integrais e naqueles com pericarpo vermelho e preto, devido à maior concentração de polifenóis (NAM et al., 2005).

Ácido fítico

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 (LIU et al., 2005a). O teor é maior nas camadas externas do grão (aproximadamente 88%), estando associado principalmente à camada de aleurona. 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. Também são observadas diferenças genotípicas na sua concentração (LIU et al., 2005a).

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). Entretanto, pesquisas têm demonstrado que esse composto pode auxiliar na manutenção da saúde. Devido a sua capacidade de quelar ferro, o qual participa de reações oxidantes, ele apresenta efeito antioxidante (GRAF & EATON, 1990). O ácido fítico também tem sido relacionado à redução nos riscos de desenvolvimento de diferentes tipos de câncer devido a sua ação antioxidante, redução da proliferação celular (GRAF & EATON, 1990), indução à diferenciação celular (SHAMSUDDIN et al., 1997) e à apoptose (VERGHESE et al., 2006). LEE et al. (2005) e LEE et al. (2006) relatam também a redução de lipídios no soro e no fígado e dos níveis sanguíneos de glicose em ratos diabéticos, podendo auxiliar no controle do diabetes.

Conclusões

As variações na composição do arroz, tanto devido ao genótipo quanto ao processamento, são interessantes para a alimentação, devido à diferença nas características nutricionais, podendo-se utilizar o arroz com diferentes fins na dieta. Por exemplo, grãos com menor índice glicêmico podem ser indicados para auxiliar na prevenção e/ou controle do diabetes, grãos com maior teor de minerais podem ser indicados para pessoas em risco nutricional por deficiência da ingestão desses micronutrientes, entre outros. Deve-se salientar que a principal forma de consumo do grão, o arroz branco polido, apresenta redução na concentração da maioria dos nutrientes, afetando significativamente as características nutricionais. O arroz apresenta efeito positivo na prevenção de diversas doenças crônicas devido a diferentes constituintes, mas é deficiente em alguns nutrientes. Nos últimos anos,

pesquisas vêm sendo desenvolvidas visando contornar esses problemas, utilizando tanto o melhoramento convencional como a transgenia, obtendo-se grãos com características nutricionais mais interessantes para o consumo humano. Cada vez mais, o arroz se destaca não somente como um dos principais alimentos para a população, mas também como um alimento de qualidade, que pode auxiliar na manutenção da saúde, devendo ser incentivada a produção desse cereal e a continuidade das pesquisas.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de estudo e produtividade dos autores.

Tabela 1 - Composição centesimal média (% na matéria seca) de arroz integral, branco polido e parboilizado polido

Constituinte	Arroz integral	Arroz branco polido	Arroz parboilizado polido
Amido total	74,12	87,58	85,08
Proteínas (N x 5,95)	10,46	8,94	9,44
Lipídios	2,52	0,36	0,69
Cinzas	1,15	0,30	0,67
Fibra total	11,76	2,87	4,15
Fibra insolúvel	8,93	1,05	1,63
Fibra solúvel	2,82	1,82	2,52

Fonte: Adaptado de STORCK (2004).

Tabela 2 - Concentração de minerais em arroz integral e branco polido.

Mineral	Arroz integral	Arroz branco polido
Macrominerais (mg g ⁻¹ , com 14% de umidade)		
Cálcio	0,1-0,5	0,1-0,3
Magnésio	0,2-1,5	0,2-0,5
Fósforo	1,7-4,3	0,8-1,5
Potássio	0,6-2,8	0,7-1,3
Silício	0,6-1,4	0,1-0,4
Enxofre	0,3-1,9	0,8
Microminerais (µg g ⁻¹ , com 14% de umidade)		
Alumínio	0,3-26,0	0,1-2,2
Cádmio	0,02-0,16	0,025
Cloro	210-560	200-300
Cobalto	0,03-0,04	0,017
Cobre	1-6	2-3
Iodo	0,03	0,02
Ferro	2-52	2-28
Manganês	2-36	6-17
Níquel	0,2-0,5	0,14
Selênio	0,3	0,3
Sódio	17-340	5-86
Zinco	6-28	6-23

Fonte: Adaptado de JULIANO (1985).

Tabela 3 - Conteúdo de vitaminas ($\mu\text{g g}^{-1}$ com 14% de umidade) em arroz integral e branco polido

Vitamina	Arroz integral	Arroz branco polido
Retinol (A)	0-0,11	0-tr ^a
Tiamina (B ₁)	2,9-6,1	0,2-1,1
Riboflavina (B ₂)	0,4-1,4	0,2-0,6
Niacina (B ₃)	35-53	13-24
Ácido pantotênico (B ₅)	9-15	3-7
Piridoxina (B ₆)	5-9	0,4-1,2
Biotina (B ₇)	0,04-0,10	0,01-0,06
Ácido fólico (B ₉)	0,1-0,5	0,03-0,14
Cianocobalamina (B ₁₂)	0-0,004	0-0,0014
Ácido ρ -aminobenzóico	0,3	0,12-0,14
α -tocoferol (E)	9-25	tr-3

^a traços.

Fonte: Adaptado de JULIANO & BECHTEL (1985).

Referências

BEHALL, K. M. et al. Whole-grain diets reduce blood pressure in mildly hypercholesterolemic men and women. **Journal of the American Dietetic Association**, v.106, p.1445-1449, 2006.

BEYER, P. et al. Golden rice: introducing the β -carotene biosynthesis pathway into rice endosperm by genetic engineering to defeat vitamin A deficiency. **Journal of Nutrition**, v.132, p.506S-510S, 2002.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistical databases**. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 15 abr. 2008.

FREI, M. et al. Studies on in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. **Food Chemistry**, v.83, p.395-402, 2003.

GODDARD, M. S. et al. The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.39, p.388-392, 1984.

GRAF, E.; EATON, J. W. Antioxidant functions of phytic acid. **Free Radical Biology and Medicine**, v.8, p.61-69, 1990.

HEINEMANN, R. J. B. et al. Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.18, n.4, p.287-296, 2005.

HUNT, J. R. et al. 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, p.5229-5235, 2002.

HURRELL, R. F. et al. Degradation of phytic acid in cereal porridges improves iron absorption by human subjects. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.77, p.1213–1219, 2003.

HYUN, J. W.; CHUNG, H. S. Cyanidin and malvidin from *Oryza sativa* cv. Heugjinjubyeo mediate cytotoxicity against human monocytic leukemia cells by arrest of G₂/M phase and induction of apoptosis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.52, p.2213-2217, 2004.

ITANI, T. et al. Distribution of amylose, nitrogen, and minerals in rice kernels with various characters. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, p.5326-5332, 2002.

JENKINS, D. J. A. et al. Glycemic index: overview of implications in health and disease. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.76, p.266S-273S, 2002.

JULIANO, B. O. Polysaccharides, proteins, and lipids of rice. In: JULIANO, B. O. (Ed.). **Rice: chemistry and technology**. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1985. Cap. 3, p.59-174.

JULIANO, B. O. **Rice in human nutrition**. Rome: FAO, 1993. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 01 dez. 2006.

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

KATSUBE, T. et al. Accumulation of soybean glycinin and its assembly with the glutelins in rice. **Plant Physiology**, v.120, p.1063-1073, 1999.

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

KING, A.; YOUNG, G. Characteristics and occurrence of phenolic phytochemical. **Journal of the American Dietetic Association**, v.99, p.213-218, 1999.

KOIDE, T. et al. Antitumor effect of hydrolyzed anthocyanin from grape rinds and red rice. **Cancer Biotherapy and Radiopharmaceuticals**, v.11, n.4, p.273-277, 1996.

LAI, V. M. F. et al. Non-starch polysaccharide compositions of rice grains with respect to rice variety and degree of milling. **Food Chemistry**, v.101, p.1205-1210, 2007.

LEE, S. H. et al. Effects of dietary phytic acid on serum and hepatic lipid levels in diabetic KK mice. **Nutrition Research**, v.25, p.869-876, 2005.

LEE, S. H. et al. Dietary phytic acid lowers the blood glucose level in diabetic KK mice. **Nutrition Research**, v.26, p.474-479, 2006.

LEE, T. T. T. et al. Enhanced methionine and cysteine levels in transgenic rice seeds by the accumulation of sesame 2S albumin. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v.67, n.8, p.1699-1705, 2003.

- LI, J. et al. Long-term effects of high dietary fiber intake on glucose tolerance and lipid metabolism in GK rats: comparison among barley, rice, and cornstarch. **Metabolism**, v.52, n.9, p.1206-1210, 2003.
- LIU, Z. H. et al. 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, 2005a.
- LIU, Z. H. et al. Positional variations in phytic acid and protein content within a panicle of japonica rice. **Journal of Cereal Science**, v.41, p.297-303, 2005b.
- LUMEN, B. O.; CHOW, H. Nutritional quality of rice endosperm. In: LUH, B. S. (Ed.). **Rice utilization** - vol II. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold Pub., 1995. Cap. 15, p.363-395.
- MANO, Y. et al. Comparative composition of brown rice lipids (lipid fractions) of indica and japonica rices. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v.63, n.4, p.619-626, 1999.
- MATSUO, T. et al. **Science of the rice plant. Vol. II - Physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995.
- MENG, F. et al. Iron content and bioavailability in rice. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v.18, p.333-338, 2005.
- MILLER, J. B. et al. Rice: a high or low glycemic index food? **American Journal of Clinical Nutrition**, v.56, p.1034-1036, 1992.
- MORIMITSU, Y. et al. Inhibitory effect of anthocyanins and colored rice on diabetic cataract formation in the rat lenses. **International Congress Series**, v.1245, p.503-508, 2002.
- NAM, S. H. et al. Antioxidative, antimutagenic, and anticarcinogenic activities of rice bran extracts in chemical and cell assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, p.816-822, 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, p.251-260, 1995.
- PAINE, J. A. et al. Improving the nutritional value of Golden Rice through increased pro-vitamin A content. **Nature Biotechnology**, v.23, n.4, p.482-487, 2005.

QURESHI, A. A. et al. Novel tocotrienols of rice bran modulate cardiovascular disease risk parameters of hypercholesterolemic humans. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v.8, p.290-298, 1997.

RONG, N. et al. Oryzanol decreases cholesterol absorption and aortic fatty streaks in hamsters. **Lipids**, v.32, n.3, p.303-309, 1997.

SAIKUSA, T. et al. Distribution of free amino acids in the rice kernel and kernel fractions and the effect of water soaking on the distribution. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.42, p.1122-1125, 1994.

SHAMSUDDIN, A. M. et al. IP6: a novel anti-cancer agent. **Life Sciences**, v.61, p.343-354, 1997.

SINDHU, A. S. et al. The pea seed storage protein legumin was synthesized, processed, and accumulated stably in transgenic rice endosperm. **Plant Science**, v.130, n.2, p.189-196, 1997.

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

TAIRA, H.; ITANI, T. Lipid content and fatty acid composition of brown rice of cultivars of the United States. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.36, p. 460-462, 1988.

TIAN, S. et al. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.52, p.4808-4813, 2004.

TRAN, T. U. et al. Analysis of the tastes of brown rice and milled rice with different milling yields using a taste sensing system. **Food Chemistry**, v.88, p.557-566, 2004.

VASCONCELOS, M. et al. Enhanced iron and zinc accumulation in transgenic rice with the ferritin gene. **Plant Science**, v.164, p.371-378, 2003.

VELANGI, A. et al. Evaluation of a glucose meter for determining the glycemic responses of foods. **Clinica Chimica Acta**, v.356, p.191-198, 2005.

VERGHESE, M. et al. Anticarcinogenic effect of phytic acid (IP6): apoptosis as a possible mechanism of action. **LWT Food Science and Technology**, v.39, p.1093-1098, 2006.

VISSERS, M. N. et al. Effect of plant sterols from rice bran oil and triterpene alcohols from sheanut oil on serum lipoprotein concentrations in humans. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.72, p.1510-1515, 2000.

WARNER, A. C. I. Rate of passage of digesta through the gut of mammals and birds. **Nutrition Abstracts and Reviews**, v.51, p.789-975, 1981.

XIA, M. et al. Supplementation of diets with the black rice pigment fraction attenuates atherosclerotic plaque formation in apolipoprotein E deficient mice. **Journal of Nutrition**, v.133, n.3, p.744-751, 2003.

ZHENG, Z. et al. The bean seed storage protein β -phaseolin is synthesized, processed, and accumulated in the vacuolar type-II protein bodies of transgenic rice endosperm. **Plant Physiology**, v.109, p.777-786, 1995.

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

ZHOU, Z. et al. The distribution of phenolic acids in rice. **Food Chemistry**, v.87, p.401-406, 2004.

CAPÍTULO 2

COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO ARROZ

Phenolic compounds and antioxidant activity of rice

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Resumo

Compostos fenólicos, presentes em diferentes alimentos, têm demonstrado efeitos positivos na prevenção de algumas doenças. Vários desses compostos têm sido identificados no arroz, principalmente ácidos fenólicos e antocianinas, e o tipo e concentração desses compostos no grão são influenciados por diferentes fatores, principalmente genótipo, cor do pericarpo e processamento. Estudos *in vitro* e *in vivo* avaliando grãos de arroz com diferente cor do pericarpo (marrom-claro, vermelho e preto) têm mostrado potenciais efeitos benéficos à saúde relacionados com o conteúdo de polifenóis no grão, como redução do estresse oxidativo, auxílio na prevenção ao câncer, doenças cardiovasculares e complicações do diabetes, entre outros. O presente trabalho examina os compostos fenólicos identificados no arroz, sua atividade antioxidante e seu potencial efeito benéfico à saúde.

Palavras chave: arroz vermelho, arroz preto, polifenóis, antioxidante, efeito biológico

Abstract

Phenolic compounds, present in different foods, have demonstrated positive effects on the prevention of some diseases. Several of these compounds have been identified in rice, mainly phenolic acids and anthocyanins, and the type and concentration of these compounds in the grain are influenced by different factors, mainly genotype, pericarp color and processing. *In vitro* and *in vivo* studies evaluating rice grains with different pericarp color (light brown, red and black) have shown potential beneficial effects on health related to the polyphenol content of the grain, such as reduction of oxidative stress, aid in the prevention of cancer, cardiovascular diseases and complications of diabetes, among others. The present work examines the phenolic compounds identified in rice, their antioxidant activity and their potential beneficial effects on health.

Keywords: red rice; black rice; polyphenols; antioxidant; biological effect

Introdução

Vários estudos têm demonstrado a importância da dieta no desenvolvimento de doenças crônicas, tais como câncer e problemas cardiovasculares (BIRT et al., 2001; KRIS-ETHERTON et al., 2002; STANNER et al., 2004; HOUSTON, 2005), e o consumo de frutas, legumes, hortaliças e cereais integrais está associado à redução no risco de desenvolvimento dessas doenças. Essa associação pode ser atribuída à presença de antioxidantes naturais nesses alimentos, como ácido ascórbico, tocoferóis, carotenóides e compostos fenólicos (polifenóis) (MELÉNDEZ-MARTÍNEZ et al., 2004; CHOI et al., 2007), além de outros compostos bioativos.

Entre os compostos com atividade antioxidante, destacam-se os polifenóis, sendo encontrados em uma ampla variedade de alimentos, tais como maçã, amora, cereja, uva, framboesa, frutas cítricas, cebola, espinafre, pimenta, aveia, trigo, chá preto, vinho e chocolate, entre outros (HOLDEN et al., 2005; DIMITRIOS, 2006). Esses compostos têm demonstrado maior capacidade antioxidante *in vitro* do que outros tradicionalmente utilizados, como o ácido ascórbico e o α -tocoferol (PULIDO et al., 2000), enfatizando sua importância como antioxidantes na dieta.

Embora os polifenóis sejam encontrados em diversos alimentos, há variação na concentração e no tipo desses compostos devido a fatores genéticos e ambientais, bem como, condições de processamento (KRIS-ETHERTON et al., 2002). Portanto, a concentração de compostos fenólicos varia grandemente entre dietas, dependendo do tipo e quantidade de alimento consumido.

O arroz, sendo um dos cereais mais produzido e consumido no mundo, apresenta papel importante na relação entre dieta e saúde. Vários compostos com atividade antioxidante já foram identificados nesse cereal, incluindo compostos fenólicos, tocoferóis, tocotrienóis e γ -orizanol (IQBAL et al., 2005). No arroz, os compostos fenólicos estão associados principalmente ao pericarpo, portanto, o processo de polimento reduz sua concentração no grão. Além disso, grãos com pericarpo mais escuro, como o arroz vermelho e o preto, contêm maiores concentrações de polifenóis (TIAN et al., 2004; ZHOU et al., 2004).

A concentração de fenólicos totais no grão tem sido positivamente associada com a atividade antioxidante (ITANI et al., 2002; GOFFMAN & BERGMAN, 2004; ZHANG et al., 2006), com potenciais efeitos benéficos à saúde, como redução do estresse oxidativo (LING et al., 2001; HU et al., 2003), auxílio na prevenção ao câncer (HUDSON et al., 2000; HU et al.,

2003; HYUN & CHUNG, 2004; CHEN et al., 2006), no controle dos lipídios sanguíneos e doenças relacionadas, o que pode ajudar na prevenção de problemas cardiovasculares (LING et al., 2001) e na prevenção das complicações do diabetes (MORIMITSU et al., 2002; YAWADIO et al., 2007).

Portanto, essa revisão tem por objetivo examinar os compostos fenólicos identificados no arroz, sua atividade antioxidante e seus potenciais efeitos benéficos à saúde.

Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários de plantas, com diferentes atividades tais como proteção contra patógenos e predadores, suporte mecânico, atração de animais polinizadores, e proteção contra radiação ultravioleta (BRAVO, 1998; PARR & BOLWELL, 2000). Esses compostos constituem um grupo quimicamente heterogêneo, contendo um grupo fenol (grupo hidroxila funcional em um anel aromático) em sua estrutura básica. Eles diferem estruturalmente desde moléculas simples, como os ácidos fenólicos, até compostos altamente polimerizados, como os taninos, compreendendo diferentes classes. Entretanto, os principais fenólicos na dieta são os ácidos fenólicos, os flavonóides e os taninos (KING & YOUNG, 1999).

Os polifenóis são biossintetizados por meio de diferentes rotas, razão pela qual constituem um grupo bastante heterogêneo. Duas rotas metabólicas básicas estão envolvidas na síntese desses compostos: a do ácido chiquímico e a do ácido malônico, sendo a primeira a principal rota de síntese da maioria dos fenóis vegetais. Através da rota do ácido chiquímico, precursores de carboidratos derivados da glicólise e da rota da pentose fosfato são convertidos em aminoácidos aromáticos, como a fenilalanina (TAIZ & ZEIGER, 2004). Essa é desaminada pela ação da fenilalanina amonialiase, originando ácido cinâmico, a partir do qual a maioria dos compostos fenólicos deriva (BOUDET, 2007). Reações subsequentes, incluindo hidroxilações e metilações, levam à adição de grupos químicos à molécula (MEMELINK, 2005), originando os diferentes compostos fenólicos.

Os ácidos fenólicos consistem de dois subgrupos, os derivados do ácido benzóico e os derivados do ácido cinâmico (BALASUNDRAM et al., 2006). Com uma estrutura C₆-C₁ (anel aromático ligado a um átomo de carbono), os derivados do ácido benzóico incluem os ácidos *p*-hidroxibenzóico, protocatéquico, vanílico, gálico e siríngico. Os derivados do ácido cinâmico, com estrutura C₆-C₃ (anel aromático ligado a uma cadeia de três carbonos), incluem os ácidos caféico, ferúlico, *p*-cumárico e sinápico (SIMÕES et al., 2001). Esses ácidos podem ser encontrados na forma livre, de conjugados solúveis ou ligada insolúvel (ADOM & LIU,

2002; ZHOU et al., 2004). Os ácidos fenólicos ligados estão tipicamente envolvidos na estrutura da parede celular, fazendo a ligação cruzada entre os componentes da lignina, com efeitos no crescimento da parede celular, suas propriedades mecânicas e degradabilidade (ZHOU et al., 2004).

Os flavonóides, principal classe de compostos fenólicos nas plantas, são formados por 15 carbonos, organizados em dois anéis aromáticos ligados por uma cadeia de três carbonos (estrutura C₆-C₃-C₆) (ROSSI & KASUM, 2002). Eles podem ser divididos em diferentes classes, sendo as antocianidinas a mais comum, responsável pela maioria das cores vermelha, rosa, roxa e azul nas plantas, atuando como atrativo de animais para a polinização e dispersão de sementes. Geralmente, as antocianidinas estão ligadas a glicosídeos, sendo chamadas de antocianinas (KONG et al., 2003).

Os taninos formam outro grupo de polímeros fenólicos com propriedades de defesa para a planta, e podem ser divididos em condensados e hidrolisáveis. Os taninos condensados são formados pela polimerização de unidades de flavonóides. Esses compostos são frequentemente hidrolisados a antocianidinas, sendo por isso também chamados de proantocianidinas. Os taninos hidrolisáveis são polímeros heterogêneos contendo ácidos fenólicos, especialmente ácido gálico, e açúcares simples (SANTOS-BUELGA & SCALBERT, 2000; BALASUNDRAM et al., 2006).

Compostos fenólicos e atividade antioxidante

Além de suas funções nos vegetais, pesquisas têm demonstrado efeitos benéficos de compostos fenólicos de diferentes fontes na saúde humana devido a sua atividade antioxidante. As células são continuamente expostas a oxidantes, de fontes endógenas e exógenas, e a produção de radicais livres é parte do metabolismo. Entretanto, o organismo também possui compostos antioxidantes, de fontes endógenas e exógenas, participando na manutenção do balanço entre oxidantes e antioxidantes (BENZIE & SZETO, 1999; FOGLIANO et al., 1999; HEIM et al., 2002). O desequilíbrio nesse balanço devido à alteração na concentração desses compostos é chamado estresse oxidativo, e resulta em dano a células e tecidos de várias formas: danificando biomoléculas, ativando vias sinalizadoras específicas, originando produtos tóxicos, alterando a expressão gênica e a atividade de enzimas, e interrompendo mecanismos normais de reparo celular. Por essas razões, o estresse oxidativo tem sido relacionado a diversas doenças crônicas, incluindo problemas cardiovasculares, diabetes e câncer (STANNER et al., 2004).

Os compostos fenólicos podem exercer sua atividade antioxidante de diferentes formas. Eles podem diretamente sequestrar algumas espécies reativas, incluindo radicais hidroxil, peroxil e superóxido, atuando como antioxidantes de quebra de cadeia. Podem suprimir a peroxidação lipídica reciclando outros antioxidantes, como o α -tocoferol. Alguns compostos fenólicos podem ligar metais pró-oxidantes, como ferro e cobre, prevenindo a formação de radicais livres a partir desses pró-oxidantes, enquanto simultaneamente mantêm sua capacidade de sequestrar radicais livres (MORAN et al., 1997; KRIS-ETHERTON et al., 2002; HALLIWELL, 2007). Além disso, os efeitos de alguns fenólicos estão relacionados ao aumento na atividade de enzimas antioxidantes (CHIANG et al., 2006) e indução da síntese de proteínas antioxidantes (CHUNG et al., 2006).

Compostos fenólicos no arroz

Vários compostos fenólicos já foram identificados no arroz. Enquanto grãos com pericarpo marrom-claro apresentam principalmente fenólicos de baixo peso molecular (aproximadamente 85%), naqueles com pericarpo vermelho e preto predominam compostos com maior peso molecular (GOFFMAN & BERGMAN, 2004).

Os principais fenólicos em grãos de arroz com pericarpo marrom-claro são os ácidos fenólicos, principalmente ácidos ferúlico e p -cumárico (TIAN et al., 2004; ZHOU et al., 2004). Outros compostos identificados incluem os ácidos sinápico, protocatéquico (HUDSON et al., 2000; TIAN et al., 2005), clorogênico, hidroxibenzóico (TIAN et al., 2005), vanílico, siríngico (ZHOU et al., 2004; TIAN et al., 2005), caféico (HUDSON et al., 2000; ZHOU et al., 2004; TIAN et al., 2005) e gálico (ZHOU et al., 2004), tricina (HUDSON et al., 2000) e os ésteres 6'-O-(E)-feruloilsacarose e 6'-O-(E)-sinapoilsacarose (TIAN et al., 2004; TIAN et al., 2005).

Em grãos de arroz com pericarpo vermelho e preto, os principais fenólicos são as antocianinas cianidina-3-O- β -D-glicosídeo e peonidina-3-O- β -D-glicosídeo (OKI et al., 2002; HU et al., 2003; CHEN et al., 2006; ZHANG et al., 2006; YAWADIO et al., 2007). Outros compostos identificados incluem as antocianidinas cianidina e malvidina (HYUN & CHUNG, 2004; ZHANG et al., 2006), as antocianinas pelargonidina-3,5-diglicosídeo e cianidina-3,5-diglicosídeo (ZHANG et al., 2006) e ácidos fenólicos, como os ácidos ferúlico, caféico e protocatéquico (MORIMITSU et al., 2002).

De acordo com Yawadio et al. (2007), a principal característica que determina o tipo de compostos fenólicos no grão é a cor do pericarpo, já que não foram observadas diferenças

entre as antocianinas quando avaliando grãos com pericarpo preto das subespécies *indica* e *japonica*. A cor também está relacionada à concentração de fenólicos no grão, que normalmente é maior em grãos com pericarpo vermelho e preto. Goffman & Bergman (2004), avaliando diferentes genótipos, obtiveram conteúdo de fenólicos totais entre 1,90 e 50,32mg EAG (equivalente ácido gálico) g⁻¹ farelo, e entre 0,25 e 5,35mg EAG g⁻¹ grão, observando os menores valores para aqueles genótipos com pericarpo marrom-claro. Além da diferença no conteúdo de fenólicos totais relacionada à cor dos grãos, variação também foi observada no conteúdo de fenólicos totais entre genótipos com a mesma cor de pericarpo.

Além da característica genética, outros fatores podem influenciar a concentração de compostos fenólicos. Embora não tenha sido observado efeito do ano de cultivo no conteúdo desses compostos (GOFFMAN & BERGMAN, 2004), diferentes pesquisas demonstram o efeito do processamento do grão, incluindo polimento e germinação. O polimento reduz significativamente a concentração de fenólicos, já que esses estão localizados principalmente nas camadas externas do grão. O farelo contém entre 70 e 90% dos ácidos fenólicos em grãos de arroz com pericarpo marrom-claro (ZHOU et al., 2004), e aproximadamente 85% das antocianinas naqueles com pericarpo preto (HU et al., 2003), com pequena variação dependendo da cultivar e dos compostos considerados. De acordo com Goffman & Bergman (2004), essa alta correlação entre o conteúdo de fenólicos no grão e no farelo sugere que é possível selecionar para maior ou menor conteúdo de fenólicos através da análise do grão sem polimento, reduzindo o tempo de preparo da amostra.

O processo de germinação também afeta os compostos fenólicos no grão. Tian et al. (2005) observaram redução de aproximadamente 70% na concentração de feruloilsacarose e sinapoilsacarose, com aumento no conteúdo dos ácidos ferúlico e sinápico em grãos de arroz com pericarpo marrom-claro durante a germinação. De acordo com estes autores, essa redução foi provavelmente causada por hidrólise, indicando que a germinação provoca a metabolização de compostos fenólicos.

Algumas pesquisas também indicam que a distribuição de compostos fenólicos muda durante o armazenamento. Zhou et al. (2004) observaram redução no conteúdo de ácidos fenólicos ligados em arroz integral e polido durante o armazenamento, e essa redução foi maior a 37°C do que a 4°C. Em contraste, a concentração de ácidos fenólicos livres no arroz polido aumentou significativamente durante o armazenamento, provavelmente como resultado da liberação enzimática ou não enzimática de ácidos fenólicos ligados.

Atividade antioxidante e efeito biológico

A concentração de fenólicos totais em grãos de arroz tem sido positivamente relacionada à atividade antioxidante (ITANI et al., 2002; GOFFMAN & BERGMAN, 2004; ZHANG et al., 2006). Em grãos com pericarpo vermelho, alta correlação foi observada entre essa atividade e o conteúdo de proantocianidinas e, no caso de grãos com pericarpo preto, com o teor de antocianinas (OKI et al., 2002). Esses resultados sugerem que os compostos fenólicos estão entre os principais responsáveis pela atividade antioxidante de grãos de arroz (GOFFMAN & BERGMAN, 2004).

Normalmente, grãos com pericarpo vermelho e preto apresentam maior atividade antioxidante do que aqueles com pericarpo marrom-claro (NAM et al., 2005). Goffman & Bergman (2004), avaliando genótipos com diferente cor de pericarpo, observaram valores de atividade antioxidante entre 10,0 e 13,1 $\mu\text{M ET}$ (equivalente Trolox) g^{-1} farelo para grãos com pericarpo marrom-claro, entre 119,9 e 312,3 $\mu\text{M ET}$ g^{-1} farelo para grãos com pericarpo vermelho e entre 56,3 e 345,3 $\mu\text{M ET}$ g^{-1} farelo para grãos com pericarpo preto. Esses resultados também demonstram que, além da variação na atividade antioxidante entre grãos com diferente cor do pericarpo, variação em um grupo com a mesma cor de pericarpo também é observada.

Além da diferença na atividade antioxidante total, diferenças também são observadas entre genótipos na habilidade de sequestrar espécies reativas de oxigênio. Em pesquisa desenvolvida por Nam et al. (2005), um dos genótipos avaliados reduziu a concentração de ânions superóxido inibindo competitivamente a xantina oxidase (enzima que induz a formação de espécies reativas de oxigênio nas células), e sequestrou radicais hidroxila através de mecanismo direto. Por outro lado, outro genótipo sequestrou ânions superóxido sem afetar a atividade da xantina oxidase, e reduziu a concentração de radicais hidroxila através da ligação de íons ferro. Portanto os compostos antioxidantes presentes nesses grãos podem atuar de diferentes formas para reduzir o estresse oxidativo no organismo e, assim, auxiliar na prevenção de diversas doenças.

A redução do estresse oxidativo por polifenóis de grãos de arroz foi observada em estudos *in vitro* e *ex vivo*, indicada pela redução na produção de óxido nítrico (HU et al., 2003). Simultaneamente à redução nos indicadores de oxidação, foi observado aumento na capacidade antioxidante, incluindo maior capacidade antioxidante total e atividade aumentada de enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase e catalase (CHIANG et al., 2006).

Estudos com culturas de células demonstram que os compostos fenólicos do arroz também podem ser associados com atividades antimutagênica, anticarcinogênica e antimetástase, devido a sua habilidade de diretamente proteger o DNA do dano e afetar a proliferação celular (HU et al., 2003; CHEN et al., 2006). Utilizando extratos obtidos de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, observou-se redução no número de células viáveis e formação de colônia de células de câncer de mama e cólon (HUDSON et al., 2000). Avaliando separadamente alguns compostos fenólicos presentes no farelo de arroz, efeitos foram observados em diferentes células cancerosas. Ácido caféico, ácido ferúlico e tricina reduziram o número de células, a viabilidade celular e a clonogenicidade (HUDSON et al., 2000). As antocianinas cianidina e malvidina apresentaram citotoxicidade de forma dose-dependente, com valores de IC₅₀ (concentração que inibe o crescimento em 50%) para células humanas de leucemia de 60 e 40µg ml⁻¹, respectivamente, com essa atividade sendo atribuída ao efeito destes compostos no ciclo celular, interrompendo-o na fase G₂/M e induzindo apoptose. Entretanto, não foi observada atividade citotóxica quando os compostos foram avaliados na forma de glicosídeos, sugerindo que essa atividade é devido à parte aglicona da molécula (HYUN & CHUNG, 2004). Peonidina-3-glicosídeo e cianidina-3-glicosídeo apresentaram inibição da invasão e motilidade celular de células de carcinoma hepatocelular humano, sem toxicidade aparente (CHEN et al., 2006).

Extratos obtidos de arroz com pericarpo vermelho e preto também podem apresentar efeitos positivos na prevenção das complicações do diabetes. Morimitsu et al. (2002) observaram efeito inibitório da opacidade do cristalino em cultura de células de cristalino obtidas de ratos, o que pode auxiliar na prevenção da catarata em diabéticos. De acordo com os autores, esse efeito pode ser relacionado à inibição da enzima aldose redutase. Alguns compostos foram isolados de arroz com pericarpo preto e testados *in vitro*, incluindo cianidina, peonidina, ácido ferúlico e α-tocoferol, os quais demonstraram efeito inibitório sobre a atividade desta enzima, com efeito dose-dependente (YAWADIO et al., 2007).

Embora estudos *in vitro* possam fornecer informações sobre a atividade antioxidante e possíveis efeitos biológicos dos compostos fenólicos do arroz, a relevância dessa informação para a efetividade antioxidante no organismo é limitada sem dados de biodisponibilidade e metabolismo desses compostos (COLLINS, 2005). Deve-se considerar o fato de que a biodisponibilidade difere grandemente de um polifenol para outro devido a diferentes fatores, como matriz do alimento, concentração do composto no alimento, dieta e variações interindivíduos, afetando a concentração dos metabólitos ativos no organismo (MANACH et

al., 2005; ZHAO & MOGHADASIAN, 2008). Entretanto, poucos estudos têm sido desenvolvidos para avaliar as propriedades antioxidantes de fenólicos do arroz *in vivo*.

Estudos com animais têm demonstrado efeitos benéficos do consumo da fração colorida (pericarpo) de grãos de arroz no controle de lipídios sanguíneos e doenças relacionadas, auxiliando na prevenção de problemas cardiovasculares. Nesses estudos, com camundongos deficientes em apolipoproteína (apo)E (XIA et al., 2003) e coelhos hipercolesterolêmicos (LING et al., 2001), a suplementação da dieta com o pericarpo do arroz reduziu a ocorrência de placas ateroscleróticas. Esse efeito foi relacionado a diferentes mecanismos, incluindo aumento na capacidade antioxidante do organismo (LING et al., 2001), redução na concentração de colesterol total no sangue (XIA et al., 2003), redução na razão entre colesterol LDL e HDL (LING et al., 2001; XIA et al., 2003), redução no acúmulo de colesterol no tecido da aorta e redução na oxidação do colesterol LDL (XIA et al., 2003).

Um estudo com humanos foi desenvolvido por Wang et al. (2007) com o objetivo de avaliar o efeito da suplementação da dieta com uma fração de arroz com pericarpo preto em pacientes com doença cardíaca coronariana. Os indivíduos consumindo a fração de arroz com pericarpo preto apresentaram aumento no status antioxidante do plasma e redução na inflamação, o que pode beneficiar pacientes com essa doença. De acordo com os autores, a maior concentração de antocianinas no arroz com pericarpo preto, comparado ao arroz com pericarpo marrom-claro, pode ser um dos principais componentes responsáveis pelos efeitos cardioprotetores observados. Também foi observada a absorção de cianidina-3-O- β -D-glicosídeo (antocianina predominante no arroz com pericarpo preto), a qual apareceu no plasma e alcançou nível máximo ($21,5 \pm 4,48 \text{ ng ml}^{-1}$) após 1,5h, mas desapareceu rapidamente após 4h.

Considerações finais

Compostos fenólicos, devido a sua atividade antioxidante, apresentam potenciais efeitos benéficos à saúde. A variabilidade observada em sua concentração nos alimentos é também observada nas dietas, e sua inclusão na rotina alimentar pode alterar o balanço entre oxidantes e antioxidantes no organismo, auxiliando na manutenção da saúde. Nesse contexto, o arroz destaca-se devido a sua importância como alimento para grande parte da população mundial. Esse cereal apresenta diferentes compostos com atividade antioxidante, incluindo polifenóis, e variações são observadas na concentração desses compostos nos grãos, principalmente devido ao genótipo, cor do pericarpo e processamento.

Estudos *in vitro* e *in vivo* têm mostrado potenciais efeitos benéficos dos fenólicos do arroz na saúde. Entretanto, a maioria deles avalia o efeito de frações ricas em fenólicos, e não o grão em si, como é normalmente consumido. Portanto, há necessidade premente de obter mais informações sobre o consumo de grãos de arroz ricos em compostos fenólicos, relacionando-o a seus respectivos efeitos benéficos à saúde. Embora o arroz não esteja entre os alimentos com maior concentração de polifenóis, ele pode ser uma fonte importante desses compostos devido a sua ampla utilização na alimentação, justificando investimentos em pesquisas nessa área, especialmente em estudos *in vivo*, para avaliar a biodisponibilidade e metabolismo dos polifenóis desse cereal e seu efeito no organismo.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

ADOM, K. K.; LIU, R. H. Antioxidant activity of grains. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, n. 21, p. 6182-6187, Oct. 2002.

BALASUNDRAM, N.; SUNDRAM, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plant and agri-industrial by-products: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, Oxford, v. 99, n. 1, p. 191-203, Jan. 2006.

BENZIE, I. F. F.; SZETO, Y. T. Total antioxidant capacity of teas by the ferric reducing/antioxidant power assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 47, n. 2, p. 633-636, Feb. 1999.

BIRT, D. F.; HENDRICH, S.; WANG, W. Dietary agents in cancer prevention: flavonoids and isoflavonoids. **Pharmacology & Therapeutics**, Amsterdam, v. 90, n. 2-3, p. 157-177, May-Jun. 2001.

BOUDET, A. M. Evolution and current status of research in phenolic compounds. **Phytochemistry**, Oxford, v. 68, n. 22-24, p. 2722-2735, Nov-Dec. 2007.

BRAVO, L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. **Nutrition Reviews**, Hoboken, v. 56, n. 11, p. 317-333, Nov. 1998.

CHEN, P. et al. Black rice anthocyanins inhibit cancer cells invasion via repressions of MMPs and u-PA expression. **Chemico-Biological Interactions**, New York, v. 163, n. 3, p. 218-229, Nov. 2006.

CHIANG, A. et al. Antioxidant effects of black rice extract through the induction of superoxide dismutase and catalase activities. **Lipids**, New York, v. 41, n. 8, p. 797-803, Aug. 2006.

CHOI, Y.; JEONG, H. S.; LEE, J. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. **Food Chemistry**, Oxford, v. 103, n. 1, p. 130-138, Jan. 2007.

CHUNG, M. J.; WALKER, P. A.; HOGSTRAND, C. Dietary phenolic antioxidants, caffeic acid and Trolox, protect rainbow trout gill cells from nitric oxide-induced apoptosis. **Aquatic Toxicology**, Oxford, v. 80, n. 4, p. 321-328, Dec. 2006.

COLLINS, A. R. Assays for oxidative stress and antioxidant status: applications to research into the biological effectiveness of polyphenols. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 81, n. 1, p. 261S-267S, Jan. 2005.

DIMITRIOS, B. Sources of natural phenolic antioxidants. **Trends in Food Science and Technology**, Oxford, v. 17, n. 9, p. 505-512, Sep. 2006.

FOGLIANO, V. et al. Method for measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wines. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 47, n. 3, p. 1035-1040, Mar. 1999.

GOFFMAN, F. D.; BERGMAN, C. J. Rice kernel phenolic content and its relationship with antiradical efficiency. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 84, n. 10, p. 1235-1240, Aug. 2004.

HALLIWELL, B. Dietary polyphenols: good, bad, or indifferent for your health? **Cardiovascular Research**, Oxford, v. 73, n. 2, p. 341-347, Jan. 2007.

HEIM, K. E.; TAGLIAFERRO, A. R.; BOBILYA, D. J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. **Journal of Nutritional Biochemistry**, Oxford, v. 13, n. 9, p. 527-584, Sep. 2002.

HOLDEN, J. M. et al. Development of a database of critically evaluated flavonoids data: application of USDA's data quality evaluation system. **Journal of Food Composition and Analysis**, Oxford, v. 18, n. 8, p. 829-844, Dec. 2005.

HOUSTON, M. C. Nutraceuticals, vitamins, antioxidants, and minerals in the prevention and treatment of hypertension. **Progress in Cardiovascular Diseases**, New York, v. 47, n. 6, p. 396-449, May-Jun. 2005.

HU, C. et al. Black rice (*Oryza sativa* L. *indica*) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, n. 18, p. 5271-5277, Aug. 2003.

HUDSON, E. A. et al. Characterization of potentially chemopreventive phenols in extracts of brown rice that inhibit the growth of human breast and colon cancer cells. **Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention**, Philadelphia, v. 9, n. 11, p. 1163-1170, Nov. 2000.

HYUN, J. W.; CHUNG, H. S. Cyanidin and malvidin from *Oryza sativa* cv. Heugjinjubyeo mediate cytotoxicity against human monocytic leukemia cells by arrest of G₂/M phase and induction of apoptosis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, n. 8, p. 2213-2217, Apr. 2004.

IQBAL, S.; BHANGER, M. I.; ANWAR, F. Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan. **Food Chemistry**, Oxford, v. 93, n. 2, p. 265-272, Nov. 2005.

ITANI, T. et al. A comparative study on antioxidative activity and polyphenol content of colored kernel rice. **Journal of the Japan Society for Food Science and Technology**, Tokyo, v. 49, n. 8, p. 540-543, Aug. 2002.

KING, A.; YOUNG, G. Characteristics and occurrence of phenolic phytochemical. **Journal of the American Dietetic Association**, New York, v. 99, n. 2, p. 213-218, Feb. 1999.

KONG, J. et al. Analysis and biological activities of anthocyanins. **Phytochemistry**, Oxford, v. 64, n. 4, p. 923-933, Oct. 2003.

KRIS-ETHERTON, P. M. et al. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. **American Journal of Medicine**, Oxford, v. 113, n. 9, p. 71S-88S, Dec. 2002.

LING, W. H. et al. Red and black rice decrease atherosclerotic plaque formation and increase antioxidant status in rabbits. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 131, n. 5, p. 1421-1426, May. 2001.

MANACH, C. et al. Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 81, n. 1, p. 230S-242S, Jan. 2005.

MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J.; VICARIO, I. M.; HEREDIA, F. J. Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 54, n. 2, p. 149-154, Jun. 2004.

MEMELINK, J. The use of genetics to dissect plant secondary pathways. **Current Opinion in Plant Biology**, Amsterdam, v. 8, n. 3, p. 230-235, Jun. 2005.

MORAN, J. F. et al. Complexes of iron with phenolic compounds from soybean nodules and other legume tissues: prooxidant and antioxidant properties. **Free Radical Biology and Medicine**, Amsterdam, v. 22, n. 5, p. 861-870, Jul. 1997.

MORIMITSU, Y. et al. Inhibitory effect of anthocyanins and colored rice on diabetic cataract formation in the rat lenses. **International Congress Series**, Oxford, v. 1245, p. 503-508, Nov. 2002.

NAM, S. H. et al. Antioxidative, antimutagenic, and anticarcinogenic activities of rice bran extracts in chemical and cell assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, n. 3, p. 816-822, Feb. 2005.

OKI, T. et al. Polymeric procyanidins as radical-scavenging components in red-hulled rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, n. 26, p. 7524-7529, Dec. 2002.

PARR, A. J.; BOLWELL, G. P. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 80, n. 7, p. 985-1012, May. 2000.

PULIDO, R.; BRAVO, L.; SAURA-CALIXTO, F. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 48, n. 8, p. 3396-3402, Aug. 2000.

ROSSI, J. A.; KASUM, C. M. Dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects, and safety. **Annual Review of Nutrition**, Palo Alto, v. 22, n. 1, p. 19-34, Jul. 2002.

SANTOS-BUELGA, C.; SCALBERT, A. Proanthocyanidins and tannin-like compounds – nature, occurrence, dietary intake and effects on nutrition and health. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 80, n. 7, p. 1094-1117, May. 2000.

SIMÕES, C. M. O. et al. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Porto Alegre; Florianópolis: Ed. Universidade/UFRGS; Ed. da UFSC, 2001.

STANNER, S. A. et al. A review of the epidemiological evidence for the ‘antioxidant hypothesis’. **Public Health Nutrition**, New York, v. 7, n. 3, p. 407-422, May. 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3^a ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TIAN, S.; NAKAMURA, K.; KAYAHARA, H. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, n. 15, p. 4808-4813, Jul. 2004.

TIAN, S. et al. High-performance liquid chromatographic determination of phenolic compounds in rice. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 1063, n. 1, p. 121-128, Jan. 2005.

WANG, Q. et al. Supplementation of black rice pigment fraction improves antioxidant and anti-inflammatory status in patients with coronary heart disease. **Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition**, Taiwan, v. 16, n. 2, p. 295-301, Jun. 2007.

XIA, M. et al. Supplementation of diets with the black rice pigment fraction attenuates atherosclerotic plaque formation in apolipoprotein E deficient mice. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 133, n. 3, p. 744-751, Mar. 2003.

YAWADIO, R.; TANIMORI, S.; MORITA, N. Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rices and their aldose reductase inhibitory activities. **Food Chemistry**, Oxford, v. 101, n. 3, p. 1616-1625, Mar. 2007.

ZHANG, M. et al. Separation, purification and identification of antioxidant compositions in black rice. **Agricultural Sciences in China**, Amsterdam, v. 5, n. 6, p. 431-440, Jun. 2006.

ZHAO, Z.; MOGHADASIN, M. H. Chemistry, natural sources, dietary intake and pharmacokinetic properties of ferulic acid: a review. **Food Chemistry**, Oxford, v. 109, n. 4, p. 691-702, Aug. 2008.

ZHOU, Z. et al. The distribution of phenolic acids in rice. **Food Chemistry**, Oxford, v. 87, n. 3, p. 401-406, Sep. 2004.

CAPÍTULO 3

MULTIPLICAÇÃO DE MATERIAL GENÉTICO E CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE ARROZ COM PERICARPO MARROM-CLARO, VERMELHO E PRETO¹

Objetivos

Multiplicar o material genético a ser utilizado nas análises laboratoriais e caracterizar os genótipos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto.

Materiais e métodos

Material experimental

Para atingir os objetivos do projeto, foram utilizados 10 ecótipos de arroz com pericarpo vermelho coletados por pesquisadores do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) em lavouras de diferentes regiões do Rio Grande do Sul, denominados Ec1A, Ec1B, Ec2A, Ec2B, Ec2C, Ec2D, Ec3A, Ec3B, Ec3C e Ec4A; cinco variedades de arroz com pericarpo vermelho de cultivo tradicional na região Nordeste do Brasil, coletadas pela Embrapa Meio-Norte, denominadas PB1, PB4, PB5, PB11 e PB13; uma variedade com pericarpo vermelho desenvolvida pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), denominada Epagri; uma variedade de arroz com pericarpo preto desenvolvida pelo Instituto Agrônomo Campinas (IAC), denominada IAC 600; e uma variedade de arroz com pericarpo marrom-claro do IRGA, denominada Irga 417.

Neste trabalho, foram utilizados os termos “genótipo” para designar todos os materiais genéticos avaliados, “ecótipo” para designar apenas o material de arroz com pericarpo vermelho coletado em áreas de arroz, e “variedade” para designar o material genético utilizado para cultivo.

Cultivo e manejo cultural

Inicialmente, na safra 2006/07, foi conduzido ensaio de campo a fim de multiplicar sementes, sob condições iguais de cultivo, utilizadas para as análises posteriores. Para avaliar as características agrônomicas das variedades utilizadas no trabalho, foi conduzido novo ensaio na safra 2007/08. O cultivo foi realizado em área de várzea sistematizada do Departamento de Fitotecnia, localizada na Universidade Federal de Santa Maria, Depressão

¹ O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

Central do Rio Grande do Sul. O solo é classificado como Planossolo hidromórfico eutrófico arênico (Unidade de Mapeamento Vacacaí), de textura média, relevo plano e suavemente ondulado, substrato de sedimentos aluviais recentes (EMBRAPA, 1999). O local caracteriza-se por apresentar clima subtropical úmido, de fórmula climática Cfa, segundo a classificação de Köppen, com precipitação pluviométrica de 1.616mm ao ano, e altitude de 95m.

Na safra 2006/07, a semeadura foi realizada no dia 12/11/2006, utilizando-se 120kg ha⁻¹ de sementes das variedades, com semeadora de 10 linhas espaçadas em 0,17m, com parcelas de 5m. Para os ecótipos, devido à pequena quantidade de sementes disponível, foram semeadas 100 sementes em duas linhas de 5m, com espaçamento de 0,30m. Na safra 2007/08, a semeadura foi realizada no dia 16/11/2007, utilizando-se 120kg ha⁻¹ de sementes, com semeadora de 10 linhas espaçadas em 0,17m, com parcelas de 5m.

A cultura foi implantada no sistema convencional de semeadura. A adubação de base foi aplicada junto à semeadura, constituída de 15kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 60kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 90kg ha⁻¹ de K₂O. A emergência ocorreu nos dias 20/11/2006 e 24/11/2007 para as safras 2006/07 e 2007/08, respectivamente. O controle de plantas daninhas foi realizado com aplicação das doses recomendadas de Nominee 400SC[®] no primeiro ano e Cyhalofop-butyl no segundo ano, com adição de 0,5% v.v.⁻¹ e 1,2% v.v.⁻¹ de óleo mineral emulsionável, respectivamente. Foi realizado o controle 14 dias após a emergência (DAE), quando as plantas de arroz encontravam-se no estágio V4. A aplicação foi realizada com pulverizador costal pressurizado com CO₂ munido de pontas leque 11002, com vazão de 125L ha⁻¹.

Um dia após o controle das plantas daninhas a área foi inundada, mantendo-se lâmina d'água constante de aproximadamente 5cm de altura. O nitrogênio foi aplicado na forma de uréia e parcelado em três épocas: na safra 2006/07, utilizou-se 15kg ha⁻¹ de N na semeadura, 30kg ha⁻¹ de N no estágio V4, um dia antes da inundação, e 15kg ha⁻¹ de N na iniciação da panícula (R0); na safra 2007/08, utilizou-se 15kg ha⁻¹, 30kg ha⁻¹ e 20kg ha⁻¹, respectivamente. Aos 5 DAE determinou-se o estande inicial através da contagem da população de plantas em um metro de comprimento da linha de semeadura.

Colheita

A colheita foi realizada manualmente, em área de 4,76m² (4,0 x 1,019m), quando os grãos apresentavam umidade média de 20%. Após a trilha e limpeza, os grãos foram secos até 13% de umidade, com temperatura da massa de grãos não ultrapassando 40°C. No caso dos ecótipos, devido ao maior degrane observado nesses materiais, a colheita foi realizada assim que iniciou o degrane, evitando dessa forma a perda de grãos na lavoura.

Caracterização e avaliação de plantas e grãos

Os materiais foram submetidos à caracterização e avaliação, utilizando-se descritores pertinentes à planta e ao grão, de acordo com Fonseca et al. (2002):

- Ciclo: número de dias transcorridos da emergência à colheita. Classificação: muito precoce (<105 dias), precoce (106 a 120 dias), médio (121 a 135 dias), tardio (136 a 150 dias), muito tardio (>150 dias) (SOSBAI, 2007);

- Número de colmos/planta: após a emergência, foram contadas e marcadas as plantas contidas em 1 m linear, sendo contado o número de colmos no mesmo local até 67 dias após a emergência;

- Estatura das plantas: distância média, em centímetros, medida da superfície do solo ao ápice da panícula;

- Acamamento: suscetibilidade ao acamamento de plantas, determinado por avaliação visual com base na porcentagem de plantas acamadas na época da colheita. Classificação: 1 – sem acamamento; 2 – até 25% de plantas acamadas; 3 – de 25 a 50%; 4 – de 50 a 75%; 5 – acima de 75% de plantas acamadas;

- Degrane da panícula: avaliação feita por ocasião da colheita, considerando-se a quantidade de grãos debulhados após pressionar levemente a panícula com as mãos. Classificação: fácil (mais de 50% dos grãos degranados), intermediário (de 25 a 50%) e difícil (menos de 25%);

- Ângulo da folha bandeira: refere-se ao ângulo formado pela folha bandeira e o colmo. Classificação: ereto (menor do que 30°), intermediário (entre 31 e 60°) e horizontal (entre 61 a 90°);

- Pubescência da folha: determinada através de leve contato digital, no sentido da extremidade até a base da folha. Classificação: ausente (glabra) ou presente (pilosa);

- Arista: definida como o segmento filamentososo que ocorre no ápice da espiguetta ou do grão. Classificação: grão aristado, grão semiaristado e grão mútico (sem arista);

- Coloração das glumelas (casca): determinada de acordo com a escala: amarelo-palha, dourada, manchas marrons, estrias marrons, marrom, avermelhada, manchas púrpuras, estrias púrpuras, púrpura ou preta;

- Produtividade: determinada através da colheita manual, em área de 4,76m² (4,0 x 1,019 m), quando os grãos apresentavam umidade média de 20%. Após a trilha, limpeza e pesagem dos grãos com casca, os dados foram corrigidos para 13% de umidade e convertidos em kg ha⁻¹;

- Incidência de doenças: avaliação visual, considerando: sem incidência, incidência muito baixa, baixa e intermediária;
- Cor do pericarpo: avaliação do grão descascado, sem polimento. Classificação: marrom-claro, vermelho ou preto;
- Comprimento e largura do grão sem casca (cariopse): medida em milímetros, em uma amostra de 30 grãos, sem polimento, com auxílio de paquímetro;
- Relação comprimento/largura (C/L) do grão sem casca e forma do grão (cariopse): classificado com base na relação comprimento/largura dos grãos descascados, sem polimento, considerando-se a escala: arredondada (C/L menor do que 1,50), semi-arredondada (C/L entre 1,50 e 2,00), meio-alongada (C/L entre 2,01 e 2,75), alongada (C/L entre 2,76 e 3,50) e muito alongada (C/L maior do que 3,50);
- Teor de amilose: determinado por reação iodométrica (MARTÍNES & CUEVAS, 1989) e expresso em % de amilose no amido, em base seca. Classificação: baixo (< 22%), intermediário (23-27%) e alto (28-32%);
- Temperatura de gelatinização: determinada indiretamente através do grau de dispersão e clarificação do arroz (MARTÍNES & CUEVAS, 1989). Classificação: alta (74 a 80°C), intermediária (69 a 73°C) e baixa (63 a 68°C).

Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido no delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições. Os dados de estatura, produtividade e teor de amilose foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Resultados e discussão

Diferença foi observada entre as variedades avaliadas para o ciclo (Tabela 1), sendo que quatro apresentaram ciclo precoce (Irga 417, Epagri, PB 13 e IAC 600), duas ciclo médio (PB 1 e PB 5) e duas ciclo tardio (PB 4 e PB 11). Não foi observada diferença significativa no número de colmos por planta para as variedades, sendo que todas apresentaram perfil semelhante de perfilhamento (Figura 1). Essas duas avaliações não foram realizadas para os ecótipos devido à grande variabilidade observada durante o desenvolvimento das plantas, dificultando sua determinação.

Normalmente, plantas de arroz com pericarpo vermelho, principalmente aquelas consideradas daninhas à lavoura, são associadas a algumas características, como maior estatura do que as cultivares modernas, colmos finos, folhas decumbentes, alto vigor e alta

capacidade de perfilhamento, alto percentual de degrane e sementes com dormência (DIARRA et al., 1985; NOLDIN et al., 1999), sendo algumas dessas características observadas nos genótipos avaliados neste trabalho.

A estatura das plantas diferiu para os materiais avaliados, de 84,2 a 142,1cm (Tabela 1), sendo que, de forma geral, os ecótipos apresentaram as maiores estaturas, com exceção do Ec2D (95,1cm), e as variedades apresentaram as menores estaturas, com exceção de Epagri (113,9 cm) e PB 1 (141,5 cm). Em geral, plantas altas são mais propensas ao acamamento, entretanto esse também é influenciado por outros fatores, como diâmetro e resistência do colmo, intensidade dos ventos, adubação nitrogenada e disponibilidade de água (FONSECA et al., 2007). Quanto a essa característica, os ecótipos avaliados, com maior estatura, apresentaram maior índice de acamamento de plantas (Tabela 1). Baixo índice de acamamento (até 25% de plantas acamadas) foi observado para a variedade PB 1, com alta estatura, sendo que as outras variedades não sofreram acamamento. Resultado similar foi observado para o degrane, sendo as variedades resistentes ao degrane e os ecótipos suscetíveis (Tabela 1).

Em relação às características da folha bandeira (Tabela 1), as variedades apresentaram ângulo da folha bandeira ereto, com exceção da Epagri, de ângulo intermediário. Para os ecótipos foi observada grande variação, sendo Ec1B, Ec2A, Ec2C, Ec2D, Ec3B e Ec4A com ângulo ereto, Ec1A e Ec2B com ângulo intermediário, e Ec3A e Ec4A com folhas decumbentes. Todos os materiais apresentaram folhas pilosas, com exceção do genótipo Epagri, com folha glabra.

Foi observada variação entre os materiais quanto à presença de aristas (Tabela 1). A maioria deles não apresentou arista (Epagri, PB 1, PB 4, PB 5, PB 11, IAC 600, Ec1B, Ec2A, Ec2C, Ec2D, Ec3B, Ec3C e Ec4A), sendo semi-aristados os grãos da variedades Irga 417 e PB 13, e aristados os ecótipos Ec1A, Ec2B e Ec3A. Dos 18 genótipos avaliados, 13 apresentaram glumelas amarelo-palha, com os materiais IAC 600, Ec2A, Ec3A e Ec3B apresentando manchas marrons nas glumelas (Tabela 1).

A produtividade dos genótipos avaliados variou de 3.087 a 10.897 kg ha⁻¹ (Tabela 1), sendo a produtividade da variedade IRGA 417 significativamente maior do que a dos outros materiais. Alta produtividade também foi observada para as variedades PB 11 (7.725 kg ha⁻¹), PB 5 (7.594 kg ha⁻¹), PB 13 (7.200 kg ha⁻¹) e PB 4 (6.864 kg ha⁻¹), com menores produtividades obtidas para Epagri (5.971 Kg ha⁻¹), PB 1 (3.703 Kg ha⁻¹) e IAC 600 (3.087 Kg ha⁻¹), sendo que não foi avaliada a produtividade dos ecótipos. Como pode-se observar, existem genótipos com pericarpo vermelho com boa produtividade a campo, viabilizando sua

produção comercial. Além disso, sob as condições deste ensaio, todos os materiais apresentaram baixa incidência de doenças (Tabela 1).

Em relação às características dos grãos (Tabela 2), os genótipos apresentaram variabilidade no comprimento e largura do grão descascado integral, com valores de 5,66 a 7,63mm de comprimento e 1,90 a 3,09mm de largura (Tabela 2). A relação entre esses dois parâmetros é utilizada para determinar a forma do grão. A maioria dos grãos enquadraram-se nas formas meio-alongada (C/L entre 2,01 e 2,75) (PB 1, PB 5, PB 11, IAC 600, Ec1A, Ec3A, Ec3B, Ec3C, Ec4A) e alongada (C/L entre 2,76 e 3,50) (Epagri, PB 13, Ec1B, Ec2A, Ec2B, Ec2C, Ec2D), com exceção do IRGA 417 (muito alongada; C/L > 3,5) e do PB 4 (semi-arredondada; C/L entre 1,50 e 2,00). A forma do grão pode ser relacionada a sua posterior classificação para consumo, a qual considera as dimensões do grão polido. Essas características variam bastante entre países e regiões, sendo que no Brasil a preferência é pelo consumo de grãos mais alongados.

A qualidade de cocção do arroz também é importante para o mercado, sendo relacionada principalmente às propriedades do amido, como teor de amilose e temperatura de gelatinização (Tabela 2). Dos genótipos avaliados, somente o IAC 600 apresentou baixo teor de amilose (17,82%), com todos os outros apresentando teores intermediários a altos (24,94 a 28,04%). Em relação à temperatura de gelatinização, essa foi alta para os genótipos Epagri, PB 1, PB 11, PB 13, Ec3A, Ec3B e Ec3C; intermediária para PB 4, PB 5, Ec1A, Ec2A, Ec2B, Ec2C, Ec2D e Ec4A; e baixa para IRGA 417, IAC 600 e Ec1B. De forma geral, grãos com baixo teor de amilose apresentam-se aquosos e pegajosos com o cozimento; com alto teor apresentam-se secos e soltos com o cozimento, endurecendo após o resfriamento; enquanto grãos com teor intermediário apresentam-se pouco aquosos, soltos e macios, mesmo após o resfriamento. Já para a temperatura de gelatinização, grãos com alta temperatura requerem mais água e tempo para cozinhar, enquanto aqueles com temperatura intermediária e baixa requerem menos tempo e água para o cozimento (FONSECA et al., 2007). Dessa forma, considerando o mercado brasileiro, cuja preferência é por grãos com rápido cozimento, que fiquem secos e soltos após cozidos e que permaneçam macios mesmo após o resfriamento (CASTRO et al., 1999), os grãos mais adequados são aqueles com teor de amilose intermediário a alto e com temperatura de gelatinização intermediária a baixa, características observadas para a maioria dos grãos avaliados neste trabalho.

Dessa forma, pelos resultados obtidos pode-se concluir que existe variabilidade entre os genótipos para a maioria das características avaliadas, tanto aquelas relacionadas à planta

como ao grão. Essa variabilidade poderia ser utilizada no melhoramento genético para a obtenção de novas variedades com características diferenciadas, em adição às já existentes.

Tabela 1 - Caracterização dos genótipos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto avaliados

	Ciclo (dias) ¹	Estat. (cm) ^{2,11}	Acam. ³	Degr. ⁴	AFB ⁵	Pubesc. ⁶	Arista ⁷	CG ⁸	Prod. (kg ha ⁻¹) ^{9,11}	Doenças ¹⁰
Irga 417	P (107)	84,2 ± 2,4 ^e	1	D	E	P	S	AP	10.897 ± 66 ^a	MP (b)
Epagri	P (102)	113,9 ± 9,4 ^c	1	D	I	A	M	AP	5.971 ± 538 ^c	MP (b)
PB 1	M (123)	141,5 ± 10,4 ^a	2	D	E	P	M	AP	3.703 ± 888 ^d	MP (b)
PB 4	T (136)	94,0 ± 3,7 ^d	1	D	E	P	M	AP	6.864 ± 542 ^{bc}	MP (mb)
PB 5	M (123)	95,7 ± 2,5 ^d	1	D	E	P	M	AP	7.594 ± 850 ^b	MP (mb)
PB 11	T (136)	96,1 ± 2,0 ^d	1	D	E	P	M	AP	7.725 ± 535 ^b	MP (mb)
PB 13	P (114)	94,9 ± 3,0 ^d	1	D	E	P	S	AP	7.200 ± 279 ^{bc}	SMF
IAC 600	P (94)	84,3 ± 4,4 ^e	1	D	E	P	M	MM	3.087 ± 261 ^d	RZ (b)
Ec1A	- ¹²	115,9 ± 5,8 ^c	4	F	I	P	A	AP	- ¹²	MP (b)
Ec1B	-	141,1 ± 1,6 ^a	4	F	E	P	M	AP	-	MP (b)
Ec2A	-	113,4 ± 2,5 ^c	4	F	E	P	M	MM	-	MP (b)
Ec2B	-	123,6 ± 4,6 ^b	4	F	I	P	A	AP	-	MP (b)
Ec2C	-	127,8 ± 3,8 ^b	4	F	E	P	M	AP	-	MP (b)
Ec2D	-	95,1 ± 3,0 ^d	2	F	E	P	M	AP	-	MP (b)
Ec3A	-	134,6 ± 12,3 ^a	4	F	D	P	A	MM	-	MP (i)
Ec3B	-	142,1 ± 12,4 ^a	4	F	E	P	M	MM	-	MP (b)
Ec3C	-	140,5 ± 4,5 ^a	4	F	D	P	M	AP	-	MP (i)
Ec4A	-	140,1 ± 0,8 ^a	4	F	E	P	M	AP	-	MP (b)

¹ Ciclo: P = precoce (106 a 120 dias), M = médio (121 a 135 dias), T = tardio (136 a 150 dias); ² estatura; ³ acamamento de plantas: 1 – sem acamamento, 2 – até 25% de plantas acamadas, 3 – de 25 a 50%, 4 – de 50 a 75%, 5 – acima de 75%; ⁴ degrane: F = fácil, M = médio, D = difícil; ⁵ ângulo da folha bandeira: E = ereto, I = intermediário, D = decumbente; ⁶ pubescência da folha bandeira: A = ausente (glabra), P = presente (pilosa); ⁷ presença de arista nos grãos: A = aristado, S = semiaristado, M = mútico (sem arista); ⁸ cor das glumelas: AP = amarelo-palha, MM = palha com manchas marrons; ⁹ produtividade; ¹⁰ Doenças: MP = mancha-parda, RZ = rizoctônia, SMF = sem manchas foliares – Incidência: i = intermediária, b = baixa, mb = muito baixa; ¹¹ resultados expressos como média ± desvio padrão, sendo que médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro; ¹² as avaliações de ciclo e produtividade não foram realizadas para os ecótipos.

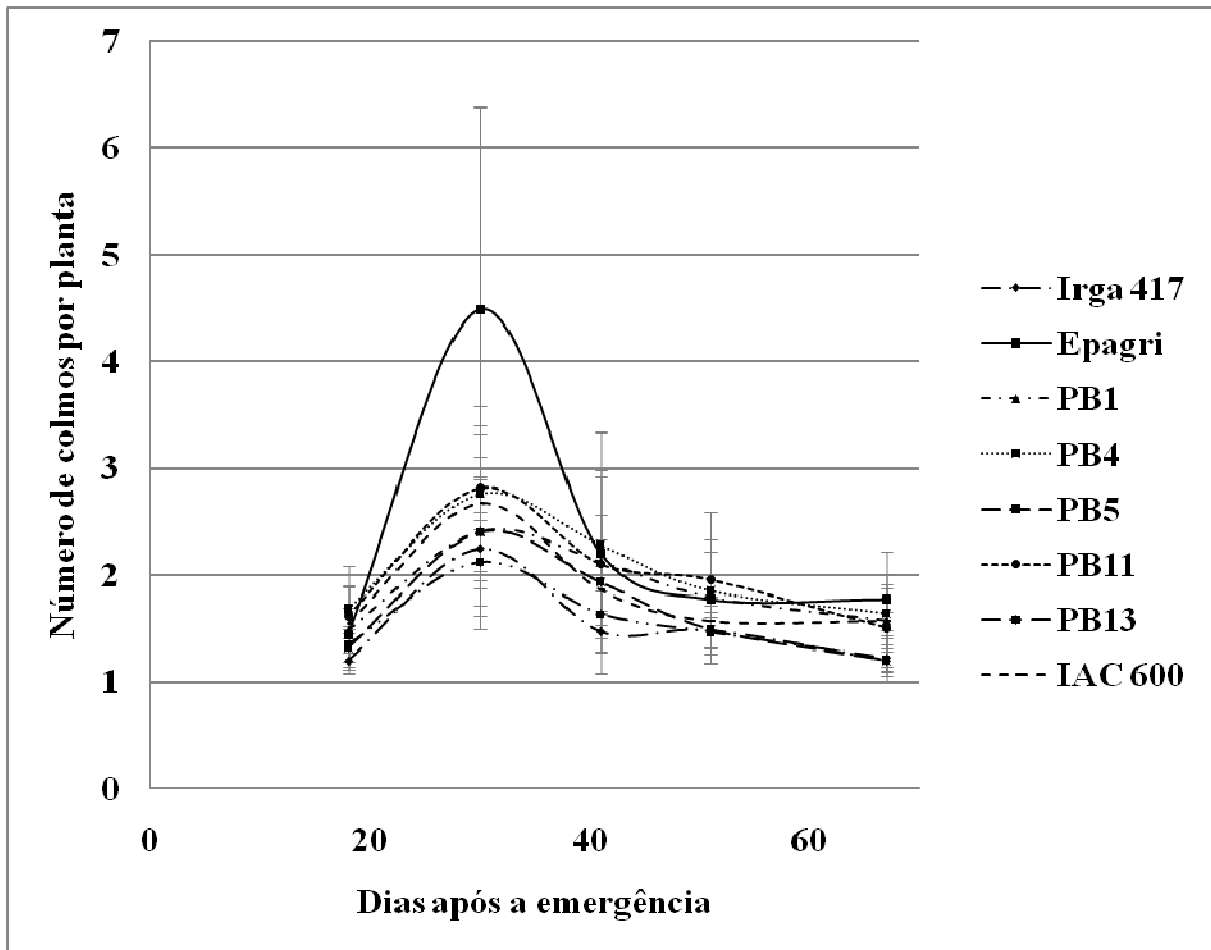


Figura 1 - Evolução do número de colmos por planta para as variedades de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto avaliadas. Barras de erro representam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2 - Características dos grãos e características relacionadas à qualidade culinária dos genótipos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto avaliados

	CP ¹	C (mm) ^{2,7}	L (mm) ^{3,7}	C/L ⁴	Amilose (%) ^{5,7,8}	TG ⁶
Irga 417	MC	7,09 ± 0,32	1,90 ± 0,15	3,74	26,81 ± 0,03 ^a (I)	B
Epagri	V	7,63 ± 0,38	2,51 ± 0,13	3,02	23,21 ± 0,14 ^c (I)	A
PB 1	V	6,66 ± 0,31	3,00 ± 0,25	2,22	26,72 ± 0,83 ^a (I)	A
PB 4	V	5,94 ± 0,20	3,09 ± 0,14	1,92	27,56 ± 1,07 ^a (I/A)	I
PB 5	V	5,66 ± 0,26	2,65 ± 0,17	2,14	25,68 ± 0,65 ^b (I)	I
PB 11	V	6,06 ± 0,23	2,82 ± 0,13	2,15	24,70 ± 0,17 ^b (I)	A
PB 13	V	7,07 ± 0,26	2,47 ± 0,11	2,86	25,98 ± 0,16 ^b (I)	A
IAC 600	P	5,73 ± 0,37	2,58 ± 0,15	2,22	17,82 ± 0,21 ^d (B)	B
Ec1A	V	6,82 ± 0,46	2,54 ± 0,18	2,68	27,62 ± 0,35 ^a (I/A)	I
Ec1B	V	6,79 ± 0,47	2,43 ± 0,28	2,80	27,06 ± 0,06 ^a (I/A)	B
Ec2A	V	6,75 ± 0,36	2,24 ± 0,18	3,01	26,56 ± 0,46 ^a (I)	I
Ec2B	V	7,07 ± 0,33	2,26 ± 0,25	3,13	27,20 ± 0,37 ^a (I/A)	I
Ec2C	V	6,81 ± 0,30	2,31 ± 0,17	2,95	24,94 ± 0,16 ^b (I)	I
Ec2D	V	6,78 ± 0,48	2,33 ± 0,16	2,91	25,92 ± 1,31 ^b (I)	I
Ec3A	V	5,93 ± 0,38	2,61 ± 0,16	2,27	28,04 ± 0,71 ^a (A)	A
Ec3B	V	6,36 ± 0,27	2,68 ± 0,25	2,38	26,52 ± 1,17 ^a (I)	A
Ec3C	V	6,47 ± 0,27	2,85 ± 0,21	2,27	25,86 ± 0,13 ^b (I)	A
Ec4A	V	6,25 ± 0,30	2,72 ± 0,26	2,30	24,96 ± 0,25 ^b (I)	I

¹ cor do pericarpo: MC = marrom-claro, V = vermelho, P = preto; ² comprimento do grão sem casca; ³ largura do grão sem casca; ⁴ relação comprimento/largura do grão sem casca; ⁵ teor de amilose do grão: B = baixo (< 22%), I = intermediário (23-27%), A = alto (28-32%); ⁶ temperatura de gelatinização: A = alta (74 a 80°C), I = intermediária (69 a 73°C), B = baixa (63 a 68°C); ⁷ resultados expressos como média ± desvio padrão; ⁸ médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Referências bibliográficas

CASTRO, E. M. et al. **Qualidade de grãos em arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. (Embrapa Arroz e Feijão, Circular Técnica, n. 34).

DIARRA, A.; SMITH Jr, R. J.; TALBERT, R. E. Growth and morphological characteristics of red rice (*Oryza sativa*) biotypes. **Weed Science**, Lawrence, v. 33, n. 1, p. 310-314, Jan. 1985.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999.

FONSECA, J. R.; CUTRIM, V. A.; RANGEL, P. H. N. **Descritores morfo-agronômicos e fenológicos de cultivares comerciais de arroz de várzeas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002.

FONSECA, J. R. et al. **Descrição morfológica, agronômica, fenológica e culinária de alguns tipos especiais de arroz (*Oryza sativa* L.)**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2007.

MARTÍNEZ, C.; CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinária y molinera del arroz: guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema**. Cali, Colômbia: CIAT, 1989.

NOLDIN, J. A.; CHANDLER, J. M., McCAULEY, G. N. Red rice (*Oryza sativa*) biology. I. Characterization of red rice ecotypes. **Weed Technology**, Lawrence, v. 13, n. 1, p. 12-18, Jan. 1999.

SOSBAI – Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: SOSBAI, 2007.

CAPÍTULO 4

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE GRÃOS DE ARROZ COM PERICARPO MARROM-CLARO, VERMELHO E PRETO¹

Chemical composition of rice grains with light-brown, red and black pericarp color

Resumo

Grãos de arroz com pericarpio vermelho e preto, além das características organolépticas, podem apresentar diferenças na composição química comparados àqueles com pericarpio marrom-claro. Dessa forma, o presente trabalho foi desenvolvido para avaliar a composição química de grãos integrais de genótipos de arroz com pericarpio marrom-claro, vermelho e preto. Foram avaliados grãos integrais de 10 ecótipos e seis variedades de arroz com pericarpio vermelho, uma com pericarpio preto e uma com pericarpio marrom-claro, cultivados em ensaio de campo na safra 2006/07, sob iguais condições de cultivo, em área de várzea da Universidade Federal de Santa Maria, RS. Foram determinados os teores de carboidratos totais, amilose, fibra alimentar (total, solúvel e insolúvel), proteína, lipídios, matéria mineral e minerais. Observou-se diferença significativa na composição química entre grãos com pericarpio marrom-claro, vermelho e preto, principalmente no teor de fibra e minerais, indicando variabilidade entre os materiais na composição química. Além disso, alguns genótipos de arroz vermelho e preto se destacaram por possuírem maior concentração de certos componentes avaliados, como proteína, fósforo, cálcio, magnésio, potássio, ferro, manganês ou zinco.

Palavras-chave: arroz integral, proteína, minerais, arroz vermelho, arroz preto

Abstract

Rice grains with red and black pericarp color, besides their organoleptic characteristics, may present differences in the chemical composition compared to those with light-brown pericarp color. So, the present research aimed at evaluating the chemical composition of brown rice grains from genotypes with light-brown, red and black pericarp color. Brown grains of 10 rice ecotypes and six cultivars with red pericarp, one with black pericarp and one with light-brown pericarp color were evaluated. The grains were obtained in

¹ O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

the 2006/07 growing season, under equal growing conditions, in the experimental area of Universidade Federal de Santa Maria, RS. The contents of total carbohydrates, amylose, fiber, protein, lipids, mineral matter and minerals were determined. Significant difference was observed in the chemical composition among rice grains with light-brown, red and black pericarp color, especially for the content of fiber and minerals, indicating variability among genotypes in the chemical composition. Besides, some red and black pericarp genotypes stood out with higher concentration of some of the components evaluated, like protein, phosphorus, calcium, magnesium, potassium, iron, manganese or zinc.

Key words: brown rice, protein, minerals, red rice, black rice

Introdução

O arroz (*Oryza sativa*) é considerado um dos principais componentes da dieta de grande parte da população mundial, e por isso sua composição pode afetar a saúde humana. Ele é excelente fonte de energia, devido à alta concentração de amido, apresentando quantidades menores de proteínas, lipídios, fibras e minerais. Entretanto, a composição química do grão está sujeita a influências varietais, variações ambientais, de manejo, de processamento e de armazenamento (ZHOU et al., 2002), originando um alimento com características nutricionais diferenciadas.

Dentre os fatores que influenciam a composição química do arroz, as diferenças entre variedades tornam-se importantes, podendo ser utilizadas no processo de melhoramento genético para a obtenção de genótipos com características nutricionais diferenciadas. A variabilidade rotineiramente observada entre genótipos com pericarpo marrom-claro, cujos grãos são considerados padrão para consumo na maioria dos países, também é observada para grãos com pericarpo vermelho e preto.

O arroz com pericarpo vermelho e preto é utilizado na alimentação em diversos países, principalmente na Ásia, mas também na região Nordeste do Brasil, onde o consumo de arroz vermelho é um hábito alimentar da população local, sendo relacionado principalmente as suas características sensoriais diferenciadas. Porém, pesquisas demonstram que alguns genótipos com pericarpo vermelho e preto também podem apresentar diferenças nas características nutricionais em relação ao arroz com pericarpo marrom-claro, como maior teor de proteínas (GOTO et al., 1996; MATSUE & OGATA, 1998) e minerais (GOTO et al., 1996; ZHANG et al., 2004; MENG et al., 2005; YANG et al., 1998).

Dessa forma, o presente trabalho foi desenvolvido a fim de avaliar a composição química de grãos integrais de genótipos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto.

Material e métodos

Material experimental

Os grãos utilizados no presente trabalho foram multiplicados em ensaio de campo na safra 2006/07, sob iguais condições de cultivo, na área de várzea sistematizada do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, RS.

Para semeadura foram utilizados 10 ecótipos de arroz com pericarpo vermelho coletados por pesquisadores do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) em lavouras de diferentes regiões do Rio Grande do Sul, denominados Ec1A, Ec1B, Ec2A, Ec2B, Ec2C, Ec2D, Ec3A, Ec3B, Ec3C e Ec4A; cinco variedades de arroz com pericarpo vermelho de cultivo tradicional na região Nordeste do Brasil, coletadas pela Embrapa Meio-Norte, denominadas PB1, PB4, PB5, PB11 e PB13; uma variedade com pericarpo vermelho desenvolvida pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), denominada Epagri; uma variedade de arroz com pericarpo preto desenvolvida pelo Instituto Agronômico Campinas (IAC), denominada IAC 600; e uma variedade de arroz com pericarpo marrom-claro do IRGA, denominada Irga 417. Esses materiais genéticos compuseram os tratamentos.

Após a colheita, os grãos foram secos até 13% de umidade, com temperatura da massa de grãos não ultrapassando 40°C.

Beneficiamento dos grãos

Para as avaliações laboratoriais foram utilizados grãos integrais, beneficiados em provador de arroz Zaccaria (PAZ-1), observando a ausência de estrias durante a descascagem, indicando que não houve perda de farelo no processo. Posteriormente, os grãos foram moídos a fim de obter tamanho de partícula adequado para as análises.

Composição química

Os teores de umidade, matéria mineral, proteína e fibra alimentar (fibra total, solúvel e insolúvel) foram determinados segundo metodologias descritas na AOAC (1995), o teor de lipídios pelo método de Bligh & Dyer (1959), o teor de amilose por reação iodométrica (MARTÍNEZ & CUEVAS, 1989), o teor de carboidratos totais foi determinado por diferença

(100 – umidade – cinzas – gordura – proteína – fibra) e o teor de minerais por metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o completamente casualizado. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Resultados e discussão

Os grãos de arroz avaliados apresentaram teores de carboidratos totais entre 75,97 e 81,01% (variação de 6,2%) (Tabela 1). Esses resultados são semelhantes aos de Frei et al. (2003), que obtiveram teores entre 72 e 82% avaliando grãos integrais com pericarpo marrom-claro. Esses dados indicam que fatores genéticos, além dos ambientais, influenciam a concentração de carboidratos no grão. O arroz, assim como outros cereais, é rico em carboidratos, principalmente amido, sendo por isso utilizado como fonte de energia na alimentação. Diferenças no conteúdo de carboidratos entre genótipos podem afetar a quantidade de energia fornecida pelos grãos na alimentação. Entretanto, deve-se ressaltar que, além das variações na concentração, são observadas diferenças na taxa e extensão da digestão do amido, que podem ser influenciadas pela variação na proporção amilose:amilopectina, processamento do grão, propriedades físico-químicas, tamanho de partícula e presença de complexos lipídio-amilose (GODDARD et al., 1984), afetando algumas respostas metabólicas importantes no organismo. Dessa forma, o teor de carboidratos não pode ser utilizado como único indicador dos efeitos metabólicos do amido do arroz, sendo importantes também outros fatores, como o teor de amilose.

O amido é composto por cadeias de amilose e amilopectina, e a proporção em que estas cadeias aparecem difere entre genótipos, podendo-se classificar os grãos como conteúdo de amilose baixo (< 22%), intermediário (23-27%) e alto (28-32%) (MARTÍNES & CUEVAS, 1989). Nos grãos avaliados, os valores variaram entre 17,82 e 28,04% (variação de 36,4%) (Tabela 1), com a maioria apresentando teor de amilose de intermediário a alto, com exceção da variedade IAC 600 (teor de amilose baixo). Além da importância do conteúdo de amilose para a qualidade tecnológica e de consumo do arroz (grãos com maior teor de amilose apresentam-se mais soltos após o cozimento), este também afeta a resposta metabólica ao grão consumido. O maior teor de amilose no arroz, assim como em outros alimentos amiláceos, resulta em menor resposta glicêmica e insulinêmica (GODDARD et al., 1984;

MILLER et al., 1992) e reduz os lipídios séricos em indivíduos hiperlipidêmicos (JENKINS et al., 2002), auxiliando na prevenção e tratamento de doenças como o diabetes (VELANGI et al., 2005) e problemas cardiovasculares (JENKINS et al., 2002).

Os polissacarídeos não digeridos pelas enzimas no trato gastrintestinal, como celulose, hemiceluloses, amido resistente e pectinas, fazem parte da fração fibra alimentar, que pode ser dividida em solúvel e insolúvel. Foi observada diferença significativa nos teores de fibra total nos grãos avaliados, com valores entre 6,78 e 10,68% (variação de 36,5%) (Tabela 1). Embora seja importante, o teor de fibra total não pode ser considerado de forma isolada, uma vez que seus efeitos fisiológicos estão relacionados à proporção das frações solúvel e insolúvel. Essa proporção apresentou grande variação, com teores de fibra insolúvel entre 2,62 e 6,29% (variação de 58,3%) e de fibra solúvel entre 1,48 e 7,09% (variação de 79,1%). A diferença na proporção entre as frações da fibra é importante, pois apresentam diferentes efeitos no organismo humano. De forma geral, a fibra insolúvel aumenta o bolo fecal e reduz o tempo de trânsito intestinal (MOORE et al., 1998), podendo auxiliar na prevenção da constipação. Já a fibra solúvel aumenta o tempo de trânsito através do trato gastrintestinal, retarda o esvaziamento gástrico, diminui a absorção de glicose (MOORE et al., 1998) e altera o metabolismo hepático do colesterol (GUILLON & CHAMP, 2000). Além disso, por não ser digerida pelas enzimas do trato gastrintestinal, a fibra torna-se disponível para fermentação pela microflora do intestino grosso, originando ácidos graxos de cadeia curta, com diferentes efeitos no organismo (GUILLON & CHAMP, 2000). Portanto, os efeitos dessas frações irão depender não só da quantidade ingerida, mas também da predominância de uma fração em relação à outra e do sinergismo que pode ocorrer entre elas.

O teor de proteína nos grãos variou de 7,50 a 9,36% (variação de 19,9%) (Tabela 1), valores próximos ao teor médio (8%) em grãos integrais de arroz. Entretanto, são relatadas grandes variações nesse nutriente, com valores entre 4,3 e 18,2% (LUMEN & CHOW, 1995), devido a características genóticas, adubação nitrogenada, radiação solar e temperatura durante o desenvolvimento do grão (JULIANO & BECHTEL, 1985; GRAHAM et al., 1999). No presente trabalho, a variedade PB 4, de pericarpo vermelho, destacou-se pelo teor de proteína significativamente maior do que os outros grãos avaliados. Entretanto, os outros genótipos com pericarpo vermelho e preto apresentaram teor de proteína igual ou inferior àquele da variedade com pericarpo marrom-claro. Devido à importância do arroz na dieta de grande parte da população, torna-se importante a avaliação de genótipos e identificação de materiais com maior teor de proteína, a fim de aumentar a quantidade deste nutriente, visando tanto propriedades nutricionais como tecnológicas, já que grãos com maior teor de proteína

apresentam-se mais soltos após o cozimento (ONG & BLANSHARD, 1995), característica desejada no arroz consumido no País.

O arroz apresenta baixo teor de lipídios, sendo observados teores entre 2,62 e 3,54% (variação 25,8%) nos grãos avaliados no presente trabalho (Tabela 1). Resultados semelhantes foram obtidos por Taira & Itani (1988) e Storck (2004) que, avaliando grãos integrais com pericarpo marrom-claro, obtiveram valores entre 2,3-3,2% e 1,2-3,4%, respectivamente. Pode-se observar que, dos 17 materiais com pericarpo vermelho ou preto avaliados, nove apresentaram teor de lipídios significativamente maior do que o genótipo com pericarpo marrom-claro, entretanto dentro da variação observada para diferentes genótipos em outros trabalhos. Esses lipídios, localizados principalmente nas camadas externas do grão, diminuem a estabilidade do arroz integral durante o armazenamento, sendo necessárias medidas adequadas de conservação para retardar o processo oxidativo, que altera as características organolépticas do grão, e aumentar sua vida de prateleira.

O teor de matéria mineral dos grãos variou de 1,09 a 2,08% (variação de 47,6%) (Tabela 1). Alguns pesquisadores observaram maior conteúdo de matéria mineral em grãos de arroz com pericarpo vermelho e preto comparado àqueles com pericarpo marrom-claro (GOTO et al., 1996). Entretanto o mesmo não foi observado no presente trabalho, onde o teor de matéria mineral foi significativamente igual ou menor para os materiais com pericarpo vermelho e preto. Apesar da grande variação observada para o teor de matéria mineral, esse não é um bom preditor do valor nutricional, pois não revela a quantidade de cada mineral isoladamente.

Portanto, foram avaliados os teores de fósforo, cálcio, magnésio, potássio, ferro, manganês e zinco (Tabela 2). Pode-se observar grande variabilidade no conteúdo de minerais entre os genótipos, com variação de 70,4% para fósforo, 96,3% para cálcio, 52,6% para magnésio, 47,7% para potássio, 76,3% para ferro, 62,5% para manganês e 55,1% para zinco. Para todos os minerais avaliados, pode-se observar que alguns genótipos de arroz com pericarpo vermelho e preto apresentam concentração significativamente maior do que o genótipo com pericarpo marrom-claro. Outros pesquisadores também relataram maior concentração de alguns minerais em grãos com pericarpo vermelho e preto, como ferro (ZHANG et al., 2004; MENG et al., 2005), zinco (YANG et al., 1998; ZHANG et al., 2004), manganês e fósforo (ZHANG et al., 2004). Entretanto, deve-se lembrar que a maior concentração de minerais não significa necessariamente maior quantidade de minerais absorvidos pelo organismo, visto que a biodisponibilidade pode ser afetada pela presença de outros compostos no grão, como fibra e ácido fítico (HUNT et al., 2002). Essa variabilidade

na concentração de alguns minerais, principalmente ferro e zinco (principais deficiências de micronutrientes da população mundial), é importante no desenvolvimento de pesquisas para melhorar a qualidade nutricional do grão de arroz.

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que existe diferença significativa na composição química entre grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto, principalmente no teor de fibra e minerais, sendo que alguns genótipos de arroz com pericarpo vermelho e preto se destacaram por possuírem maior concentração de certos componentes avaliados, como proteína, fósforo, cálcio, magnésio, potássio, ferro, manganês e zinco. Essa variabilidade pode ser utilizada tanto com benefícios na alimentação, assim como fonte de variabilidade para o melhoramento genético para a obtenção de genótipos com características diferenciadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro, e ao Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) e à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) pelo fornecimento do material genético.

Tabela 1 - Composição química (% na matéria seca) de grãos integrais de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto

	CT ¹	Aml ²	FT ³	FI ⁴	FS ⁵	Ptn ⁶	Lip ⁷	MM ⁸
Irga 417	79,05 ± 0,50 ^a	26,81 ± 0,03 ^a	8,03 ± 0,11 ^c	3,66 ± 0,03 ^b	4,37 ± 0,09 ^b	8,30 ± 0,11 ^b	2,81 ± 0,34 ^b	1,84 ± 0,01 ^a
Epagri	77,88 ± 0,02 ^b	23,21 ± 0,14 ^c	9,25 ± 0,21 ^b	6,29 ± 0,68 ^a	2,96 ± 0,46 ^d	8,26 ± 0,33 ^b	3,35 ± 0,07 ^a	1,26 ± 0,06 ^c
PB 1	78,96 ± 0,82 ^a	26,72 ± 0,83 ^a	9,20 ± 0,59 ^b	4,21 ± 0,23 ^b	4,98 ± 0,37 ^b	7,86 ± 0,04 ^c	2,90 ± 0,22 ^b	1,09 ± 0,03 ^c
PB 4	79,20 ± 0,14 ^a	27,56 ± 1,07 ^a	7,23 ± 0,28 ^d	5,75 ± 0,01 ^a	1,48 ± 0,27 ^e	9,36 ± 0,08 ^a	2,92 ± 0,09 ^b	1,29 ± 0,04 ^c
PB 5	79,37 ± 0,01 ^a	25,68 ± 0,65 ^b	8,52 ± 0,04 ^b	4,00 ± 0,73 ^b	4,52 ± 0,69 ^b	7,75 ± 0,24 ^c	3,21 ± 0,07 ^a	1,14 ± 0,13 ^c
PB 11	78,30 ± 0,36 ^b	24,70 ± 0,17 ^b	9,03 ± 0,58 ^b	5,28 ± 0,20 ^a	3,74 ± 0,37 ^c	7,86 ± 0,01 ^c	3,32 ± 0,27 ^a	1,49 ± 0,04 ^b
PB 13	76,78 ± 0,01 ^b	25,98 ± 0,16 ^b	10,14 ± 0,49 ^a	5,00 ± 0,25 ^a	5,14 ± 0,25 ^b	8,66 ± 0,49 ^b	2,62 ± 0,11 ^b	1,80 ± 0,11 ^a
IAC 600	75,97 ± 0,13 ^b	17,82 ± 0,21 ^d	9,94 ± 0,24 ^a	4,99 ± 0,55 ^a	4,94 ± 0,31 ^b	7,50 ± 0,18 ^c	3,54 ± 0,07 ^a	1,78 ± 0,16 ^a
Ec1A	81,01 ± 0,18 ^a	27,62 ± 0,35 ^a	7,19 ± 0,18 ^d	5,08 ± 0,30 ^a	2,10 ± 0,12 ^e	7,78 ± 0,01 ^c	2,86 ± 0,13 ^b	1,16 ± 0,13 ^c
Ec1B	78,71 ± 1,30 ^a	27,06 ± 0,06 ^a	7,96 ± 0,83 ^c	3,92 ± 0,18 ^b	4,04 ± 0,65 ^c	8,16 ± 0,16 ^b	3,30 ± 0,24 ^a	1,88 ± 0,08 ^a
Ec2A	79,22 ± 0,87 ^a	26,56 ± 0,46 ^a	7,80 ± 0,74 ^c	4,22 ± 0,29 ^b	3,58 ± 0,45 ^c	8,51 ± 0,01 ^b	2,68 ± 0,05 ^b	1,78 ± 0,08 ^a
Ec2B	77,00 ± 0,61 ^b	27,20 ± 0,37 ^a	10,68 ± 0,30 ^a	3,60 ± 0,12 ^b	7,09 ± 0,18 ^a	7,61 ± 0,35 ^c	2,96 ± 0,01 ^b	1,74 ± 0,04 ^a
Ec2C	80,46 ± 0,07 ^a	24,94 ± 0,16 ^b	6,92 ± 0,21 ^d	3,05 ± 0,34 ^c	3,88 ± 0,14 ^c	7,70 ± 0,08 ^c	3,10 ± 0,14 ^a	1,82 ± 0,09 ^a
Ec2D	79,56 ± 1,13 ^a	25,92 ± 1,31 ^b	6,78 ± 0,18 ^d	4,48 ± 0,50 ^b	2,76 ± 0,32 ^d	8,20 ± 0,09 ^b	2,92 ± 0,05 ^b	2,08 ± 0,16 ^a
Ec3A	79,87 ± 0,25 ^a	28,04 ± 0,71 ^a	7,32 ± 0,33 ^d	5,50 ± 0,73 ^a	1,84 ± 0,40 ^e	7,84 ± 0,19 ^c	3,19 ± 0,08 ^a	1,78 ± 0,01 ^a
Ec3B	77,36 ± 0,80 ^b	26,52 ± 1,17 ^a	9,60 ± 0,58 ^b	2,62 ± 0,55 ^c	6,98 ± 0,02 ^a	7,79 ± 0,44 ^c	3,26 ± 0,08 ^a	1,99 ± 0,15 ^a
Ec3C	77,98 ± 1,27 ^b	25,86 ± 0,13 ^b	9,50 ± 0,63 ^b	5,96 ± 0,23 ^a	3,56 ± 0,40 ^c	7,60 ± 0,45 ^c	3,07 ± 0,10 ^a	1,84 ± 0,08 ^a
Ec4A	78,78 ± 0,12 ^a	24,96 ± 0,25 ^b	8,56 ± 0,02 ^b	5,31 ± 0,27 ^a	3,25 ± 0,25 ^d	8,27 ± 0,07 ^b	2,74 ± 0,08 ^b	1,65 ± 0,11 ^a

¹ carboidratos totais; ² amilose; ³ fibra total; ⁴ fibra insolúvel; ⁵ fibra solúvel; ⁶ proteína (N x 5,95); ⁷ lipídios; ⁸ matéria mineral; resultados expressos como média ± desvio padrão; médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2 - Teor de fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) (mg 100g⁻¹, em base seca) de grãos integrais de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto

	P	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Zn
Irga 417	426,6 ± 39,7 ^c	15,3 ± 2,4 ^h	61,1 ± 6,4 ^c	299,2 ± 13,2 ^b	4,4 ± 0,8 ^b	2,9 ± 0,4 ^b	5,8 ± 1,1 ^b
Epagri	385,0 ± 59,6 ^c	18,4 ± 1,6 ^h	72,4 ± 8,1 ^c	271,8 ± 17,9 ^b	4,8 ± 0,9 ^b	2,8 ± 0,5 ^b	6,0 ± 1,2 ^b
PB 1	176,2 ± 20,1 ^e	34,6 ± 2,4 ^g	67,6 ± 8,8 ^c	297,2 ± 14,1 ^b	5,2 ± 0,6 ^b	2,5 ± 0,3 ^c	7,8 ± 1,1 ^a
PB 4	349,5 ± 24,1 ^d	26,1 ± 0,8 ^h	77,8 ± 3,3 ^b	347,2 ± 28,9 ^a	3,8 ± 0,8 ^c	3,4 ± 0,1 ^a	3,5 ± 0,3 ^b
PB 5	274,4 ± 37,5 ^d	15,4 ± 2,4 ^h	100,2 ± 5,7 ^a	272,6 ± 20,5 ^b	6,5 ± 1,1 ^a	2,6 ± 0,6 ^b	4,4 ± 0,8 ^b
PB 11	360,3 ± 33,8 ^d	18,4 ± 1,6 ^h	92,5 ± 8,9 ^b	286,4 ± 2,7 ^b	3,0 ± 0,6 ^c	1,6 ± 0,5 ^c	4,7 ± 0,5 ^b
PB 13	495,0 ± 28,7 ^b	22,0 ± 1,6 ^h	111,3 ± 8,2 ^a	390,2 ± 10,8 ^a	2,9 ± 0,3 ^c	4,0 ± 0,5 ^a	4,0 ± 0,3 ^b
IAC 600	325,4 ± 1,6 ^d	208,6 ± 2,5 ^a	82,4 ± 5,8 ^b	382,4 ± 2,7 ^a	2,6 ± 0,8 ^c	1,5 ± 0,1 ^c	4,1 ± 0,9 ^b
Ec1A	308,2 ± 16,6 ^d	17,5 ± 2,4 ^h	87,6 ± 12,0 ^b	395,2 ± 31,6 ^a	5,2 ± 0,5 ^b	3,0 ± 0,4 ^b	4,6 ± 0,8 ^b
Ec1B	405,1 ± 36,7 ^c	14,8 ± 3,2 ^h	91,7 ± 14,4 ^b	296,4 ± 28,2 ^b	4,0 ± 0,7 ^c	2,6 ± 0,4 ^b	5,2 ± 0,7 ^b
Ec2A	295,8 ± 12,0 ^d	7,8 ± 1,6 ^h	79,8 ± 4,8 ^b	361,4 ± 13,1 ^a	2,8 ± 0,4 ^c	2,1 ± 0,2 ^c	4,4 ± 0,1 ^b
Ec2B	188,0 ± 17,6 ^e	13,4 ± 3,2 ^h	105,5 ± 4,8 ^a	206,8 ± 30,6 ^c	7,6 ± 0,8 ^a	3,3 ± 0,4 ^b	5,8 ± 0,7 ^b
Ec2C	595,0 ± 18,2 ^a	42,4 ± 4,0 ^g	82,6 ± 6,4 ^b	359,1 ± 39,6 ^a	5,0 ± 0,4 ^b	3,1 ± 0,3 ^b	4,4 ± 0,7 ^b
Ec2D	462,5 ± 49,2 ^b	57,6 ± 1,6 ^f	83,1 ± 0,8 ^b	347,0 ± 44,0 ^a	5,7 ± 0,7 ^b	4,0 ± 0,5 ^a	7,4 ± 1,1 ^a
Ec3A	316,3 ± 57,0 ^d	113,4 ± 14,3 ^e	65,0 ± 4,8 ^c	326,6 ± 19,2 ^a	4,2 ± 1,2 ^b	3,0 ± 0,3 ^b	7,8 ± 1,3 ^a
Ec3B	304,4 ± 49,3 ^d	137,2 ± 1,6 ^d	52,8 ± 8,0 ^c	331,5 ± 56,0 ^a	4,5 ± 0,8 ^b	2,9 ± 0,3 ^b	5,2 ± 0,6 ^b
Ec3C	256,3 ± 4,5 ^e	174,5 ± 4,0 ^c	87,0 ± 5,6 ^b	373,4 ± 16,6 ^a	1,8 ± 0,3 ^c	1,8 ± 0,1 ^c	5,1 ± 0,7 ^b
Ec4A	230,0 ± 12,0 ^e	192,2 ± 4,0 ^b	85,8 ± 4,0 ^b	342,2 ± 21,8 ^a	3,0 ± 0,7 ^c	2,2 ± 0,3 ^c	5,4 ± 0,7 ^b

Resultados expressos como média ± desvio padrão; médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Referências bibliográficas

AOAC – Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of the AOAC International**. 16th ed. Washington: AOAC, 1995.

BLIGH, E. C.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, Ottawa, v. 37, n. 8, p. 911-917, Aug. 1959.

FREI, M. et al. Studies on in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. **Food Chemistry**, Oxford, v. 83, n. 3, p. 395-402, Nov. 2003.

GODDARD, M. S. et al. The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 39, n. 3, p. 388-392, Mar. 1984.

GOTO, M.; MURAKAMI, Y.; YAMANAKA, H. Comparison of palatability and physicochemical properties of boiled rice among red rice, Koshihikari and Minenishiki. **Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology**, Tokyo, v. 43, n. 7, p. 821-824, Jul. 1996.

GRAHAM, R. et al. Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 60, n. 1-2, p. 57-80, Jan. 1999.

GUILLON, F.; CHAMP, M. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. **Food Research International**, Oxford, v. 33, n. 3-4, p. 233-245, Apr. 2000.

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**, Easton, v. 50, n. 18, p. 5229-5235, Aug. 2002.

JENKINS, D. J. A. et al. Glycemic index: overview of implications in health and disease. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 76, n. 1, p. 266S-273S, Jul. 2002.

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

LUMEN, B. O.; CHOW, H. Nutritional quality of rice endosperm. In: LUH, B. S. (Ed.). **Rice utilization** - vol II. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold Pub., 1995. Cap. 15, p. 363-395.

MARTÍNEZ, C.; CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinária y molinera del arroz:** guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. Cali, Colômbia: CIAT, 1989.

MATSUE, Y.; OGATA, T. Physicochemical and mochi-making properties of the native red and black-kerneled glutinous rice cultivars. **Plant Production Science**, Tokyo, v. 1, n. 2, p. 126-133, Apr. 1998.

MENG, F.; WEI, Y.; YANG, X. Iron content and bioavailability in rice. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, Oxford, v. 18, n. 4, p. 333-338, Jun. 2005.

MILLER, J. B. et al. Rice: a high or low glycemic index food? **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 56, n. 6, p. 1034-1036, Dec. 1992.

MOORE, M. A.; PARK, C. B.; TSUDA, H. Soluble and insoluble fiber influences on cancer development. **Critical Reviews in Oncology/Hematology**, Oxford, v. 27, n. 3, p. 229-242, Apr. 1998.

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**, Oxford, v. 21, n. 3, p. 251-260, May. 1995.

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

TAIRA, H.; ITANI, T. Lipid content and fatty acid composition of brown rice of cultivars of the United States. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 36, n. 3, p. 460-462, May. 1988.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

VELANGI, A. et al. Evaluation of a glucose meter for determining the glycemic responses of foods. **Clinica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 356, n. 1-2, p. 191-198, Jun. 2005.

YANG, X. et al. Genotypic differences in concentrations of iron, manganese, copper, and zinc in polished rice grains. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 21, n. 7, p. 1453-1462, Jul. 1998.

ZHANG, M. W.; GUO, B. J.; PENG, Z. M. Genetic effects on Fe, Zn, Mn and P contents in *Indica* Black pericarp rice and their genetic correlations with grains characteristics. **Euphytica**, Amsterdam, v. 135, n. 3, p. 315-323, Mar. 2004.

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

CAPÍTULO 5

CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES ANTIOXIDANTES DE GRÃOS DE ARROZ COM PERICARPO MARROM-CLARO, VERMELHO E PRETO, E EFEITO DO PROCESSAMENTO¹

Characterization of the antioxidant properties of rice grains with light-brown, red and black pericarp color, and the effect of processing

Resumo

A concentração de compostos fenólicos no arroz pode ser afetada por diferentes fatores, como genótipo, cor do pericarpo e processamento do grão. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a concentração de compostos fenólicos solúveis totais e a atividade antioxidante de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto, bem como, o efeito do processamento sobre a concentração de compostos fenólicos no grão. Foram avaliados grãos de 10 ecótipos e seis variedades de arroz com pericarpo vermelho, uma com pericarpo preto e uma com pericarpo marrom-claro, cultivados em ensaio de campo na safra 2006/07, sob iguais condições de cultivo, em área de várzea da Universidade Federal de Santa Maria, RS. Foram determinadas a concentração de compostos fenólicos solúveis totais e a atividade antioxidante dos grãos submetidos a diferentes processamentos (integral, polido, parboilizado integral e parboilizado polido), sendo a concentração de compostos fenólicos solúveis totais também avaliada comparando grãos crus e cozidos. Foi observada diferença significativa na concentração de compostos fenólicos solúveis totais e na atividade antioxidante entre genótipos, sendo os maiores valores encontrados nos grãos com pericarpo vermelho e preto, com correlação positiva e significativa entre estes parâmetros. A parboilização reduziu a concentração de compostos fenólicos solúveis totais nos grãos devido à perda de parte desses compostos na água de processamento, decomposição térmica e, possivelmente, interação com outros componentes, sendo essa redução relacionada à menor atividade antioxidante nesses grãos. De forma semelhante, o cozimento também reduziu a concentração de compostos fenólicos, principalmente nos grãos integrais e polidos.

Palavras-chave: compostos fenólicos, atividade antioxidante, arroz integral, arroz parboilizado, arroz polido

¹ O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

Abstract

The concentration of phenolic compounds in rice is affected by different factors, like genotype, pericarp color and grain processing. So, the present work aimed at evaluating the concentration of total soluble phenolic compounds and the antioxidant activity of rice grains with light-brown, red and black pericarp color, and the effect of processing on the concentration of phenolic compounds in the grain. Brown rice grains of 10 ecotypes and six cultivars with red pericarp, one with black pericarp and one with light-brown pericarp color were evaluated. The grains were obtained in the 2006/07 growing season, under equal growing conditions, in the experimental area of Universidade Federal de Santa Maria, RS. The concentration of total soluble phenolic compounds and the antioxidant activity of rice grains with different processing (brown, polished, parboiled brown and parboiled polished) were determined, and the concentration of total soluble phenolic compounds was also determined in raw and cooked grains. Significant difference was observed in the concentration of total soluble phenolic compounds and in the antioxidant activity among genotypes, with the higher values obtained for grains with red and black pericarp color, with a positive and significant correlation between these parameters. Parboiling reduced the concentration of total soluble phenolic compounds in the grains due to the loss of part of them in the processing water, thermal decomposition and, possibly, interaction with other components, and this reduction is related to the lower antioxidant activity in these grains. In a similar way, cooking also reduced the concentration of phenolic compounds, especially in brown and polished grains.

Key words: phenolic compounds, antioxidant activity, brown rice, parboiled rice, polished rice

Introdução

Os compostos fenólicos (polifenóis) são encontrados em ampla variedade de alimentos, incluindo frutas, verduras e grãos, sendo que a concentração e o tipo de compostos variam entre os diferentes alimentos devido a fatores genéticos e ambientais, bem como, condições de processamento (KRIS-ETHERTON et al., 2002). Dessa forma, a quantidade de polifenóis na dieta é bastante variada, dependendo do tipo e quantidade de alimento consumido.

Nesse sentido, o arroz, sendo um dos principais alimentos na dieta de grande parte da população, pode apresentar papel importante na concentração de antioxidantes ingerida

diariamente. Vários compostos fenólicos já foram identificados nesse cereal, principalmente ácidos fenólicos e antocianinas (HUDSON et al., 2000; OKI et al., 2002; HU et al., 2003; GOFFMAN & BERGMAN, 2004; TIAN et al., 2004; ZHOU et al., 2004; CHEN et al., 2006; YAWADIO et al., 2007), e pesquisas têm demonstrado correlação positiva entre a concentração de fenólicos no grão e a atividade antioxidante (GOFFMAN & BERGMAN, 2004; ZHANG et al., 2006), como já observado para outros alimentos ricos nesses compostos.

O tipo e a concentração de polifenóis no grão variam entre genótipos, sendo relacionados principalmente à cor do pericarpo. Normalmente, grãos com pericarpo vermelho e preto apresentam maior concentração de compostos fenólicos do que aqueles com pericarpo marrom-claro (TIAN et al., 2004; ZHOU et al., 2004). Além disso, a concentração desses compostos também é afetada pelo processamento. No arroz, os polifenóis estão associados principalmente ao pericarpo, que é removido durante o processo para obtenção do grão polido, principal forma de consumo de arroz no País, reduzindo a concentração desses compostos no grão (HU et al., 2003; ZHOU et al., 2004). O arroz também pode passar pela parboilização, processo hidrotérmico através do qual se obtém o arroz parboilizado; e obrigatoriamente pelo cozimento, previamente ao seu consumo, sendo que pouco se sabe sobre o impacto desses dois processos sobre os polifenóis presentes no grão.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a concentração de compostos fenólicos solúveis totais e a atividade antioxidante de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto, bem como estudar o efeito do processamento sobre a concentração de compostos fenólicos no grão.

Material e métodos

Material experimental

Os grãos utilizados no presente trabalho foram multiplicados em ensaio de campo na safra 2006/07, sob iguais condições de cultivo, na área de várzea sistematizada do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, RS.

Para semeadura foram utilizados 10 ecótipos de arroz com pericarpo vermelho coletados por pesquisadores do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) em lavouras de diferentes regiões do Rio Grande do Sul, denominados Ec1A, Ec1B, Ec2A, Ec2B, Ec2C, Ec2D, Ec3A, Ec3B, Ec3C e Ec4A; cinco variedades de arroz com pericarpo vermelho de cultivo tradicional na região Nordeste do Brasil, coletadas pela Embrapa Meio-Norte, denominadas PB1, PB4, PB5, PB11 e PB13; uma variedade com pericarpo vermelho desenvolvida pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

(Epagri), denominada Epagri; uma variedade de arroz com pericarpo preto desenvolvida pelo Instituto Agronômico Campinas (IAC), denominada IAC 600; e uma variedade de arroz com pericarpo marrom-claro do IRGA, denominada Irga 417. Esses materiais genéticos compuseram os tratamentos.

Após a colheita, os grãos foram secos até 13% de umidade, com temperatura da massa de grãos não ultrapassando 40°C.

Beneficiamento dos grãos

Para as avaliações laboratoriais, os grãos foram submetidos a diferentes tipos de processamento: integral, polido, parboilizado integral e parboilizado polido, avaliados na forma crua e cozida. Para a obtenção dos grãos integrais, os mesmos foram descascados em provador de arroz Zaccaria (PAZ-1), observando a ausência de estrias nos grãos, indicando que não houve perda de farelo no processo. Para o arroz polido, os grãos descascados foram submetidos a polimento, para remoção das camadas externas do grão. A parboilização das amostras foi realizada conforme metodologia adaptada de Elias et al. (1996). Os grãos com casca foram submetidos à encharcamento (razão massa de grãos:água de 1:1,5) em água aquecida a $65\pm 2^\circ\text{C}$, por 300min, e autoclavados a $116\pm 1^\circ\text{C}$ (pressão de $0,6\pm 0,05$ KPa), por 10 min. Após esse processo as amostras foram secas até $13\pm 1\%$ de umidade, com temperatura da massa de grãos não ultrapassando 40°C. Para a obtenção do arroz parboilizado integral, os grãos foram descascados, e para o arroz parboilizado polido, eles foram descascados e polidos. Para a avaliação do arroz cozido, os grãos foram cozidos em proporção massa de grãos:água de 1:2,5 por aproximadamente 30min, e posteriormente foi realizada secagem em estufa com circulação de ar a 50°C. Os grãos foram moídos a fim de obter tamanho de partícula adequado para as análises.

Análises laboratoriais

Para a avaliação da concentração de compostos fenólicos solúveis totais e da atividade antioxidante, foi realizada a extração das amostras seguindo metodologia modificada de Iqbal et al. (2005) e Pérez-Jiménez & Saura-Calixto (2005). Um grama de amostra foi homogeneizado com 20mL de metanol 80% em tubo tipo Falcon de 50mL e colocado em agitador por 1h, a temperatura ambiente. Após esse período, as amostras foram centrifugadas por 10min a 3.000rpm e o sobrenadante foi separado. Ao resíduo foi adicionado 20mL de metanol 80% pH 2,0 e realizado o mesmo procedimento de agitação, centrifugação e separação do sobrenadante. Adicionou-se 20mL de acetona 70% ao resíduo, seguindo

novamente os mesmos passos de agitação, centrifugação e separação do sobrenadante. Os três sobrenadantes foram misturados e posteriormente utilizados para as análises de compostos fenólicos solúveis totais e atividade antioxidante. As extrações foram conduzidas em triplicada.

A concentração de compostos fenólicos solúveis totais foi avaliada pela metodologia de Folin-Ciocalteu (SINGLETON et al., 1999; IQBAL et al., 2005). Uma alíquota de 80µL de extrato (amostra) foi diluída com 2.000µL de água destilada, adicionou-se 200µL de reagente Folin-Ciocalteu 0,25N e esperou-se 3min antes de adicionar 1.000µL de carbonato de sódio 7,5%. A mistura de reação foi incubada por 2h a temperatura ambiente, no escuro, para completar a reação. A absorbância foi medida em espectrofotômetro a 765nm. Para o branco, foram utilizados os mesmos reagentes, mas utilizando metanol ao invés de amostra. Uma curva padrão de ácido gálico foi utilizada e os resultados foram calculados como equivalente ácido gálico (mg EAG) por 100g de grão (em base seca). As reações foram conduzidas em triplicada, obtendo-se média desses resultados.

A atividade antioxidante foi avaliada através da atividade seqüestrante de radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) (BRAND-WILLIAMS et al., 1995). Antes do início da análise, o espectrofotômetro foi zerado com metanol e a solução de DPPH foi diluída com metanol até atingir absorbância de $1,1 \pm 0,02$ a 515nm. 100µL de extrato (amostra) foi combinado com 1900µL de solução de DPPH. Um branco foi conduzido simultaneamente contendo metanol no lugar da amostra. A mistura de reação foi incubada por 24h a temperatura ambiente, no escuro, para completar a reação. A absorbância foi medida em espectrofotômetro a 515nm. Quando a absorbância foi inferior a 0,2 as amostras foram diluídas e analisadas novamente. A atividade antioxidante foi estimada como equivalente Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) (mmol ET) por g de grão (em base seca), por comparação com uma curva padrão. As reações foram conduzidas em triplicada, obtendo-se média desses resultados.

Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o completamente casualizado. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Resultados e discussão

A concentração de compostos fenólicos solúveis totais diferiu significativamente entre os genótipos (Tabela 1), com variação de 93%. As maiores concentrações de compostos fenólicos solúveis totais foram observadas para os grãos com pericarpo vermelho e preto, as quais foram 7 a 15 vezes maiores do que para aqueles com pericarpo marrom-claro. Resultados semelhantes foram obtidos por Goffman & Bergman (2004), com concentração de polifenóis entre 25 e 535mg EAG 100g⁻¹, e por Shen et al. (2008), com valores entre 108,1 e 1244,9mg EAG 100g⁻¹, sendo também as maiores concentrações observadas em grãos com pericarpo vermelho e preto.

Além da diferença na concentração de fenólicos solúveis totais relacionada à cor do pericarpo, observou-se também variação na concentração destes compostos em grãos com a mesma cor do pericarpo. Por exemplo, para os grãos com pericarpo vermelho, a concentração variou de 478,72 a 972,99 mg EAG 100g⁻¹, sugerindo grande variação nessa característica dentro do grupo.

Diversas pesquisas têm demonstrado a atividade antioxidante de compostos fenólicos de diferentes fontes. No presente trabalho, a atividade antioxidante, expressa como equivalente Trolox (ET), diferiu significativamente entre os genótipos avaliados (Tabela 1), com variação de 93%. A menor atividade antioxidante foi observada para o arroz com pericarpo marrom-claro, de 8 a 14 vezes menor do que aquela observada para os grãos com pericarpo vermelho e preto, indicando diferença na atividade antioxidante dos grãos relacionada à cor do pericarpo. Maior atividade antioxidante de grãos com pericarpo vermelho e preto também foi observada por Shen et al. (2008) utilizando ensaio ABTS.

Assim como na concentração de compostos fenólicos solúveis totais, também foi observada diferença na atividade antioxidante em grãos com a mesma cor do pericarpo, variando de 37,19 a 68,83mmol ET g⁻¹ grão naqueles com pericarpo vermelho, demonstrando variabilidade nessa característica dentro do grupo.

A atividade antioxidante dos extratos obtidos está correlacionada positiva e significativamente ($R^2=0,9099$) com a concentração de compostos fenólicos solúveis totais (Figura 1), indicando que esses compostos são os principais responsáveis pela atividade antioxidante nos extratos de grãos de arroz avaliados. Correlação semelhante para grãos de arroz foi observada por Goffman & Bergman (2004) e Shen et al. (2008), sendo também observada para outros alimentos, como amora, mirtilo, linhaça, trigo, aveia e ginseng, entre outros (VELIOGLU et al., 1998; ADOM & LIU, 2002; CHOI et al., 2007; CÉSPEDES et al., 2008). Ensaios *in vitro* e *ex vivo* têm demonstrado correlação entre a atividade antioxidante e

a redução do estresse oxidativo de extratos obtidos de grãos de arroz com pericarpo vermelho e preto, com diferentes efeitos, como auxílio na prevenção ao câncer (HUDSON et al., 2000; HU et al., 2003; HYUN & CHUNG, 2004; CHEN et al., 2006), no controle dos lipídios sanguíneos e doenças relacionadas (LING et al., 2001) e na prevenção das complicações do diabetes (MORIMITSU et al., 2002; YAWADIO et al., 2007), sugerindo que grãos de arroz com maior concentração de compostos fenólicos, assim como observado para outros alimentos ricos em polifenóis, poderiam apresentar efeitos benéficos à saúde. Entretanto, ainda são necessários mais estudos para comprovar esse possível efeito benéfico do arroz *in vivo*.

Para avaliar o efeito do processamento na concentração de compostos fenólicos no arroz, foram realizadas avaliações em grãos integrais, polidos, parboilizados integrais e parboilizados polidos (Tabela 2).

O polimento reduziu significativamente a concentração de compostos fenólicos solúveis totais para todos os genótipos pesquisados (Tabela 2). Avaliando a distribuição dos polifenóis no grão de arroz, observou-se que no genótipo com pericarpo marrom-claro 62% dos compostos fenólicos estão presentes no pericarpo, enquanto nos grãos com pericarpo vermelho e preto esse valor variou entre 92% e 97% (Figura 2). Esses resultados demonstram que, no arroz, os compostos fenólicos estão principalmente associados ao pericarpo. Por isso, o processo de polimento, ao remover as camadas mais externas do grão, reduz significativamente a concentração destes compostos no arroz polido.

Outro processo utilizado na industrialização do arroz é a parboilização. Nesse processo, os grãos com casca são submetidos à encharcamento em água aquecida ($65\pm 2^{\circ}\text{C}$, 300min), autoclavados ($116\pm 1^{\circ}\text{C}$, 10 min) e secos (40°C), e posteriormente beneficiados para obtenção do arroz parboilizado integral e parboilizado polido. Para o arroz parboilizado integral, comparado ao arroz integral, foi observada redução significativa na concentração de compostos fenólicos solúveis totais (Tabela 2), com redução de 48,6% para grãos com pericarpo marrom-claro, de 73,0 a 87,0% para grãos com pericarpo vermelho e de 32,8% para grãos com pericarpo preto. Essa redução na concentração de polifenóis nos grãos parboilizados integrais pode estar relacionada à perda de fenólicos na água de parboilização, decomposição térmica ou interação com outros componentes do grão.

Os polifenóis, devido a suas características químicas, são solúveis em água e, dessa forma, parte dos compostos pode ser solubilizada na água de parboilização. Concentrações de compostos fenólicos entre 10,77 e 39,24mg EAG (provenientes da parboilização de 100g de

arroz com casca) foram observadas na água de parboilização, demonstrando que pequena parte da redução na concentração de polifenóis nos grãos parboilizados deve-se a esse fato.

Além disso, por se tratar de um processo térmico, deve-se considerar o efeito da temperatura da parboilização sobre os polifenóis. Diversos trabalhos têm demonstrado que compostos fenólicos de diferentes alimentos podem sofrer decomposição sob altas temperaturas, sendo esse efeito dependente das condições de temperatura, do tempo de processamento, do tipo de compostos na amostra, entre outros (LARRAURI et al., 1997; PIGA et al., 2003). Essa decomposição leva à redução na concentração de polifenóis, como observado no presente trabalho para os grãos parboilizados.

Deve-se considerar também a possibilidade de interação dos compostos fenólicos com outros componentes do arroz. O processo de parboilização resulta em reorganização da estrutura interna do grão, principalmente de amido e proteínas, mas os polifenóis também podem ser afetados através da formação de complexos, especialmente com proteínas. Dessa forma, esses compostos tornam-se indisponíveis e, conseqüentemente, observa-se redução em sua concentração no grão parboilizado, visto que a metodologia utilizada quantifica compostos fenólicos solúveis.

Diferentemente dos grãos parboilizados integrais, para os grãos parboilizados polidos, quando comparados aos grãos polidos, não foi observada diferença significativa na concentração de compostos fenólicos solúveis totais na maioria dos genótipos avaliados (Tabela 2). Considerando que a maior parte (62 a 97%) dos polifenóis no arroz está localizada nas camadas externas do grão, que são removidas durante o polimento, com pequena concentração desses compostos no grão polido, explica-se a semelhança nos valores encontrados. Entretanto, uma exceção foi o genótipo com pericarpo preto (IAC 600), o qual apresentou concentração de polifenóis significativamente maior nos grãos parboilizados polidos comparados aos grãos polidos. Esse resultado diferenciado em relação aos outros genótipos foi obtido, pois durante o processo de polimento desses grãos parboilizados não foi possível remover totalmente as camadas externas contendo os polifenóis, permanecendo uma leve coloração roxa no grão, indicativo da presença de polifenóis no grão parboilizado polido.

Os diferentes processamentos dos grãos afetaram também a atividade antioxidante dos mesmos (Tabela 3), de forma semelhante ao efeito sobre os compostos fenólicos solúveis totais, observando-se correlação significativa entre a concentração de compostos fenólicos solúveis totais no grão e a atividade antioxidante ($R^2=0,9458$). Portanto, independente da forma de beneficiamento, a atividade antioxidante dos extratos obtidos a partir dos grãos de arroz está correlacionada à presença de compostos fenólicos.

Além dos processamentos durante a industrialização, deve-se também considerar o cozimento realizado previamente ao consumo do grão. Dessa forma, realizou-se a avaliação da concentração de polifenóis em grãos crus e cozidos de alguns dos genótipos pesquisados (Figura 3). Os grãos integrais e polidos foram os mais afetados pelo processo de cozimento, com redução de 20,9 a 72,0% na concentração de compostos fenólicos solúveis totais nos grãos integrais cozidos comparados aos crus, e de 39,6 a 62,2% para os grãos polidos cozidos. Para os grãos parboilizados, o efeito do cozimento foi menor, com redução entre 12,0 e 32,6% para grãos parboilizados integrais cozidos e entre 15,1 e 27,8% para grãos parboilizados polidos cozidos. Essa redução na concentração de polifenóis após o cozimento dos grãos está relacionada à decomposição térmica, visto que compostos fenólicos são afetados por temperaturas elevadas, como discutido anteriormente (LARRAURI et al., 1997; PIGA et al., 2003). A redução na concentração de polifenóis após o cozimento não foi tão pronunciada nos grãos parboilizados (integrais e polidos) provavelmente porque esses já haviam passado por processo hidrotérmico anterior (parboilização), com perda de parte dos compostos fenólicos.

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que existe diferença significativa na concentração de compostos fenólicos solúveis totais e na atividade antioxidante entre genótipos, sendo os maiores valores encontrados nos grãos com pericarpo vermelho e preto, com correlação positiva e significativa entre estes dois parâmetros. A parboilização reduz a concentração de compostos fenólicos solúveis totais nos grãos devido à perda de parte desses compostos na água, decomposição térmica e, possivelmente, interação com outros componentes, e essa redução está relacionada à menor atividade antioxidante nesses grãos. Além disso, o cozimento também reduz a concentração de compostos fenólicos, principalmente nos grãos integrais e polidos, devido à decomposição térmica.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro, e ao Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) e à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) pelo fornecimento do material genético.

Tabela 1 - Concentração de compostos fenólicos solúveis totais e atividade antioxidante de grãos integrais de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto

	CFST (mg EAG 100g ⁻¹) ¹	AAO (mmol ET g ⁻¹) ²
Irga 417	65,14 ± 0,95 ^j	4,70 ± 0,38 ^f
Epagri	794,88 ± 4,67 ^{de}	62,57 ± 2,61 ^{abc}
PB 1	761,30 ± 7,42 ^f	64,13 ± 4,13 ^{abc}
PB 4	825,00 ± 6,14 ^{cd}	65,65 ± 2,93 ^{abc}
PB 5	684,63 ± 13,15 ^g	60,24 ± 0,70 ^{bc}
PB 11	771,23 ± 8,82 ^{ef}	66,58 ± 1,35 ^{ab}
PB 13	837,65 ± 10,05 ^c	61,55 ± 2,96 ^{bc}
Ec1A	972,99 ± 4,67 ^a	68,83 ± 3,96 ^a
Ec1B	478,72 ± 13,29 ⁱ	37,19 ± 1,44 ^e
Ec2A	531,49 ± 5,88 ^h	44,42 ± 2,03 ^d
Ec2B	529,48 ± 10,43 ^h	44,31 ± 2,59 ^{de}
Ec2C	664,55 ± 6,10 ^g	50,36 ± 3,08 ^d
Ec2D	677,54 ± 8,52 ^g	49,89 ± 1,36 ^d
Ec3A	926,70 ± 3,21 ^b	66,37 ± 2,75 ^{ab}
Ec3B	787,09 ± 10,54 ^{ef}	58,65 ± 1,10 ^c
Ec3C	818,71 ± 4,13 ^{cd}	63,71 ± 0,86 ^{abc}
Ec4A	664,68 ± 13,34 ^g	49,70 ± 0,19 ^d
IAC 600	943,98 ± 25,46 ^{ab}	60,04 ± 2,07 ^{bc}

¹ compostos fenólicos solúveis totais, expresso como mg de equivalente ácido gálico -EAG- por 100g de grão, base massa seca; ² atividade antioxidante, expresso como mmol de equivalente Trolox -ET- por g de grão, base massa seca; resultados expressos como média ± desvio padrão; médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

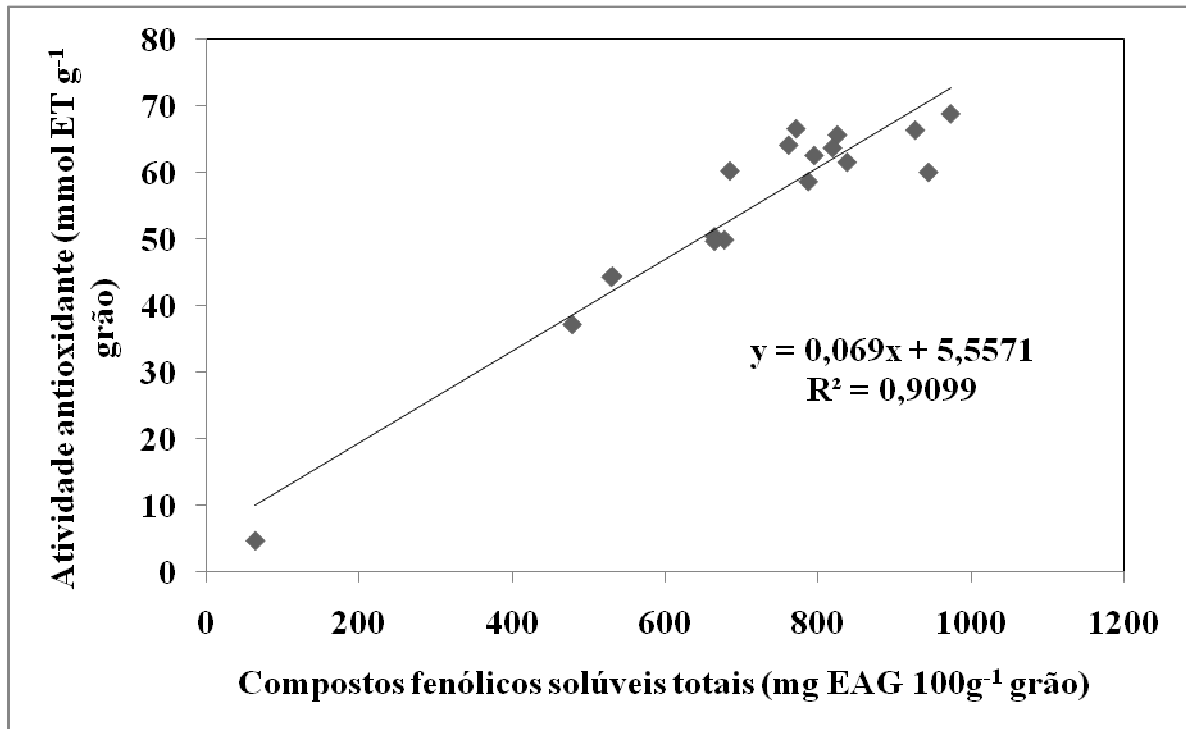


Figura 1 - Correlação entre a atividade antioxidante e a concentração de compostos fenólicos solúveis totais nos grãos integrais de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto avaliados. Compostos fenólicos solúveis totais expressos como mg de equivalente ácido gálico -EAG- por 100g de grão, base massa seca. Atividade antioxidante expressa como mmol de equivalente Trolox -ET- por g de grão, base massa seca.

Tabela 2 - Concentração de compostos fenólicos solúveis totais de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto submetidos a diferentes beneficiamentos

	Integral	Polido	Parboilizado integral	Parboilizado polido
Irga 417	^A 65,14 ± 0,95 ^g	^C 24,79 ± 0,05 ^f	^B 33,46 ± 0,08 ^f	^C 25,69 ± 0,40 ^e
Epagri	^A 794,88 ± 4,67 ^{cd}	^C 63,85 ± 0,87 ^a	^B 214,38 ± 10,69 ^b	^C 63,13 ± 0,08 ^b
PB 1	^A 761,30 ± 7,42 ^e	^C 36,58 ± 1,04 ^e	^B 173,20 ± 19,62 ^c	^C 35,47 ± 1,31 ^{de}
PB 4	^A 825,00 ± 6,14 ^{bc}	^C 42,40 ± 0,72 ^c	^B 179,53 ± 9,28 ^c	^C 40,94 ± 0,95 ^{cd}
PB 5	^A 684,63 ± 13,15 ^f	^C 24,77 ± 0,93 ^f	^B 89,14 ± 5,32 ^e	^C 29,50 ± 0,73 ^{de}
PB 11	^A 771,23 ± 8,82 ^{de}	^C 39,40 ± 0,93 ^d	^B 154,44 ± 5,45 ^{cd}	^C 36,79 ± 0,10 ^{de}
PB 13	^A 837,65 ± 10,05 ^b	^C 57,93 ± 1,63 ^b	^B 143,97 ± 1,36 ^d	^C 51,36 ± 0,38 ^{bc}
IAC 600	^A 943,98 ± 25,46 ^a	^D 40,03 ± 0,77 ^{cd}	^B 634,75 ± 3,15 ^a	^C 137,87 ± 11,73 ^a

Compostos fenólicos solúveis totais expresso como mg de equivalente ácido gálico -EAG- por 100g de grão, base massa seca; resultados expressos como média ± desvio padrão; médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

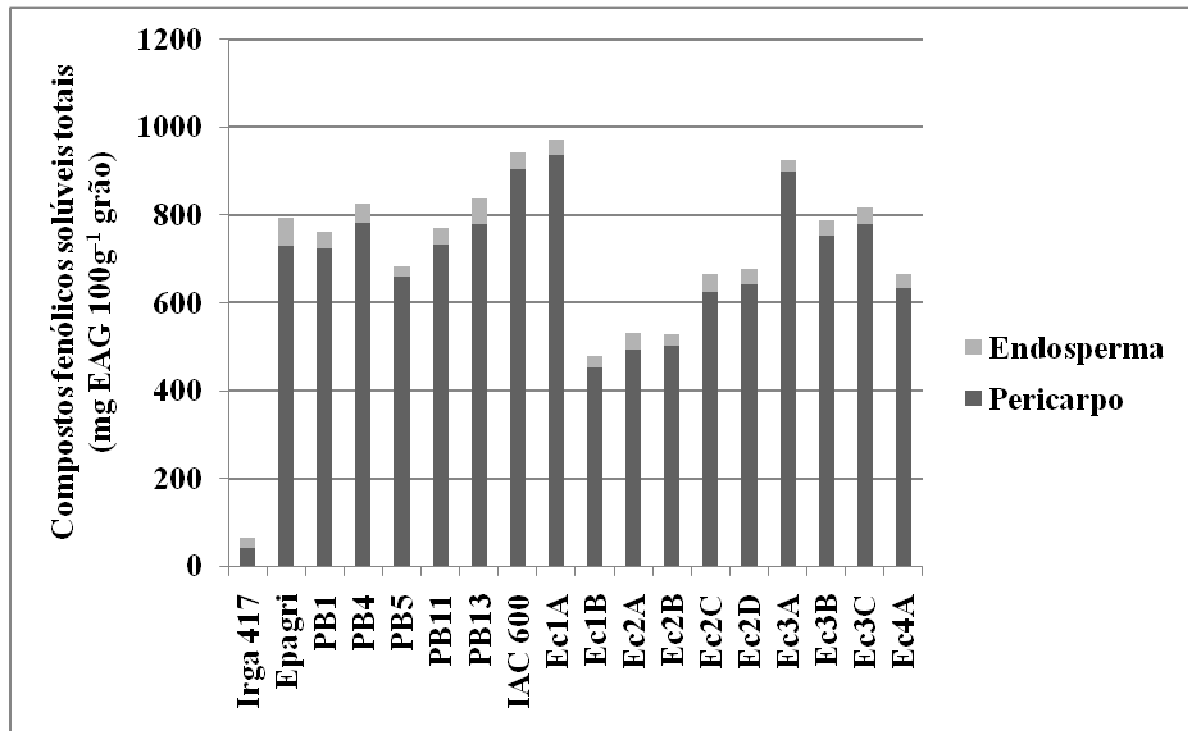


Figura 2 - Distribuição dos compostos fenólicos solúveis totais de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto. Compostos fenólicos solúveis totais expressos como mg de equivalente ácido gálico -EAG- por 100g de grão, base massa seca.

Tabela 3 - Atividade antioxidante de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto submetidos a diferentes beneficiamentos

	Integral	Polido	Parboilizado integral	Parboilizado polido
Irga 417	^A 4,70 ± 0,38 ^b	^B 3,78 ± 0,02 ^g	^B 3,88 ± 0,03 ^e	^B 3,80 ± 0,04 ^f
Epagri	^A 62,57 ± 2,61 ^a	^C 6,41 ± 0,07 ^b	^B 34,25 ± 1,95 ^b	^C 4,82 ± 0,18 ^e
PB 1	^A 64,13 ± 4,13 ^a	^C 4,82 ± 0,04 ^e	^B 31,22 ± 0,62 ^b	^C 5,01 ± 0,04 ^{de}
PB 4	^A 65,65 ± 2,93 ^a	^C 5,08 ± 0,05 ^d	^B 31,72 ± 0,47 ^b	^C 5,08 ± 0,01 ^{cde}
PB 5	^A 60,24 ± 0,70 ^a	^D 4,34 ± 0,01 ^f	^B 25,76 ± 0,08 ^c	^C 5,63 ± 0,03 ^b
PB 11	^A 66,58 ± 1,35 ^a	^C 4,65 ± 0,05 ^e	^B 18,93 ± 0,24 ^d	^C 5,20 ± 0,05 ^{cd}
PB 13	^A 61,55 ± 2,96 ^a	^C 5,66 ± 0,04 ^c	^B 18,02 ± 0,55 ^d	^C 5,35 ± 0,06 ^{bc}
IAC 600	^A 60,04 ± 2,07 ^a	^D 6,95 ± 0,03 ^a	^B 50,04 ± 1,45 ^a	^C 13,92 ± 0,02 ^a

Atividade antioxidante expressa como mmol de equivalente Trolox -ET- por g de grão, base massa seca; resultados expressos como média ± desvio padrão; médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

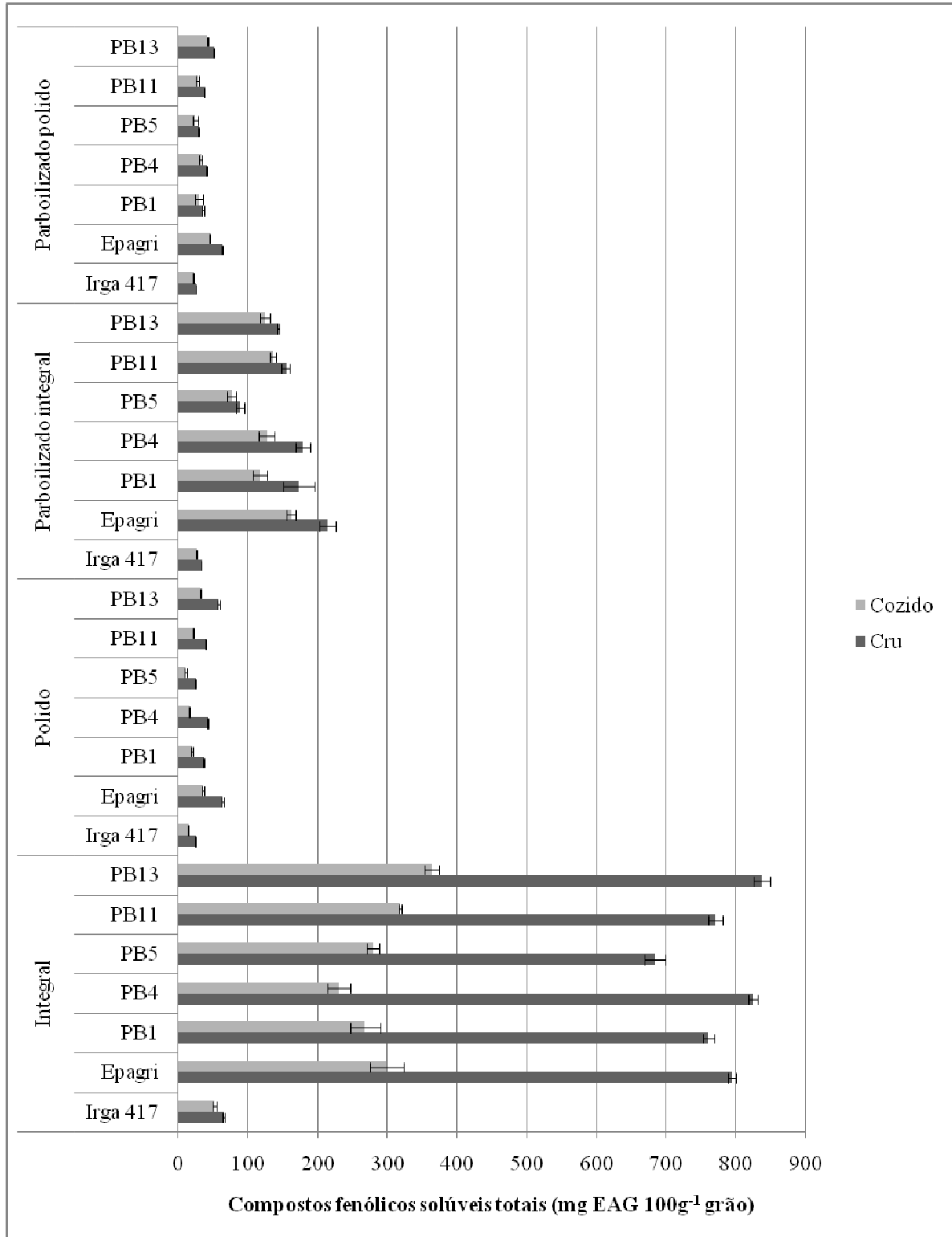


Figura 3 - Efeito do cozimento sobre a concentração de compostos fenólicos solúveis totais de grãos de arroz com pericarpio marrom-claro e vermelho submetidos a diferentes beneficiamentos. Compostos fenólicos solúveis totais expressos como mg de equivalente ácido gálico -EAG- por 100g de grão, base massa seca.

Referências bibliográficas

ADOM, K. K.; LIU, R. H. Antioxidant activity of grains. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, n. 21, p. 6182-6187, Oct. 2002.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 25-30, Jan. 1995.

CÉSPEDES, C. L. et al. Antioxidant and cardioprotective activities of phenolic extracts from fruits of Chilean blackberry *Aristotelia chilensis* (Elaeocarpaceae), Maqui. **Food Chemistry**, Oxford, v. 107, n. 2, p. 820-829, Mar. 2008.

CHEN, P. et al. Black rice anthocyanins inhibit cancer cells invasion via repressions of MMPs and u-PA expression. **Chemico-Biological Interactions**, New York, v. 163, n. 3, p. 218-229, Nov. 2006.

CHOI, Y.; JEONG, H. S.; LEE, J. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. **Food Chemistry**, Oxford, v. 103, n. 1, p. 130-138, Jan. 2007.

ELIAS, M. C. et al. **Secagem e armazenamento de grãos: sistemas, métodos e processos**. Pelotas: UFPel-FAEM-DCTA, 1996.

GOFFMAN, F. D.; BERGMAN, C. J. Rice kernel phenolic content and its relationship with antiradical efficiency. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 84, n. 10, p. 1235-1240, Aug. 2004.

HU, C. et al. Black rice (*Oryza sativa* L. *indica*) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, n. 18, p. 5271-5277, Aug. 2003.

HUDSON, E. A. et al. Characterization of potentially chemopreventive phenols in extracts of brown rice that inhibit the growth of human breast and colon cancer cells. **Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention**, Philadelphia, v. 9, n. 11, p. 1163-1170, Nov. 2000.

HYUN, J. W.; CHUNG, H. S. Cyanidin and malvidin from *Oryza sativa* cv. Heugjinjubyeo mediate cytotoxicity against human monocytic leukemia cells by arrest of G₂/M phase and induction of apoptosis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, n. 8, p. 2213-2217, Apr. 2004.

- IQBAL, S.; BHANGER, M. I.; ANWAR, F. Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan. **Food Chemistry**, Oxford, v. 93, n. 2, p. 265-272, Nov. 2005.
- KRIS-ETHERTON, P. M. et al. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. **American Journal of Medicine**, Oxford, v. 113, n. 9, p. 71S-88S, Dec. 2002.
- LARRAURI, J. A.; RUPRES, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 45, n. 4, p. 1390-1393, Apr. 1997.
- LING, W. H. et al. Red and black rice decrease atherosclerotic plaque formation and increase antioxidant status in rabbits. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 131, n. 5, p. 1421-1426, May. 2001.
- MORIMITSU, Y. et al. Inhibitory effect of anthocyanins and colored rice on diabetic cataract formation in the rat lenses. **International Congress Series**, Oxford, v. 1245, p. 503-508, Nov. 2002.
- OKI, T. et al. Polymeric procyanidins as radical-scavenging components in red-hulled rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, n. 26, p. 7524-7529, Dec. 2002.
- PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. Literature data may underestimate the actual antioxidant capacity of cereals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, n. 12, p. 5036-5040, Jun. 2005.
- PIGA, A.; DEL CARO, A.; CORDA, G. From plums to prunes: influence of drying parameters on polyphenols and antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, n. 12, p. 3675-3681, Jun. 2003.
- SHEN, Y. et al. Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 49, n. 1, p. 106-111, Jan. 2009.
- SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, Oxford, v. 299, n. 1, p. 152-178, Jan. 1999.

TIAN, S.; NAKAMURA, K.; KAYAHARA, H. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, n. 15, p. 4808-4813, Jul. 2004.

VELIOGLU, Y. S. et al. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 46, n. 10, p. 4113-4117, Oct. 1998.

YAWADIO, R.; TANIMORI, S.; MORITA, N. Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rices and their aldose reductase inhibitory activities. **Food Chemistry**, Oxford, v. 101, n. 3, p. 1616-1625, Mar. 2007.

ZHANG, M. et al. Separation, purification and identification of antioxidant compositions in black rice. **Agricultural Sciences in China**, Amsterdam, v. 5, n. 6, p. 431-440, Jun. 2006.

ZHOU, Z. et al. The distribution of phenolic acids in rice. **Food Chemistry**, Oxford, v. 87, n. 3, p. 401-406, Sep. 2004.

CAPÍTULO 6

EFEITOS FISIOLÓGICOS DE GRÃOS DE ARROZ COM PERICARPO MARROM-CLARO, VERMELHO E PRETO NA ALIMENTAÇÃO DE RATOS¹

Physiological effects of rice grains with light-brown, red and black pericarp color in the diet of rats

Resumo

O arroz, sendo um dos principais alimentos da dieta, pode apresentar papel importante no aporte de antioxidantes, auxiliando na manutenção do equilíbrio entre oxidantes e antioxidantes no organismo. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos fisiológicos de grãos integrais de arroz com pericarpa marrom-claro, vermelho e preto na alimentação através de estudo *in vivo* com ratos. Foram utilizados ratos machos Wistar sadios, alimentados com rações contendo grãos integrais de arroz com pericarpa marrom-claro, vermelho ou preto, ou ração controle, durante um período experimental de 18 dias. As seguintes avaliações foram realizadas: ganho de peso, consumo de ração, peso da gordura epididimal, concentração sanguínea de glicose, triglicérides, colesterol total e colesterol HDL, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) e glutathione peroxidase no fígado, e peroxidação lipídica no sangue e no fígado. Não foi observado efeito significativo das rações contendo grãos de arroz para a maioria dos parâmetros avaliados, observando-se efeito somente sobre o peso da gordura epididimal e a atividade da enzima SOD no fígado, mas sem diferença entre os tipos de arroz. Esse aumento na atividade da enzima SOD pode indicar possível redução no estresse oxidativo no organismo, entretanto, maiores estudos são necessários.

Palavras-chave: compostos fenólicos, atividade antioxidante, superóxido dismutase

Abstract

Rice, one of the main components of the diet, may present an important role as an antioxidant source, helping in the maintenance of the equilibrium between oxidants and antioxidants in the organism. So, the present work aimed at evaluating the physiological effects of brown rice grains with light-brown, red and black pericarp color through an *in vivo*

¹ O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

study with rats. Healthy male Wistar rats were used, and they were fed diets containing brown rice grains with light-brown, red or black pericarp color, or a control diet, during an experimental period of 18 days. The evaluations were: body weight gain, feed intake, epididymal fat pad weight, blood concentration of glucose, triglycerides, total cholesterol and HDL cholesterol, activity of the enzymes superoxide dismutase (SOD) and glutathione peroxidase in the liver, and lipid peroxidation in the blood and liver. No significant effect of the diets containing rice grains was observed for most of the evaluated parameters, with effect only on the weight of the epididymal fat pads and in the activity of SOD in the liver, but with no difference among rice types. This increase in the activity of SOD may indicate possible reduction in the oxidative stress in the organism, but more research is necessary.

Key words: phenolic compounds, antioxidant activity, superoxide dismutase

Introdução

Estudos têm demonstrado que uma dieta saudável está relacionada à redução no risco de desenvolvimento de algumas doenças crônicas, como câncer e problemas cardiovasculares (BIRT et al., 2001; KRIS-ETHERTON et al., 2002; STANNER et al., 2004; HOUSTON, 2005), devido à presença de diferentes compostos bioativos nos alimentos, entre eles antioxidantes naturais, como os compostos fenólicos (polifenóis) (CHOI et al., 2007).

Os polifenóis são encontrados em ampla variedade de alimentos, tais como maçã, amora, cereja, uva, framboesa, frutas cítricas, cebola, espinafre, pimenta, aveia, trigo, arroz, chá preto, vinho, chocolate, entre outros (HOLDEN et al., 2005; DIMITRIOS, 2006). Esses compostos têm demonstrado maior capacidade antioxidante *in vitro* do que outros antioxidantes usuais, como o ácido ascórbico e o α -tocoferol (PULIDO et al., 2000), enfatizando a importância dos polifenóis como antioxidantes na dieta.

Dentre os alimentos que possuem polifenóis, o arroz pode apresentar papel importante no aporte de antioxidantes na dieta devido a sua importância na alimentação de grande parte da população. Pesquisas têm demonstrado relação positiva entre a concentração de compostos fenólicos no grão e a atividade antioxidante (ITANI et al., 2002; GOFFMAN & BERGMAN, 2004; ZHANG et al., 2006), indicando que o consumo de grãos com maior concentração desses compostos poderia ter efeitos benéficos à saúde, assim como já observado para outros alimentos ricos em polifenóis. Alguns pesquisadores, trabalhando com extratos obtidos a partir de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho ou preto, observaram possíveis efeitos benéficos à saúde, como redução do estresse oxidativo (LING et al., 2001;

HU et al., 2003), auxílio na prevenção ao câncer (HUDSON et al., 2000; HU et al., 2003; HYUN & CHUNG, 2004; CHEN et al., 2006), no controle dos lipídios sanguíneos e doenças relacionadas, o que pode ajudar na prevenção de problemas cardiovasculares (LING et al., 2001) e na prevenção das complicações do diabetes (MORIMITSU et al., 2002; YAWADIO et al., 2007). Entretanto, ainda são necessários mais estudos para avaliar os efeitos do consumo do grão de arroz na dieta.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos fisiológicos da utilização de grãos integrais de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto na alimentação através de estudo *in vivo* com ratos.

Material e métodos

Rações experimentais e tratamentos

Foram formuladas quatro rações (Tabela 1), de acordo com as recomendações do American Institute of Nutrition (AIN) (REEVES, 1993), com substituição total da fibra e parcial do amido de milho, caseína e óleo de soja por grãos integrais cozidos de arroz com pericarpo marrom-claro (IRGA 417), vermelho (PB13) e preto (IAC 600), obtidos na área de várzea do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) na safra 2006/07.

Essas rações formaram os tratamentos:

- Controle: ração padrão do AIN, não contendo grãos de arroz;
- AMC: ração contendo grãos de arroz com pericarpo marrom-claro;
- AV: ração contendo grãos de arroz com pericarpo vermelho;
- AP: ração contendo grãos de arroz com pericarpo preto.

Os grãos foram cozidos em proporção massa de grãos:água de 1:2,5 por aproximadamente 40min, e posteriormente foi realizada secagem em estufa com circulação de ar a 50°C.

A concentração de compostos fenólicos solúveis totais nos grãos foi avaliada pela metodologia de Folin-Ciocalteu (SINGLETON et al., 1999; IQBAL et al., 2005), e a concentração de ácido fítico foi determinada a partir da concentração de fósforo (TEDESCO et al., 1995), considerando que a molécula contém 28,2% de fósforo em sua constituição (AOAC, 1995).

Animais experimentais e condução do experimento

Para a realização do experimento, aprovado pelo Comitê de Ética e Bem Estar Animal

da UFSM (nº 23081.009642/2008-82), foram utilizados 32 ratos machos Wistar (*Rattus norvegicus* albino) ($49,7 \pm 3,8$ g; 21 dias de idade) saudáveis, obtidos no Biotério Central da UFSM. Os animais foram distribuídos aleatoriamente entre os tratamentos (8 animais/tratamento), e alojados em gaiolas metabólicas individuais, com acesso livre à ração e à água. O período de adaptação dos animais às rações foi de cinco dias. Na sequência, teve início o período experimental (18 dias), no qual foi realizada, diariamente, a determinação da quantidade de ração consumida e a coleta de fezes. O peso corporal dos animais foi obtido a cada três dias. No último dia experimental, após jejum de 12h, os animais foram pesados, anestesiados e sacrificados por incisão cardíaca, sendo realizada a coleta de sangue para as análises posteriores. Nesta ocasião, fígado e gordura epididimal foram removidos e pesados para determinação de seu peso. O fígado foi homogeneizado em solução salina (proporção 1:5) para a análise da atividade das enzimas.

Durante todo o período do ensaio biológico a temperatura foi mantida a $22 \pm 2^\circ\text{C}$, com umidade relativa entre 45 e 75%, e a luminosidade controlada alternando 12 horas de luz/escuro.

Foram realizadas as seguintes avaliações:

- Consumo e ganho de peso: determinados a partir das pesagens de sobra diária de ração e do registro do peso corporal dos animais;

- Concentração sanguínea de glicose, triglicerídeos, colesterol total e HDL: foram determinadas através dos kits enzimáticos Glicose Enzimática Líquida, Triglicérides Enzimático Líquido, Colesterol Enzimático Líquido e Colesterol HDL, respectivamente, todos da marca Doles.

- Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD): avaliada nas amostras de fígado por espectrofotometria, utilizando-se epinefrina, conforme descrito por McCord & Fridovich (1969).

- Atividade da enzima glutathione peroxidase (GPx): avaliada nas amostras de fígado por espectrofotometria utilizando-se glutathione reductase e NADPH, conforme descrito por Paglia & Valentine (1967).

- Peroxidação lipídica: determinada nas amostras de sangue e fígado utilizando-se o método de Ohkawa et al. (1979), através da dosagem de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS).

Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado, com 8

repetições por tratamento. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Duncan a 5% de significância.

Resultados e discussão

Não foi observada diferença no consumo de ração e no ganho de peso entre os animais consumindo ração contendo arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho ou preto comparado ao controle (Tabela 2), com média de 15,62g de ração dia⁻¹ e 101,12g de ganho de peso durante o período experimental. Outros trabalhos avaliando a adição de extrato ou farelo de arroz com pericarpo preto à ração de camundongos e ratos, respectivamente, também não observaram efeito nestes dois parâmetros (CHIANG et al., 2006; GUO et al., 2007).

Embora não tenha sido observado efeito das diferentes rações sobre o ganho de peso, os animais consumindo ração contendo grãos de arroz apresentaram peso da gordura epididimal significativamente menor do que o controle (Tabela 2). Estudos *in vitro* com adipócitos têm demonstrado que flavonóides e ácidos fenólicos podem afetar a adipogênese, resultando em possível efeito antiobesidade desses compostos *in vivo* (HSU & YEN, 2007). Entretanto, no presente trabalho essa redução no peso da gordura epididimal não pode ser relacionada aos compostos fenólicos, visto que foi observada para as três rações contendo arroz, independente do consumo desses compostos (Tabela 2), mas provavelmente está relacionada ao tipo de fibra das rações. A ração controle continha somente fibra insolúvel (celulose), já os outros tratamentos apresentaram fibra solúvel e insolúvel (Tabela 1). Considerando que a fibra insolúvel está relacionada principalmente a alterações no trânsito intestinal, enquanto a fração solúvel atua mais a nível metabólico, afetando a absorção de certos nutrientes e o metabolismo glicêmico e lipídico (MOORE et al., 1998; GUILLON & CHAMP, 2000), esta pode estar relacionada à redução no peso da gordura epididimal nos tratamentos contendo grãos de arroz.

A concentração sanguínea em jejum de glicose, colesterol total, colesterol HDL e triglicerídeos não diferiu entre os tratamentos (Tabela 3). Resultados variados foram observados em outras pesquisas avaliando o consumo de frações concentradas de arroz com pericarpo preto sobre esses parâmetros. No trabalho desenvolvido por Chiang et al. (2006), não foi observada diferença nos níveis plasmáticos de triglicerídeos e colesterol total entre camundongos consumindo ração controle ou contendo extrato de arroz com pericarpo preto, mas os níveis de colesterol HDL foram significativamente maiores para o último grupo. Já Guo et al. (2007) relataram efeito significativo da inclusão de farelo de arroz preto nos lipídios plasmáticos e nos níveis de glicose, entretanto os ratos avaliados no experimento

foram induzidos a uma situação de hiperlipidemia e hiperglicemia. De forma semelhante, Ling et al. (2001), em ensaio com coelhos hipercolesterolêmicos, concluíram que a adição de arroz com pericarpo vermelho ou preto à ração aumenta significativamente a concentração de colesterol HDL. Portanto, os efeitos do arroz com pericarpo vermelho ou preto podem variar dependendo da forma em que estes são adicionados à dieta e da ocorrência de alterações no organismo.

A inclusão de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho ou preto na dieta não afetou a concentração de TBARS no soro e no fígado dos animais (Tabela 4). Os níveis de TBARS são marcadores de peroxidação lipídica, sendo utilizados como indicadores de estresse oxidativo. Diversos trabalhos têm observado redução no estresse oxidativo pelos compostos fenólicos do arroz em ensaios *in vitro*, indicado por outros marcadores, como a redução na produção de óxido nítrico e na concentração de espécies reativas de oxigênio (HU et al., 2003; WANG et al., 2007). Em ensaios *in vivo*, foi observada redução na concentração de TBARS no sangue pela adição de farelo de arroz preto à ração de ratos hiperglicêmicos e hiperlipidêmicos (GUO et al., 2007), e de extrato de arroz preto à ração de camundongos (CHIANG et al., 2006). Redução na concentração de TBARS no fígado, coração, rins e aorta de ratos hiperlipidêmicos também foi observada com a adição de extrato de folhas de oliva ricos em compostos fenólicos à dieta (JEMAI et al., 2008).

A atividade da enzima SOD foi significativamente maior no fígado dos animais submetidos aos tratamentos contendo grãos de arroz, comparado ao controle (Figura 1), mas não foi observada diferença na atividade da enzima GPx (Figura 2). A medida de mudanças na atividade de enzimas antioxidantes endógenas é considerada um biomarcador relativamente sensível da resposta ao estresse oxidativo (CHIANG et al. 2006), sendo a SOD e a GPx duas das principais enzimas que protegem as células dos danos causados pelas espécies reativas de oxigênio. Em estudo desenvolvido por Chiang et al. (2006), a adição de extrato de arroz preto à ração de camundongos aumentou significativamente a atividade da enzima SOD, sem efeitos sobre a atividade da GPx. Esse aumento observado na atividade da enzima SOD no fígado sugere diminuição no estresse oxidativo, por reduzir a concentração de espécies reativas de oxigênio.

Deve-se ressaltar, entretanto, que o efeito observado na atividade da enzima SOD foi semelhante para os três tratamentos contendo grãos de arroz, independente da quantidade de compostos fenólicos consumida pelos animais. Esse resultado pode estar relacionado à presença de ácido fítico nas rações. Esse composto é encontrado em grãos de arroz, principalmente nas camadas externas do grão, e apresenta diferentes efeitos, entre eles, ação

antioxidante, com efeitos biológicos semelhantes aos compostos fenólicos (GRAF & EATON, 1990; SHAMSUDDIN et al., 1997; LEE et al., 2006; VERGHESE et al., 2006). Nas rações utilizadas nesse experimento, a concentração de ácido fítico foi maior para aquelas contendo grãos de arroz com pericarpo marrom-claro e vermelho, comparadas àquela com grãos com pericarpo preto (Tabela 1). Dessa forma, a maior concentração de ácido fítico nestas rações pode ter resultado em maior efeito antioxidante no organismo desses animais, mascarando o efeito das diferentes concentrações de compostos fenólicos nas rações.

Pode-se observar que alguns resultados obtidos no presente trabalho diferem de dados publicados por outros pesquisadores. Isso pode ter ocorrido devido a algumas diferenças na condução do ensaio. Em primeiro lugar, este trabalho avaliou o efeito da adição de grãos de arroz na ração de ratos, enquanto a maioria dos trabalhos publicados avalia o efeito do farelo de arroz ou de extratos obtidos dos grãos, que apresentam maior concentração de compostos fenólicos. Também se pode observar que em muitas pesquisas os animais foram induzidos a apresentar alterações metabólicas, como hiperlipidemias e hiperglicemias, enquanto neste estudo foram utilizados ratos saudáveis, a fim de estudar o efeito preventivo, o que pode afetar os resultados obtidos, visto que o organismo desses animais com alterações metabólicas pode apresentar maior nível de estresse oxidativo. Aliado a isso, o período experimental deste estudo foi menor do que o de outras pesquisas, entretanto foi semelhante ao utilizado em outros trabalhos avaliando efeitos metabólicos do consumo de grãos de arroz (DENARDIN et al., 2007).

Pelos resultados apresentados, pode-se concluir que o consumo de grãos integrais cozidos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto durante um período de 18 dias (período experimental) não afeta a maioria dos parâmetros avaliados nos animais experimentais, influenciando somente no peso da gordura epididimal e aumentando a atividade da enzima SOD no fígado, mas sem diferença entre os diferentes tipos de arroz. Esse aumento na atividade da enzima SOD pode indicar uma possível redução no estresse oxidativo no organismo, entretanto maiores estudos são necessários para avaliar se o consumo diário de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho ou preto, por um período maior, pode reduzir o estresse oxidativo em animais e humanos em condições normometabólicas.

Tabela 1 - Composição (g/kg) das rações experimentais fornecidas aos ratos

	Controle ¹	AMC ²	AV ³	AP ⁴
Amido de milho	529,5	34,0	138,2	107,7
Arroz	0	641,4	523,3	557,8
Caseína	200,0	135,1	144,1	147,2
Sacarose	100,0	91,1	91,6	90,5
Óleo de soja	70,0	47,9	52,3	46,3
Celulose purificada	50,0	0	0	0
Mix mineral ⁵	35,0	35,0	35,0	35,0
Mix vitamínico ⁶	10,0	10,0	10,0	10,0
Metionina	3,0	3,0	3,0	3,0
Bitartarato de colina	2,5	2,5	2,5	2,5
TBHQ ⁷	0,014	0,014	0,014	0,014
Carboidratos (%)	62,9	63,2	63,2	62,2
Proteína (%)	17,0	16,8	16,8	16,7
Gordura (%)	7,0	6,6	6,6	6,6
Fibra insolúvel (%)	5,0	2,3	2,6	2,8
Fibra solúvel (%)	0	2,8	2,7	2,8
Energia bruta (kcal 100g ⁻¹)	382,8	379,4	379,4	375,0
Compostos fenólicos solúveis totais na ração (mg EAG 100g ⁻¹) ⁸	0	33,1	190,3	229,6
Ácido fítico (mg 100g ⁻¹)	0	970,0	918,5	640,0

¹ Controle: ração padrão AIN; ² AMC: ração contendo grãos de arroz com pericarpo marrom-claro; ³ AV: ração contendo grãos de arroz com pericarpo vermelho; ⁴ AP: ração contendo grãos de arroz com pericarpo preto; ⁵ Mix mineral (g/kg mix): Ca 142,94g; P 44,61g; Na 29,11g; K 102,81g; Cl 44,89g; S 8,57g; Mg 14,48g; Fe 1,00g; Zn 0,86g; Si 0,14g; Mn 0,30g; Cu 0,17g; Cr 0,03g; B 14,26mg; F 28,73mg; Ni 14,3mg; Li 2,85mg; Se 4,28mg; I 5,93mg; Mo 4,32mg; V 2,87mg; ⁶ Mix vitamínico (g ou mg/kg mix): ácido nicotínico 3,00g; pantotenato de cálcio 1,60g; piridoxina-HCl 0,70g; tiamina-HCl 0,60g; riboflavina 0,60g; ácido fólico 0,20g; biotina 0,02g; vitamina B12 (0,1% em manitol) 2,50g; vitamina E 7.500UI; vitamina A 400.000UI; vitamina D3 100.000UI; vitamina K1 0,075g; ⁷ Butilhidroquinona terciária; ⁸ EAG - equivalente ácido gálico.

Tabela 2 - Consumo de ração, de compostos fenólicos solúveis totais (CFST), ganho de peso e peso da gordura epididimal de ratos alimentados com ração controle, ou contendo grãos de arroz com pericarpo marrom-claro (AMC), vermelho (AV) ou preto (AP)

	Controle	AMC	AV	AP
Consumo médio (g dia ⁻¹)	15,85±1,23 ^{ns}	15,18±1,04 ^{ns}	16,21±1,14 ^{ns}	15,25±0,79 ^{ns}
Consumo médio de CFST (mg EAG dia ⁻¹) ¹	0	5,04±0,35 ^c	30,36±2,42 ^b	34,98±1,80 ^a
Ganho de peso (g)	99,34±8,50 ^{ns}	101,45±7,58 ^{ns}	104,86±5,78 ^{ns}	98,85±9,04 ^{ns}
Gordura epididimal (g 100g ⁻¹ de peso animal)	1,12±0,11 ^a	0,84±0,11 ^b	0,97±0,08 ^b	0,89±0,10 ^b

¹ EAG - equivalente ácido gálico; resultados expressos como média ± desvio padrão; médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo.

Tabela 3 - Concentração sanguínea em jejum de glicose, colesterol total, colesterol HDL e triglicerídeos de ratos alimentados com ração controle, ou contendo grãos de arroz com pericarpo marrom-claro (AMC), vermelho (AV) ou preto (AP)

	Controle	AMC	AV	AP
Glicose (mg dl ⁻¹)	141,02±22,78 ^{ns}	121,19±24,67 ^{ns}	134,86±13,89 ^{ns}	121,26±16,26 ^{ns}
Colesterol total (mg dl ⁻¹)	111,63±22,32 ^{ns}	99,46±13,28 ^{ns}	100,67±12,66 ^{ns}	96,71±12,66 ^{ns}
Colesterol HDL (mg dl ⁻¹)	76,06±15,07 ^{ns}	66,58±8,75 ^{ns}	73,82±16,34 ^{ns}	64,96±13,80 ^{ns}
Triglicerídeos (mg dl ⁻¹)	109,91±27,18 ^{ns}	99,21±29,71 ^{ns}	87,40±20,82 ^{ns}	95,61±25,35 ^{ns}

Resultados expressos como média ± desvio padrão; médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo.

Tabela 4 - Concentração de TBARS no soro e no fígado de ratos alimentados com ração controle, ou contendo grãos de arroz com pericarpo marrom-claro (AMC), vermelho (AV) ou preto (AP)

	Controle	AMC	AV	AP
TBARS soro (nmol MDA ml ⁻¹)	5,42±0,92 ^{ns}	4,85±1,15 ^{ns}	4,78±1,03 ^{ns}	4,51±0,94 ^{ns}
TBARS fígado (nmol MDA mg proteína ⁻¹)	0,20±0,03 ^{ns}	0,18±0,04 ^{ns}	0,17±0,03 ^{ns}	0,17±0,04 ^{ns}

Resultados expressos como média ± desvio padrão; médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo.

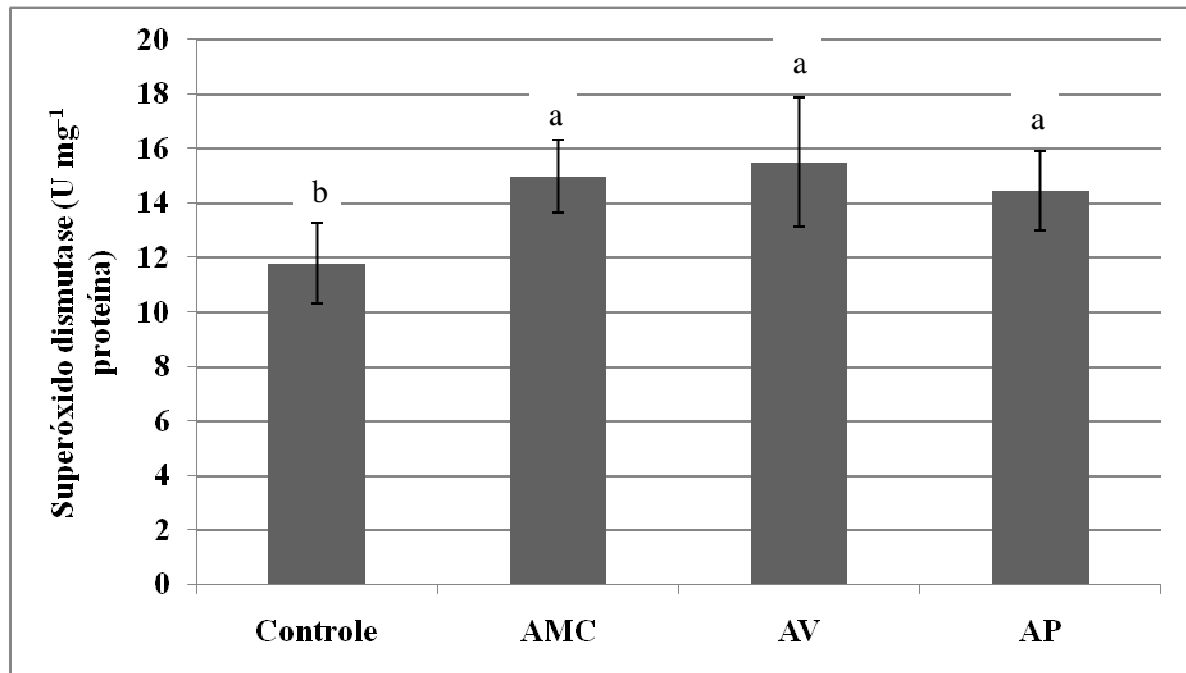


Figura 1 - Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) no fígado de ratos alimentados com ração controle, ou contendo grãos de arroz com pericarpo marrom-claro (AMC), vermelho (AV) ou preto (AP). Barras de erro representam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro. Letras diferentes indicam que as médias diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

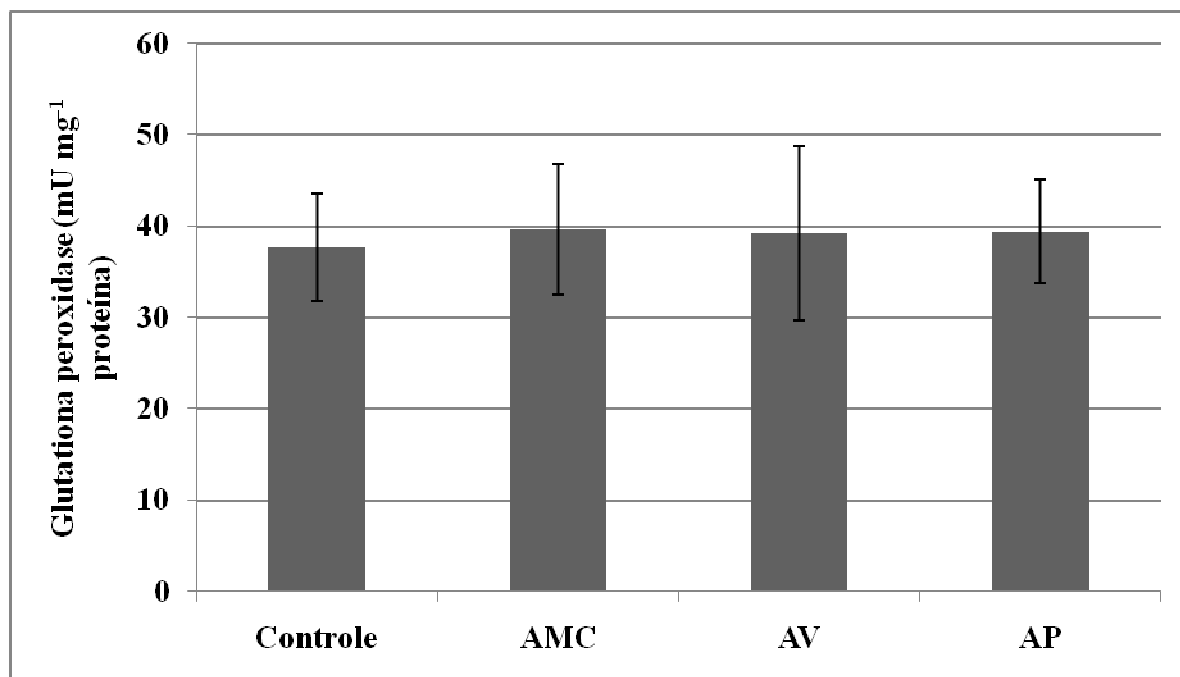


Figura 2 - Atividade da enzima glutathione peroxidase (GPx) no fígado de ratos alimentados com ração controle, ou contendo grãos de arroz com pericarpo marrom-claro (AMC), vermelho (AV) ou preto (AP). Barras de erro representam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro. Médias comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro, ao Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) pelo fornecimento de variedades de arroz, e à Doles pelo fornecimento dos kits enzimáticos.

Referências bibliográficas

AOAC – Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of the AOAC International**. 16th ed. Washington: AOAC, 1995.

BIRT, D. F.; HENDRICH, S.; WANG, W. Dietary agents in cancer prevention: flavonoids and isoflavonoids. **Pharmacology & Therapeutics**, Amsterdam, v. 90, n. 2-3, p. 157-177, May-Jun. 2001.

CHEN, P. et al. Black rice anthocyanins inhibit cancer cells invasion via repressions of MMPs and u-PA expression. **Chemico-Biological Interactions**, New York, v. 163, n. 3, p. 218-229, Nov. 2006.

CHIANG, A. et al. Antioxidant effects of black rice extract through the induction of superoxide dismutase and catalase activities. **Lipids**, New York, v. 41, n. 8, p. 797-803, Aug. 2006.

CHOI, Y.; JEONG, H. S.; LEE, J. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. **Food Chemistry**, Oxford, v. 103, n. 1, p. 130-138, Jan. 2007.

DENARDIN, C. C. et al. Effect of amylose content of rice varieties on glycemic metabolism and biological responses in rats. **Food Chemistry**, Oxford, v. 105, n. 4, p. 1474-1479, Oct. 2007.

DIMITRIOS, B. Sources of natural phenolic antioxidants. **Trends in Food Science and Technology**, Oxford, v. 17, n. 9, p. 505-512, Sep. 2006.

GOFFMAN, F. D.; BERGMAN, C. J. Rice kernel phenolic content and its relationship with antiradical efficiency. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 84, n. 10, p. 1235-1240, Aug. 2004.

GRAF, E.; EATON, J. W. Antioxidant functions of phytic acid. **Free Radical Biology and Medicine**, Amsterdam, v. 8, n. 1, p. 61-69, Jan. 1990.

GUILLON, F.; CHAMP, M. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. **Food Research International**, Oxford, v. 33, n. 3-4, p. 233-245, Apr. 2000.

GUO, H. et al. Effect of anthocyanin-rich extract from black rice (*Oryza sativa* L. *indica*) on hyperlipidemia and insulin resistance in fructose-fed rats. **Plant Foods for Human Nutrition**, New York, v. 62, n. 1, p. 1-6, Mar. 2007.

HOLDEN, J. M. et al. Development of a database of critically evaluated flavonoids data: application of USDA's data quality evaluation system. **Journal of Food Composition and Analysis**, Oxford, v. 18, n. 8, p. 829-844, Dec. 2005.

HOUSTON, M. C. Nutraceuticals, vitamins, antioxidants, and minerals in the prevention and treatment of hypertension. **Progress in Cardiovascular Diseases**, New York, v. 47, n. 6, p.396-449, May-Jun. 2005.

HU, C. et al. Black rice (*Oryza sativa* L. *indica*) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, n. 18, p. 5271-5277, Aug. 2003.

HUDSON, E. A. et al. Characterization of potentially chemopreventive phenols in extracts of brown rice that inhibit the growth of human breast and colon cancer cells. **Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention**, Philadelphia, v. 9, n. 11, p. 1163-1170, Nov. 2000.

HSU, C. L.; YEN, G. C. Effects of flavonoids and phenolic acids on the inhibition of adipogenesis in 3T3-L1 adipocytes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 55, n. 21, p.8404-8410, Oct. 2007.

HYUN, J. W.; CHUNG, H. S. Cyanidin and malvidin from *Oryza sativa* cv. Heugjinjubyeo mediate cytotoxicity against human monocytic leukemia cells by arrest of G₂/M phase and induction of apoptosis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, n. 8, p. 2213-2217, Apr. 2004.

IQBAL, S.; BHANGER, M. I.; ANWAR, F. Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan. **Food Chemistry**, Oxford, v. 93, n. 2, p. 265-272, Nov. 2005.

ITANI, T. et al. Distribution of amylose, nitrogen, and minerals in rice kernels with various characters. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, n. 19, p. 5326-5332, Sep. 2002.

JEMAI, H. et al. Hypolipidemic and antioxidant activities of oleuropein and its hydrolysis derivative-rich extracts from Chemlali olive leaves. **Chemico-Biological Interactions**, New York, v. 176, n. 2-3, p. 88-98, Nov. 2008.

KRIS-ETHERTON, P. M. et al. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. **American Journal of Medicine**, Oxford, v. 113, n. 9, p. 71S-88S, Dec. 2002.

LEE, S. H. et al. Dietary phytic acid lowers the blood glucose level in diabetic KK mice. **Nutrition Research**, St. Louis, v. 26, n. 9, p. 474-479, Sep. 2006.

LING, W. H. et al. Red and black rice decrease atherosclerotic plaque formation and increase antioxidant status in rabbits. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 131, n. 5, p. 1421-1426, May. 2001.

McCORD, J. M.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase. An enzymic function for erythrocyte (hemocuprein). **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 244, n. 22, p. 6049-6055, Nov. 1969.

MOORE, M. A.; PARK, C. B.; TSUDA, H. Soluble and insoluble fiber influences on cancer development. **Critical Reviews in Oncology/Hematology**, Oxford, v. 27, n. 3, p. 229-242, Apr. 1998.

MORIMITSU, Y. et al. Inhibitory effect of anthocyanins and colored rice on diabetic cataract formation in the rat lenses. **International Congress Series**, Oxford, v. 1245, p. 503-508, Nov. 2002.

OHKAWA, H.; OHISHI, N.; YAGI, K. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. **Analytical Biochemistry**, Amsterdam, v. 95, n. 2, p. 351-358, Jun. 1979.

PAGLIA, D. E.; VALENTINE, W. N. Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase. **Journal of Laboratory and Clinical Medicine**, Oxford, v. 70, n. 1, p. 158-169, Jul. 1967.

PULIDO, R.; BRAVO, L.; SAURA-CALIXTO, F. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 48, n. 8, p. 3396-3402, Aug. 2000.

REEVES, P. G.; NIELSEN, F. H.; FAHEY Jr., G. C. AIN-93 purified diets for laboratory

rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 23, n. 11, 1939-1951, Nov. 1993.

SHAMSUDDIN, A. M. et al. IP6: a novel anti-cancer agent. **Life Sciences**, Amsterdam, v. 61, n. 4, p. 343-354, Jun. 1997.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, Oxford, v. 299, n. 1, p. 152-178, Jan. 1999.

STANNER, S. A. et al. A review of the epidemiological evidence for the 'antioxidant hypothesis'. **Public Health Nutrition**, New York, v. 7, n. 3, p. 407-422, May. 2004.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

VERGHESE, M. et al. Anticarcinogenic effect of phytic acid (IP6): apoptosis as a possible mechanism of action. **LWT Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 39, n. 10, p. 1093-1098, Dec. 2006.

WANG, Q. et al. Supplementation of black rice pigment fraction improves antioxidant and anti-inflammatory status in patients with coronary heart disease. **Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition**, Taiwan, v. 16, n. 2, p. 295-301, Jun. 2007.

YAWADIO, R.; TANIMORI, S.; MORITA, N. Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rices and their aldose reductase inhibitory activities. **Food Chemistry**, Oxford, v. 101, n. 3, p. 1616-1625, Mar. 2007.

ZHANG, M. et al. Separation, purification and identification of antioxidant compositions in black rice. **Agricultural Sciences in China**, Amsterdam, v. 5, n. 6, p. 431-440, Jun. 2006.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em diferentes locais, grãos de arroz com pericarpo vermelho e preto são utilizados na alimentação, em adição aos grãos com pericarpo marrom-claro normalmente consumidos. Além das características sensoriais, estes grãos podem apresentar diferenças em alguns componentes em relação àqueles com pericarpo marrom-claro.

A composição química dos grãos apresentou diferença significativa entre os genótipos avaliados, sendo que alguns grãos com pericarpo vermelho e preto se destacaram por apresentarem maior concentração de alguns componentes, como proteína, fósforo, cálcio, magnésio, potássio, ferro, manganês ou zinco. Entretanto, não se deve generalizar afirmando que grãos com pericarpo vermelho e preto apresentam maior concentração desses componentes, visto que foram observados genótipos com concentrações significativamente menores comparados aos grãos com pericarpo marrom-claro.

Além das diferenças na composição química, foi observada variação nas características antioxidantes dos genótipos, sendo os maiores valores de compostos fenólicos solúveis totais e atividade antioxidante observados para os grãos com pericarpo vermelho e preto. Esses parâmetros apresentaram correlação positiva e significativa, indicando que a atividade antioxidante nos extratos obtidos de grãos de arroz está relacionada principalmente aos polifenóis.

Além do efeito varietal, essas medidas foram afetadas pelo processamento do grão. Com a remoção das camadas externas pelo polimento, houve redução significativa na concentração de compostos fenólicos e na atividade antioxidante. Redução também foi observada após parboilização e cozimento, indicando que o tratamento térmico também afeta a concentração desses compostos. Dessa forma, para maior concentração de compostos fenólicos, recomenda-se o consumo de grãos integrais.

Os compostos fenólicos de diferentes fontes têm sido relacionados a ações antioxidantes e, dessa forma, esperam-se efeitos no equilíbrio oxidante-antioxidante do organismo pelo consumo de grãos integrais de arroz, principalmente aqueles com maior concentração de compostos fenólicos. Entretanto, no bioensaio realizado, a adição de grãos integrais de arroz à dieta de ratos afetou somente o peso da gordura epididimal e a atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) no fígado, sem ser observada diferença entre os grãos com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto, independente da quantidade de compostos fenólicos consumida. Embora esse aumento na atividade da enzima SOD indique possível

redução no estresse oxidativo no organismo, maiores estudos são necessários para avaliar se o consumo diário de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho ou preto, por um período maior, pode reduzir o estresse oxidativo em animais e humanos em condições normometabólicas.

REFERÊNCIAS

ADOM, K. K.; LIU, R. H. Antioxidant activity of grains. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, n. 21, p. 6182-6187, Oct. 2002.

AOAC – Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of the AOAC International**. 16th ed. Washington: AOAC, 1995.

BALASUNDRAM, N.; SUNDRAM, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plant and agri-industrial by-products: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, Oxford, v. 99, n. 1, p. 191-203, Jan. 2006.

BEHALL, K. M. et al. Whole-grain diets reduce blood pressure in mildly hypercholesterolemic men and women. **Journal of the American Dietetic Association**, New York, v. 106, n. 9, p. 1445-1449, Sept. 2006.

BENZIE, I. F. F.; SZETO, Y. T. Total antioxidant capacity of teas by the ferric reducing/antioxidant power assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 47, n. 2, p. 633-636, Feb. 1999.

BEYER, P. et al. Golden rice: introducing the β -carotene biosynthesis pathway into rice endosperm by genetic engineering to defeat vitamin A deficiency. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 132, n. 3, p. 506S-510S, Mar. 2002.

BIRT, D. F.; HENDRICH, S.; WANG, W. Dietary agents in cancer prevention: flavonoids and isoflavonoids. **Pharmacology & Therapeutics**, Amsterdam, v. 90, n. 2-3, p. 157-177, May/Jun. 2001.

BLIGH, E. C.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, Ottawa, v. 37, n. 8, p. 911-917, Aug. 1959.

BOUDET, A. M. Evolution and current status of research in phenolic compounds. **Phytochemistry**, Oxford, v. 68, n. 22-24, p. 2722-2735, Nov./Dec. 2007.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 25-30, Jan. 1995.

BRAVO, L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. **Nutrition Reviews**, Hoboken, v. 56, n. 11, p. 317-333, Nov. 1998.

CASTRO, E. M. et al. **Qualidade de grãos em arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. (Embrapa Arroz e Feijão, Circular Técnica, n. 34).

CÉSPEDES, C. L. et al. Antioxidant and cardioprotective activities of phenolic extracts from fruits of Chilean blackberry *Aristotelia chilensis* (Elaeocarpaceae), Maqui. **Food Chemistry**, Oxford, v. 107, n. 2, p. 820-829, Mar. 2008.

CHEN, P. et al. Black rice anthocyanins inhibit cancer cells invasion via repressions of MMPs and u-PA expression. **Chemico-Biological Interactions**, New York, v. 163, n. 3, p. 218-229, Nov. 2006.

CHIANG, A. et al. Antioxidant effects of black rice extract through the induction of superoxide dismutase and catalase activities. **Lipids**, New York, v. 41, n. 8, p. 797-803, Aug. 2006.

CHOI, Y.; JEONG, H. S.; LEE, J. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. **Food Chemistry**, Oxford, v. 103, n. 1, p. 130-138, Jan. 2007.

CHUNG, M. J.; WALKER, P. A.; HOGSTRAND, C. Dietary phenolic antioxidants, caffeic acid and Trolox, protect rainbow trout gill cells from nitric oxide-induced apoptosis. **Aquatic Toxicology**, Oxford, v. 80, n. 4, p. 321-328, Dec. 2006.

COLLINS, A. R. Assays for oxidative stress and antioxidant status: applications to research into the biological effectiveness of polyphenols. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 81, n. 1, p. 261S-267S, Jan. 2005.

DENARDIN, C. C. et al. Effect of amylose content of rice varieties on glycemic metabolism and biological responses in rats. **Food Chemistry**, Oxford, v. 105, n. 4, p. 1474-1479, Oct. 2007.

DIARRA, A.; SMITH Jr, R. J.; TALBERT, R. E. Growth and morphological characteristics of red rice (*Oryza sativa*) biotypes. **Weed Science**, Lawrence, v. 33, n. 1, p. 310-314, Jan. 1985.

DIMITRIOS, B. Sources of natural phenolic antioxidants. **Trends in Food Science and Technology**, Oxford, v. 17, n. 9, p. 505-512, Sept. 2006.

ELIAS, M. C. et al. **Secagem e armazenamento de grãos: sistemas, métodos e processos**. Pelotas: UFPel-FAEM-DCTA, 1996.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistical databases**. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 15 abr. 2008.

FOGLIANO, V. et al. Method for measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wines. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 47, n. 3, p. 1035-1040, Mar. 1999.

FONSECA, J. R.; CUTRIM, V. A.; RANGEL, P. H. N. **Descritores morfo-agronômicos e fenológicos de cultivares comerciais de arroz de várzeas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002.

FONSECA, J. R. et al. **Descrição morfológica, agronômica, fenológica e culinária de alguns tipos especiais de arroz (*Oryza sativa* L.)**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2007.

FREI, M. et al. Studies on in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. **Food Chemistry**, Oxford, v. 83, n. 3, p. 395-402, Nov. 2003.

GODDARD, M. S. et al. The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 39, n. 3, p. 388-392, Mar. 1984.

GOFFMAN, F. D.; BERGMAN, C. J. Rice kernel phenolic content and its relationship with antiradical efficiency. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 84, n. 10, p. 1235-1240, Aug. 2004.

GOTO, M.; MURAKAMI, Y.; YAMANAKA, H. Comparison of palatability and physicochemical properties of boiled rice among red rice, Koshihikari and Minenishiki. **Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology**, Tokyo, v. 43, n. 7, p. 821-824, Jul. 1996.

GRAF, E.; EATON, J. W. Antioxidant functions of phytic acid. **Free Radical Biology and Medicine**, Amsterdam, v. 8, n. 1, p. 61-69, Jan. 1990.

GRAHAM, R. et al. Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 60, n. 1-2, p. 57-80, Jan. 1999.

GUILLON, F.; CHAMP, M. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. **Food Research International**, Oxford, v. 33, n. 3-4, p. 233-245, Apr. 2000.

GUO, H. et al. Effect of anthocyanin-rich extract from black rice (*Oryza sativa* L. *indica*) on hyperlipidemia and insulin resistance in fructose-fed rats. **Plant Foods for Human Nutrition**, New York, v. 62, n. 1, p. 1-6, Mar. 2007.

HALLIWELL, B. Dietary polyphenols: good, bad, or indifferent for your health? **Cardiovascular Research**, Oxford, v. 73, n. 2, p. 341-347, Jan. 2007.

HEIM, K. E.; TAGLIAFERRO, A. R.; BOBILYA, D. J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. **Journal of Nutritional Biochemistry**, Oxford, v. 13, n. 9, p. 527-584, Sept. 2002.

HEINEMANN, R. J. B. et al. Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, Oxford, v. 18, n. 4, p. 287-296, Jun. 2005.

HOLDEN, J. M. et al. Development of a database of critically evaluated flavonoids data: application of USDA's data quality evaluation system. **Journal of Food Composition and Analysis**, Oxford, v. 18, n. 8, p. 829-844, Dec. 2005.

HOUSTON, M. C. Nutraceuticals, vitamins, antioxidants, and minerals in the prevention and treatment of hypertension. **Progress in Cardiovascular Diseases**, New York, v. 47, n. 6, p.396-449, May/Jun. 2005.

HSU, C. L.; YEN, G. C. Effects of flavonoids and phenolic acids on the inhibition of adipogenesis in 3T3-L1 adipocytes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 55, n. 21, p.8404-8410, Oct. 2007.

HU, C. et al. Black rice (*Oryza sativa* L. *indica*) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, n. 18, p. 5271-5277, Aug. 2003.

HUDSON, E. A. et al. Characterization of potentially chemopreventive phenols in extracts of brown rice that inhibit the growth of human breast and colon cancer cells. **Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention**, Philadelphia, v. 9, n. 11, p. 1163-1170, Nov. 2000.

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**, Easton, v. 50, n. 18, p. 5229-5235, Aug. 2002.

HURRELL, R. F. et al. Degradation of phytic acid in cereal porridges improves iron absorption by human subjects. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 77, n. 5, p. 1213-1219, May 2003.

HYUN, J. W.; CHUNG, H. S. Cyanidin and malvidin from *Oryza sativa* cv. Heugjinjubyeo mediate cytotoxicity against human monocytic leukemia cells by arrest of G₂/M phase and induction of apoptosis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, n. 8, p. 2213-2217, Apr. 2004.

IQBAL, S.; BHANGER, M. I.; ANWAR, F. Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan. **Food Chemistry**, Oxford, v. 93, n. 2, p. 265-272, Nov. 2005.

ITANI, T. et al. A comparative study on antioxidative activity and polyphenol content of colored kernel rice. **Journal of the Japan Society for Food Science and Technology**, Tokyo, v. 49, n. 8, p. 540-543, Aug. 2002.

ITANI, T. et al. Distribution of amylose, nitrogen, and minerals in rice kernels with various characters. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, n. 19, p. 5326-5332, Sept. 2002.

JEMAI, H. et al. Hypolipidemic and antioxidant activities of oleuropein and its hydrolysis derivative-rich extracts from Chemlali olive leaves. **Chemico-Biological Interactions**, New York, v. 176, n. 2-3, p. 88-98, Nov. 2008.

JENKINS, D. J. A. et al. Glycemic index: overview of implications in health and disease. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 76, n. 1, p. 266S-273S, Jul. 2002.

JULIANO, B. O. Polysaccharides, proteins, and lipids of rice. In: JULIANO, B. O. (Ed.). **Rice: chemistry and technology**. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1985. Cap. 3, p.59-174.

JULIANO, B. O. **Rice in human nutrition**. Rome: FAO, 1993. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 01 dez. 2006.

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

KATSUBE, T. et al. Accumulation of soybean glycinin and its assembly with the glutelins in rice. **Plant Physiology**, Rockville, v. 120, n. 4, p. 1063-1073, Aug. 1999.

KENNEDY, G. et al. Nutrient impact assessment of rice in major rice-consuming countries. **International Rice Commission Newsletter**, Rome, v. 51, n. 1, p. 33-42, Jan. 2002.

KING, A.; YOUNG, G. Characteristics and occurrence of phenolic phytochemical. **Journal of the American Dietetic Association**, New York, v. 99, n. 2, p. 213-218, Feb. 1999.

KOIDE, T. et al. Antitumor effect of hydrolyzed anthocyanin from grape rinds and red rice. **Cancer Biotherapy and Radiopharmaceuticals**, New Rochelle, v. 11, n. 4, p. 273-277, Aug. 1996.

KONG, J. et al. Analysis and biological activities of anthocyanins. **Phytochemistry**, Oxford, v. 64, n. 4, p. 923-933, Oct. 2003.

KRIS-ETHERTON, P. M. et al. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. **American Journal of Medicine**, Oxford, v. 113, n. 9, p. 71S-88S, Dec. 2002.

LAI, V. M. F. et al. Non-starch polysaccharide compositions of rice grains with respect to rice variety and degree of milling. **Food Chemistry**, Oxford, v. 101, n. 3, p. 1205-1210, Mar. 2007.

LARRAURI, J. A.; RUPRES, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 45, n. 4, p. 1390-1393, Apr. 1997.

LEE, S. H. et al. Effects of dietary phytic acid on serum and hepatic lipid levels in diabetic KK mice. **Nutrition Research**, St. Louis, v. 25, n. 9, p. 869-876, Sept. 2005.

LEE, S. H. et al. Dietary phytic acid lowers the blood glucose level in diabetic KK mice. **Nutrition Research**, St. Louis, v. 26, n. 9, p. 474-479, Sept. 2006.

LEE, T. T. T. et al. Enhanced methionine and cysteine levels in transgenic rice seeds by the accumulation of sesame 2S albumin. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, Tokyo, v. 67, n. 8, p. 1699-1705, Aug. 2003.

LI, J. et al. Long-term effects of high dietary fiber intake on glucose tolerance and lipid metabolism in GK rats: comparison among barley, rice, and cornstarch. **Metabolism**, New York, v. 52, n. 9, p. 1206-1210, Sept. 2003.

LING, W. H. et al. Red and black rice decrease atherosclerotic plaque formation and increase antioxidant status in rabbits. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 131, n. 5, p. 1421-1426, May. 2001.

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

LIU, Z. H. et al. Positional variations in phytic acid and protein content within a panicle of japonica rice. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 41, n. 3, p. 297-303, May. 2005b.

LUMEN, B. O.; CHOW, H. Nutritional quality of rice endosperm. In: LUH, B. S. (Ed.). **Rice utilization** - vol II. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold Pub., 1995. Cap. 15, p. 363-395.

MANACH, C. et al. Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 81, n. 1, p. 230S-242S, Jan. 2005.

MANO, Y. et al. Comparative composition of brown rice lipids (lipid fractions) of indica and japonica rices. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, Tokyo, v. 63, n. 4, p. 619-626, Apr. 1999.

MARTÍNEZ, C.; CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz: guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema.** Cali, Colombia: CIAT, 1989.

MATSUE, Y.; OGATA, T. Physicochemical and mochi-making properties of the native red and black-kerneled glutinous rice cultivars. **Plant Production Science**, Tokyo, v. 1, n. 2, p. 126-133, Apr. 1998.

MATSUO, T. et al. **Science of the rice plant. Vol. II - Physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995.

McCORD, J. M.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase. An enzymic function for erythrocyte (hemocuprein). **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 244, n. 22, p. 6049-6055, Nov. 1969.

MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J.; VICARIO, I. M.; HEREDIA, F. J. Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 54, n. 2, p. 149-154, Jun. 2004.

MEMELINK, J. The use of genetics to dissect plant secondary pathways. **Current Opinion in Plant Biology**, Amsterdam, v. 8, n. 3, p. 230-235, Jun. 2005.

MENG, F.; WEI, Y.; YANG, X. Iron content and bioavailability in rice. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, Oxford, v. 18, n. 4, p. 333-338, Jun. 2005.

MILLER, J. B. et al. Rice: a high or low glycemic index food? **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 56, n. 6, p. 1034-1036, Dec. 1992.

MOORE, M. A.; PARK, C. B.; TSUDA, H. Soluble and insoluble fiber influences on cancer development. **Critical Reviews in Oncology/Hematology**, Oxford, v. 27, n. 3, p. 229-242, Apr. 1998.

MORAN, J. F. et al. Complexes of iron with phenolic compounds from soybean nodules and other legume tissues: prooxidant and antioxidant properties. **Free Radical Biology and Medicine**, Amsterdam, v. 22, n. 5, p. 861-870, Jul. 1997.

MORIMITSU, Y. et al. Inhibitory effect of anthocyanins and colored rice on diabetic cataract formation in the rat lenses. **International Congress Series**, Oxford, v. 1245, p. 503-508, Nov. 2002.

NAM, S. H. et al. Antioxidative, antimutagenic, and anticarcinogenic activities of rice bran extracts in chemical and cell assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, n. 3, p. 816-822, Feb. 2005.

NOLDIN, J. A.; CHANDLER, J. M., McCAULEY, G. N. Red rice (*Oryza sativa*) biology. I. Characterization of red rice ecotypes. **Weed Technology**, Lawrence, v. 13, n. 1, p. 12-18, Jan. 1999.

OHKAWA, H.; OHISHI, N.; YAGI, K. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. **Analytical Biochemistry**, Amsterdam, v. 95, n. 2, p. 351-358, Jun. 1979.

OKI, T. et al. Polymeric procyanidins as radical-scavenging components in red-hulled rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, n. 26, p. 7524-7529, Dec. 2002.

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**, Oxford, v. 21, n. 3, p. 251-260, May 1995.

PAGLIA, D. E.; VALENTINE, W. N. Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase. **Journal of Laboratory and Clinical Medicine**, Oxford, v. 70, n. 1, p. 158-169, Jul. 1967.

PAINE, J. A. et al. Improving the nutritional value of Golden Rice through increased pro-vitamin A content. **Nature Biotechnology**, New York, v. 23, n. 4, p. 482-487, Apr. 2005.

PARR, A. J.; BOLWELL, G. P. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 80, n. 7, p. 985-1012, May 2000.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. Literature data may underestimate the actual antioxidant capacity of cereals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, n. 12, p. 5036-5040, Jun. 2005.

PIGA, A.; DEL CARO, A.; CORDA, G. From plums to prunes: influence of drying parameters on polyphenols and antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, n. 12, p. 3675-3681, Jun. 2003.

PULIDO, R.; BRAVO, L.; SAURA-CALIXTO, F. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 48, n. 8, p. 3396-3402, Aug. 2000.

QURESHI, A. A. et al. Novel tocotrienols of rice bran modulate cardiovascular disease risk parameters of hypercholesterolemic humans. **Journal of Nutritional Biochemistry**, Oxford, v. 8, n. 5, p. 290-298, May 1997.

REEVES, P. G.; NIELSEN, F. H.; FAHEY Jr., G. C. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 23, n. 11, 1939-1951, Nov. 1993.

RONG, N. et al. Oryzanol decreases cholesterol absorption and aortic fatty streaks in hamsters. **Lipids**, New York, v. 32, n. 3, p. 303-309, Mar. 1997.

ROSSI, J. A.; KASUM, C. M. Dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects, and safety. **Annual Review of Nutrition**, Palo Alto, v. 22, n. 1, p. 19-34, Jul. 2002.

SAIKUSA, T. et al. Distribution of free amino acids in the rice kernel and kernel fractions and the effect of water soaking on the distribution. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 42, n. 5, p. 1122-1125, May. 1994.

SANTOS-BUELGA, C.; SCALBERT, A. Proanthocyanidins and tannin-like compounds – nature, occurrence, dietary intake and effects on nutrition and health. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 80, n. 7, p. 1094-1117, May 2000.

SHAMSUDDIN, A. M. et al. IP6: a novel anti-cancer agent. **Life Sciences**, Amsterdam, v. 61, n. 4, p. 343-354, Jun. 1997.

SHEN, Y. et al. Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 49, n. 1, p. 106-111, Jan. 2009.

SIMÕES, C. M. O. et al. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Porto Alegre; Florianópolis: Ed. Universidade/UFRGS; Ed. da UFSC, 2001.

SINDHU, A. S. et al. The pea seed storage protein legumin was synthesized, processed, and accumulated stably in transgenic rice endosperm. **Plant Science**, Amsterdam, v. 130, n. 2, p. 189-196, Dec. 1997.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, Oxford, v. 299, n. 1, p. 152-178, Jan. 1999.

SOSBAI – Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: SOSBAI, 2007.

STANNER, S. A. et al. A review of the epidemiological evidence for the ‘antioxidant hypothesis’. **Public Health Nutrition**, New York, v. 7, n. 3, p. 407-422, May. 2004.

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

TAIRA, H.; ITANI, T. Lipid content and fatty acid composition of brown rice of cultivars of the United States. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 36, n. 3, p. 460-462, May. 1988.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

TIAN, S.; NAKAMURA, K.; KAYAHARA, H. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, n. 15, p. 4808-4813, Jul. 2004.

TIAN, S. et al. High-performance liquid chromatographic determination of phenolic compounds in rice. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 1063, n. 1, p. 121-128, Jan. 2005.

TRAN, T. U. et al. Analysis of the tastes of brown rice and milled rice with different milling yields using a taste sensing system. **Food Chemistry**, Oxford, v. 88, n. 4, p. 557-566, Dec. 2004.

VASCONCELOS, M. et al. Enhanced iron and zinc accumulation in transgenic rice with the ferritin gene. **Plant Science**, Amsterdam, v. 164, n. 3, p. 371-378, Mar. 2003.

VELANGI, A. et al. Evaluation of a glucose meter for determining the glycemic responses of foods. **Clinica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 356, n. 1-2, p. 191-198, Jun. 2005.

VELIOGLU, Y. S. et al. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 46, n. 10, p. 4113-4117, Oct. 1998.

VERGHESE, M. et al. Anticarcinogenic effect of phytic acid (IP6): apoptosis as a possible mechanism of action. **LWT Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 39, n. 10, p. 1093-1098, Dec. 2006.

VISSERS, M. N. et al. Effect of plant sterols from rice bran oil and triterpene alcohols from sheanut oil on serum lipoprotein concentrations in humans. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 72, n. 6, p. 1510-1515, Dec. 2000.

WANG, Q. et al. Supplementation of black rice pigment fraction improves antioxidant and anti-inflammatory status in patients with coronary heart disease. **Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition**, Taiwan, v. 16, n. 2, p. 295-301, Jun. 2007.

WARNER, A. C. I. Rate of passage of digesta through the gut of mammals and birds. **Nutrition Abstracts and Reviews**, Oxfordshire, v. 51, n. 12, p. 789-975, Dec. 1981.

XIA, M. et al. Supplementation of diets with the black rice pigment fraction attenuates atherosclerotic plaque formation in apolipoprotein E deficient mice. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 133, n. 3, p. 744-751, Mar. 2003.

YANG, X. et al. Genotypic differences in concentrations of iron, manganese, copper, and zinc in polished rice grains. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 21, n. 7, p. 1453-1462, Jul. 1998.

YAWADIO, R.; TANIMORI, S.; MORITA, N. Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rices and their aldose reductase inhibitory activities. **Food Chemistry**, Oxford, v. 101, n. 3, p. 1616-1625, Mar. 2007.

ZHANG, M. W.; GUO, B. J.; PENG, Z. M. Genetic effects on Fe, Zn, Mn and P contents in *Indica* Black pericarp rice and their genetic correlations with grains characteristics. **Euphytica**, Amsterdam, v. 135, n. 3, p. 315-323, Mar. 2004.

ZHANG, M. et al. Separation, purification and identification of antioxidant compositions in black rice. **Agricultural Sciences in China**, Amsterdam, v. 5, n. 6, p. 431-440, Jun. 2006.

ZHAO, Z.; MOGHADASIN, M. H. Chemistry, natural sources, dietary intake and pharmacokinetic properties of ferulic acid: a review. **Food Chemistry**, Oxford, v. 109, n. 4, p. 691-702, Aug. 2008.

ZHENG, Z. et al. The bean seed storage protein β -phaseolin is synthesized, processed, and accumulated in the vacuolar type-II protein bodies of transgenic rice endosperm. **Plant Physiology**, Rockville, v. 109, n. 3, p. 777-786, Nov. 1995.

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

ZHOU, Z. et al. The distribution of phenolic acids in rice. **Food Chemistry**, Oxford, v. 87, n. 3, p. 401-406, Sept. 2004.