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

**Adubação e biofortificação: caracterização química e física do arroz
(*Oryza sativa* L.)**

Evelise Boliani

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

**Piracicaba
2012**

Evelise Boliani
Nutricionista

**Adubação e biofortificação: caracterização química e física do arroz
(*Oryza sativa* L.)**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof^ª Dr^ª **SOLANGE GUIDOLIN CANNIATTI BRAZACA**

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

**Piracicaba
2012**

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

Boliani, Evelise

Adubação e biofortificação: caracterização química e física do arroz (*Oryza sativa* L.) /
Evelise Boliani. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - -
Piracicaba, 2012.
116 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Adubação 2. Antinutricionais 3. Arroz - Propriedade físico-químicas
4. Biofortificação 5. Composição centesimal 6. Disponibilidade de minerais
7. Vitaminas I. Título

CDD 633.18
B689a

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

DEDICATÓRIA

A minha querida família que sempre me incentivou e me ensinou que a educação é
a ferramenta capaz de transformar.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus pelo dom da vida e pela força para vencer mais essa batalha.

À Prof. Dra. Solange Guidolin Canniatti Brazaca, pela oportunidade, ensinamentos, dedicação, incentivo e confiança na realização deste trabalho.

Aos professores do curso de Pós-graduação da área de concentração em Ciências e Tecnologia e Alimentos, em especial à professora Silene Bruder Silveira Sarmento pelos ensinamentos e auxílio.

Às queridas professoras Flávia Aranha e Renata Cintra pelo incentivo desde a época da graduação, pelas correções e aceitação do convite para participação da banca de defesa.

À técnica de laboratório Débora Niero Mansi e Carlota Boralli Prudentes dos Anjos pela colaboração nas análises laboratoriais.

Ao auxílio concedido pela FAPESP e também à bolsa recebida da CAPES.

À Embrapa Arroz e Feijão e Milton Ferreira de Moraes pelo material concedido para análise.

À estagiária Márcia Regina de Aguiar pela paciência, dedicação e empenho.

Às amigas (os) do curso de pós graduação Ana Paula Martinez Corazza, Patrícia Cristina Martinez Corazza, Priscila Brigide, Marina Lamounier, Karina Huber, Neila Moura, Paulo Berni, Juliana Piedade, Maressa Morzelle e Luis Fernando Polesi pelo apoio e amizade.

À bibliotecária Beatriz Helena Giongo e Eliana Maria Garcia pelo auxílio na revisão bibliográfica.

À toda minha família pelo apoio e incentivo depositado em mim.

À minha amiga Camila Braga que desde a graduação acompanha o meu caminhar, tantos nos bons momentos, quanto nas angústias, sempre incentivando.

Ao Luciano Bernhard Barbosa agradeço-te por iluminar o meu caminho, com todo amor, carinho, paciência e pelo apoio nos momentos de desânimo.

Enfim, a todos que não mencionei, mas que estiveram presente ao meu lado durante esse trabalho.

EPÍGRAFE

"O que sabemos é uma gota, o que desconhecemos é um oceano".

Isaac Newton

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	15
2 DESENVOLVIMENTO	19
2.1 Objetivos	19
2.1.1 Objetivos específicos Experimento I	19
2.1.2 Objetivos específicos Experimento II.....	19
2.2 Revisão bibliográfica	19
2.2.1 Produção e consumo de arroz	19
2.2.2 Composição do arroz	20
2.2.3 Adubação	27
2.2.4 Biofortificação: uma ferramenta para melhorar a saúde humana.....	28
2.3 Material e Métodos.....	29
2.3.1 Amostra.....	29
2.3.2 Preparo das amostras	33
2.3.2.3 Análises químicas	33
2.3.2.4 Composição centesimal	34
2.3.2.5 Teor de minerais	34
2.3.2.6 Diálise de minerais <i>in vitro</i>	35
2.3.2.7 Vitaminas do complexo B	35
2.3.2.7.1 Tiamina.....	36
2.3.2.7.2 Riboflavina.....	36
2.3.2.7.3 Vitamina B ₆	37
2.3.2.8 Fatores antinutricionais	37
2.3.2.8.1 Ácido fítico.....	37
2.3.2.8.2 Fenólicos totais	38
2.3.2.9 Conteúdo de Amilose Aparente.....	38
2.3.2.10 Propriedades de Pasta	38
2.3.2.11 Análise Instrumental da Cor	40
2.3.2.12 Análise dos dados	40
2.4 Resultados e Discussão	41
2.4.1 Experimento I	41

2.4.1.1 Ácido Fítico	41
2.4.1.2 Teor de Minerais	46
2.4.1.3 Análise de cor	53
2.4.1.4 Diálise e biodisponibilidade de minerais	56
2.4.2 Experimento II.....	60
2.4.2.1 Composição centesimal.....	60
2.4.2.2 Teor de minerais	64
2.4.2.3 Diálise de minerais <i>in vitro</i>	69
2.4.2.4 Vitaminas do complexo B	73
2.4.2.5 Ácido fítico	77
2.4.2.6 Compostos fenólicos.....	80
2.4.2.7 Conteúdo de amilose aparente.....	83
2.4.2.8 Propriedades de pasta.....	84
2.4.2.9 Análise instrumental da cor.....	87
3 CONCLUSÕES.....	93
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
REFERÊNCIAS	97

RESUMO

Adubação e biofortificação: caracterização química e física do arroz (*Oryza sativa* L.)

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando como principal alimento para mais da metade da população mundial. Sua importância é destacada principalmente em países em desenvolvimento, tais como o Brasil, desempenhando papel estratégico em níveis econômico e social. Atualmente, é crescente o número de pesquisas que integram desde o melhoramento vegetal e o manejo da adubação até o aproveitamento dos nutrientes pelo organismo humano. O melhoramento de plantas pode ajudar a melhorar a dieta humana, com o desenvolvimento de plantas com maiores teores de vitaminas e micronutrientes. A introdução de produtos agrícolas biofortificados como o arroz, complementará as intervenções em nutrição existentes. Sendo assim, torna-se imprescindível conhecer como as condições de cultivo influenciam na qualidade do grão e na importância para obtenção de um alimento com maior valor biológico e nutricional e com menores concentrações de antinutricionais. O objetivo deste trabalho foi analisar as características físico-químicas e nutricionais do arroz (*Oryza sativa* L.) integral, promovidas por diferentes adubações (experimento I) e aos grãos biofortificados (experimento II). Foram realizadas análises de composição centesimal, composição mineral, diálise *in vitro* de minerais, vitaminas do complexo B, conteúdo de compostos fenólicos e fitatos em grão, além das análises de parâmetros de qualidade em arroz como conteúdo de amilose aparente, propriedade de pasta e análise instrumental de cor. Os resultados obtidos no estudo assemelham-se aos citados nas literaturas quanto à composição centesimal e mineral, enfatizando a influência da cocção na composição nutricional do grão e em seus compostos como fenólicos e fitatos. Para o dialisado de cálcio e zinco no arroz biofortificado, a variação nos valores foi em média de 1,14% a 3,26% para cálcio e 0,80% a 3,43% para zinco. No experimento II, as perdas de vitaminas para o arroz integral biofortificado após o cozimento foi em torno de 33,4%, 52,17% e 76% para vitamina B₁, vitamina B₂ e vitamina B₆, respectivamente. Por fim, conclui-se que a produção de variedades melhoradas seja através de adubações ou da escolha de melhores cultivares, que apresentam maior teor de minerais e vitaminas, foram eficientes para a melhora da disponibilidade nutricional dos grãos.

Palavras-chave: Disponibilidade de minerais; Biofortificação; Antinutricionais; Vitaminas; Composição centesimal; Adubação

ABSTRACT

Biofortification and fertilization: chemical and physical characterization of rice (*Oryza sativa* L.)

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of most cereals produced and consumed in the world, characterized as the primary food for more than half the world population. Its importance is highlighted especially in developing countries such as Brazil, playing a strategic role in economic and social levels. There is increasing the number of studies since that integrate plant breeding and fertilizer management to use the nutrients the human body. Plant breeding can help improve the human diet, with the development of plants with higher levels of vitamins and micronutrients. The introduction of biofortified crops like rice, will complement existing nutrition interventions. Thus, it becomes essential to know as the cultivation conditions influence the quality of grain and the importance to obtain a food with higher nutritional and biological value and with lower concentrations of antinutritional. Therefore, the aim of this study was to analyze the pshycochemical and nutritional properties of rice (*Oryza sativa* L.) in full, caused by different fertilization (experiment I) and subjected to biofortification (experiment II). Were performed to analyze chemical composition, mineral, dialysis *in vitro* of minerals, vitamins B, content of phenolic compounds and phytates in grain, in addition to the analysis of quality parameters in rice as apparent amylase content, folder property and instrumental analysis of color. The results obtained in this study are similar to those cited in other literature as to the mineral and chemical composition, emphasizing the influence of cooking on the nutritional composition of grain and as phenolic compounds and phytates. For the dialysate calcium and zinc in rice biofortified crops, the variation in the values averaged 1.14% to 3.26% for calcium and 0.80% to 3.43% for zinc. Losses of vitamins to the rice after cooking was around 33.4%, 52.17% and 76% for vitamin B₁, vitamin B₂ and vitamin B₆, respectively. Finally, we conclude that the production of improved varieties is through fertilization or the best choice of cultivars, that have a higher content of minerals and vitamins, were effective to improve the availability of nutrients of the grains.

Keywords: Availability of minerals; Biofortificaton; Antinutritional; Vitamins; Chemical composition; Fertilization

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial. A produção anual de arroz é de aproximadamente 606 milhões de toneladas (FAO, 2006). Apenas uma pequena quantidade de arroz é consumida como ingrediente em produtos processados, sendo seu maior consumo na forma de grão. É uma excelente fonte de energia, devido à alta concentração de amido, fornecendo também proteínas, vitaminas e minerais, e possui baixo teor de lipídios.

No Brasil, o consumo *per capita* é de 108g por dia, fornecendo 14% dos carboidratos, 10% das proteínas e 0,8% dos lipídios da dieta (KENNEDY; BURLINGAME, 2003). Portanto, devido à importância do arroz na dieta de grande parte da população, sua qualidade nutricional afeta diretamente a saúde humana.

Diversos são os fatores que envolvem mudanças nas características físicas e químicas do arroz, estas podem causar alteração no cozimento, no processamento, nas qualidades culinárias e nutricionais e afetam o valor comercial (BARBER, 1972). Quando o arroz é apenas descascado é muito nutritivo, embora apresente problemas de conservação e de aceitação pelo consumidor que está habituado com arroz branco, podendo sofrer ainda, perdas nutricionais nas operações de lavagem e cozimento (PEREIRA, 1996). Além do beneficiamento, que corresponde a perdas de até 10% do peso do grão integral e de 50-90% dos minerais e vitaminas (SINGH; GUPTA; PANDEY, 2001; WELCH, 2001), outros fatores influenciam no valor nutritivo do arroz. Tais variáveis estão relacionadas com as condições de cultivo (temperatura, umidade, radiação solar, natureza do solo, adubação) e com as formas de preparo do cereal para consumo (GRIST, 1978).

Segundo Moraes (2008), a nutrição de plantas e a saúde humana são estudadas isoladamente, com quase ou nenhuma interação entre os pesquisadores dessas áreas. Entretanto, é crescente o número de pesquisas que integram desde o melhoramento vegetal e o manejo da adubação até o aproveitamento dos nutrientes pelo organismo humano, importantes livros-textos abordando o assunto de maneira holística têm sido publicados, como os de Welch e Gabelman (1984); Mortvedt et al. (1991), Singh, Mori e Welch (2001), Kabata-Pendias e Mukherjee (2007) e Alloway (2008). Todavia, devido o Brasil ser um grande exportador de alimentos e, também, com a busca para obtenção de alimentos mais saudáveis e nutritivos, há

necessidade dos pesquisadores brasileiros trabalharem de forma integrada, multidisciplinar, procurando estudar todos os fatores envolvidos na obtenção de alimentos de melhor qualidade nutricional, incluindo-se todas as práticas agronômicas (MORAES et al., 2009)

O melhoramento de plantas pode ajudar a aperfeiçoar a dieta humana, com o desenvolvimento de plantas com maiores teores de vitaminas e de micronutrientes (HARVESTPLUS, 2009). Em 2004, no Brasil, tiveram início os trabalhos do programa HarvestPlus Brasil, coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), visando desenvolver variedades de arroz, feijão, mandioca, milho, trigo e batata-doce com maiores concentrações de Fe, Zn e betacaroteno. A introdução de produtos agrícolas biofortificados (variedades melhoradas que apresentam maiores conteúdos de minerais e vitaminas) como o arroz, complementar as intervenções em nutrição existentes, proporcionando uma maneira sustentável e de baixo custo para alcançar as populações com limitado acesso aos sistemas formais de mercado e de saúde. Variedades biofortificadas apresentam o potencial de fornecer benefícios contínuos, ano após ano, nos países em desenvolvimento, a custo inferior ao da suplementação e da fortificação pós-colheita (GRAHAM; WELCH, 1996; WELCH, 2001; HARVESTPLUS, 2004; GRAHAM et al., 2007). Várias estratégias isoladas, ou em conjunto, podem ser usadas para a biofortificação, a saber: a) seleção de variedades que apresentam naturalmente maiores teores de minerais, vitaminas ou compostos promotores na parte comestível; b) práticas de manejo de adubação; c) manipulação genética por meio de transgenia (MORAES, 2009).

Diversos fatores relacionados ao ambiente e à adaptação das espécies vegetais podem influenciar na capacidade das plantas em absorver e translocar minerais como Fe e Zn para os grãos (GREGORIO et al., 2000; WELCH; HOUSE, 1984). É possível selecionar cultivares para maiores teores de minerais nos grãos e também para altos rendimentos. Fundamentalmente, todos os nutrientes que compõem a base da dieta alimentar têm a mesma origem, ou seja, solo, ar e água (MORAES, 2008).

Para se avaliar a qualidade nutricional de determinado alimento deve-se considerar o conteúdo e a biodisponibilidade de seus nutrientes. De acordo com Souza et al. (2005), a biodisponibilidade de um nutriente relaciona-se com a capacidade do organismo utilizá-lo após sua ingestão, porém os alimentos possuem

em sua composição certos componentes químicos hábeis de causarem diminuição da utilização orgânica de alguns nutrientes, sendo tais compostos são denominados fatores antinutricionais. Entre estes estão incluídos os fenólicos e os fitatos. Os fenólicos, ou polifenóis, são metabólitos secundários dos vegetais com diferentes funções nas plantas, e os fitatos, são compostos químicos utilizados pelas plantas para armazenar o mineral fósforo no interior de suas células, presente em grande proporção especialmente nas sementes (EMBRAPA, 2004; WELCH; HOUSE, 1984). Em torno de 80% do fósforo contido nos grãos dos cereais e leguminosas está presente na forma de fitatos. Sabe-se que a concentração de fitatos depende da disponibilidade de fósforo do solo (BANUELOS; LIN, 2008). Estudos internacionais relatam o efeito da aplicação de fósforo no solo sobre a qualidade nutricional do grão (PECK et al., 1980; WELCH; HOUSE, 1984; BUERKERT et al., 1998). Pesquisa realizada por Buerkert et al. (1998) mostrou que a aplicação de fertilizante fosfatado, aumentou a concentração de ácido fítico nos grãos de milho entre 25 e 29%. Os fatores antinutricionais quando ingeridos em altas quantidades e de forma crônica podem ser responsáveis pelo desenvolvimento de quadros de carências nutricionais devido a não utilização orgânica dos nutrientes ofertados pelos alimentos. Desta forma, deve-se aplicar alguns tratamentos sobre os alimentos possuidores destes compostos antagônicos à utilização orgânica dos nutrientes, de modo que atuem como formas de evitar o surgimento de distúrbios orgânicos decorrentes de insatisfatória biodisponibilidade de um ou mais nutrientes (SOUZA et al., 2005).

Alimento básico da dieta do brasileiro, o arroz vem sendo o foco de diversos estudos complementando as intervenções já existentes, como a fortificação de farinhas de trigo com ferro na prevenção da anemia ferropriva, e proporcionando de maneira sustentável e de baixo custo o acesso às populações com limitado poder aquisitivo (MORAES, 2008). Neste sentido, há um grande esforço internacional compondo diversos países, incluindo-se o Brasil, para aumentar os teores de minerais e vitaminas em grãos de cereais, conhecidos como alimentos básicos. Pois assim, além de contribuírem como fonte de energia podem também fornecer nutrientes essenciais à nutrição humana. Isso justifica o estudo da disponibilidade de nutrientes no arroz, o cereal mais produzido no mundo e o de maior consumo pela população em todas as faixas etárias, torna-se imprescindível conhecer como as condições de cultivo influenciam na qualidade do grão (tipo de adubo, quantidade utilizada, biofortificação) e a importância para obtenção de um alimento com maior

valor biológico e nutricional e com menores concentrações de antinutricionais, além de ser uma estratégia complementar a outros métodos de erradicação de deficiências de micronutrientes.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho foi analisar as características físico-químicas, nutricionais e qualidade do arroz (*Oryza sativa* L.).

2.1.1 Objetivos específicos Experimento I

- Avaliar o efeito de diferentes adubações no arroz integral;
- Determinar as concentrações de fitatos;
- Determinar o teor de minerais;
- Quantificar a disponibilidade de minerais *in vitro*;
- Avaliar o parâmetro de cor no grão.

2.1.3 Objetivos específicos Experimento II

- Caracterizar o arroz biofortificado;
- Quantificar a composição centesimal no grão biofortificado, incluindo os teores de proteínas, lipídeos, carboidratos totais, umidade, cinzas e fibras alimentares (solúvel e insolúvel);
- Determinar o teor de minerais;
- Quantificar a disponibilidade de minerais *in vitro*;
- Quantificar o teor de vitaminas no grão biofortificado;
- Avaliar os parâmetros de qualidade (conteúdo de amilose, propriedade de pasta e cor) do grão biofortificado.

2.2 Revisão bibliográfica

2.2.1 Produção e consumo do arroz

O arroz é uma das mais importantes culturas anuais produzidas no Brasil, significando cerca de 15% a 20% do total de grãos colhidos no país. Ocupa posição de destaque do ponto de vista econômico social, sendo responsável por suprir a

população brasileira com considerável aporte de calorias e proteínas na sua dieta básica (GOMES; MAGALHÃES JÚNIOR, 2004).

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 (KENNEDY; BURLINGAME; NGUYEN, 2002). Devido à importância do arroz na dieta de grande parte da população, sua qualidade nutricional afeta diretamente a saúde humana.

2.2.2 Composição do arroz

O arroz (Figura 1) é constituído principalmente por amido, apresentando quantidades menores de proteínas, lipídios, fibras e cinzas. 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 (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

Figura 1- Estrutura do grão de arroz.

Fonte: Juliano (1984)

Os constituintes do arroz estão abaixo mencionados:

a) Carboidratos: Os carboidratos são os principais constituintes do arroz. Correspondendo a aproximadamente 90% da matéria seca do arroz polido (JULIANO, 1993). O amido é composto por cadeias de amilose e amilopectina (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).

b) 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).

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

d) 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, 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).

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 ($2\text{-}52\text{mg kg}^{-1}$) e zinco ($6\text{-}28\text{ mg kg}^{-1}$) entre genótipos (JULIANO, 1985).

e) Vitaminas: O arroz contém principalmente vitaminas do complexo B e α -tocoferol (uma 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 (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

As vitaminas do complexo B englobam tiamina (B_1), riboflavina (B_2) e piridoxina (vitamina B_6). A vitamina B_1 ou tiamina foi o primeiro composto a ser chamado de vitamina no início do século 20 e foi relacionada com a doença beribéri. A riboflavina ou vitamina B_2 foi inicialmente identificada como resistente a altas temperaturas, está presente no extrato de levedura. A vitamina B_6 está presente nos alimentos na forma de três compostos diferentes: piridoxina, piridoxal e piridoxamina. Funciona como coenzima em grande número de reações que participam do metabolismo das proteínas, dos carboidratos e dos lipídios.

Figura 2 - Estrutura molecular da vitamina B_1 na forma de mononitrato de tiamina
Fonte: Arruda (2009)

A tiamina é uma substância sulfurada (Figura 2) e, sob a forma de pirofosfato, participa como coenzima em vários caminhos metabólicos como ciclo do ácido cítrico, glicólise e produção de pentose fosfato (GOLDA et al., 2004). Está especialmente envolvida em várias etapas do metabolismo dos carboidratos e seu requerimento diário depende dos teores dos carboidratos presentes na dieta (CRAIG et al., 2000).

É uma vitamina termolábel que se degrada facilmente em meio alcalino. Entretanto, sua estabilidade aumenta com a diminuição do pH. A degradação pelo calor depende da quantidade de oxigênio, pH, tempo de atuação e natureza dos eletrólitos da solução (FERREIRA, 1983).

A deficiência de tiamina no organismo pode levar à doença beribéri (afeta os sistemas nervoso e cardiovascular), que em lactentes se manifesta na fase aguda por diminuição do débito urinário, choro excessivo, perda de peso, gemido triste e insuficiência cardíaca (MAHAN; ARLIN, 1995).

A riboflavina é essencial para os processos de multiplicação celular, importante, portanto, nos processos de cicatrização e no crescimento do lactente. A causa mais frequente de deficiência de riboflavina no lactente é a fototerapia utilizada no tratamento da hiperbilirrubinemia (LUCAS; BATES, 1987).

Segundo citação de Aniceto, Canaes e Fatibello-Filho, (2000) a riboflavina (7,8-dimetil-10-(1'-D-ribitol) isoaloxazina) (Figura 3) é um pó cristalino amarelo-alaranjado, de sabor amargo e odor leve. No estado anidro, é estável à luz, entretanto, em soluções alcalinas, decompõe-se rapidamente. Na presença de oxigênio, a riboflavina é transformada irreversivelmente pela luz em lumiflavina, lumiocromo e compostos de menor importância fisiológica. Ela é levemente solúvel em água e em álcool, e insolúvel em éter etílico e clorofórmio, sendo seu ponto de fusão igual a 285°C (PHARMACOPÉE FRAÇAISE, 1965).

Figura 3 - Estrutura molecular da vitamina B₂

Fonte: Arruda (2009)

A riboflavina é abundantemente distribuída em gêneros alimentícios animais e vegetais, tais como fígado, leite, rim, carne, ovos, ostras, germe de trigo, nabos, beterraba e farelo de arroz (KOROLKOVAS; BURCKHALTER, 1982).

Não existe doença relatada devido à deficiência de riboflavina, normalmente apresenta – se em conjunto com a depleção das outras vitaminas do complexo B. Porém, a deficiência crônica pode levar a alguns sintomas neuropáticos, dermatológicos (estomatite angular, seborréia nasolabial), gastrointestinais (glossite, anorexia) e oculares (fotofobia, ardência) (ROBERTO; MAGNONI; CUKIER, 2012).

São conhecidos seis vitâmeros da vitamina B₆, todos derivados do 3-hidroxi-2-metilpiridina (Figura 4) e com a mesma atividade biológica, diferenciando-se pelo grupo substituinte do carbono 4.

Figura 4 - Estrutura molecular dos vitâmeros da vitamina B₆

Fonte: Arruda (2009)

A piridoxina (PN), piridoxal (PL) e piridoxamina (PM) são relativamente estáveis ao calor em meio ácido, mas termolábeis em meio alcalino (LEKLEM, 1991). As soluções ácidas de cloridrato de piridoxina podem ser aquecidas por 30 minutos a 120°C sem apresentar decomposição (MERCK, 1989).

As fontes mais expressivas da vitamina são os extratos de levedura, trigo integral, fígado e carne de frango. Outras fontes importantes são os cereais integrais, castanhas, rins, peixes, batatas e outros vegetais. Está presente ainda nos ovos, no leite e em quantidades menores nas frutas (OTTAWAY, 1993).

A deficiência de vitamina B₆ causa poucos efeitos adversos à saúde e manifestações não específicas. Casos graves causam convulsões, anemia, reações na pele similares às presentes em casos de deficiência de riboflavina e niacina, mal-estar e depressão (OTTAWAY, 1993).

O Quadro1 mostra a estabilidade relativa das vitaminas hidrossolúveis frente ao pH, luz, oxigênio e aquecimento. Estas vitaminas são adversamente afetadas pelo processamento térmico convencional, esterilização, microondas, enlatamento e congelamento, extrusão, refino e moagem, tipo de embalagem, tempo e condições de estocagem.

Quadro 1 – Estabilidade relativa das vitaminas hidrossolúveis

Vitamina	O ₂	pH			Luz	Calor	Perdas máximas pelo cozimento (%)
		neutro	ácido	alcalino			
B ₁	I	I	E	I	E	I	80
B ₂	E	E	E	I	I	I	75
B ₆	E	E	E	E	I	I	40
PP	E	E	E	E	E	E	75
Biotina	E	E	E	E	E	I	60
Ácido fólico	I	I	I	E	I	I	100
Ácido pantotênico	E	E	I	I	E	I	50
B ₁₂	I	E	E	E	I	E	10
C	I	I	E	I	I	I	100

E: estável; I: instável.

Fonte: Gregory (1986)

f) Compostos fenólicos: os compostos fenólicos, ou polifenóis, são metabólitos secundários dos vegetais com diferentes funções nas plantas. 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 (TIAN; NAKAMURA; KAYAHARA, 2004; ZHOU et al., 2004). Os compostos fenólicos do arroz incluem derivados de ácidos benzóicos e hidroxicinâmicos, principalmente o ácido ferúlico e diferulatos, e nos genótipos pigmentados ainda são encontrados antocianinas e proantocianidinas (MIRA et al., 2008). A atividade biológica dos

compostos fenólicos depende primariamente da sua absorção e metabolização, que, por sua vez, está relacionada com a estrutura química, conjugação com outras substâncias, grau de polimerização e solubilidade. Portanto, a grande diversidade estrutural dos compostos fenólicos dificulta enormemente o estudo da biodisponibilidade e dos efeitos fisiológicos, tendo motivado uma classificação em compostos fenólicos solúveis e insolúveis. Os compostos fenólicos solúveis encontram-se compartimentalizados dentro dos vacúolos celulares (BECKMAN, 2000), e estão na forma livre ou conjugada, enquanto os fenólicos insolúveis encontram-se ligados a estruturas da parede celular, esterificados com arabinose ou resíduos de galactose dos componentes pécticos ou hemicelulósicos (FAULDS; WILLIAMSON, 1999). 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). Por outro lado, os polifenóis do tipo tanino possuem importante característica de se ligar às proteínas (BUTLER, 1989) e, de acordo com Maliwal (1983) formam complexos proteína-tanino mediante pontes de hidrogênio, impedindo assim a digestibilidade das mesmas.

g) Ácido fítico: os fitatos representam uma classe complexa de compostos de ocorrência natural formados durante o processo de maturação de sementes e grãos de cereais (SILVA; SILVA, 1999). O ácido fítico (AF) é uma forma de armazenamento de fósforo, constituindo aproximadamente 70% do conteúdo desse mineral nas sementes. Ele pode ser encontrado na forma de fitato, ligado a cátions como potássio, magnésio, cálcio, ferro e zinco (LIU; CHENG; ZHANG, 2005). O AF é uma molécula com seis grupos ortofosfatos (Insp_6) denominado ácido hexafosfórico mio-inositol ou quimicamente 1, 2, 3, 4, 5, 6 hexaquis (diidrogênio fosfato) mio-inositol (DOMINGUEZ; GÓMEZ; LEÓN, 2002). Sua molécula possui seis prótons fortemente dissociados com $\text{pK}'\text{s}$ menores do que 3,5 e seis prótons fracamente dissociáveis com $\text{pK}'\text{s}$ entre 4,6 e 10, sugerindo forte potencial quelante da estrutura (SILVA; SILVA, 1999). É uma molécula carregada negativamente, o que lhe confere alto potencial para complexação com moléculas carregadas positivamente como

cátions e proteínas. A interação AF com a proteína é pH-dependente, enquanto a interação com cátions é exclusivamente devido aos seus grupos fosfatos: estes podem participar de um único grupo fosfato, dois grupos de uma mesma molécula ou a grupos fosfatos de diferentes moléculas de AF. Em sementes o AF se encontra com uma mistura de sais de diferentes cátions como K, Mg, Ca, Mn, Zn e Fe; o termo fitina tem sido usado para descrever a mistura de sais de Ca e Mg com AF. 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; Johnson e Juliano (2002), que obtiveram 0,065% de ácido fítico para o arroz branco polido, comparado a 0,78% para o arroz integral. 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).

2.2.3 Adubação

A obtenção de variedades de porte baixo, melhoradas para responder ao fertilizante nitrogenado, foi um avanço na agricultura que permitiu altas produções de cereais por área. Deste modo, conseguiu-se suprir a demanda por alimentos decorrente do crescimento populacional. Problemas de deficiência nutricional têm aumentado, afetando quase metade da população mundial, especialmente mulheres grávidas, adolescentes e crianças (WELCH; COMBS; DUXBURY, 1997; WELCH, 2001; GRAHAM et al., 2007). As deficiências ocasionadas pela falta de cálcio (Ca), ferro (Fe), iodo (I), selênio (Se), vitamina A e zinco (Zn) são atualmente as que causam maior preocupação em relação à saúde humana, principalmente nos países em desenvolvimento. Estima-se que um terço da população mundial vive em países considerados de alto risco em relação à deficiência de Zn, sendo sugerido que um quinto da população mundial pode não estar ingerindo este nutriente em quantidade suficiente (HOTZ; BROWN, 2004).

O uso de fertilizantes pode ser considerado a base para a produção sustentável de alimentos, havendo correlação linear positiva entre crescimento populacional e consumo de fertilizantes (ZHANG; ZHANG, 2007). Experimentos de

longa-duração realizados no Brasil e no exterior demonstraram que, dentre os fatores responsáveis pelo sucesso no rendimento de grãos, os fertilizantes minerais contribuem com 30 a 50% da produtividade (STEWART et al., 2005; MALAVOLTA; MORAES, 2009).

A qualidade dos alimentos apresenta relação direta com os elementos químicos presentes nos solos cultivados. Os fertilizantes e corretivos podem, além de aumentar a produtividade, melhorar a qualidade dos produtos agrícolas por meio de incrementos no teor de micronutrientes na parte comestível (MORAES, 2009). Como evidência, encontramos o trabalho realizado por Hao et al. (2007), onde efeito da adubação com nitrogênio no arroz, aumenta o teor de proteína do grão.

As relações entre nutrição mineral e a qualidade nutricional e tecnológica dos produtos agrícolas serão demonstradas através de alguns exemplos extraídos da literatura. Uma revisão extensa sobre o assunto pode ser encontrada em Sá e Buzetti (1994), Welch e Gabelman (1984), Dibb, Roberts e Welch, (2005), Moraes (2008) e Bañuelos e Lin (2008).

Os fertilizantes contribuem de forma expressiva para a produção de alimentos e continuarão a fazê-lo no futuro, à medida que aumenta a demanda por produção das culturas. A adubação adequada também pode melhorar a qualidade e a nutrição das culturas e ter efeito na nutrição humana.

2.2.4 Biofortificação: uma ferramenta para melhorar a saúde humana

A biofortificação surgiu em função da preocupação com o aumento dos índices de desnutrição no mundo e foi reforçada com a recente descoberta de que o melhoramento vegetal voltado exclusivamente para ganhos em produtividade pode provocar a redução da concentração de minerais e vitaminas na parte comestível das culturas (GARVIN et al., 2006; MURPHY et al., 2008; WHITE et al., 2009). Pode ser realizada por meio do melhoramento vegetal convencional ou biotecnológico e/ou por práticas agronômicas, que dentre elas destacam-se a adubação (BOUIS, 1999; CAKMAK, 2008). Adicionalmente, tem sido observado que plantas obtidas de sementes com altos teores de minerais apresentam maior germinação, vigor e melhor desenvolvimento inicial em condições de estresse (bióticos e abióticos) (MORAES; BOARETTO, 2010).

A produção de variedades melhoradas que apresentam maior teor de minerais e vitaminas visa complementar as intervenções em nutrição existentes e proporcionar uma maneira sustentável e de baixo custo para alcançar as populações com limitado acesso aos sistemas formais de mercado e de saúde. Variedades biofortificadas apresentam o potencial de fornecer benefícios contínuos, anos após ano, nos países em desenvolvimento, a um custo recorrente inferior ao da suplementação e da fortificação pós colheita (GRAHAM; WELCH, 1996; WELCH, 2001; HARVESTPLUS, 2004; GRAHAM et al., 2007).

A biofortificação faz sentido como parte de um enfoque que considere um sistema alimentar integrado para reduzir a desnutrição, ataca a raiz do problema tendo como alvo a população mais necessitada, utiliza mecanismos de distribuição incorporados, é cientificamente viável e efetiva em termos de custos, além de complementar outras intervenções em andamento para o controle da deficiência em micronutrientes. É, em suma, um passo essencial que possibilitará que famílias carentes melhorem de uma maneira sustentável, sua nutrição e saúde (NUTTI; CARVALHO; WATANABE, 2005).

2.3 Material e Métodos

Os experimentos foram desenvolvidos nos Laboratórios do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil.

2.3.1 Amostra

Foram realizados dois experimentos:

a) Experimento I: As análises foram realizadas somente com grãos de arroz integral, submetidos a diferentes adubações com fósforo e zinco em quatro concentrações, cultivados em vaso contendo solo argiloso do Centro de Citricultura de Cordeirópolis-SP e solo arenoso do IAC de Campinas.

O cultivo e as análises foram realizados em triplicata.

As aplicações que foram realizadas são apresentadas na Tabela 1 e 2 para solo arenoso e argiloso, respectivamente.

Os fertilizantes são os comumente encontrados no mercado brasileiro. Já os subprodutos, são exatamente a matéria prima que dá origem ao fertilizante. No caso do zinco, o subproduto é um material que se obtém da indústria de galvanização de carros e contém basicamente zinco oxidado (óxidos de Zn). O Tratamento Rocha é a rocha da forma que é extraída, sem nenhum processamento (apenas moagem). No caso do fósforo, o fertilizante é um concentrado apatídico, ou seja, depois de extraída a rocha da natureza, ela passa por um processo industrial visando eliminar compostos indesejáveis e ficar com a maior quantidade possível de fósforo. Nos dois casos, a mistura pró-análise, é uma mistura de reagentes de forma a obter um material de igual composição ao fertilizante.

O solo arenoso possui teores de areia superiores e o de argila inferior; são permeáveis, leves, de baixa capacidade de retenção de água e de baixo teor de matéria orgânica, por sua vez o solo argiloso com teores de argila superiores possui baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água.

Tabela 1 - Teores da aplicação de fontes de fósforo e fontes de zinco em grãos de arroz cultivados em solo arenoso (IAC – Campinas)

(continua)

FONTES DE FÓSFORO			FONTES DE ZINCO		
TRATAMENTOS		DOSES	TRATAMENTOS		DOSES
Vaso		mg P/ dm ³ de solo	Vaso		mg Zn/ dm ³ de solo
1	Test.	0	79	Testemunha	0
2	Test.	0	80	Testemunha	0
3	Test.	0	81	Testemunha	0
4	P Rocha	50	82	Zn Resíduo	5
5	P Rocha	50	83	Zn Resíduo	5
6	P Rocha	50	84	Zn Resíduo	5
7	P Rocha	100	85	Zn Resíduo	10
8	P Rocha	100	86	Zn Resíduo	10
9	P Rocha	100	87	Zn Resíduo	10
10	P Rocha	200	88	Zn Resíduo	20
11	P Rocha	200	89	Zn Resíduo	20
12	P Rocha	200	90	Zn Resíduo	20
13	P Rocha	400	91	Zn Resíduo	40
14	P Rocha	400	92	Zn Resíduo	40
15	P Rocha	400	93	Zn Resíduo	40
16	P Fertilizante	50	94	Zn Fertilizante	5
17	P Fertilizante	50	95	Zn Fertilizante	5
18	P Fertilizante	50	96	Zn Fertilizante	5

Tabela 1 - Teores da aplicação de fontes de fósforo e fontes de zinco em grãos de arroz de terras altas cultivados em solo arenoso (IAC – Campinas)
(conclusão)

FONTES DE FÓSFORO			FONTES DE ZINCO		
TRATAMENTOS	DOSES		TRATAMENTOS	DOSES	
Vaso		mg P / dm ³ de solo	Vaso		mg Zn / dm ³ de solo
19	P Fertilizante	100	97	Zn Fertilizante	10
20	P Fertilizante	100	98	Zn Fertilizante	10
21	P Fertilizante	100	99	Zn Fertilizante	10
22	P Fertilizante	200	100	Zn Fertilizante	20
23	P Fertilizante	200	101	Zn Fertilizante	20
24	P Fertilizante	200	102	Zn Fertilizante	20
25	P Fertilizante	400	103	Zn Fertilizante	40
26	P Fertilizante	400	104	Zn Fertilizante	40
27	P Fertilizante	400	105	Zn Fertilizante	40
28	P Mineral (p.a.)	50	106	Zn Mineral (p.a.)	5
29	P Mineral (p.a.)	50	107	Zn Mineral (p.a.)	5
30	P Mineral (p.a.)	50	108	Zn Mineral (p.a.)	5
31	P Mineral (p.a.)	100	109	Zn Mineral (p.a.)	10
32	P Mineral (p.a.)	100	110	Zn Mineral (p.a.)	10
33	P Mineral (p.a.)	100	111	Zn Mineral (p.a.)	10
34	P Mineral (p.a.)	200	112	Zn Mineral (p.a.)	20
35	P Mineral (p.a.)	200	113	Zn Mineral (p.a.)	20
36	P Mineral (p.a.)	200	114	Zn Mineral (p.a.)	20
37	P Mineral (p.a.)	400	115	Zn Mineral (p.a.)	40
38	P Mineral (p.a.)	400	116	Zn Mineral (p.a.)	40
39	P Mineral (p.a.)	400	117	Zn Mineral (p.a.)	40

Legenda: P Rocha: rocha fosfática, P fertilizante: fertilizante de fósforo, P mineral: mistura pró análise, Zn resíduo: subproduto Zn, Zn fertilizante: fertilizante de Zn, Zn Mineral: mistura pró análise Zn.

Tabela 2 - Teores da aplicação de fontes de fósforo e fontes de zinco em grãos de arroz de terras altas cultivados em solo argiloso (IAC - Cordeirópolis)
(continua)

FONTES DE FÓSFORO			FONTES DE ZINCO		
TRATAMENTOS	DOSES		TRATAMENTOS	DOSES	
Vaso		mg P / dm ³ de solo	Vaso		mg Zn / dm ³ de solo
40	Testemunha	0	118	Testemunha	0
41	Testemunha	0	119	Testemunha	0
42	Testemunha	0	120	Testemunha	0
43	P Rocha	50	121	Zn Resíduo	5
44	P Rocha	50	122	Zn Resíduo	5
45	P Rocha	50	123	Zn Resíduo	5
46	P Rocha	100	124	Zn Resíduo	10

Tabela 2 - Teores da aplicação de fontes de fósforo e fontes de zinco em grãos de arroz de terras altas cultivados em solo argiloso (IAC - Cordeirópolis)
(conclusão)

FONTES DE FÓSFORO			FONTES DE ZINCO		
TRATAMENTOS		DOSES	TRATAMENTOS		DOSES
Vaso		mg P / dm ³ de solo	Vaso		mg Zn / dm ³ de solo
47	P Rocha	100	125	Zn Resíduo	10
48	P Rocha	100	126	Zn Resíduo	10
49	P Rocha	200	127	Zn Resíduo	20
50	P Rocha	200	128	Zn Resíduo	20
51	P Rocha	200	129	Zn Resíduo	20
52	P Rocha	400	130	Zn Resíduo	40
53	P Rocha	400	131	Zn Resíduo	40
54	P Rocha	400	132	Zn Resíduo	40
55	P Fertilizante	50	133	Zn Fertilizante	5
56	P Fertilizante	50	134	Zn Fertilizante	5
57	P Fertilizante	50	135	Zn Fertilizante	5
58	P Fertilizante	100	136	Zn Fertilizante	10
59	P Fertilizante	100	137	Zn Fertilizante	10
60	P Fertilizante	100	138	Zn Fertilizante	10
61	P Fertilizante	200	139	Zn Fertilizante	20
62	P Fertilizante	200	140	Zn Fertilizante	20
63	P Fertilizante	200	141	Zn Fertilizante	20
64	P Fertilizante	400	142	Zn Fertilizante	40
65	P Fertilizante	400	143	Zn Fertilizante	40
66	P Fertilizante	400	144	Zn Fertilizante	40
67	P Mineral (p.a.)	50	145	Zn Mineral (p.a.)	5
68	P Mineral (p.a.)	50	146	Zn Mineral (p.a.)	5
69	P Mineral (p.a.)	50	147	Zn Mineral (p.a.)	5
70	P Mineral (p.a.)	100	148	Zn Mineral (p.a.)	10
71	P Mineral (p.a.)	100	149	Zn Mineral (p.a.)	10
72	P Mineral (p.a.)	100	150	Zn Mineral (p.a.)	10
73	P Mineral (p.a.)	200	151	Zn Mineral (p.a.)	20
74	P Mineral (p.a.)	200	152	Zn Mineral (p.a.)	20
75	P Mineral (p.a.)	200	153	Zn Mineral (p.a.)	20
76	P Mineral (p.a.)	400	154	Zn Mineral (p.a.)	40
77	P Mineral (p.a.)	400	155	Zn Mineral (p.a.)	40
78	P Mineral (p.a.)	400	156	Zn Mineral (p.a.)	40

Legenda: P Rocha: rocha fosfática, P fertilizante: fertilizante de fósforo, P mineral: mistura pró análise, Zn resíduo: subproduto Zn, Zn fertilizante: fertilizante de Zn, Zn Mineral: mistura pró análise Zn.

b) Experimento II: as amostras de arroz biofortificado foram fornecidas pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), cultivadas em mesmo local e tempo.

As cultivares Chorinho e Zebu são melhorados para conter maiores teores de minerais. A cultivar Chorinho possui maiores quantidades de ferro, já a cultivar Zebu apresenta maiores quantidades de zinco, além das cultivares de arroz vermelho, que não é melhorada, mas que apresenta potencial devido as suas características de cor e teor de minerais.

Esses grãos foram avaliados nas formas integral e polidos.

2.3.2 Preparo das amostras

a) Experimento I: o arroz foi descascado, separando-se a casca da cariopse, obtendo-se o arroz integral, em seguida foi escolhido, pesado e depois lavado em água corrente; em seguida, foi submetido à cocção em autoclave, acrescentando-se água deionizada na proporção de 1:2 (mg.mL^{-1}) por 10 minutos a 121 °C para que ficasse mole. Foi realizada pesagem após a cocção para verificar o rendimento. Os grãos então foram armazenados em freezer e antes das análises as amostras sofreram maceração.

b) Experimento II: o arroz foi submetido à cocção nas mesmas condições do experimento I. As amostras foram liofilizadas e armazenadas em refrigerador. Antes das análises os grãos eram moídos em moinho.

2.3.2.3 Análises químicas

a) Experimento I: com os grãos integrais crus, foi realizada a análise de cor. Em seguida após cocção, determinou-se o teor e disponibilidade de minerais e teor de fitatos nos grãos sem secagem. As análises nesse experimento não abrangeram as mesmas do experimento II devido a pouca quantidade de grãos.

b) Experimento II: foram realizadas todas as análises do experimento I (análise de cor, teor e disponibilidade de minerais, teor de fitatos) em grãos cru e cozido, acrescido das análises da composição centesimal, quantificação dos teores de vitaminas B₁, B₂ e B₆, compostos fenólicos, amilose aparente e propriedade de pasta. Para a realização das análises dos grãos cozidos, as amostras estavam liofilizados, o material obtido foi guardado em freezer. Para a análise de vitaminas B₁ e B₂ os grãos cozidos não foram liofilizados. Após a liofilização foram acondicionados em freezer.

2.3.2.4 Composição centesimal

Com a finalidade de caracterizar as amostras do experimento II foram realizadas a composição centesimal das mesmas.

As análises químicas de teor de umidade, proteína bruta, extrato etéreo e de cinza foram realizadas de acordo com a metodologia indicada pela Association of Official Analytical Chemists – AOAC (2006).

Para determinação do teor de matéria seca foi utilizado o método gravimétrico, em que as amostras foram secas em estufa a 105°C, até peso constante.

O teor de nitrogênio total foi determinado pelo método Microkjeldahl, sendo o teor protéico determinado pela multiplicação do conteúdo de nitrogênio total pelo fator 5,95 para arroz.

O extrato etéreo foi determinado utilizando-se o extrator de Soxhlet. Na extração foi usado como solvente o éter etílico á temperatura de 45-50°C em refluxo contínuo da amostra durante 6 horas. Recuperando o éter etílico, os tubos foram retidos e colocados em estufa por 20 minutos a 100°C, depois disso os tubos esfriaram em dessecador e foram pesados, obtendo-se a quantidade de lipídeos por diferença de peso do tubo.

As cinzas foram determinadas através da incineração das amostras em mufla à temperatura de 550-600°C por 4 horas.

O teor de carboidratos totais foi obtido por diferença.

A fração fibra dietética foi determinada após a extração dos lipídeos, pelo método enzimático, descrito pela AOAC (2006), que considera as frações solúveis e insolúveis. A soma resultou na fibra dietética total.

2.3.2.5 Teor de minerais

O teor de minerais foi determinado pelo método de Sarruge e Haag (1974) que utiliza o ácido nítrico e perclórico para a digestão nitro-perclórica, e determinação em espectrofotômetro de absorção atômica—no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, da ESALQ/USP.

2.3.2.6 Diálise de minerais *in vitro*

Para o método foi realizada a digestão gástrica *in vitro* seguida de digestão intestinal *in vitro* com utilização de membrana de diálise e determinação de minerais por espectrometria de absorção atômica.

As amostras (cinco gramas) foram homogeneizadas com água e a acidez acertada para pH 2,0. Foi adicionada 1,07g de solução de pepsina e o conteúdo completado, segundo o método Luten et al. (1996), para 34g com água deionizada.

Os béqueres foram levados ao banho-maria com agitação à 37°C por 2h. Foi realizada medida de acidez titulável em alíquota de 7,0g do digerido, subindo até pH 7,5 após adição de 1,7g da solução enzimática de bile-pancreatina, sendo utilizado solução de KOH 0,5N.

As membranas de diálise foram preparadas contendo 8,5 mL de água deionizada e a quantidade de $\text{NaH}(\text{CO}_3)$ equivalentes ao anotado na titulação ácida. Alíquotas de 7g do digerido foram colocadas em frascos Erlenmeyer, e introduzidas as respectivas membranas contendo $\text{NaH}(\text{CO}_3)$, adicionou-se 1,7g das soluções bile-pancreatina, e os frascos foram levados ao banho-maria com agitação à 37°C para simulação da digestão intestinal. O conteúdo interno das membranas foi recolhido, e o volume acertado para 10 mL e foi realizada leitura de Ca, Fe, Mg e Zn por espectrometria de absorção atômica.

2.3.2.7 Vitaminas do complexo B

A análise das vitaminas B₁ (Tiamina), B₂ (Riboflavina) e B₆ (Piridoxamina) foram feitas por cromatografia líquida de alta eficiência com coluna de fase reversa C-18 com 4,6mm x 25cm e diâmetro de partícula de 5µm, detecção de fluorescência.

A extração das vitaminas B₁, B₂ e B₆ foi realizada em uma mesma etapa, conforme descrito por Moreshi (2006), porém com algumas modificações. As amostras de arroz biofortificado foram cozidas e em seguida dissolveram-se 5 gramas de amostra em 50mL de ácido clorídrico 0,1N, através de autoclave (30min/121°C). Após a hidrólise ácida o pH foi ajustado em 4,6 com acetato de sódio 2,5M. Em seguida, adicionou-se 0,5g de diástase fúngica ao extrato que depois foi mantido em banho maria por 2 horas em temperatura de 37°C. Após a hidrólise, filtrou-se em

membrana e transferiu-se para balões âmbar de 100mL, completando o volume com água milique.

2.3.2.7.1 Tiamina

Para a solução padrão de vitamina B₁, alíquota de 50,0 mg de mononitrato de tiamina foi transferida com água milique e 5 mL de ácido clorídrico 1 M para balão volumétrico âmbar de 100 mL, completando-se o volume com água milique. A partir da solução acima, pipetou-se 10 mL e transferiu para balão âmbar de 100 mL e completou o volume com água milique, essa foi chamada de “Solução Padrão”.

A reação de conversão da tiamina em tiocromo, foi feita adicionando 2 mL da solução padrão e 3 mL da solução de ferricianeto de potássio, em balão volumétrico âmbar de 10 mL. O volume total foi agitado em agitador de tubos e colocado em repouso por 2 minutos para que ocorresse a reação. Após isso, foram adicionados 450 µL de ácido ortofosfórico 85%. A solução então foi resfriada e o volume final completado com água deionizada, obtendo uma solução final na concentração de 10µg de mononitrato de tiamina.mL⁻¹. A curva padrão utilizada apresentava as seguintes concentrações, em ng.mL⁻¹: 25, 50, 100, 200 e 500. Estas soluções foram injetadas no cromatógrafo imediatamente após o preparo.

Somente a tiamina não fluoresce, mas o composto tiocromo que é produzido pela reação da tiamina com ferricianeto de potássio possui boa fluorescência (excitação 375 nm – emissão 435 nm). O método de análise cromatográfico da vitamina B₁ foi baseado no procedimento de Moreschi (2006). As condições cromatográficas utilizadas na fase móvel foram com tampão fosfato pH 7,2 e dimetilformamida (85:15); o fluxo 1,2mL min⁻¹, volume de injeção de 20µl; coluna C₁₈ de fase reversa RP-18 esférica 5 µm/250 x 4,6 mm com pré-coluna 5 µm/10x4,6 mm Lichrospher; e detecção por fluorescência: Ex 368 nm; Em 440 nm.

2.3.2.7.2 Riboflavina

O método de extração e análise de vitamina B₂ foi baseado no procedimento descrito por Presoto e Almeida-Muradian (2005), sendo muito semelhante à extração por hidrólise ácida e enzimática feita para vitamina B₁, com modificação na composição da fase móvel. As condições cromatográficas utilizadas da fase móvel

foram o tampão fosfato pH 7,2 e dimetilformamida (82:18); fluxo de 1,5 mL min⁻¹; volume de injeção: 20 µL; coluna: C18 de fase reversa RP-18 esférica 5 µm/250x 4,6 mm com pré-coluna 5 µm / 10x4,6 mm Lichrospher; detecção por fluorescência: Ex 450 nm; Em 530 nm.

2.3.2.7.3 Vitamina B₆

A vitamina B₆ é genericamente o grupo dos compostos derivados do 3-hidroxi-2-metilpiridine que possuem atividade biológica sendo eles a piridoxina, piridoxal e piridoxamina. A análise do teor de vitamina B₆ é dada pelo total do teor destes compostos.

O método aplicado para extração e determinação de vitamina B₆, ainda semelhante às outras vitaminas acima, foi o sugerido por Presoto e Almeida-Muradian (2005). Neste processo de extração por hidrólise ácida o pH é ajustado para 4,6 e acrescentado de enzima diastáse (500 mg de enzima/g de amostra dissolvida em água) e levado em banho-maria por 18h. Por último a amostra é resfriada e posterior filtragem.

Foi analisado por cromatografia líquida de alta eficiência de fase reversa, coluna C18 e a fase móvel com tampão fosfato, o comprimento de onda para detecção de fluorescência foi de 290nm e em 395nm.

2.3.2.8 Fatores antinutricionais

2.3.2.8.1 Ácido fítico

No experimento I e II o ácido fítico foi determinado pelo método descrito por Grynspan e Cheryan (1989), as amostras foram digeridas em 10mL de solução de HCL 0,65N com agitação manual, posteriormente centrifugada a 300rpm por 10minutos. Na seqüência, foram pipetados 2mL do sobrenadante que foi diluído em água destilada em balão volumétrico de 25mL. Foi pipetado 10mL da solução do balão para bureta previamente preparada fazendo com que a solução eluísse através da resina a uma velocidade de 1 gota por segundo, posteriormente o eluído foi descartado. Em seguida foram pipetados 15mL de solução de NaCl 0,1M para a bureta, sendo o eluído descartado também. Foram pipetados 15mL de solução de

NaCl 0,7M e recolhido o eluído em béquer limpo onde foi pipetado 5mL em tubos de ensaio adicionados de 1mL de reagente Wade com agitação vigorosa. Após 15 minutos foi realizada a leitura da absorbância a 500nm em espectrofotômetro, obtendo-se assim o teor de ácido fítico a partir da construção de curva padrão, sendo os resultados expressos em mg de ácido fítico.g⁻¹ de amostra.

2.3.2.8.2 Fenólicos totais

O conteúdo total de fenólicos foi determinado por Deshpande e Cheryan (1987) utilizando o reagente de Folin Ciocalteu, carbonato de sódio anidro e catequina. Adicionadas 2 mL de água destilada e 0,25 mL do reagente Folin-Ciocalteu. Após 3 minutos à temperatura ambiente, foram adicionados 0,25 mL de solução saturada de carbonato de sódio. Os tubos foram levados para o banho-maria a 37°C por 30 minutos para desenvolver coloração. Solução de catequina foi utilizada como padrão. As leituras de absorbância foram realizadas em espectrofotômetro em comprimento de onda de 660nm, obtendo-se assim a concentração de fenólicos a partir de uma curva padrão de catequina, sendo os resultados expressos em mg.g⁻¹.

2.3.2.9 Conteúdo de Amilose Aparente

O conteúdo de amilose aparente dos grãos de arroz foi determinado usando a metodologia ISO 6647 (International Organization for Standardization, 1987), o mesmo procedimento utilizado no trabalho de Zanão et al. (2009).

2.3.2.10 Propriedades de Pasta

As propriedades viscoamilográficas foi avaliada em aparelho Rapid Visco Analyses (RVA), série S4A (RVA Super 4), da Newport Scientific, utilizando a programação Standard Analysis 2 (Tabela 3), do software Thermocline for Windows, versão 3.0. A análise foi realizada em triplicata utilizando-se 3g de amostra (14% de umidade) em 25g de água. A correção no peso da amostra e da água para se obter os 14% de umidade foi fornecida pelo software supracitado.

Tabela 3 - Parâmetros do Rapid Visco Analyser utilizados para determinação das propriedades de pasta do arroz

Tempo (Minuto:Segundo)	Tipo	Valor
00:00	Temperatura	50 °C
00:00	Velocidade	960 rpm
00:10	Velocidade	160 rpm
01:00	Temperatura	50 °C
08:30	Temperatura	95 °C
13:30	Temperatura	95 °C
21:00	Temperatura	50 °C
23:00	Temperatura	50 °C

Os resultados foram interpretados a partir dos gráficos plotados pelo programa. Os parâmetros temperatura de pasta, viscosidade máxima, tempo de viscosidade máxima, quebra de viscosidade, viscosidade final e tendência à retrogradação, empregados para interpretação dos resultados estão apresentados na Figura 5. As unidades de viscosidade geradas pelo equipamento foram em RVU (Rapid Visco Units).

Figura 5 - Curva viscoamilográfica obtida pelo RVA, com identificação dos parâmetros avaliados

Fonte: Newport Scientific (1998)

2.3.2.11 Análise Instrumental da Cor

As avaliações da cor do arroz foram realizadas utilizando-se colorímetro Minolta CR -200, como utilizado por Zanão et al. (2009). Os resultados são expressos conforme a Figura 6 abaixo em valor L (luminosidade), que varia do negro ($L = 0$) ao branco ($L = 100$), valor a^* , que caracteriza coloração na região do vermelho (+a) ao verde (-a) e valor b^* , que indica coloração no intervalo do amarelo (+b) ao azul (-b). O croma, relação entre os valores de a^* e b^* , no qual se obtém a saturação da cor da amostra e o ângulo Hue, ângulo formado entre a^* e b^* , indicando a cor real do objeto, foi calculado segundo Minolta (1997).

Figura 6- Representação do espaço da cor CIE Lab –(a) sólido de cor (b) eixos
Fonte: Minolta, 1997.

2.3.2.12 Análise dos dados

O delineamento estatístico foi inteiramente casualizado com três repetições por tratamento. Para o experimento I foram comparados os tratamentos apresentados na Tabela 1, sendo realizada análise de variância pelo teste F, e a comparação das médias obtidas nos diferentes tratamentos foi analisada segundo teste de Tukey ($p < 0,05$). Para o experimento II foram feitas comparações utilizando teste F e teste de Tukey ($p < 0,05$) para os cultivares e também para o arroz polido e integral. Utilizou-se o software SAS Institute (SAS INSTITUTE, 1999).

2.4 Resultados e Discussão

2.4.1 Experimento I

2.4.1.1 Ácido Fítico

Os dados referentes ao teor de ácido fítico (base fresca) presente em arroz integral cozido cultivado em solo arenoso e argiloso submetido a diferentes adubações de fósforo e zinco são apresentados na Tabela 4 e Tabela 5, respectivamente. O tratamento utilizado como testemunha não apresentou quantidade suficiente durante produção, sendo excluído da análise.

Tabela 4 - Teores de fitato (média±desvio padrão) em arroz integral cozido cultivado em solo arenoso e argiloso submetidos a diferentes adubações de fósforo

Tratamento	Fitato solo arenoso (mg.g ⁻¹)	Fitato solo argiloso (mg.g ⁻¹)
SFS 50	1,22±0,3 ^d	0,61±0,3 ^h
SFS 100	2,64±0,5 ^{bcd}	3,07±0,3 ^{cd}
SFS 200	4,5±0,6 ^a	3,71±0,5 ^{bc}
SFS 400	3,83±0,9 ^{ba}	5,04±0,4 ^a
MP 50	1,57±1,2 ^{cd}	2,09±0,1 ^{def}
MP 100	1,3±0,7 ^d	1,88±0,3 ^{efg}
MP 200	3,85±0,4 ^{ba}	2,86±0,4 ^{cde}
MP 400	3,23±0,1 ^{abc}	4,47±0,5 ^{ab}
RF 50	1,15±0,3 ^d	0,12±0,0 ^h
RF 100	1,12±0,1 ^d	1,01±0,0 ^{fgh}
RF 200	1,21±0,1 ^d	2,24±0,7 ^{de}
RF 400	1,16±0,1 ^d	0,8±0,0 ^{gh}

Letras diferentes na vertical indicam diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$), n=3. Legenda: SFS: Fertilizante Superfosfato Simples, MP: Mistura Pró análise, RF: Rocha Fosfática

Como pode ser observado na Tabela 4, houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos para os dois tipos de solos e entre as diferentes concentrações de fósforo da adubação.

Entre as diferentes adubações houve em geral, aumento no teor de ácido fítico exceto quando se aplicou rocha fosfática.

Nos diferentes tipos de solo cultivado, a concentração de ácido fítico também variou atingindo valor máximo de 4,5mg.g⁻¹ e 5,04mg.g⁻¹, em solo arenoso e argiloso, respectivamente, valores obtidos com o tratamento cuja fonte de mineral era um fertilizante superfosfato simples.

Os cereais e oleaginosas contém cerca de 1 a 3 % de ácido fítico (REDDY; SATHE; SALUNKHE, 1982). Paik et al. (2004) criaram um banco de dados de alimentos que contém fitatos, sendo que o grupo de cereais apresentou variação de 1,91 a 9,73 mg.g⁻¹. O teor de fitatos encontrado nesse estudo estão dentro da faixa encontrada por aqueles autores Paik et al. (2004), e demonstraram que com a adubação a variação ocorre. Observa-se que muitos alimentos de origem vegetal contém elevado teor de fitato e em consequência podem diminuir a biodisponibilidade de minerais essenciais.

Uma alternativa para reduzir o teor de ácido fítico seria o tratamento térmico ou adicionar fitases exógenas ou fitases endógenas ativadas. A hidratação de grão de cereais, usualmente utilizada antes do processamento, pode ativar as fitases nativas, que degradam o fitato em produtos menores (AGTE; JOSHI, 1997). Porém, o fitato também é descrito na literatura como um antioxidante com papel benéfico na inibição de oxidação lipídica (LEE; HENDRICKS, 1997), nos processos crônicos como doenças cardiovasculares e câncer (CORREA, 1995) e outras finalidades nas áreas de farmácia, biomedicina, química e odontologia (OATWAY; VASANTHAN; HELM, 2001).

Tabela 5 - Teores de fitato (média±desvio padrão) em arroz integral cozido cultivado em solo arenoso e argiloso submetidos a diferentes adubações de zinco

Tratamento	Fitato solo arenoso (mg.g ⁻¹)	Fitato solo argiloso (mg.g ⁻¹)
FZn10	3,82 ± 0,2 ^{ab}	3,27 ± 0,8 ^a
FZn20	3,82 ± 0,9 ^{ab}	3,85 ± 0,5 ^a
FZn40	4,02 ± 0,4 ^{ab}	3,46 ± 0,1 ^a
FZn5	4,43 ± 0,4 ^{ab}	4,2 ± 0,3 ^a
MPZn10	3,47 ± 0,2 ^b	2,96 ± 0,4 ^a
MPZn20	4,58 ± 0,6 ^{ab}	3,04 ± 0,4 ^a
MPZn40	4,02 ± 0,6 ^{ab}	5,40 ± 2,3 ^a
MPZn5	4,01 ± 0,7 ^{ab}	3,88 ± 0,8 ^a
SPZn5	3,32 ± 0,3 ^b	3,87 ± 0,2 ^a
SPZn10	4,56 ± 0,5 ^{ab}	4,12 ± 0,5 ^a
SPZn20	4,36 ± 0,4 ^{ab}	4,47 ± 0,3 ^a
SPZn40	5,37 ± 1,0 ^a	3,98 ± 0,5 ^a
testemunha	4,34 ± 0,3 ^{ab}	4,14 ± 0,4 ^a

Letras diferentes na vertical indicam diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$), $n=3$.

Legenda: FZn: fertilizante de zinco, MPZn: mistura pró análise Zn, SPZn: subproduto Zn.

É notório pela Tabela 5 que houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) para o teor de fitatos apenas no solo arenoso. O maior teor de fitatos foi encontrado quando o grão foi submetido ao fertilizante de subproduto de Zn.

Nos diferentes tipos de solo cultivado, a concentração de ácido fítico também variou atingindo valor máximo de $5,37 \text{mg.g}^{-1}$ e $5,40 \text{mg.g}^{-1}$, em solo arenoso e argiloso, respectivamente. Em média, os valores obtidos com a adubação de zinco foram maiores do que com a adubação de fósforo.

Em estudo realizado por Peck et al. (1980), o aumento de fertilizantes de fósforo aumentou a concentração de ácido fítico em sementes maduras de ervilha e feijão, já quando a adubação foi Zn, este não influenciou as concentrações de ácido fítico no experimento.

Se as formas naturais de ácido fítico em sementes maduras diminuem a biodisponibilidade de Zn para animais monogástricos (assim como os sais solúveis de fitato), então a adubação de fósforo, sem adubação de Zn concomitante, pode diminuir o valor nutricional das culturas em relação ao Zn.

A pesquisa relatada por Peck et al. (1980) mostra que usando a proporção adequada de fertilizantes de P e Zn, o valor nutricional de culturas alimentares em relação ao Zn pode ser assegurada ou melhorada.

Na Tabela 6 encontram-se os dados referentes ao teor de fósforo presente em arroz integral cru cultivado em solo arenoso e argiloso submetido a diferentes adubações citados por Moraes (2009).

Tabela 6 - Teor de fósforo (média±desvio padrão) em grão de arroz integral cru submetidos a diferentes adubações de fósforo em solo arenoso e solo argiloso

Tratamento	Teor de fósforo g.kg ⁻¹ (solo arenoso)	Teor de fósforo g.kg ⁻¹ (solo argiloso)
SFS 50	1,86± 0,2 ^{def}	1,80± 0,0 ^d
SFS 100	2,90± 0,2 ^c	2,33± 0,1 ^c
SFS 200	3,53± 0,2 ^{ab}	3,40± 0,1 ^{ab}
SFS 400	4,00± 0,0 ^a	3,70± 0,1 ^a
MP 50	1,76± 0,1 ^{def}	1,63± 0,0 ^{de}
MP 100	2,23± 0,0 ^d	1,83± 0,2 ^d
MP 200	2,90± 0,0 ^c	2,50± 0,1 ^c
MP 400	3,40± 0,0 ^{bc}	3,13± 0,1 ^b
RF 50	1,40± 0,0 ^f	1,40± 0,0 ^e
RF 100	1,56± 0,1 ^{ef}	1,43± 0,0 ^e
RF 200	1,73± 0,2 ^{def}	1,66± 0,7 ^{de}
RF 400	2,06± 0,0 ^{de}	1,93± 0,0 ^d

Letras diferentes na vertical indicam diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$), $n=3$.

Legenda: SFS: Fertilizante Superfosfato Simples, MP: Mistura Pró análise, RF: Rocha Fosfática

Fonte: Moraes (2009)

Nota-se em sua maioria aumento no teor do mineral conforme há elevação na dosagem de fósforo da adubação, observado tanto em solo arenoso quanto no solo argiloso. Observando o teor de mineral entre os dois solos, observa-se que houve aumento do teor de mineral fósforo no solo arenoso, justificando a influência do tipo de solo no teor de micronutriente da planta, sendo o solo argiloso o que retém maior quantidade de minerais, tornando o mineral menos disponível para planta.

A figura 7 mostra a correlação entre a dose de fósforo aplicada e o teor de mineral fósforo no grão cru, já na figura 8 apresentamos a correlação de dose de fósforo com fitato em grão de arroz integral cozido nos diferentes solos cultivados submetidos a diferentes teores de fósforo.

Figura 7 - Correlação entre dose de P (mg.dm³⁻¹) e P total (mg.g⁻¹) no arroz

Figura 8 - Correlação entre dose de P (mg.dm³⁻¹) e fitatos (mg.g⁻¹) no arroz

Observa-se correlação entre as duas variáveis sugerindo que quanto maior o teor de fósforo em grão, maior será o teor de ácido fítico encontrado, mesmo após a cocção.

Dados semelhantes foram encontrados para o efeito da fertilização de nitrogênio no grão de arroz e a concentração de ácido fítico em diferentes variedades, as concentrações de ácido fítico diminuíram progressivamente com o aumento da dose de N, sendo encontrado concentração média de 7,68mg.kg⁻¹, fato descrito em estudo realizado por Ning et al. (2009).

2.4.1.2 Teor de Minerais

Nas Tabelas 7, 8, 9 e 10 encontram-se os resultados obtidos para o teor de minerais (base fresca) em grãos de arroz cozido, cultivados em solo arenoso e argiloso submetidos a adubação de fósforo e zinco. O tratamento utilizado como testemunha para fósforo não apresentou quantidade suficiente para análise sendo excluído.

Tabela 7 - Teor de minerais (média±desvio padrão) em grãos de arroz integral cozido submetidos à adubação de fósforo em solo arenoso

Tratamento	P (g.kg ⁻¹)	Ca (g.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	Mg (g.kg ⁻¹)	S (g.kg ⁻¹)
RF50	0,36±0,0 ^d	0,05±0,0 ^a	2,9±0,6 ^a	8,73±2,3 ^b	4,03±0,5 ^a	7,10±0,3 ^a	0,20±0,0 ^a	0,24±0,0 ^{ab}
RF100	0,59±0,3 ^{bcd}	0,18±0,2 ^a	2,21±1,6 ^a	5,93±5,0 ^b	3,20±1,5 ^a	7,70±2,6 ^a	1,07±1,5 ^a	0,23±0,0 ^{ab}
RF200	0,41±0,0 ^{cd}	0,08±0,0 ^a	3,05±0,7 ^a	10,70±1,2 ^{ab}	3,85±0,3 ^a	7,90±1,8 ^a	0,20±0,0 ^a	0,29±0,0 ^{ab}
RF400	0,79±0,2 ^{bcd}	0,08±0,0 ^a	3,60±0,6 ^a	3,30±2,4 ^b	3,95±0,3 ^a	10,05±0,9 ^a	1,15±1,2 ^a	0,30±0,0 ^{ab}
SFS50	0,57±0,0 ^{bcd}	0,07±0,0 ^a	3,63±0,1 ^a	10,67±0,6 ^{ab}	5,67±0,7 ^a	11,60±0,7 ^a	0,20±0,0 ^a	0,33±0,0 ^{ab}
SFS100	0,75±0,1 ^{bcd}	0,05±0,0 ^a	2,97±0,4 ^a	11,50±3,6 ^{ab}	3,40±1,7 ^a	9,70±1,8 ^a	0,30±0,0 ^a	0,37±0,1 ^a
SFS200	0,86±0,1 ^{bc}	0,05±0,0 ^a	2,07±0,7 ^a	7,63±2,6 ^b	2,70±0,3 ^a	9,77±2,0 ^a	0,33±0,0 ^a	0,17±0,1 ^{ab}
SFS400	1,01±0,1 ^{ba}	0,07±0,0 ^a	2,00±0,4 ^a	11,97±4,5 ^{ab}	3,10±0,9 ^a	10,90±3,4 ^a	0,33±0,0 ^a	0,03±0,0 ^b
MP50	0,48±0,0 ^{cd}	0,07±0,0 ^a	3,13±0,6 ^a	23,70±6,7 ^a	3,83±0,9 ^a	7,70±0,4 ^a	0,20±0,0 ^a	0,16±0,1 ^{ab}
MP100	0,62±0,0 ^{bcd}	0,05±0,0 ^a	3,37±0,0 ^a	12,80±2,9 ^{ab}	3,10±0,5 ^a	9,10±1,1 ^a	0,27±0,0 ^a	0,17±0,0 ^{ab}
MP200	0,99±0,0 ^{ba}	0,18±0,1 ^a	2,27±0,2 ^a	9,33±7,5 ^b	1,10±0,1 ^a	7,90±6,6 ^a	0,53±0,4 ^a	0,22±0,1 ^{ab}
MP400	1,42±0,0 ^a	0,05±0,0 ^a	1,90±0,1 ^a	16,35±2,4 ^{ab}	2,10±0,4 ^a	13,10±0,9 ^a	0,40±0,0 ^a	0,42±0,0 ^a

Letras diferentes na vertical indicam diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$), n=3.

Legenda: SFS: Fertilizante Superfosfato Simples, MP: Mistura Pró análise, RF: Rocha Fosfática

Tabela 8 - Teor de minerais (média±desvio padrão) em grão de arroz integral cozido submetidos à adubação de zinco em solo arenoso

Tratamento	P (g.kg ⁻¹)	Ca (g.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	Mg (g.kg ⁻¹)	S (g.kg ⁻¹)
Testemunha	1,34±0,3 ^a	0,05±0,0 ^a	2,07±0,5 ^{bc}	14,10±1,8 ^{ab}	3,00±1,2 ^e	11,40±0,3 ^{abc}	0,47±0,1 ^b	0,31±0,1 ^{ab}
SPZn5	1,09±0,3 ^a	0,05±0,0 ^a	0,83±0,5 ^c	11,80±1,4 ^b	8,33±0,7 ^{bcde}	11,90±0,7 ^{ab}	0,47±0,0 ^b	0,43±0,1 ^{ab}
SPZn10	1,06±0,0 ^a	0,05±0,0 ^a	3,90±3,5 ^{bc}	19,85±1,1 ^a	10,15±1,9 ^b	6,65±3,8 ^c	0,75±0,3 ^{ab}	0,48±0,1 ^a
SPZn20	0,85±0,0 ^a	0,80±0,5 ^a	14,75±6,5 ^a	12,50±2,0 ^b	13,85±1,0 ^{ba}	17,47±0,0 ^{ab}	1,00±0,0 ^a	0,29±0,0 ^{ab}
SPZn40	1,07±0,0 ^a	1,30±0,9 ^a	11,20±7,1 ^{ab}	11,60±1,6 ^b	17,50±8,1 ^a	19,07±0,0 ^a	1,00±0,0 ^a	0,36±0,0 ^{ab}
FZn5	1,40±0,0 ^a	0,37±0,0 ^a	2,23±0,7 ^{abc}	14,23±1,2 ^{ab}	9,60±5,5 ^{bc}	7,50±4,3 ^c	0,65±0,4 ^{ab}	0,38±0,0 ^{ab}
FZn10	1,38±0,0 ^a	0,37±0,0 ^a	2,20±0,3 ^{bc}	12,97±1,5 ^b	3,30±0,2 ^e	14,70±1,0 ^{ab}	0,37±0,0 ^b	0,38±0,0 ^{ab}
FZn20	1,02±0,0 ^a	0,30±0,0 ^a	3,53±0,3 ^{bc}	13,97±4,0 ^{ab}	3,53±0,2 ^e	15,40±0,7 ^{ab}	0,30±0,0 ^b	0,21±0,1 ^{ab}
FZn40	1,41±0,3 ^a	0,05±0,0 ^a	1,00±0,3 ^c	14,00±1,6 ^{ab}	9,37±0,4 ^{bcd}	15,69±2,1 ^{ab}	0,53±0,0 ^{ab}	0,50±0,1 ^a
MPZn5	1,21±0,1 ^a	0,05±0,0 ^a	2,20±0,6 ^{bc}	14,40±1,1 ^{ab}	4,07±0,5 ^{cde}	16,18±1,0 ^{ab}	0,43±0,0 ^b	0,45±0,0 ^{ab}
MPZn10	1,07±0,1 ^a	0,05±0,0 ^a	2,33±0,3 ^{bc}	11,15±0,0 ^b	3,80±0,5 ^e	13,43±2,5 ^{ab}	0,33±0,1 ^b	0,42±0,0 ^{ab}
MPZn20	1,08±0,1 ^a	0,05±0,0 ^a	1,67±0,9 ^c	14,26±4,7 ^{ab}	4,00±1,9 ^{de}	17,47±2,9 ^{ab}	0,30±0,1 ^b	0,11±0,0 ^b
MPZn40	1,44±0,0 ^a	0,17±0,2 ^a	2,87±0,3 ^{bc}	12,95±1,7 ^b	3,47±1,8 ^e	19,07±0,9 ^a	0,37±0,0 ^b	0,44±0,0 ^{ab}

Letras diferentes na vertical indicam diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$), n=3.

Legenda : SPZn: Subproduto Zn, FZn: Fertilizante Zn, MPZn: Mistura pró-análise Zn.

Tabela 9 - Teor de minerais (média±desvio padrão) em grão de arroz integral cozido submetidos à adubação de fósforo em solo argiloso

Tratamento	P (g.kg ⁻¹)	Ca (g.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	Mg (g.kg ⁻¹)	S (g.kg ⁻¹)
RF50	0,47±0,0 ^{dc}	0,46±0,0 ^d	1,67±0,7 ^a	11,33±0,5 ^d	9,37±0,4 ^a	10,40±0,3 ^{ab}	0,20±0,0 ^{cd}	0,60±0,1 ^a
RF100	0,32±0,0 ^d	0,32±0,0 ^d	0,93±0,8 ^a	11,20±2,6 ^d	7,43±0,4 ^{abc}	9,43±0,3 ^{ab}	0,20±0,0 ^{cd}	0,46±0,1 ^a
RF200	0,42±0,0 ^d	0,42±0,0 ^d	1,30±0,5 ^a	14,93±1,9 ^{bcd}	5,40±0,1 ^c	10,67±0,2 ^{ab}	0,30±0,0 ^{bc}	0,46±0,2 ^a
RF400	0,76±0,1 ^{abcd}	0,86±0,0 ^{abcd}	1,40±0,4 ^a	13,13±3,1 ^{cd}	7,93±0,3 ^{abc}	11,83±1,2 ^{ab}	0,33±0,0 ^{ab}	0,49±0,0 ^a
SFS50	0,40±0,1 ^d	0,34±0,0 ^d	1,10±0,4 ^a	12,03±2,4 ^d	6,03±1,0 ^{bc}	10,07±0,4 ^{ab}	0,23±0,0 ^{bcd}	0,49±0,0 ^a
SFS100	0,70±0,1 ^{bcd}	0,69±0,1 ^{bcd}	1,30±0,4 ^a	22,60±1,8 ^{ab}	6,93±1,7 ^{abc}	11,13±0,9 ^{ab}	0,23±0,0 ^{bcd}	0,46±0,0 ^a
SFS200	1,29±0,3 ^a	1,28±0,3 ^a	2,17±0,6 ^a	22,03±1,6 ^{ab}	8,87±1,6 ^{ab}	13,03±1,9 ^a	0,43±0,0 ^a	0,47±0,0 ^a
SFS400	1,21±0,4 ^{ab}	1,21±0,4 ^{ab}	1,63±0,0 ^a	23,80±3,3 ^a	6,77±1,1 ^{abc}	10,17±1,4 ^{ab}	0,30±0,0 ^{bc}	0,36±0,0 ^a
MP50	0,59±0,1 ^d	0,59±0,1 ^{cd}	1,63±0,6 ^a	20,83±4,7 ^{abc}	6,97±1,7 ^{abc}	8,77±1,2 ^b	0,17±0,0 ^d	0,40±0,0 ^a
MP100	0,80±0,0 ^{abcd}	0,80±0,0 ^{abcd}	1,73±0,4 ^a	21,13±1,1 ^{ab}	6,97±1,7 ^{abc}	11,80±3,1 ^{ab}	0,23±0,0 ^{bcd}	0,45±0,0 ^a
MP200	1,03±0,1 ^{abc}	1,03±0,1 ^{abc}	1,80±0,0 ^a	20,83±0,6 ^{abc}	6,97±1,7 ^{abc}	11,63±0,7 ^{ab}	0,30±0,0 ^{bc}	0,48±0,0 ^a
MP400	1,18±0,2 ^{ab}	1,18±0,2 ^{ab}	2,60±0,5 ^a	21,97±4,3 ^{ab}	6,97±1,7 ^{abc}	11,23±1,6 ^{ab}	0,33±0,0 ^{ab}	0,38±0,0 ^a

Letras diferentes na vertical indicam diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$), n=3.

Legenda: SFS: Fertilizante Superfosfato Simples, MP: Mistura Pró análise, RF: Rocha Fosfática

Tabela 10 - Teor de minerais (média±desvio padrão) em grão de arroz integral cozido submetidos à adubação de zinco em solo argiloso

Tratamento	P (g.kg ⁻¹)	Ca (g.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	Mg (g.kg ⁻¹)	S (g.kg ⁻¹)
Testemunha	0,99±0,0 ^a	0,05±0,0 ^c	1,40±0,4 ^b	17,20±0,2 ^d	7,33±1,4 ^{ab}	8,43±0,9 ^{bc}	0,33±0,0 ^a	0,42±0,0 ^b
SPZn5	1,33±0,3 ^a	0,05±0,0 ^c	6,90±2,3 ^b	21,23±0,6 ^{bc}	7,00±3,0 ^{ab}	11,50±1,1 ^{abc}	0,31±0,1 ^a	11,14±5,2 ^b
SPZn10	1,29±0,0 ^a	0,10±0,0 ^a	1,23±0,3 ^b	22,75±2,4 ^{bc}	8,87±0,6 ^a	14,20±0,3 ^a	0,37±0,0 ^a	0,42±0,0 ^b
SPZn20	1,28±0,1 ^a	0,10±0,0 ^b	1,37±0,3 ^{ab}	29,80±0,2 ^a	6,10±0,4 ^b	13,43±1,0 ^{ab}	0,37±0,0 ^a	0,43±0,0 ^b
SPZn40	1,26±0,0 ^a	0,10±0,0 ^b	1,50±0,1 ^b	22,10±1,4 ^{bc}	5,63±1,1 ^b	16,13±1,1 ^a	0,30±0,0 ^a	0,56±0,2 ^b
FZn5	1,32±0,1 ^a	0,10±0,0 ^b	1,57±0,1 ^b	22,76±1,4 ^{bc}	7,47±0,5 ^{ab}	13,67±2,8 ^{ab}	0,37±0,1 ^a	0,55±0,0 ^b
FZn10	1,15±0,0 ^a	0,10±0,0 ^b	1,37±0,1 ^b	19,20±2,1 ^{cd}	5,20±1,2 ^b	12,30±1,1 ^{abc}	0,33±0,0 ^a	0,52±0,2 ^b
FZn20	1,04±0,0 ^a	0,10±0,0 ^b	1,87±0,3 ^{ab}	19,80±0,6 ^{bcd}	6,03±0,2 ^{ab}	13,07±0,1 ^{ab}	0,27±0,0 ^a	0,43±0,0 ^b
FZn40	1,34±0,0 ^a	0,10±0,0 ^b	2,20±0,5 ^{ab}	23,25±0,5 ^b	6,90±0,3 ^{ab}	16,57±1,3 ^a	0,37±0,0 ^a	0,57±0,1 ^b
MPZn5	1,16±0,2 ^a	0,10±0,0 ^b	1,47±0,2 ^a	20,10±0,2 ^{bcd}	5,20±1,0 ^b	10,67±1,7 ^c	0,33±0,0 ^a	0,44±0,0 ^a
MPZn10	1,11±0,0 ^a	0,10±0,0 ^b	1,70±0,3 ^b	22,43±1,3 ^{bc}	5,60±0,4 ^b	15,67±4,6 ^{ab}	0,27±0,0 ^a	0,55±0,1 ^b
MPZn20	1,16±0,0 ^a	0,10±0,0 ^b	1,97±0,7 ^b	20,10±0,4 ^{bcd}	5,53±0,9 ^{ab}	15,27±1,6 ^{ab}	0,30±0,0 ^a	0,47±0,0 ^b
MPZn40	1,33±0,0 ^a	0,10±0,0 ^b	0,97±0,0 ^b	20,53±2,1 ^{bcd}	6,40±1,2 ^b	16,73±0,6 ^a	0,37±0,0 ^a	0,41±0,0 ^b

Letras diferentes na vertical indicam diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$), $n=3$.

Legenda: SPZn: Subproduto Zn, FZn: Fertilizante Zn, MPZn: Mistura pró-análise Zn

Os dados apresentados na Tabela 7 revelam que não houve diferença significativa entre os tratamentos para os minerais: cálcio, cobre, manganês, magnésio e zinco. Os minerais: fósforo, ferro e enxofre apresentaram os maiores teores respectivamente 1,42g; 23,70mg; 0,42g; sendo a fonte mistura pró-análise (MP) a responsável pelos altos teores destes minerais. Na Tabela 8, os minerais: fósforo e cálcio não apresentaram diferença estatística significativa. Já para o conteúdo de ferro, cobre, manganês, zinco, magnésio e enxofre os teores máximos encontrados foram de 19,85mg; 14,75mg; 17,50mg; 19,07mg; 1,00g; 0,50g respectivamente. Os dados das tabelas 7 e 8 referem-se ao arroz integral cultivado em solo arenoso.

Pode-se observar na Tabela 9 que os minerais: cobre e enxofre não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos. Porém, os minerais: cálcio, fósforo, ferro, zinco, manganês e magnésio além de diferirem estatisticamente possuem respectivamente os seguintes teores 1,28g; 1,29g; 23,80mg; 13,03mg; 9,37mg e 0,43g, sendo esses os mais altos. A Tabela 10 mostra diferença estatística para os minerais: cálcio, cobre, zinco, ferro, manganês e enxofre sendo o maior conteúdo de cada um 0,10g; 6,90mg; 16,73mg; 29,80mg; 8,87mg e 11,14g respectivamente. Dados atribuídos ao cultivo em solo argiloso.

De acordo com a Tabela de Composição de Alimentos (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP, 2011) a composição de minerais em 100g de arroz integral cozido é de: cálcio 5mg, magnésio 59mg, manganês 0,63mg, fósforo 106mg, ferro 0,3mg, cobre 0,02mg, zinco 0,07mg e segundo Walter, Marchezan e Avila (2008) enxofre de 0,3mg. Esses dados diferem com os dados encontrados no presente estudo. O conteúdo do mineral de ferro e zinco pode ter sido influenciado pelas condições de cultivo, incluindo a fertilização e as condições do solo.

Ao analisar amostras de arroz integral comercializadas em diversas regiões do Brasil, Heinemann et al. (2005) relatam valores médios de 6mg.kg^{-1} de ferro, 20mg.kg^{-1} de zinco e $0,6\text{g.kg}^{-1}$ de fósforo.

Os resultados das análises com fontes de Zn nos grão de arroz, mostram a importância da fertilização com o material para aumentar a qualidade do produto agrícola e, conseqüentemente, beneficiar a saúde humana reduzindo a carência de Zn que aflige 20% da população mundial (HOTZ; BROWN, 2004). Resultados

semelhantes foram encontrados por Cakmak (2008), na Turquia, com a aplicação de Zn em trigo cultivado em solos deficientes em Zn, havendo aumentos de rendimento e teor de Zn em grãos. Vale destacar, que no Brasil e em várias partes do mundo, o Zn é um dos fatores que mais limita a produção agrícola, sendo que cerca de 50% dos solos cultivados com cereais tem pouco zinco disponível, o que reduz a produção e qualidade nutricional dos grãos (GRAHAM; WELCH, 1996; MALAVOLTA, 2006).

Gregorio et al. (2000) testaram o efeito de diferentes níveis de adubações de nitrogênio (0, 46, 90 e 135kg/ha) em três variedades de arroz. No arroz integral, o ferro aumentou em média 15% com a adição de nitrogênio a aplicações entre 0 e 135 kg/ha. Esta diferença foi estatisticamente significativa. A concentração de zinco aumentou em média 10%, embora a diferença não fosse estatisticamente significativa. Esse estudo confirma que a adição de nitrogênio no solo aumenta as concentrações de minerais no grão. Esse comportamento também foi observado no trabalho de Peck et al. (1980), que avaliou os efeitos da adição de concentrados superfosfatados com fontes de zinco, assim como as concentrações de P e Zn em porções comestíveis de 4 leguminosas. Essas colheitas foram fertilizadas com superfosfato concentrado nas doses 0, 30, 60 e 120kg/ha e zinco nas doses de 0, 5, 20 e 80kg/ha. Foi observado que o uso do fertilizante superfosfatado sem o fertilizante de Zn diminuiu as concentrações do mesmo mineral nas plantas, porém o uso do fertilizante superfosfatado com fertilizante de Zn aumentou as concentrações de Zn nas plantas, especialmente, quando aplicado com altas taxas de fertilizante superfosfatado. Assim, a fertilização de superfosfato sem a fertilização de Zn de colheitas vegetais pode reduzir o valor nutricional delas, abaixando a qualidade e as concentrações do mineral das mesmas. Já o uso concomitante de fertilizante de Zn, com altas taxas de fertilização de superfosfato, pode melhorar o valor nutricional de vegetais em relação ao Zn. A avaliação feita por Peck et al. (1980) ressalta os resultados obtidos em nosso estudo, quando utilizado um fertilizante de determinado mineral, esse mesmo mineral estará presente em maior quantidade no alimento.

2.4.1.3 Análise de cor

A cor do arroz é um importante parâmetro sensorial. Geralmente, o arroz mais branco, tem mais valor no mercado (WADSWORTH, 1994). Para o arroz polido, as condições de armazenamento (WANG et al., 2002) e o grau de moagem (CHEN; SIEBENMORGEN, 1997; LYON et al., 1999; STERMER, 1968) podem afetar a cor. Somente a superfície de arroz integral contém pigmentos (CHAMPAGNE et al., 2004; ITANI et al., 2002). Os valores de L, a, b, e a medida de cor expressa pelo Croma $(a^2+b^2)^{0.5}$ do arroz cultivado em solo arenoso e argiloso são apresentadas nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11 - Média e desvio padrão dos parâmetros L, a*, b* e Croma do arroz cru cultivado em solo arenoso

(continua)				
Tratamento	L	a*	b*	Croma
Testemunha	51,58±2,6 ^f	3,39±1,8 ^a	18,47±1,2 ^a	18,84±1,2 ^a
RF50	50,63±1,2 ^f	3,02±0,8 ^a	18,02±0,5 ^a	18,29±0,4 ^a
RF100	59,81±0,3 ^{abc}	2,41±0,6 ^a	19,18±0,6 ^a	19,33±0,6 ^a
RF200	60,13±3,5 ^{ab}	2,85±1,4 ^a	18,25±0,9 ^a	18,51±0,7 ^a
RF400	60,38±2,4 ^a	2,75±0,7 ^a	18,25±0,9 ^a	18,46±0,2 ^a
SFS50	60,79±1,5 ^a	3,86±1,5 ^a	18,46±1,6 ^a	18,89±1,9 ^a
SFS100	59,95±0,3 ^{abc}	2,94±2,4 ^a	16,68±1,3 ^a	17,08±0,8 ^a
SFS200	61,50±0,9 ^a	1,5±0,5 ^a	18,08±1,1 ^a	18,15±1,1 ^a
SFS400	54,87±1,9 ^{cdef}	3,62±1,4 ^a	18,57±1,3 ^a	18,94±1,4 ^a
MP50	58,55±0,6 ^{abcd}	2,02±1,2 ^a	18,48±0,0 ^a	18,62±0,1 ^a
MP100	59,36±0,6 ^{abcd}	1,72±0,9 ^a	17,6±1,4 ^a	17,70±0,5 ^a
MP200	62,11±0,3 ^a	4,41±2,1 ^a	18,18±1,2 ^a	18,79±1,3 ^a
MP400	57,32±1,0 ^{abcde}	4,78±1,1 ^a	18,27±2,2 ^a	18,89±2,5 ^a
FZn5	57,64±2,4 ^{abcde}	2,64±1,5 ^a	17,8±0,9 ^a	18,03±1,1 ^a
FZn10	55,17±0,9 ^{bcdef}	4,48±0,6 ^a	19,04±0,2 ^a	19,56±0,3 ^a
FZn20	53,31±0,8 ^{ef}	4,83±0,7 ^a	19,28±0,6 ^a	19,89±0,4 ^a
FZn40	54,7±2,5 ^{def}	4,06±0,2 ^a	18,87±0,5 ^a	19,30±0,5 ^a
MPZn5	60,38±0,8 ^a	2,77±1,6 ^a	18,27±1,4 ^a	18,52±1,7 ^a
MPZn10	51,49±1,3 ^f	3,54±1,0 ^a	17,93±0,4 ^a	18,29±0,5 ^a

Tabela 11 - Média e desvio padrão da cor do arroz cru cultivado em solo arenoso
(conclusão)

Tratamento	L	a*	b*	Croma
MPZn20	58,47±2,4 ^{abcd}	2,57±1,3 ^a	18,05±2,0 ^a	18,25±2,2 ^a
MPZn40	61,11±0,9 ^a	2,67±1,0 ^a	17,92±0,8 ^a	18,14±0,9 ^a
SPZn5	59,49±1,0 ^{abcd}	3,1±0,5 ^a	18,82±1,3 ^a	19,08±1,3 ^a
SPZn10	55,17±1,8 ^{bcd}	3,94±1,8 ^a	17,41±2,4 ^a	17,89±2,6 ^a
SPZn20	60,55±0,1 ^a	3,81±10,5 ^a	18,45±1,4 ^a	18,87±1,6 ^a
SPZn40	60,05±1,0 ^{ab}	2,14±1,1 ^a	17,42±0,4 ^a	17,58±0,3 ^a

Letras diferentes na vertical diferem significativamente entre si ($p < 0,05$). Legenda: SFS: Fertilizante Superfosfato Simples, MP: Mistura Pró análise, RF: Rocha Fosfática, SPZn: Subproduto Zn, FZn: Fertilizante Zn, MPZn: Mistura pró-análise Zn

Tabela 12 - Média e desvio padrão dos parâmetros L, a*, b* e Croma do arroz cru cultivado em solo argiloso

(continua)				
Tratamento	L	a*	b*	Croma
Testemunha	57,45±2,0 ^{ab}	3,79±0,8 ^a	18,87±1,7 ^a	19,25±1,8 ^a
RF50	54,65±6,2 ^{ab}	2,35±0,5 ^a	17,73±2,0 ^a	17,88±2,0 ^a
RF100	56,01±2,0 ^{ab}	2,50±0,5 ^a	18,10±0,2 ^a	18,27±0,3 ^a
RF200	54,83±0,7 ^{ab}	2,97±1,3 ^a	17,37±1,1 ^a	17,64±1,3 ^a
RF400	58,31±2,6 ^a	2,79±1,0 ^a	18,74±1,0 ^a	18,96±1,1 ^a
SFS50	57,59±1,3 ^{ab}	2,42±1,4 ^a	17,38±1,0 ^a	17,58±1,2 ^a
SFS100	55,46±0,2 ^{ab}	5,06±1,2 ^a	18,66±0,8 ^a	19,36±0,7 ^a
SFS200	57,09±1,9 ^{ab}	2,90±1,4 ^a	17,93±1,2 ^a	18,19±1,4 ^a
SFS400	60,24±2,9 ^a	3,23±0,4 ^a	18,53±0,6 ^a	18,81±0,6 ^a
MP50	59,69±2,7 ^a	2,46±0,9 ^a	18,56±1,5 ^a	18,73±1,5 ^a
MP100	57,43±1,6 ^{ab}	2,45±0,0 ^a	18,57±1,1 ^a	18,72±1,1 ^a
MP200	56,56±3,7 ^{ab}	2,37±0,8 ^a	17,57±0,6 ^a	17,73±0,7 ^a
MP400	58,47±1,7 ^a	3,96±1,1 ^a	19,31±0,4 ^a	19,72±0,6 ^a
FZN5	54,71±2,5 ^{ab}	4,00±0,6 ^a	18,56±0,1 ^a	18,99±0,0 ^a
FZN10	54,26±2,5 ^{ab}	4,13±0,2 ^a	18,66±0,1 ^a	19,11±0,1 ^a
FZN20	55,66±2,8 ^{ab}	3,13±0,2 ^a	18,60±0,9 ^a	18,86±0,8 ^a
FZN40	51,79±6,1 ^{ab}	4,01±1,3 ^a	18,19±1,2 ^a	18,67±0,9 ^a
MPZN5	56,09±3,2 ^{ab}	3,97±0,9 ^a	19,13±1,6 ^a	19,54±1,7 ^a
MPZN10	55,34±3,0 ^{ab}	3,42±0,4 ^a	18,93±1,2 ^a	19,23±1,1 ^a
MPZN20	50,09±3,4 ^{ab}	4,32±0,5 ^a	16,26±2,2 ^a	16,84±2,1 ^a

Tabela 12 - Média e desvio padrão dos parâmetros L, a*, b* e Croma do arroz cru cultivado em solo argiloso

(conclusão)

Tratamento	L	a*	b*	Croma
MPZN40	52,07±4,8 ^{ab}	5,09±1,8 ^a	18,09±1,8 ^a	18,83±1,2 ^a
SPZN5	45,64±2,9 ^b	3,07±0,4 ^a	15,50±0,4 ^a	15,80±0,4 ^a
SPZN10	51,22±4,1 ^{ab}	4,07±0,7 ^a	18,05±1,4 ^a	18,50±1,5 ^a
SPZN20	48,15±11,0 ^{ab}	4,17±2,0 ^a	15,85±3,3 ^a	16,55±2,7 ^a
SPZN40	50,00±2,5 ^a	5,14±1,4 ^a	18,16±0,8 ^a	18,91±0,4 ^a

Letras diferentes na vertical indicam diferença significativa ($p < 0,05$). Legenda: SFS: Fertilizante Superfosfato Simples, MP: Mistura Pró análise, RF: Rocha Fosfática, SPZn: Subproduto Zn, FZn: Fertilizante Zn, MPZn: Mistura pró-análise Zn

Os valores de L apresentados nas tabelas 11 e 12 diferem estatisticamente entre os tratamentos para os dois tipos de solos, os mais altos indicam maior reflectância da luz traduzindo-se em arroz com coloração clara, como nas amostras submetidas ao tratamento MP200 no solo arenoso e SFS400 no solo argiloso.

Maiores valores de a* (desvio para o vermelho) indicam coloração mais escura na crosta. A amostra SPZn40 cultivada no solo argiloso apresentou o maior valor ($a^* = 5,14$); porém tanto no tratamento cultivado no solo argiloso quanto no arenoso o valor de a* não diferiram estatisticamente entre si.

Valores altos para b* são traduzidos para amostras com forte coloração amarelada ou dourada, pode ser detectada na amostra FZn20 cultivada em solo argiloso e na amostra MP400 cultivada em solo arenoso, não houve diferença estatística entre os tratamentos

Para o valor do croma, não houve diferença significativa entre as amostras cultivadas tanto em solo arenoso quanto em solo argiloso.

A cor do grão de arroz é característica essencial de qualidade que afeta a aceitação do produto final pelo consumidor. Hurrel e Cook (1990) já relatou anteriormente a experiência não bem sucedida da fortificação com ferro os grão de arroz, devido as alterações na coloração e na forma.

Grãos de arroz cru fortificado com minerais e vitaminas apresentam coloração amarela-acastanhada, sendo esse efeito negativo na aceitação do consumidor do arroz (COOK et al., 1997; LI; DIOSDAY; JANKOWSKI, 2008; MURPHY, 1996). A cor da

superfície do grão é diretamente influenciada pelo nível de Fe depositado sobre a superfície e/ou na camada superior de células do endosperma. Na superfície a concentração de Fe por sua vez é relacionada à taxa de adição de Fe no processo de parboilização e/ou a eficiência da difusão do Fe para o endosperma.

Lamberts et al. (2007) pesquisaram o efeito da moagem na coloração e nas propriedades do grão de arroz, observaram que o endosperma do arroz cru continham as frações com níveis mais baixos de pigmentação vermelha (a^* aproximadamente igual a 0), também demonstraram que o farelo e o endosperma contem mais pigmentos vermelho do que amarelos. Notou-se também que o brilho (L^*) do arroz aumentava conforme o grão era processado. No caso dos valores apresentados nas Tabelas 11 e 12, os grãos não foram processados, somente descascados. As diferenças entre a coloração dos parâmetros da farinha de arroz eram menores que as diferenças entre a coloração dos núcleos de arroz. Isto pode ser explicado por um efeito de diluição. Moendo-se os núcleos de arroz, o resultado é uma mistura de pequena escuridão e uma luminosidade grande. Avaliou-se também o efeito do cozimento sobre a coloração, o brilho (L^*) dos grãos cozidos aumentou. Esta diferença de cor entre o arroz cru e cozido poderia ser explicada por uma diferença no teor de umidade entre os grãos (PARK; KIM; SANDKIM, 2001; TRAN et al., 2004).

2.4.1.4 Diálise e disponibilidade de minerais

A biodisponibilidade de micronutrientes, particularmente zinco e ferro, são baixas (GIBSON, 1994; SANDBERG, 2002). A biodisponibilidade de ferro é conhecida por ser influenciada por vários componentes dietéticos que incluem os inibidores e potenciadores de absorção. Entre os inibidores, ácido fítico, taninos, fibra dietética e cálcio são os mais potentes, enquanto ácidos orgânicos são conhecidos para promoverem a absorção de ferro (GIBSON, 1994; SANDBERG, 2002). Embora não exaustivamente comprovados, é possível que a biodisponibilidade de zinco de grãos da dieta, seja influenciado por tais fatores coexistentes neles. Cereais são conhecidos por apresentarem altas concentrações de um ou mais dos inibidores citados anteriormente.

Na Tabela 13 apresentam-se os valores para diálise dos tratamentos de arroz cozido em diferentes solos.

Tabela 13 - Média de todos os tratamentos e desvio padrão de dialisado (%) de arroz cozido nos diferentes solos

Solo	Ca (%)	Fe (%)	Mg (%)	Zn (%)
Arenoso	7,11±12,8 ^a	1,23±1,3 ^a	2,74±2,9 ^a	6,51±7,9 ^a
Argiloso	5,54±19,6 ^a	0,68±0,8 ^b	12,19±26,6 ^b	0,80±1,2 ^b

Letras diferentes na vertical indicam diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$), $n=3$.

Observa-se na Tabela 13 que houve maior porcentagem de dialisado no solo arenoso, somente para Fe e Zn, para o Ca sem comprovação estatística. Isso nos revela que o solo arenoso retém menor quantidade de minerais e disponibiliza maior quantidade para planta e posteriormente para o organismo.

A diálise dos minerais, cálcio, ferro, magnésio e zinco foram avaliados também em relação ao aumento da dosagem de fertilizante no solo e os valores estão apresentados na Tabela 14 abaixo.

Tabela 14 - Média e desvio padrão de dialisado (%) e teor de ácido fítico de arroz integral cozido nos diferentes tratamentos (continua)

Tratamento	Ca (%)	Fe (%)	Mg (%)	Zn (%)	Fitato
RF50	2,64±1,1 ^{bc}	1,86±0,9 ^b	15,79±26,4 ^{bc}	13,68±11,8 ^{abc}	0,63±0,6 ^f
RF100	18,82±30,4 ^{bc}	1,90±0,8 ^b	4,2±4,3 ^c	6,60±12,9 ^{abc}	1,09±0,0 ^f
RF200	10,73±13,6 ^{bc}	2,28±1,0 ^{ab}	3,94±3,1 ^c	8,22±4,5 ^{abc}	1,72±0,7 ^{ef}
RF400	46,65±54,0 ^a	2,38±0,7 ^{ab}	2,1±2,0 ^c	13,68±11,8 ^a	1,02±0,2 ^f
SFS50	45,12±37,9 ^a	1,63±0,9 ^b	28,55±52,4 ^{abc}	6,81±3,6 ^{abc}	0,92±0,4 ^f
SFS100	23,37±24,0 ^b	1,32±1,1 ^b	35,78±34,6 ^{ab}	6,25±5,8 ^{abc}	2,85±0,4 ^{cde}
SFS200	6,15±6,1 ^{bc}	0,76±0,9 ^b	19,95±24,6 ^{abc}	3,81±3,4 ^{bc}	4,10±0,6 ^{abc}
SFS400	3,11±2,2 ^{bc}	0,46±0,4 ^b	45,6±37,3 ^a	3,35±3,7 ^{bc}	4,43±0,9 ^{ab}
MP50	4,39±5,4 ^{bc}	0,28±0,2 ^b	21,81±13,8 ^{abc}	3,05±2,2 ^{bc}	1,83±0,8 ^{def}
MP100	4,82±4,8 ^{bc}	0,49±0,4 ^b	3,37±3,5 ^c	2,39±2,6 ^{bc}	1,59±0,5 ^{ef}
MP200	2,06±2,7 ^c	0,73±0,8 ^b	2,34±2,9 ^c	2,95±5,1 ^{bc}	3,35±0,6 ^{abc}
MP400	3,42±3,1 ^{bc}	1,32±1,0 ^b	2,29±2,8 ^c	3,15±5,5 ^{bc}	3,85±0,7 ^{abc}
Test	1,13±0,3 ^c	1,37±1,4 ^b	0,19±0,1 ^c	0,25±0,0 ^c	4,24±0,3 ^{abc}
SPZn5	1,22±0,4 ^c	5,35±5,9 ^a	0,18±0,1 ^c	0,55±0,8 ^c	0,92±0,4 ^{abc}
SPZn10	0,99±0,5 ^c	0,31±0,2 ^b	0,15±0,0 ^c	0,21±0,0 ^c	4,34±0,5 ^{ab}

Tabela 14 - Média e desvio padrão de dialisado (%) e teor de ácido fítico de arroz integral cozido nos diferentes tratamentos (conclusão)

Tratamento	Ca (%)	Fe (%)	Mg (%)	Zn (%)	Fitato
SPZn20	0,83±0,2 ^c	0,42±0,1 ^b	0,18±0,0 ^c	0,21±0,0 ^c	4,41±0,3 ^{ab}
SPZn40	0,80±0,5 ^c	5,35±5,9 ^b	0,17±0,1 ^c	0,23±0,1 ^c	4,68±1,0 ^a
FZn5	0,62±0,5 ^c	0,58±0,7 ^b	0,18±0,1 ^c	0,14±0,0 ^c	4,31±0,3 ^{ab}
FZn10	0,74±0,6 ^c	0,36±0,0 ^b	0,12±0,0 ^c	0,16±0,0 ^c	3,55±0,6 ^{abc}
FZn20	0,45±0,3 ^c	0,31±0,1 ^b	0,16±0,0 ^c	0,13±0,0 ^c	3,83±0,7 ^{abc}
FZn40	0,57±0,3 ^c	0,26±0,0 ^b	0,23±0,2 ^c	4,5±9,7 ^{abc}	3,74±0,4 ^{abc}
MPZn5	0,78±0,4 ^c	0,36±0,1 ^b	0,18±0,1 ^c	4,73±10,2 ^{abc}	3,94±0,7 ^{abc}
MPZn10	0,48±0,2 ^c	0,31±0,1 ^b	0,32±0,3 ^c	4,95±10,6 ^{abc}	3,22±0,4 ^{bcd}
MPZn20	0,27±0,1 ^c	0,22±0,03 ^b	0,21±0,1 ^c	10,28±13,8 ^{ab}	3,81±0,9 ^{abc}
MPZn40	0,36±0,2 ^c	0,20±0,0 ^b	0,29±0,3 ^c	6,60±12,9 ^{abc}	4,71±1,7 ^a

Letras diferentes na vertical indicam diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$), $n=3$. SPZn:

Subproduto Zn, FZn: Fertilizante Zn, MPZn: Mistura pró-análise Zn, SFS: Fertilizante Superfosfato Simples, MP: Mistura Pró análise, RF: Rocha Fosfática

A aplicação de P e Zn aumentou significativamente os teores de diálise dos respectivos nutrientes nos grãos de arroz. Os teores de P nos grãos dos tratamentos que receberam fontes de rocha fosfatadas, nas maiores doses, obtiveram teores maiores para cálcio, ferro e zinco. Quando aplicou o fertilizante SFS houve maior porcentagem de dialisado de magnésio. Quanto às fontes de Zn, os teores de dialisado de Zn nos grãos variavam de 0,12% a 10,28%. Os maiores valores foram obtidos na diálise de Zn, ocorreu quando se utilizou a mistura pró-análise.

Em relação às doses, a adubação de P apresentou maiores porcentagens de dialisado nos grãos, enquanto para a adubação de zinco o mesmo não ocorreu.

Brigide e Canniatti-Brazaca (2006) e Mechi, Canniatti-Brazaca e Arthur (2005) encontraram valores ferro dialisável de 5,33 e 1,40% para feijão carioca e feijão preto.

Verifica-se nos dados presentes na Tabela 14, a interferência dos fitatos nos teores de diálise dos minerais Ca, Fe, Mg e Zn. Nota-se que quando os valores de fitatos são maiores, a diálise apresenta menores valores. Porém, quando se aplica a correlação entre cada tipo de mineral e o teor de fitato, não observamos correlação positiva. É observado valor alto para o desvio padrão nas amostras, caracterizando-a como heterogênea.

Alguns fatores intraluminais afetam negativamente a quantidade de ferro disponível para absorção. Entre esses podemos citar os fatores antinutricionais, tais

como o ácido oxálico, o ácido fítico e polifenóis (taninos, por exemplo), que podem formar precipitados, quelados insolúveis ou macromoléculas que diminuem a absorção do ferro (BEARD; DAWSON; PIÑERO, 1996; BIANCHI, 1988; BIANCHI et al., 1992).

Minerais como o zinco e o cálcio, podem ter sua disponibilidade comprometida pela presença de ácido fítico. Hurrell et al.(2003) avaliaram a concentração de ácido fítico e a biodisponibilidade de ferro em mingaus de cereais, antes e após a hidrólise total de fitato com o uso de enzima, e encontraram teor de 6,7mg/g de ácido fítico na base fresca para o mingau de aveia e biodisponibilidade de 0,33% antes da degradação do fitato e 2,79% após.

Em estudo do Conselho Indiano de Pesquisas (GOPALAN; RAMASASTRI; BALASUBRAMANIAN, 1999) analisando cereais e leguminosas através da metodologia de Luten et al. (1996), o zinco apresentou maior biodisponibilidade em leguminosas do que em cereais, sendo a variação de 5,5% (sorgo) para 21,4% (arroz) enquanto nas leguminosas a faixa de variação foi de 27% a 56,5% (grão de bico descascado). Já a biodisponibilidade de ferro, variou de 4,13% em sorgo para 8,05% em arroz, enquanto que em leguminosas variou de 1,77% no feijão-caupi para 10,2% no feijão francês. O ferro, presente na forma divalente apresenta melhor absorção do que na forma trivalente (GARROW; JAMES; RALPH, 2000). Ao contrário do ferro, o zinco existe em só um estado de valência (divalente) o que poderia explicar a sua biodisponibilidade mais alta. A qualidade e a quantidade de proteína podem influenciar na biodisponibilidade deste elemento (O'DELL, 1984). Dietas com alto teor de proteína, especialmente proteína animal, aumentam a biodisponibilidade de minerais, provavelmente através de formação de complexos solúveis de aminoácido dos quais facilitam sua absorção (SNEDEKER; GREGER, 1983). Isso pode explicar a maior biodisponibilidade de zinco em leguminosas do que em cereais, pelo fato das leguminosas serem fonte mais rica de proteínas.

2.4.2 Experimento II

2.4.2.1 Composição centesimal

Na Tabela 15, consta a composição média em energia e nutrientes do arroz polido e integral (grãos cru e cozidos), incluindo teores de umidade. O polimento do grão integral provoca perdas consideráveis de certos nutrientes, tais como cinzas, extrato etéreo e fibras. O valor nutritivo do arroz integral é superior ao do arroz polido, mesmo considerando que o grão integral contém ácido fítico em suas camadas periféricas, que reduz a biodisponibilidade de minerais como o ferro e o zinco (HUNT; JOHNSON; JULIANO, 2002; WYATT; TRIANA- TEJAS, 1994).

Tabela 15 - Composição centesimal expressa em base seca (média $\pm$ desvio padrão) para o arroz biofortificado cru e cozido

CRU	Umidade (%)	Cinzas (%)	Proteínas (%)	Extrato etéreo (%)	Fibra insolúvel (%)	Fibra solúvel (%)	Carboidratos (%)
Zebu Integral	13,28 $\pm$ 0,07 ^d	1,98 $\pm$ 0,31 ^a	6,75 $\pm$ 0,15 ^c	2,12 $\pm$ 0,03 ^{ab}	27,47 $\pm$ 2,83 ^a	1,88 $\pm$ 0,21 ^{cd}	59,78 ^f
Chorinho Integral	12,77 $\pm$ 0,12 ^e	1,98 $\pm$ 0,16 ^a	9,40 $\pm$ 0,90 ^{ab}	2,90 $\pm$ 0,01 ^a	16,84 $\pm$ 0,88 ^b	2,80 $\pm$ 0,49 ^{cb}	66,05 ^f
Vermelho Integral	11,12 $\pm$ 0,02 ^g	1,24 $\pm$ 0,06 ^{bc}	8,49 $\pm$ 0,96 ^{abc}	2,58 $\pm$ 0,16 ^{ab}	9,26 $\pm$ 0,14 ^{cd}	4,80 $\pm$ 0,14 ^a	73,60 ^d
Zebu Polido	12,43 $\pm$ 0,08 ^f	0,78 $\pm$ 0,01 ^{cde}	7,35 $\pm$ 0,66 ^{bc}	0,70 $\pm$ 0,12 ^{cd}	5,71 $\pm$ 2,32 ^{de}	3,60 $\pm$ 0,34 ^b	81,83 ^{bc}
Chorinho Polido	12,26 $\pm$ 0,25 ^f	0,51 $\pm$ 0,13 ^{de}	7,15 $\pm$ 0,71 ^{bc}	0,70 $\pm$ 0,04 ^{cd}	11,13 $\pm$ 1,35 ^c	2,65 $\pm$ 0,69 ^{bc}	77,83 ^{cd}
Vermelho Polido	11,16 $\pm$ 0,15 ^g	0,73 $\pm$ 0,01 ^{cde}	9,06 $\pm$ 0,75 ^{abc}	1,66 $\pm$ 0,13 ^{bc}	8,95 $\pm$ 2,72 ^{cd}	1,98 $\pm$ 0,61 ^{cd}	77,60 ^{dc}
COZIDO							
Zebu integral	71,25 $\pm$ 0,09 ^c	1,88 $\pm$ 0,14 ^{ab}	10,05 $\pm$ 0,01 ^a	2,08 $\pm$ 0,00 ^{ab}	2,86 $\pm$ 0,09 ^e	0,63 $\pm$ 0,17 ^e	82,47 ^{bc}
Chorinho integral	71,15 $\pm$ 0,04 ^c	1,92 $\pm$ 0,12 ^a	7,25 $\pm$ 0,16 ^{bc}	2,65 $\pm$ 1,26 ^{ab}	2,60 $\pm$ 0,04 ^e	0,75 $\pm$ 0,29 ^e	84,79 ^{ab}
Vermelho Integral	71,78 $\pm$ 0,01 ^a	1,04 $\pm$ 0,13 ^{cd}	6,67 $\pm$ 1,02 ^c	2,56 $\pm$ 0,16 ^{ab}	3,54 $\pm$ 0,12 ^{de}	0,56 $\pm$ 0,15 ^e	85,60 ^{ab}
Zebu Polido	71,12 $\pm$ 0,04 ^c	0,64 $\pm$ 0,01 ^{cde}	8,82 $\pm$ 0,07 ^{abc}	0,55 $\pm$ 0,04 ^d	2,03 $\pm$ 0,07 ^e	1,03 $\pm$ 0,14 ^{de}	86,91 ^{ab}
Chorinho Polido	71,41 $\pm$ 0,03 ^{bc}	0,25 $\pm$ 0,21 ^e	6,90 $\pm$ 0,68 ^{bc}	0,30 $\pm$ 0,02 ^d	1,94 $\pm$ 0,05 ^e	0,65 $\pm$ 0,00 ^e	89,93 ^a
Vermelho Polido	71,64 $\pm$ 0,04 ^{ab}	0,68 $\pm$ 0,05 ^{cde}	7,15 $\pm$ 2,08 ^{bc}	0,86 $\pm$ 0,02 ^{cd}	2,30 $\pm$ 0,05 ^e	0,51 $\pm$ 0,32 ^e	88,46 ^a

Letras diferentes na vertical indica diferença significativa entre si ($p \leq 0,05$), $n=3$.

De acordo com a Tabela 15 nota-se diferença estatística entre as variedades de arroz integral e polido, revelando em sua maioria diminuição quando o arroz está na sua forma polida e cozida. Conforme pode ser visualizado, os valores médios de umidade total variaram de 11,12 a 13,28% para as amostras de arroz cru e de 71,12 a 71,78% nas amostras de arroz cozidas. Os teores de umidade encontrados são próximos aos valores encontrados na literatura para arroz cru, os quais variaram entre 12,00 e 13,20% e para o arroz cozido 61,60 e 73,48% (INSTITUTO BRASILEIRO DE

GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 1999; UNICAMP, 2011; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP, 2011).

Os valores médios de cinza das amostras analisadas variaram de 0,51 a 1,98% no arroz cru e 0,25 a 1,92% para as amostras de arroz cozido, sendo esses valores correspondentes aos valores observados em literatura para arroz cru e cozido, 0,5% e 0,1% e 0,3%, respectivamente (IBGE, 1999; UNICAMP, 2011; USP, 2011).

Storck (2004) encontrou valores de cinzas de 1,15% de matéria seca de arroz integral e 0,30% para arroz polido. O conteúdo de lipídios do arroz é muito baixo (menos de 1%). Entretanto, o grão integral pode conter uma quantidade maior, visto que 80% dos lipídios encontram-se e suas camadas periféricas (TAIRA, 1995). Em estudo de Storck (2004), os valores de lipídios foram de 2,52% para arroz integral e 0,36% para arroz polido. Semelhantes aos valores encontrados para o arroz biofortificado. Os teores de lipídeos variaram de 0,70 a 2,58% no arroz cru e 0,30 a 2,65% no arroz cozido, de acordo com a literatura, encontramos valores que variam de 0,3 a 0,9% para arroz cru e 0,2 e 0,6% para arroz cozido (IBGE, 1999; UNICAMP, 2011; USP, 2011). Segundo Walter, Marchezan e Avila (2008) os teores de lipídios no grão também são afetados pelas características genotípicas. Taira e Itani (1988), avaliando grãos integrais de arroz 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%. Estes dados são relevantes para o cálculo de dietas, pois a falta de especificação quanto ao processamento dos alimentos, mesmo uma simples cocção caseira, pode resultar em estimativas erradas de consumo de nutrientes.

Apesar dos baixos teores de gordura no arroz, esta é rica em ácidos graxos insaturados - oléico (C 18:1) e linoléico (C 18:2) (NAVES, 2007).

O maior conteúdo de extrato etéreo no arroz integral, comparado ao branco e ao parboilizado, é atribuído a não remoção das camadas externas no grão, onde o óleo se localiza em maior proporção. Embora possa causar aumento na energia bruta, o teor elevado de lipídio no arroz integral pode não estar relacionado ao melhor aproveitamento deste pelo organismo humano, uma vez que outros fatores, tais como fibra e fitato, também estão presentes em quantidades maiores, e podem ocasionar decréscimo na energia disponível (JULIANO, 1993). Adicionalmente, o alto teor de

lipídio pode diminuir a vida de prateleira e originar um gosto indesejável devido ao processo oxidativo.

Quanto à proteína presente nas amostras analisadas, os níveis variaram entre 6,75 a 9,40% e 6,67 a 10,05% no arroz cru e cozido. Os valores médios de proteínas observados na literatura variaram de 6,73 a 7,20% para arroz cru e 2,30 a 2,50% para arroz cozido (IBGE, 1999; UNICAMP, 2011; USP, 2011). Storck (2004) encontrou valores para arroz integral de 10,46% e 8,94% para arroz polido, semelhantes ao encontrado nessa pesquisa (Tabela 15).

A composição em proteínas também é afetada pela característica genotípica. Liu et al. (2005) 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, em parte, de seu conteúdo em aminoácidos, pois outros fatores podem influenciar na qualidade e disponibilidade das proteínas. 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).

O conteúdo de fibra no arroz integral é significativamente maior do que no arroz branco. Os valores médios de fibras insolúveis encontrados variaram de 5,71 a 27,47% para arroz cru e 1,94 a 3,54% para arroz cozido. Storck (2004) os valores de fibra insolúvel para arroz integral foi de 8,93% e 1,05% para arroz branco polido. As diferenças nos teores de fibra total são devido às características genotípicas e de processamento, como observado para a variedade Zebu integral cru ou cozido.

Na tabela de composição de alimentos da ENDEF (ESTUDO NACIONAL DA DESPESA FAMILIAR, 1999) cujos resultados são compilados de outras tabelas, o teor de fibra por 100 gramas de parte comestível é de 0,9 gramas para arroz integral, 0,6 gramas para arroz polido e 0,1 grama para arroz polido cozido.

Com relação ao teor de fibra solúvel os valores variaram de 1,88 a 4,80% no arroz cru e 0,51 a 1,03% no arroz cozido. Storck (2004) encontrou valores de 2,82% na

matéria seca para arroz integral e 1,82% para arroz branco polido. Os valores no arroz cozido sofreram leve diminuição. A maioria da fibra alimentar do grão de arroz é perdida no processo de polimento. Em termos de fibra alimentar total, as tabelas de composição de alimentos descrevem valores para arroz polido cru e arroz integral cru de 1,3% e 3,5% (PHILIPPI, 2002), de 1,7% e 3,0% (USP, 2011) e de 1,6% e 4,8% (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, 2011), respectivamente. No arroz polido encontramos hemicelulose e pectina, enquanto que no integral temos hemicelulose, pectina e celulose (MENDEZ et al., 1995). Em relação ao arroz integral cozido encontramos na literatura valor de 1,50 gramas. 100gramas⁻¹ (USP, 2011) e para o arroz polido cozido valor de 0,69 gramas. 100 gramas⁻¹ (USP, 2011).

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 (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

O maior consumo de fibra na dieta tem sido associado à redução na pressão arterial, na concentração de colesterol total, LDL e triglicerídeos, e ao controle da glicose sanguínea (LI et al., 2003; BEHALL et al., 2006), auxiliando na prevenção e no 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 destes.

Os carboidratos são os principais constituintes do arroz, a quase totalidade é representada pelo amido, contido no endosperma do grão (TAIRA, 1995). Nas amostras analisadas os teores variaram de 59,78 a 81,83% no arroz cru e 82,47 a 89,93% no arroz cozido. Na tabela de composição da ENDEF (ESTUDO NACIONAL DA DESPESA FAMILIAR, 1999) os valores de glicídios para arroz integral é 76,6g para 100 gramas de alimento comestível, 79,7 gramas para arroz polido e 32,3 gramas para arroz polido cozido. Já na Tabela da Universidade Estadual de Campinas (2011), o valor de carboidratos para arroz integral cozido é 25,8 gramas e para arroz integral cru é 77,5 gramas. Na mesma tabela, o arroz polido cozido apresenta valor de 28,1 gramas

para carboidratos e 78,8gramas para arroz polido cru. Observa-se que o arroz polido cru contém basicamente carboidratos. Segundo Naves (2007) o polimento do grão provoca perdas consideráveis de certos nutrientes, tais como lipídios e tiamina (cerca de 80%) e fibra (até quase 70%).

Os nutrientes não estão uniformemente distribuídos nas diferentes frações do grão. As camadas externas apresentam maiores concentrações de proteínas, lipídios, fibra, minerais e vitaminas. Dessa forma, o polimento resulta em perdas no teor de nutrientes, originando as diferenças na composição entre arroz integral e polido.

2.4.2.2 Teor de minerais

Tendo em vista que o arroz pode atuar como fonte importante de nutrientes na dieta de mais da metade da população mundial, torna-se relevante avaliar qualquer alteração na sua composição química que possa se refletir em seu valor nutricional. Os fatores responsáveis por estas alterações são vários, dentre eles destacam-se o genótipo e os processos de beneficiamento, os quais podem proporcionar aumento nos níveis de alguns minerais (BÔENO, 2008). Em nosso estudo, as alterações observadas foram em relação à cocção do arroz.

Os resultados obtidos na composição mineral estão apresentados na Tabela 16 e 17.

Tabela 16 - Valores médios expressos em base seca (média± desvio padrão) de macrominerais para os grãos de arroz biofortificados cru e cozido

CRU	Fósforo (g.kg ⁻¹)	Potássio (g.kg ⁻¹)	Cálcio (g.kg ⁻¹)	Magnésio (g.kg ⁻¹)	Silício (g.kg ⁻¹)	Sódio (g.kg ⁻¹)
Zebu Integral	5,18±0,2 ^{ab}	3,62±0,1 ^a	0,11±0,0 ^{ab}	1,23±0,1 ^{ab}	1,37±0,2 ^a	1,86±0,1 ^e
Chorinho Integral	5,32±0,5 ^a	3,50±0,5 ^a	0,15±0,0 ^a	1,33±0,1 ^a	1,03±0,3 ^{ab}	2,19±0,1 ^e
Vermelho Integral	3,46±0,2 ^c	2,39±0,1 ^b	0,13±0,0 ^a	1,01±0,1 ^{bc}	1,36±0,3 ^a	1,63±0,3 ^e
Zebu Polido	1,80±0,0 ^e	1,85±0,3 ^{bc}	0,11±0,0 ^{ab}	0,34±0,0 ^{de}	1,14±0,0 ^{ab}	1,75±0,2 ^e
Chorinho Polido	1,51±0,0 ^e	1,55±0,1 ^{cde}	0,09±0,0 ^{ab}	0,22±0,0 ^{de}	1,17±0,1 ^{ab}	1,16±0,0 ^e
Vermelho Polido	1,86±0,0 ^{de}	1,62±0,1 ^{cde}	0,11±0,0 ^{ab}	0,52±0,0 ^d	1,01±0,2 ^{ab}	1,29±0,1 ^e
COZIDO						
Zebu integral	4,39±0,6 ^b	2,07±0,2 ^{bc}	0,05±0,0 ^b	1,22±0,0 ^{ab}	0,95±0,0 ^{ab}	12,13±0,1 ^a
Chorinho Integral	4,74±0,1 ^{ab}	2,23±0,1 ^{bc}	0,08±0,0 ^{ab}	1,21±0,0 ^{abc}	0,87±0,0 ^{ab}	9,79±0,0 ^b
Vermelho Integral	2,65±0,1 ^d	1,82±0,0 ^{bcd}	0,05±0,0 ^b	0,92±0,0 ^c	0,93±0,0 ^{ab}	4,92±0,0 ^d
Zebu Polido	1,70±0,0 ^e	1,11±0,1 ^{de}	0,05±0,0 ^b	0,30±0,0 ^{de}	1,15±0,0 ^{ab}	6,67±1,0 ^c
Chorinho Polido	1,33±0,0 ^e	0,95±0,1 ^e	0,05±0,0 ^b	0,20±0,0 ^e	0,77±0,0 ^b	4,58±0,0 ^d
Vermelho Polido	1,60±0,1 ^e	1,06±0,0 ^e	0,05±0,0 ^b	0,20±0,1 ^e	0,80±0,1 ^b	5,45±0,1 ^d

Letras diferentes na vertical indica diferença significativa entre si (p≤0,05), n=3.

Os valores de minerais mais abundantes encontrados no arroz biofortificado são de ferro, manganês, zinco, fósforo e potássio.

No perfil mineral de grãos e cereais publicado na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (UNICAMP, 2011), o arroz integral cru possui teor médio de 251mg de fósforo em 100 gramas de parte comestível e o arroz polido cru valor de 104mg, em nosso estudo, o maior valor de fósforo para arroz integral cru foi de 532mg para 100 gramas, acima do encontrado também na tabela U.S. Department of Agriculture (USDA, 2001), para arroz integral cru apresenta valor de 333mg para 100 gramas de parte comestível e para o arroz polido cru valor de 115mg.

Já no arroz integral cozido temos maior conteúdo de 474mg de fósforo e 170mg no arroz polido, sendo acima do valor referido na tabela internacional USDA (2001), que relata média de 83mg para cada 100 gramas de arroz integral cozido e 43mg para cada 100 gramas de arroz branco cozido, sendo que na tabela da USDA (2001) está em base fresca, o que explica o valor inferior para o arroz cozido, que absorve mais de 2 vezes o seu peso em água.

Tabela 17 - Valores médios expressos em base seca (média± desvio padrão) de microminerais para os grãos de arroz biofortificados cru e cozido

CRU	Cobre (mg.kg ⁻¹)	Ferro (mg.kg ⁻¹)	Manganês (mg.kg ⁻¹)	Zinco (mg.kg ⁻¹)
Zebu Integral	6,88±2,0 ^a	37,79±0,3 ^{bc}	38,29±0,2 ^a	39,14±0,0 ^a
Chorinho Integral	4,31±0,9 ^a	30,58±1,2 ^{def}	31,41±0,5 ^b	27,97±0,0 ^d
Vermelho Integral	6,56±3,5 ^a	32,70±5,2 ^{cd}	23,77±1,7 ^c	21,20±1,1 ^f
Zebu Polido	4,45±0,1 ^a	19,41±0,6 ^g	11,59±0,1 ^g	29,46±0,3 ^c
Chorinho Polido	5,66±2,2 ^a	13,84±0,2 ^h	8,77±0,0 ^h	20,17±0,1 ^f
Vermelho Polido	4,72±1,2 ^a	16,37±1,2 ^{gh}	10,72±0,1 ^g	16,32±0,1 ^g
COZIDO				
Zebu integral	7,92±0,0 ^a	45,44±0,5 ^a	37,39±0,1 ^a	39,02 ± 0,6 ^a
Chorinho Integral	6,78±0,0 ^a	39,09±2,5 ^b	32,60±0,5 ^b	30,53 ± 0,1 ^c
Vermelho Integral	7,59±0,1 ^a	38,39±0,0 ^b	20,68±0,1 ^d	21,28 ± 0,1 ^f
Zebu Polido	6,97±0,2 ^a	27,15±0,8 ^{ef}	15,67±0,2 ^e	34,69 ± 1,0 ^b
Chorinho Polido	5,87±0,1 ^a	26,43±0,2 ^f	11,77±0,1 ^g	23,64 ± 0,0 ^e
Vermelho Polido	7,13±0,4 ^a	32,12±0,2 ^{de}	13,93±0,4 ^f	20,27 ± 0,0 ^f

Letras diferentes na vertical indica diferença significativa entre si (p≤0,05), n=3.

O fósforo e o cálcio são elementos que se encontram lado a lado em muitos compostos do organismo. Eles possuem inúmeras funções corporais, sendo a principal estrutural. Proporções adequadas desses minerais na dieta evitam patologias tais como raquitismo, osteoporose, osteomalácia, hipercalcúria reabsorviva, hipofosfatemia, hiperfosfatemia, tetania, entre outras (MAHAN; ARLIN, 1995). De acordo com a DRI (Ingestão Alimentar de Referência) a ingestão de fósforo para homens e mulheres acima de 19 anos é de 700mg/dia. Para o cálcio a ingestão varia entre 1000 a 1200mg/dia (AMAYA-FARFAN; DOMENE; PADOVANI, 2001).

Segundo a POF (PESQUISA DO ORÇAMENTO FAMILIAR, 2012) o consumo médio de arroz cozido é 160g/dia, consumindo-se o arroz biofortificado integral e polido seriam ingeridos em média 8,4mg/dia de cálcio e 280mg/dia de fósforo, contribuindo para suprir as necessidades desses elementos.

Em relação ao mineral K, o teor encontrado na Tabela de Composição de Alimentos (UNICAMP, 2011), foi de 75mg para cada 100 gramas de arroz integral cozido, 173 mg.100g⁻¹ de arroz integral cru e 15mg.100g⁻¹ no arroz polido cozido e 62mg.100g⁻¹ no arroz polido cru. Em nosso estudo para o arroz integral cru temos

362mg e 185mg para o polido, resultados acima do referido na TACO (UNICAMP, 2011). Após o cozimento, o valor 223mg no arroz integral e 95mg no arroz polido.

Segundo McKevith (2004), os cereais possuem baixo teor de sódio e uma boa fonte de potássio (K), comparados com a maior parte dos alimentos vegetais. Os cereais integrais também contêm quantidades consideráveis de ferro, magnésio e zinco, bem como níveis mais baixos de elementos traços, como o selênio. Os teores de ferro em arroz são principalmente afetados pela absorção de ferro do solo, bem como o transporte e acúmulo de ferro em arroz (MENG; WEI; YANG, 2005).

Tem sido relatado que a composição mineral no grão de arroz em grande parte depende da disponibilidade de nutrientes do solo (KHAN; REDDY, 1991).

Na tabela USDA (2001) para o mineral cálcio no arroz integral cru temos 23mg para cada 100 gramas de parte comestível, já para o arroz integral cozido foi relatado 10mg. No arroz branco cru o valor é de 28mg.100g⁻¹ e 10mg.100g⁻¹ para o branco cozido. Valores menores foram encontrados em nosso estudo para arroz polido e integral cru.

As recomendações diárias de ferro são de 11 mg.dia⁻¹ para homens e 18mg.dia⁻¹ para mulheres (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2001). Os resultados encontrados mostram que 100 gramas de amostra de arroz zebu integral cozido são capazes de suprir de 41,27% das quantidades necessárias de ferro para o homem e 25,22% das necessidades para mulheres.

O ferro desempenha papel importante na síntese da hemoglobina, no transporte de oxigênio e na oxidação celular, ao passo que o cobre, associado ao ferro, atuam nos sistemas de enzimas, síntese da hemoglobina (MAHAN; ARLIN, 1995).

As recomendações diárias Mn, para adultos são de 1,6 a 2,3 mg.dia⁻¹ (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2001). Portanto, grande maioria dos tratamentos, é capaz de suprir tais necessidades, pois os valores encontrados estão próximos da faixa requerida.

Segundo a Tabela 16 e Tabela 17, verifica-se a influência da cocção no teor de minerais, apresentando diminuição em alguns macronutrientes quando o grão é submetido a esse tratamento. No caso de alguns micronutrientes, após o processo de cocção houve leve aumento na quantidade de mineral, diferente de muitas citações

bibliográficas. Estes dados sugerem que durante a cocção possam ter ocorrido perdas de compostos orgânicos aumentando o teor desses minerais das amostras. O conhecimento detalhado da especiação destes nutrientes na matriz alimentar é o que pode explicar melhor estes eventos (SOUTHGATE, 1992).

Matsuzaki et al. (1992) relataram em seu estudo perda no teor de minerais totais de 11-38% durante a cocção. Khatoon e Prakash (2006) em estudo para avaliar a qualidade nutricional de arroz cozido em microondas e sob pressão obteve variação de 1,4 a 1,9 mg.100g⁻¹ do teor de ferro total das amostras de arroz. O cozimento acarretou em diminuição de 33-50% do teor de ferro das variedades de arroz. As amostras cozidas apresentaram teor significativamente menor de cálcio (6-44%) e fósforo (24-44%), porém não houve diferença significativa entre os métodos de cocção.

Khatoon e Prakash (2006) sugerem que as perdas ocorridas no estudo podem ter sido devido ao efeito combinado da lavagem e do cozimento, uma vez que todas as amostras foram lavadas antes da imersão, procedimento não realizado nos cultivares (Tabela 16).

Cheigh et al. (1982) relataram perda de 22% para cálcio e ferro, devido à lavagem e cozimento do arroz.

Observa-se também, maiores quantidades de minerais quando o grão está em sua forma integral.

Essas diferenças existem porque o arroz integral ao contrário do arroz branco, não passa pelo processo de polimento, retendo mais as camadas externas nas quais os minerais estão presentes em quantidades mais elevadas (WIMBERLY, 1983). No entanto, isso não significa maior disponibilidade de minerais no arroz integral, uma vez que os fitatos presentes neste tipo de grão diminuem a absorção desses minerais pelo organismo (HENRY; MASSEY, 2004).

Storck (2004) e Heinemann et al. (2005) relataram em seu estudo, maiores concentrações de potássio e fósforo no arroz parboilizado polido quando comparado ao branco polido, sem efeito para concentração de magnésio. Por outro lado, as concentrações de manganês, zinco e sódio foram 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. Estudos têm demonstrado maior concentração de alguns minerais em grãos de arroz com pericarpo vermelho e preto (ITANI et al., 2002; MENG; WEI; YANG, 2005).

O maior teor de ferro é encontrado em arroz preto, seguido pelo arroz vermelho, arroz integral e arroz glutinoso em um nível similar. No arroz preto também contém a maior quantidade relativa de outros elementos (zinco, cálcio, cobre, manganês), seguido pelo arroz integral e arroz-vermelho (YANG et al., 1998; WEN, 2000).

Deve-se destacar que a composição mineral dos alimentos de origem vegetal está influenciada e controlada pela fertilidade do solo, características genéticas da planta e do ambiente no qual cresce (MILLER, 1996), isto justificaria as diferenças observadas entre o teor de minerais em diferentes estudos.

Diante do exposto, enfatiza-se que cultivares de arroz podem ser selecionado em função da presença de teores mais elevados de minerais, a fim de serem usados em estratégias específicas na prevenção e combate de várias doenças resultantes da ingestão insuficiente de micronutrientes.

2.4.2.3 Diálise de minerais *in vitro*

A biodisponibilidade de minerais no arroz é baixa, contudo de acordo com Liang (2007) o aumento na concentração de minerais no arroz, a diminuição da concentração de inibidores de determinado mineral e o aumento dos níveis estimuladores da absorção de minerais, poderia melhorar a biodisponibilidade de minerais.

Os resultados obtidos para diálise do arroz biofortificado estão na Tabela 18.

Tabela 18 - Média e desvio padrão de dialisado (%) e teor de ácido fítico de arroz biofortificado

CRU	Cálcio dialisável (%)	Ferro dialisável (%)	Zinco dialisável (%)	Magnésio dialisável (%)	Fitatos (mg.g ⁻¹)
Zebu Integral	1,47±0,4 ^{ab}	1,40±0,5 ^{ab}	0,33±0,0 ^a	0,80±0,0 ^d	10,48±0,1 ^{1ab}
Chorinho Integral	1,41±0,6 ^{ab}	1,52±1,1 ^{ab}	0,33±0,1 ^a	0,65±0,1 ^{def}	10,57±1,1 ^{ab}
Vermelho Integral	1,14±0,2 ^b	1,67±0,1 ^{ab}	0,54±0,1 ^a	0,81±0,1 ^d	5,67±0,6 ^{cd}
Zebu Polido	1,50±0,4 ^{ab}	3,93±1,4 ^a	0,89±0,1 ^a	2,72±0,1 ^b	4,18±0,9 ^{de}
Chorinho Polido	1,47±1,2 ^{ab}	2,95±0,3 ^{ab}	0,92±0,0 ^a	3,43±0,0 ^a	2,06±0,0 ^e
Vermelho Polido	1,63±0,7 ^{ab}	3,72±1,2 ^{ab}	1,04±0,2 ^a	1,63±0,29 ^c	4,10±1,0 ^{de}
COZIDO					
Zebu integral	2,94±0,0 ^a	1,10±0,0 ^{ab}	0,35±0,0 ^a	0,24±0,0 ^{efg}	10,71±0,1 ^{ab}
Chorinho integral	0,98±0,0 ^b	1,47±0,2 ^{ab}	1,24±1,4 ^a	0,16±0,0 ^{fg}	12,59±0,4 ^a
Vermelho Integral	1,85±0,1 ^{ab}	0,86±0,1 ^b	0,48±0,0 ^a	0,1±0,0 ^g	10,06±1,3 ^b
Zebu Polido	2,94±0,9 ^a	1,33±0,1 ^{ab}	0,50±0,0 ^a	0,32±0,0 ^{defg}	4,22±0,7 ^{de}
Chorinho Polido	1,96±0,0 ^{ab}	3,27±2,6 ^{ab}	0,62±0,2 ^a	0,49±0,0 ^{defg}	2,69±0,7 ^e
Vermelho Polido	2,94±0,0 ^a	1,45±0,6 ^{ab}	0,77±0,1 ^a	0,73±0,4 ^{de}	6,66±0,5 ^c

Letras diferentes na vertical indicam diferença significativa entre si (p≤0,05), n=3.

Tabela 19 - Coeficiente de Correlação de Pearson e respectivas correlações estatísticas entre ácido fítico e teor de fósforo, disponibilidade de ferro, cálcio e zinco no arroz biofortificado cru

X	Y	Coeficiente de Pearson	P value
Ácido fítico	Teor de fósforo	0,9343	0,0063
Ácido fítico	Disponibilidade de Ca	-0,2693	0,6059
Ácido fítico	Disponibilidade de Fe	-0,7217	0,1054
Ácido fítico	Disponibilidade de Zn	-0,8781	0,0214

Tabela 20 - Coeficiente de Correlação de Pearson e respectivas correlações estatísticas entre ácido fítico e teor de fósforo, disponibilidade de ferro, cálcio e zinco no arroz biofortificado cozido

X	Y	Coeficiente de Pearson	P value
Ácido fítico	Teor de fósforo	0,9027	0,0137
Ácido fítico	Disponibilidade de Ca	-0,1216	0,8185
Ácido fítico	Disponibilidade de Fe	-0,8659	0,0258
Ácido fítico	Disponibilidade de Zn	0,341	0,5083

De acordo com os dados apresentados na Tabela 18, não houve diferença significativa para as médias do dialisado de zinco no arroz biofortificado, sendo a variação dos valores médios de 0,33% a 1,24% para zinco. No entanto, para os demais minerais houve diferença significativa ($p \leq 0,05$). Observa-se influência da cocção no dialisado de cálcio, ferro e magnésio no arroz.

Nota-se também que quanto maior o conteúdo de fitatos no grão, menores são os valores da diálise para os minerais, mostrando-nos a influência do composto na absorção de minerais. No caso do ferro, por exemplo, quanto maiores os valores de fitatos, menores são os valores de ferro dialisado, o mesmo acontece para zinco. É possível também observar, que os teores de ácido fítico são maiores no grão integral de arroz. A absorção de ferro dos alimentos cereais está fortemente relacionada ao teor de ácido fítico e geralmente é maior em alimentos com menor teor de ácido fítico (COOK et al., 1997).

Considerando a interação entre teor de fósforo e ácido fítico (Tabela 19), observa-se correlação alta e positiva (0,93), ou seja, diretamente proporcional, com nível de significância menor que 0,0001. Considerando que, quanto maior o teor de fósforo no grão maior o teor de fitatos pode-se propor que o fitato seja hidrolisado utilizando fitase e conseqüentemente o micronutriente fósforo será liberado, reduzindo-se assim, os efeitos indesejáveis deste constituinte.

O arroz contém ácido fítico, um potencial inibidor de alguns importantes minerais como o ferro e o zinco, em média os níveis são por volta de $120\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ no arroz integral dependendo da variedade e da localização do cultivo (KENNEDY; BURLINGAME; NGUYEN, 2002; MA, 2007).

Segundo Barrueto-González (2007) os fitatos reduzem a biodisponibilidade de minerais, principalmente com ferro não-heme, zinco, magnésio e cálcio, formando complexos insolúveis no pH fisiológico intestinal reduzindo assim a absorção destes nutrientes. De acordo com Sandberg (2002), o inositol pentafofato foi identificado como um inibidor da absorção de Fe não-heme e zinco, além disso, os grupos de inositol tri e tetrafofato, também contribuem para o efeito negativo sobre a absorção de ferro não-heme, provavelmente por interações altas com os fosfatos de inositol fosforilado.

Ao contrário de nossos dados, em trabalho apresentado por Franz, Kennedy e Fellers (1980), o cozimento diminui de 24% a 65% respectivamente, a concentração de ácido fítico no arroz integral e arroz branco. A relação molar fitato/ zinco e fitato/cálcio, estudada por Hira e Kaur (1993) em leguminosas e cereais cozidos foi menor em comparação aos grãos crus, devido ao decréscimo do conteúdo de fitato, principalmente em grãos assados a 250 °C.

Martinez-Domínguez, Ibanez Gómez e Rincon Leon (2002), afirmam que grande parte dos estudos sobre interações entre fitatos e minerais apontam uma relação inversa entre a absorção destes micronutrientes e a presença do ácido fítico, ainda que ocorram grandes diferenças no comportamento de cada mineral e os efeitos adversos do ácido fítico sobre a biodisponibilidade de minerais dependem também de outros fatores, como as condições de processamento do alimento, a presença de outros agentes quelantes como a fibra dietética, ácido oxálico, taninos que podem competir com o ácido fítico em sua união com os minerais.

Em estudo de Glahn, Cheng e Welch (2002), avaliando a biodisponibilidade de ferro por digestibilidade *in vitro* Caco-2 em diferentes genótipos de arroz, houve correlação positiva da quantidade de ferro biodisponível com o crescente nível de ferro fortificado em grãos de arroz parboilizado, independentemente de cultivares. Isto sugere um potencial de alta eficácia da fortificação de grãos. Nesse mesmo estudo, encontrou baixos teores de ferro para genótipos de arroz marrom, sugerindo que os compostos fenólicos exercem efeito na biodisponibilidade de ferro.

De acordo com modelos de Wolters (1992), a disponibilidade de ferro em arroz integral chinês pode ser de 4,0-6,5% levando em conta o efeito do ácido fítico. Já para a disponibilidade de zinco no arroz chinês varia de 2,4 – 3,9% se forem considerado somente o ácido fítico como interferente.

Sgarbieri, Antunes e Almeida (1979), utilizando metodologia *in vivo*, com ratos anêmicos, encontraram 4,05% de ferro biodisponível no feijão carioca cozido.

Segundo estudo de Hemalatha, Platel e Srinivasan (2007), avaliando a bioacessibilidade de zinco e ferro em cereais consumidos na Índia, para o arroz foi encontrado valor de 1,08mg.100g⁻¹ de conteúdo de zinco bioacessível e 1,32mg.100g⁻¹

para ferro bioacessível, valores próximos encontramos no estudo com arroz biofortificado.

A respeito dos resultados de algumas pesquisas, existem discordâncias sobre a influência do fitato na biodisponibilidade de minerais. Forbes, Parker e Erdman (1984) em seu estudo com humanos sugere que o fitato não é susceptível a exercer efeito significativo sobre a biodisponibilidade de zinco em seres humanos que ingerem dieta adequada. As evidências do experimento com ratos, mostra que ocorreram efeito mínimo sobre o zinco ósseo em animais alimentados com dieta contendo razão fitato: zinco abaixo de 30, e geralmente, nas dietas normais de indivíduos humanos a razão fitato: zinco não excede 24.

Hunt, Johnson e Swan (1987), analisaram as características de diversos alimentos de origem vegetal e animal quanto às possíveis relações com a disponibilidade de zinco. Os resultados revelaram que a disponibilidade de zinco foi similar para as duas classes de alimentos, não confirmando o conceito geral de que o zinco é pouco disponível em alimentos vegetais, quando comparado com alimento de origem animal.

No presente estudo, foi observado que a interação, ácido fítico x disponibilidade de cálcio e ácido fítico x disponibilidade de Fe no arroz cru apresentaram correlação negativa não significativa (Tabela 19), ou seja, quando um aumenta o outro diminui. Para a interação entre teor de fitato x fósforo foi positiva e significativa, assim com o teor de ácido fítico x disponibilidade de zinco que foi negativa e significativa. No arroz cozido, a interação ácido fítico x disponibilidade de ferro (Tabela 20) apresentou correlação negativa significativa destacando possível interferência do composto no mineral durante a diálise. O teor de ácido fítico x fósforo foi positiva significativa, como ocorreu para o grão cru.

2.4.2.4 Vitaminas do complexo B

Segundo Arruda (2009), a literatura apresenta várias técnicas aplicadas à determinação de vitaminas em alimentos, como a cromatografia gasosa, cromatografia líquida eletroforese capilar, métodos bioespecíficos e microbiológicos. Os maiores

avanços têm sido observados na utilização da cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) em função de sua rapidez, alta sensibilidade, precisão e exatidão (PENTEADO, 2003). Foi utilizada a cromatografia líquida para a determinação de vitaminas do complexo B em arroz.

Na Tabela 21 constam os respectivos valores encontrados para as vitaminas B₁, B₂ e B₆ nas diferentes variedades de arroz biofortificado.

Tabela 21 - Média e desvio padrão (base fresca) de vitaminas do complexo B, para arroz biofortificado cru e cozido

ARROZ CRU	Vitamina B ₁ (mg.100g ⁻¹)	Vitamina B ₂ (mg.100g ⁻¹)	Vitamina B ₆ (mg.100g ⁻¹)
Arroz Zebu integral	0,03±0,0 ^{1a}	0,035±0,0 ^a	0,23±0,0 ^b
Arroz Chorinho integral	0,03±0,0 ^a	0,034±0,0 ^a	0,28±0,0 ^a
Arroz Vermelho integral	0,02±0,0 ^b	0,020±0,0 ^b	0,15±0,0 ^c
Arroz Zebu polido	0,01±0,0 ^{de}	0,015±0,0 ^{bcd}	0,12±0,0 ^d
Arroz Chorinho polido	0,01±0,0 ^{efg}	0,015±0,0 ^{bcd}	0,07±0,0 ^e
Arroz Vermelho polido	0,02±0,0 ^{bcd}	0,018±0,0 ^{bc}	0,07±0,0 ^e
ARROZ COZIDO			
Arroz Zebu integral	0,02±0,0 ^{bc}	0,018±0,0 ^{bc}	0,06±0,0 ^f
Arroz Chorinho Integral	0,02±0,0 ^{cd}	0,018±0,0 ^{bc}	0,06±0,0 ^f
Arroz Vermelho Integral	0,01±0,0 ^{ef}	0,014±0,0 ^{cde}	0,03±0,0 ^g
Arroz Zebu polido	0,01±0,0 ^{fg}	0,009±0,0 ^{ef}	0,03±0,0 ^g
Arroz Chorinho Polido	0,01±0,0 ^g	0,008±0,0 ^f	0,02±0,0 ^h
Arroz Vermelho Polido	0,01±0,0 ^{fg}	0,010±0,0 ^{def}	0,02±0,0 ^h

¹ Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%

De acordo com a Tabela 21 houve diferença significativa nos teores de vitaminas no arroz cru e cozido. A vitamina B₁ assim como a vitamina B₂ e B₆ apresentam valores maiores quando o arroz está em sua forma integral.

Nota-se, no entanto que os valores da vitamina no arroz submetido à cocção foram reduzidos, devido às perdas e degradação da mesma. A degradação de vitaminas depende de condições específicas durante o processo culinário, como temperatura, presença de oxigênio, umidade, luz, pH e a duração do tratamento térmico (LIMA-PALLONE; CATHARINO; GODOY, 2008). Como muitas outras

vitaminas hidrossolúveis, são muito mais sujeitas a perdas por lixiviação, em alimentos cozidos em água, que à degradação química.

As perdas para o arroz integral após o cozimento foram em torno de 33,4%, 52,17% e 76% para vitamina B₁, vitamina B₂ e vitamina B₆, respectivamente. No arroz polido a porcentagem de perdas foi semelhante, sendo de aproximadamente de 43% para vitamina B₂ e 74% para vitamina B₆. Segundo Agostini (1996), as perdas de vitamina durante o cozimento são em torno de 80% para a tiamina, 75% para riboflavina e 40% para a vitamina B₆.

As perdas de tiamina durante o cozimento ocorrem através da passagem para a água de cocção; ela é instável ao calor e mais estável em meio ácido; a perda de vitamina B₁ é de 5% a 25% em calor úmido (ORNELLAS, 1995).

A riboflavina é estável ao calor, à oxidação e aos ácidos. É pouco solúvel em água, mas é destruída na presença de luz. Pouco se perde no cozimento seco; já na água, quando desprezada, a perda varia de 30% a 40%. Frutas e vegetais secos ao sol, como processo de conservação, perdem a riboflavina, que é destruída pelos raios ultravioleta (ORNELLAS, 1995).

Os fatores relacionados ao alimento, a forma química e o estado físico no qual as vitaminas se encontram na matriz do alimento afetam diretamente sua absorção. Essas propriedades podem ser influenciadas pelos efeitos do processamento ou preparação do alimento com possíveis conseqüências na absorção de seus nutrientes. De modo geral, as vitaminas que se encontram ligadas à matriz do alimento apresentam eficiência de digestão e absorção mais baixa (JACKSON, 1997).

Na tabela de composição de alimentos da ENDEF (ESTUDO NACIONAL DA DESPESA FAMILIAR, 1999), os valores apresentados para vitamina B₁ no arroz integral é de 0,36 gramas por 100 gramas de parte comestível, 0,08 g.100g⁻¹ para o arroz polido e 0,02g.100g⁻¹ para arroz polido cozido. Para a vitamina B₂ no arroz integral os valores são de 0,06g.100g⁻¹, no arroz polido 0,03g.100g⁻¹ e 0,02.100g⁻¹ no arroz polido cozido. Os valores para vitamina B₁ estão semelhantes, já para vitamina B₂ os resultados estão um pouco acima aos encontrados em nosso estudo.

Presoto e Almeida-Muradian (2008), determinaram o teor de vitaminas do complexo B para farinha de arroz através de métodos cromatográficos obtendo

resultados de $0,08\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de vitamina B₁, $0,02\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ para vitamina B₂ e $0,04\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de vitamina B₆.

Walter, Marchezan e Avila (2008) determinaram o conteúdo de vitaminas em arroz integral e branco polido. Apresenta valores na faixa de $2,9\text{-}6,1\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ para tiamina, $0,4\text{-}1,4\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ para riboflavina e $5\text{-}9\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ para vitamina B₆ para arroz integral. Para o arroz branco polido os valores de tiamina variam de $0,2\text{-}1,1\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, $0,2\text{-}0,6\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ para riboflavina e $0,4\text{-}1,2\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ para piridoxina.

Segundo o levantamento do International Rice Research Institute-IRRI (KENNEDY; BURLINGAME, 2003) com 79 variedades de arroz integral (analisado em base seca), o conteúdo de tiamina variou de $0,12$ a $1,74\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ (média = $0,46\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$). Em outras 30 variedades desenvolvidas pelo IRRI, os teores encontrados oscilaram entre $0,28$ e $0,52\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$. Para a riboflavina e a niacina foram observadas grandes faixas de variação, entre $0,01$ a $0,45\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ (média $0,09\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) e de $1,97$ a $9,22\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ (média $5,32\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$), respectivamente.

Conforme Juliano e Bechtel (1985) o teor de vitaminas B₁, B₂ e B₆ em arroz integral variou respectivamente de $2,9\text{-}6,1\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, $0,4\text{-}1,4\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e $5\text{-}9\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Já em arroz polido o conteúdo de vitaminas variou de $0,2\text{-}1,1\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de B₁, $0,2\text{-}0,6\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de B₂ e $0,4\text{-}1,2\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ para vitamina B₆.

De acordo com a DRI (Ingestão Alimentar de Referência) para vitamina B₁, crianças de 1 a 3 anos de idade devem ingerir $0,5\text{mg}/\text{dia}$, homens de 14 a 70 anos ou mais, $1,2\text{mg}/\text{dia}$, e mulheres da mesma faixa etária, $1,1\text{mg}/\text{dia}$. Mulheres em período de gestação e lactação devem ingerir $0,3\text{mg}/\text{dia}$ a mais (AMAYA-FARFAN; DOMENE; PADOVANI, 2001).

Se consumidas 100 gramas de arroz integral teremos uma oferta de $0,02\text{mg}$ de vitamina B₁, correspondente a 4% das necessidades diárias de crianças de 1 a 3 anos de idade. Já o consumo de 100 gramas de arroz polido corresponde a 2% das necessidades.

Para riboflavina (vitamina B₂) dose recomendada de ingestão varia de $0,4\text{mg}$ (na infância) a $1,3\text{mg}/\text{dia}$ para adultos sendo que, para mulheres grávidas, recomenda-se dose suplementar de $0,3\text{mg}/\text{dia}$ durante a gestação e $0,5\text{mg}/\text{dia}$ durante o período de lactação, já que durante o terceiro trimestre de gestação há uma queda progressiva

nos níveis de riboflavina (WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO, 1974; EC SCIENTIFIC COMMITTEE FOR FOOD REPORT, 1993). De acordo com a DRI (Ingestão Alimentar de Referência) para vitamina B₂, crianças de 1 a 3 anos de idade devem ingerir 0,5mg/dia, homens de 14 a 70 anos ou mais, 1,3mg/dia e mulheres da mesma faixa etária 1,1mg/dia (AMAYA-FARFAN; DOMENE; PADOVANI, 2001). O arroz integral do estudo, em 100 gramas de alimento oferece 4,5% de vitamina B₂ para crianças.

Em nosso estudo, na forma de consumo (cozida) a maior quantidade de vitamina B₆ é encontrada no arroz Chorinho e Zebu integral, a ingestão de 100 gramas desse alimento resulta em 4,61% de vitamina para homens acima de 14 anos, segundo a DRI (Ingestão Alimentar de Referência), a dose recomendada de vitamina B₆ para homens acima de 14 anos é de 1,3mg/d já para mulheres a recomendação é de 1,2mg/d.

2.4.2.5 Ácido fítico

O ácido fítico tem recebido atenção como fator antinutricional em cereais e leguminosas. Pode complexar minerais e proteínas e influenciar a sua solubilidade e biodisponibilidade. A ingestão de ácido fítico é um fator importante, que pode causar deficiência de nutrientes essenciais, como já constatado na disponibilidade de minerais no experimento I.

Nas análises das amostras de arroz biofortificado cru e cozido, os teores de ácido fítico estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Teores de ácido fítico em arroz biofortificado cru e cozido expressos em base seca (média± desvio padrão)

ARROZ CRU	Teor de Fitatos (mg.g ⁻¹)	Teor de Fósforo (g.kg ⁻¹)
Arroz Zebu integral	10,48±0,1 ^{1ab}	5,18±0,2 ^a
Arroz Chorinho integral	10,57±1,1 ^{ab}	5,32±0,5 ^a
Arroz Vermelho integral	5,67±0,6 ^{cd}	3,46±0,2 ^b
Arroz Zebu polido	4,18±0,9 ^{de}	1,80±0,0 ^c
Arroz Chorinho polido	2,06±0,0 ^e	1,51±0,0 ^c
Arroz Vermelho polido	4,10±1,0 ^{de}	1,86±0,0 ^c
ARROZ COZIDO		
Arroz Zebu integral	10,71±0,1 ^{ab}	1,28 ± 0,1 ^{cd}
Arroz Chorinho Integral	12,59±0,4 ^a	1,38 ± 0,0 ^c
Arroz Vermelho Integral	10,06±1,3 ^b	0,76 ± 0,0 ^{de}
Arroz Zebu polido	4,22±0,7 ^{de}	0,50 ± 0,0 ^e
Arroz Chorinho Polido	2,69±0,7 ^e	0,38±0,0 ^e
Arroz Vermelho Polido	6,66±0,5 ^c	0,47± 0,0 ^e

¹Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%

Conforme os dados apresentados na Tabela 22 houve diferença significativa entre as amostras de arroz biofortificado. O maior teor de fitatos (10,48mg.g⁻¹) foi encontrado na amostra do arroz zebu integral cru e o menor na amostra do arroz chorinho polido cru.

Liang (2007) em sua tese analisou os níveis de ácido fítico em arroz chinês através de técnica baseada na extração e separação aniônica por resina com posterior detecção espectrofométrica e encontrou resultados que variam em média no grão curto 7,2-11,9g.kg⁻¹, no grão médio de 8,3-11,5g.kg⁻¹ e no grão longo variação de 7,1-11,7g.kg⁻¹. No mesmo trabalho comparou o teor de ácido fítico do arroz integral chinês com a literatura internacional, obtiveram valores em base seca para arroz chinês de 9,6g.kg⁻¹, e para o arroz coreano obteve média de 23,6g.kg⁻¹. As diferenças ocorridas entre os valores podem decorrer tanto do tipo de amostra incluída como também da metodologia usada.

Segundo Cuneo, Farfan e Carraro (2007), 85% do ácido fítico do arroz localiza-se no pericarpo, 13% no germe e 2% no endosperma, sendo que o ácido fítico naturalmente presente no farelo de arroz representa de 85 a 92% dos fitatos totais.

Segundo Burbano et al. (1995) e Zhou e Erdman (1995), durante o armazenamento, fermentação, germinação, processamento e digestão dos grãos e sementes, o ácido fítico é enzimaticamente hidrolisado por fitases para produzir compostos pentafosfato (IP5), tetrafosfato (IP4), trifosfato (IP3) e possivelmente inositol difosfato (IP2) e monofosfato (IP1).

Com base na Tabela 22, quanto maior o conteúdo de fitatos, maior o conteúdo de fósforo no grão. O ácido fítico é uma forma de armazenamento de fósforo, constituindo aproximadamente 70% do conteúdo desse mineral em sementes, como já comentado.

O processamento mecânico, como moagem, polimento e degradação enzimática de inibidores podem ajudar a remover o ácido fítico (GIBSON et al., 2000; RESURRECCION; JULIANO; TANAKA, 1979).

Nota-se de acordo com a Tabela 22, que quando as amostras foram submetidas à cocção os teores de fitatos aumentaram acentuadamente no grão. O fitato pode ser considerado bastante estável ao calor (DESHPANDE; DAMODARAN, 1990). Com isso, mesmo após o cozimento do arroz, o fitato ainda está ativo.

De acordo Ologhobo e Fetuga (1984), cocção e autoclavagem foram pouco eficientes na diminuição do conteúdo de fitatos no feijão. Concordando com os resultados apresentados em nosso trabalho.

Agte e Joshi (1997) citam como uma alternativa para redução do teor de ácido fítico a adição de fitases exógenas ou fitases endógenas ativadas, a germinação e a fermentação.

O interesse nutricional na ação do fitato é enfatizado primordialmente pelo seu efeito adverso na absorção de minerais, ocasionado pela formação de quelatos de íons como cálcio, ferro e zinco (SILVA; SILVA, 1999), porém esta mesma habilidade em ligar-se aos minerais pode ser benéfica à saúde humana e indica o uso na prevenção de cálculos renais (GRAF; ENPSOM; EATON, 1987), na redução do risco de câncer de colón e ação antioxidante (MESSINA; BARNES, 1991). Há evidências de que o ácido fítico pode conduzir à deficiência crônica e severa de minerais em populações que se alimentam basicamente de cereais e leguminosas (LIU; CHENG; ZHANG, 2005; LESTIENNE et al., 2005; KAMCHAN et al., 2002; DUHAN; KHETARPAUL; BISHNOI, 2002). Weaver e Kannan (2002) defendem que a preocupação deve incluir grupos

populacionais mais vulneráveis (crianças e gestantes, por exemplo), nos quais é comum a ingestão inadequada de Ca, Fe, Zn e Mg.

Os dados presentes na literatura sobre o fitato e prevenção de câncer e cálculos renais embora ainda limitados, sugerem outra visão da ação do ácido fítico no organismo humano.

2.4.2.6 Compostos fenólicos

Os resultados obtidos para os teores de compostos fenólicos totais em arroz biofortificado estão expressos na Tabela 23.

Tabela 23 - Teores de fenólicos em arroz biofortificado cru e cozido expressos em base seca (média± desvio padrão)

ARROZ CRU	Fenólicos (mg.100g ⁻¹)
Arroz Zebu integral	35,68± 0,4 ^{1c}
Arroz Chorinho integral	28,46±1,1 ^d
Arroz Vermelho integral	55,73±3,0 ^a
Arroz Zebu polido	12,04±1,1 ^f
Arroz Chorinho polido	15,57±1,3 ^{ef}
Arroz Vermelho polido	41,21±2,0 ^b
ARROZ COZIDO	
Arroz Zebu integral	28,19±1,4 ^d
Arroz Chorinho Integral	20,17±0,8 ^e
Arroz Vermelho Integral	32,54±2,7 ^{cd}
Arroz Zebu polido	11,93±2,3 ^f
Arroz Chorinho Polido	18,34±0,0 ^e
Arroz Vermelho Polido	18,87±0,4 ^e

¹Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os teores de compostos fenólicos dos diferentes cultivares de arroz biofortificado, tanto para as amostras cruas quanto para as cozidas.

Como pode ser observado na Tabela 23 o arroz vermelho cru apresentou os maiores valores, sendo 41,21mg.100g⁻¹ para o arroz vermelho polido cru e

55,73mg.100g⁻¹ para o arroz vermelho integral cru, seguido pelos cultivares de arroz zebu e arroz chorinho, ambos integral e cru.

Segundo Goffman e Bergman (2002) em estudo com variedades de arroz de diferentes graus de coloração, encontraram teores de compostos fenólicos totais solúveis que variaram entre 290 e 5830 mg equivalente ácido gálico.kg⁻¹, as características genéticas foi um fator que influenciou na concentração de fenólicos.

Com o processo de cocção, houve redução acentuada nos teores de fenólicos das amostras analisadas, sendo o arroz vermelho integral o grão com maior quantidade de composto, apresentando valor de 32,54mg.100g⁻¹ e o arroz zebu polido o menor valor 11,93mg.100g⁻¹. Larrauri, Rupres e Saura-Calixto (1997) e Piga, Del Caro e Corda (2003) demonstraram que os fenólicos podem sofrer decomposição sob temperaturas elevadas, sendo esse efeito dependente do tempo de processamento e do tipo de compostos da amostra.

Segundo Finocchiaro et al. (2007) analisando dois genótipos, um não pigmentado e outro pigmentado (pericarpo vermelho), antes e após cozimento, os teores de polifenóis foram significativamente reduzidos com o cozimento, tanto na amostra pigmentada como na não pigmentada. O total de polifenóis em arroz vermelho foi de 2,57g.kg⁻¹ equivalente de catequina e 1,21g.kg⁻¹ equivalente de catequina para arroz branco.

Segundo Massaretto (2009) faltam dados a respeito do efeito do cozimento sobre os fenólicos solúveis e insolúveis, em diferentes genótipos de arroz pigmentado e não-pigmentado, porém a maioria dos estudos avaliando os efeitos do processamento térmico demonstra redução significativa nos teores de compostos fenólicos. A redução dos teores de fenólicos solúveis com o cozimento pode ser explicada por diversos fatores como degradação térmica, alterações na reatividade química dos fenólicos que pode diminuir a reação com o Folin- Ciocalteau ou ainda formação de complexos insolúveis com outros componentes da matriz tais como proteínas, tornando-os mais difíceis de extrair.

Jang e Xu (2009) separaram o farelo de arroz preto em duas frações (camada exterior e camada interior) e relatou que o teor fenólico do farelo da camada exterior e

inferior foram de 113,9 e 489,1mg de equivalente em catequina .grama⁻¹ de amostra seca, respectivamente.

Em estudo desenvolvido por Vichapong et al. (2010) avaliando os compostos fenólicos e atividade antioxidante em diferentes variedades de arroz, o total de fenólicos para arroz polido variou de 4,60 a 26,38mg ácido gálico.100gramas⁻¹ e para o arroz integral o conteúdo de compostos fenólicos encontrado variou de 12,32mg ácido gálico.100gramas⁻¹ a 60,60mg equivalentes em ácido gálico.100gramas⁻¹. Resultados semelhantes ao nosso estudo, porém foi usada a catequina como padrão químico.

Os valores divergentes encontrados na literatura devem-se principalmente às diferenças de metodologias utilizadas para análises fitoquímicas em grãos.

Estudo de Mira et al. (2008) avaliou a distribuição dos compostos fenólicos totais (CFT), presentes nas frações, solúvel e insolúvel de dez genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.) de pericarpo pigmentado e não pigmentado. Grande parte corresponde aos ácidos fenólicos presentes no grão sob a forma solúvel (livre e conjugada) e insolúvel (ligada). Foram quantificados pelo método de Folin-Ciocalteu. Na fração solúvel dos genótipos pigmentados, os teores de CFT foram variáveis, mas, em média, 5,7 vezes maiores do que nos não pigmentados (média de 3468 e 602µg equivalentes em ácido ferúlico (eqAF).g⁻¹arroz, respectivamente), principalmente devido à presença de antocianinas e proantocianidinas. Na fração insolúvel, os pigmentados apresentaram duas vezes mais CFT do que os não pigmentados (825 e 378µg eq. AF.g⁻¹ arroz, respectivamente), provavelmente devido à retenção de antocianinas e proantocianidinas, mesmo após cinco extrações consecutivas.

O polimento também reduziu significativamente a concentração de fenólicos nos cultivares estudados (Tabela 23), estes resultados demonstram que, no arroz, os compostos fenólicos estão principalmente no pericarpo, entretanto o processo de polimento resulta na remoção das camadas mais externas do grão, reduzindo a concentração desses compostos no arroz polido. Diferentes estudos têm demonstrado o efeito do processamento no grão, incluindo o polimento e a germinação. O polimento reduz significativamente as concentrações de compostos fenólicos, pois estes estão localizados na camada mais externa do grão. O farelo contém entre 70 e 90% de ácidos fenólicos no grão de arroz de pericarpo castanho claro (ZHOU et al., 2004), e

aproximadamente 85% de antocianinas do grão de arroz de pericarpo preto (HU et al., 2003).

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).

2.4.2.7 Conteúdo de amilose aparente

O teor de amilose do arroz é um dos critérios mais importantes de qualidade do arroz em termos de propriedades culinárias.

Na Tabela 24 podem ser observados os valores de amilose aparente nos grãos de arroz biofortificado cru e cozido.

Tabela 24 - Médias e desvio padrão obtido para o arroz biofortificado cru e cozido para teor de amilose aparente do amido de arroz

TRATAMENTOS ARROZ	AMILOSE (%)
Zebu integral cru	10,62 ± 1,8 ^{1ef}
Chorinho integral cru	9,83 ± 0,3 ^f
Vermelho integral cru	12,24 ± 0,4 ^{def}
Zebu polido cru	14,61 ± 1,3 ^{bcd}
Chorinho polido cru	13,53 ± 0,0 ^{cde}
Vermelho polido cru	14,67 ± 0,5 ^{bcd}
Zebu integral cozido	13,34 ± 0,8 ^{cde}
Chorinho integral cozido	14,45 ± 0,0 ^{bcd}
Vermelho integral cozido	17,35 ± 0,0 ^{ab}
Zebu polido cozido	15,20 ± 0,0 ^{bcd}
Chorinho polido cozido	15,89 ± 0,1 ^{abc}
Vermelho polido cozido	18,90 ± 0,0 ^a

¹Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%

Nota-se pela Tabela 24 que houve diferença significativa entre as variedades, sendo a porcentagem de amilose maior no arroz vermelho polido cozido e a menor porcentagem no arroz chorinho integral, apresentando valores 18,90% e 9,83%,

respectivamente. Observa uma tendência no aumento da porcentagem de amilose quando o arroz é cozido.

Segundo Elias et al. (2003), a variação nos teores de amilose e amilopectina não afeta o valor nutritivo do arroz, mas influi grandemente nas qualidades culinárias, de tal forma que quanto maior for o teor de amilose, tanto mais secos e mais separados ficarão os grãos depois de cozidos.

O teor de amilose pode variar de 3% a 33%. As cultivares se classificam quanto ao teor de amilose aparente em de baixo teor ($< 20\%$), os grãos com teor intermediário (20% a 25%) e o de alto teor ($> 25\%$) (CHANDLER, 1984; KUMAR; KHUSH, 1987; GUIMARÃES, 1989; PEREIRA, 2004). Todas as amostras avaliadas podem ser classificadas como baixo teor de amilose.

Segundo Bôeno (2008) cultivares com baixo teor de amilose apresenta grãos aquosos e pegajosos no cozimento (o preferido pelo consumidor de arroz-vermelho); com alto teor, apresentam grãos secos, soltos e duros após o resfriamento, enquanto com teor intermediário (o preferido pelo consumidor brasileiro de arroz branco) têm grãos pouco aquosos, soltos e macios, mesmo após o resfriamento.

Segundo Gonzalez, Livore e Pons (2007) o arroz com maior teor de amilose e com amilopectina de cadeia mais longa, tende a apresentar propriedades de cozimento com textura mais dura, enquanto que o arroz com menor teor de amilose e menor cadeia de amilopectina tender a apresentar uma textura mais suave e macia após o cozimento.

Zanão et al. (2009) analisou o teor de amilose em arroz cru submetido a diferentes doses de irradiação e obteve valores que variaram de 17,3 a 18,9%. Dados semelhantes aos encontrados em nosso estudo utilizando-se a mesma metodologia e avaliando arroz biofortificado cru e cozido.

2.4.2.8 Propriedades de pasta

A viscosidade é uma das propriedades mais importantes dos materiais amiláceos. A curva de viscosidade representa o seu comportamento durante o aquecimento e permite avaliar as características da pasta formada por causa das modificações

estruturais da molécula de amido e, também, a tendência à retrogradação, durante o resfriamento. Essas características determinam as propriedades funcionais das matérias-primas amiláceas e suas diversas aplicações industriais (MENEGASSI et al., 2007). Para a avaliação rápida da cocção e propriedades de processamento de cereal, amido e seus produtos, o RVA é uma ferramenta útil porque pode ser realizada durante um curto tempo de análise e uma quantidade pequena de amostra (JACOBS et al., 1995). Em nosso estudo, avaliamos as propriedades de pasta do arroz utilizando o RVA.

Os pontos críticos de viscosidade extraídos dos perfis de viscosidade do arroz são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Propriedades de pasta das amostras de arroz biofortificado cru e cozido

ARROZ CRU	Pico Viscosidade máx. (RVU)	Quebra (RVU)	Viscosidade Final (RVU)	Tendência Retrogradaç ão (RVU)	Tempo pico (min.)	Temp. pasta (°C)
Zebu int.	137,5±14,8 ^e	38,6±7,3 ^c	202,1±20,7 ^c	64,6±5,9 ^b	6,4±0,0 ^{abc}	88,3±2,0 ^b
Chorinho int.	88,1±7,1 ^e	14,0±4,1 ^{de}	147,5±10,9 ^d	59,3±3,7 ^b	6,7±0,1 ^{ab}	94,0±1,1 ^a
Vermelho int.	70,3±4,0 ^a	2,1±0,6 ^{de}	96,9±4,2 ^e	26,5±0,2 ^c	7,0±0,0 ^c	94,2±0,7 ^a
Zebu pol.	212,7±4,1 ^{cd}	76,4±4,5 ^a	268,5±2,9 ^{ab}	55,7±3,5 ^b	6,1±0,0 ^{abc}	83,6±0,6 ^c
Chorinho pol.	186,0±13,9 ^{ab1}	54,9±7,6 ^b	281,0±11,5 ^a	94,9±3,0 ^a	6,4±0,0 ^{bc}	88,3±0,4 ^b
Vermelho pol.	154,8±29,4 ^{bc}	6,9±6,8 ^{de}	220,8±47,2 ^{bc}	66,0±17,9 ^b	6,8±0,1 ^{ab}	92,1±0,9 ^a
ARROZ COZIDO						
Zebu int.	94,1±5,8 ^e	11,4±2,1 ^{de}	103,8±6,9 ^{de}	9,7±2,9 ^{cd}	5,4±0,1 ^{ad}	67,5±0,4 ^d
Chorinho int.	68,8±6,4 ^e	8,0±2,9 ^{de}	76,8±4,9 ^e	7,9±1,5 ^d	5,6±0,1 ^d	68,2±0,3 ^d
Vermelho int.	18,2±2,0 ^e	0,1±0,2 ^e	24,6±2,9 ^f	6,41±1,0 ^d	6,9±0,0 ^{ab}	-
Zebu pol.	103,6±10,0 ^{de}	16,3±7,6 ^d	115,8±6,6 ^{de}	12,2±3,6 ^{cd}	5,4±0,4 ^d	67,9±0,5 ^d
Chorinho pol.	99,7±13,0 ^e	11,3±4,0 ^{de}	114,2±12,2 ^{de}	14,3±1,2 ^{cd}	5,2±0,1 ^d	68,0±0,1 ^d
Vermelho pol.	22,5±1,3 ^e	-0,08 ^e	28,5±1,5 ^f	6,0±0,5 ^d	6,9±0,0 ^{ab}	-

Notas int.- integral; pol.- polido.

¹ Média ± Desvio Padrão

² Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%

A variação da temperatura de pasta entre os cultivares foi de 67,53 (arroz zebu integral cozido) a 94,21°C (arroz vermelho integral cru) (Tabela 25), no arroz vermelho cozido polido e integral não houve temperatura de pasta devido à baixa viscosidade apresentada. O tempo de pico variou entre 5,44 minutos e 7 minutos, sendo o arroz

zebu integral cozido, o de menor tempo e o arroz integral vermelho cru o com maior tempo.

A temperatura de pasta indica a mínima temperatura necessária para o cozimento de uma determinada amostra, o que pode ter implicações na estabilidade de outros componentes presentes em uma formulação e também indica a energia ser consumida neste processo (NEWPORT, 1995). Assim, variações nesse parâmetro podem alterar a qualidade dos alimentos bem como os custos com a energia gasta nos processos. No presente estudo pode-se observar tendência à redução da temperatura de pasta nas amostras submetidas à cocção, em alguns não apresentando valor para a temperatura de pasta, como no caso das amostras de arroz vermelho cozido. O que se observa é que todos os arrozes cozidos apresentaram viscosidade menor do que o correspondente cru, pois o amido já foi gelatinizado com o cozimento do arroz e o comportamento acaba sendo diferente do amido sem gelatinizar (arroz cru), o que acontece é que o arroz vermelho perdeu muito da viscosidade, talvez algum componente desse arroz tenha interferido no amido, causando quebra das moléculas, ou fortalecendo a retrogradação da amilose (amilose fortemente retrogradada apresenta viscosidade baixa). Supõe-se que tenha ocorrido hidrólise ácida do amido durante o processo de cocção.

Zanão et al. (2009) analisando farinha de arroz irradiada e não irradiada, encontraram valores para temperatura de pasta que variavam de 88 a 91°C, resultados próximos ao apresetado na Tabela 25.

A viscosidade final é avaliada durante o ciclo de resfriamento e está relacionada com a retrogradação do amido. Os menores valores de viscosidade final podem ser obtidos em tratamentos mais severos (com menor umidade e maior temperatura, por exemplo), causando a degradação do amido, e conseqüentemente a perda da capacidade de retrogradação (SILVA, 2007).

Em nosso estudo, houve diferença significativa nos valores de viscosidade final para os tratamentos, observa-se que o menor valor para viscosidade final foi encontrado no arroz vermelho integral cru ($96,94 \pm 4,25$ RVU). Em seu estudo, Zanão et al. (2009) avaliando farinha de arroz obtiveram viscosidade final na faixa de 107 a 370 RVU.

Com relação à viscosidade máxima atingida, nota-se redução quando a amostra foi cozida. Segundo Sung (2005) a redução de viscosidade do arroz, como a observada durante seu armazenamento, é interessante do ponto de vista culinário. Essa passa ser a razão pela qual a indústria tenha preferência em usar arroz mais velho para fazer produtos de derivados de arroz. Em seu estudo, o arroz velho que foi armazenado por um ano foi menos pegajoso durante o cozimento.

Os grânulos inchados fraturam resultando em uma diminuição de viscosidade. A quebra indica a facilidade com que os grânulos inchados se desintegram durante o cozimento (SIRISOONTARALAK; NOOMHORN, 2006). O maior valor para quebra foi encontrado no arroz zebu polido cru ($76,47 \pm 4,57$) e o menor para o arroz vermelho integral cru ($2,1 \pm 0,6$). Quando a amostra foi submetida ao cozimento, houve redução nos valores, sendo que para a amostra do arroz vermelho polido cozido o valor de quebra foi negativo, provavelmente devido à hidrólise ocorrida durante o cozimento.

A tendência a retrogradação variou de 6 a 94,94 RVU, valores inferiores ao citados por Zanão et al. (2009), que obtiveram faixa para tendência a retrogradação de 11 a 168 RVU. Para Wu et al. (2002) o parâmetro retrogradação é freqüentemente usado como indicador da firmeza de arroz cozido. Valores mais altos indicam textura mais firme. A retrogradação acontece mais rapidamente em amido de arroz com alto conteúdo de amilose e durante o armazenamento a baixa temperatura (ZULETA et al., 2006).

Embora na literatura haja correlação entre viscosidade máxima e o teor de amilose, no presente trabalho isso não foi observado.

2.4.2.9 Análise instrumental da cor

Para melhor interpretação dos resultados a Figura 9 mostra o diagrama de cromaticidade. No espaço de cores $L^*a^*b^*$, o L^* indica a luminosidade, enquanto que o a^* e o b^* , representam as coordenadas cromáticas. Nesse diagrama o a^* e o b^* indicam direções das cores: sendo $+a^*$ a direção do vermelho, $-a^*$ a direção do verde, $+b^*$ a direção do amarelo e $-b^*$ a direção do azul. O centro é acromático. Com o aumento dos valores de a^* e b^* , o ponto se distancia do centro e a saturação da cor

aumenta. A tonalidade (Hue) é o termo usado para classificações de vermelho, amarelo, azul, etc. Por definição o ângulo Hue se inicia no eixo do croma a^* e é expresso em graus, onde 0° seria mais $+a^*$ (vermelho), 90° seria $+b^*$ (amarelo), 180° seria $-a^*$ (verde) e 270° seria $-b^*$ (azul) (MINOLTA, 1997).

Figura 9 - Diagrama de cromaticidade a^* e b^* (MINOLTA, 1997)

Segundo Ferreira, Méndez Del Villar e Almeida (2005) a translucidez e a aparência do grão são os aspectos mais importantes para o consumidor. A translucidez está relacionada com a propriedade do grão de arroz se deixar atravessar pela luz, permitindo a visão ou distinção de imagens ou objetos através de sua espessura. Já a aparência do grão está relacionada com a presença de áreas opacas, manchas e imperfeições causadas por picada de insetos ou doenças, que depreciam o produto. Sabendo disso, apresentamos na Tabela 26 mostra os parâmetros de cor L , a^* , b^* , c^* e H° em arroz (*Oryza sativa*) biofortificado polido e integral, em sua forma crua ou cozida.

Tabela 26 - Cor instrumental em arroz (*Oryza sativa*) biofortificado cru e cozido

CRU	L	H ^a	Croma
Arroz Zebu integral	71,11±1,0 ^{c12}	84,19±0,1 ^d	22,41±2,8 ^a
Arroz Chorinho integral	64,88±1,5 ^d	86,04±0,7 ^d	19,89±2,5 ^{ab}
Arroz vermelho integral	39,8±1,5 ^f	52,40±2,3 ^g	20,6±0,5 ^a
Arroz zebu polido	78,22±0,6 ^b	92,62±0,8 ^{abc}	12,35±1,1 ^c
Arroz chorinho polido	77,97±0,1 ^b	93,51±0,6 ^{ab}	9,33±0,2 ^{cd}
Arroz vermelho polido	57,98±4,1 ^e	65,58±2,9 ^e	18,23±2,5 ^{ab}
COZIDO			
Arroz Zebu integral	90,8±0,6 ^a	87,49±0,3 ^{cd}	9,37±0,4 ^{cd}
Arroz Chorinho Integral	89,96±0,9 ^a	89,00±0,8 ^{bcd}	9,41±0,3 ^{cd}
Arroz Vermelho Integral	70,85±1,2 ^{cd}	59,91±0,5 ^f	14,29±1,1 ^{bc}
Arroz Zebu polido	91,51±1,3 ^a	94,78±1,0 ^a	6,42±0,4 ^d
Arroz Chorinho Polido	91,13±0,0 ^a	96,14±0,4 ^a	4,39±0,0 ^d
Arroz Vermelho Polido	82,69±0,9 ^b	64,93±1,7 ^{ef}	9,96±0,2 ^{cd}

¹ Média ± Desvio Padrão

² Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%

No caso desse trabalho, observa-se na Tabela 26, que o valor L expressa a luminosidade da amostra e varia de 0 a 100, sendo que, quanto mais próximo de 100, mais clara é a amostra, e quanto mais distante, mais escura, havendo diferença significativa da luminosidade das amostras. Com a cocção ocorreu o aumento do valor de L, indicando que as amostras ficaram mais claras. O arroz mais escuro após a cocção foi o vermelho integral, devido a sua cor característica que apresenta menos luminosidade que as amostras de zebu e chorinho. Já quando cru a luminosidade do arroz vermelho foram as mais baixas, diferindo das demais. A comparação entre zebu e chorinho indica que o zebu é mais claro, com diferença significativa quando cru na forma integral.

O croma foi maior para as amostras de arroz zebu integral cru (22,41) e arroz vermelho integral cru (20,6). O croma define a intensidade da cor, valores próximos a zero para cores neutras e ao redor de 60 para cores vividas, sendo valores maiores de croma signifcam maior intensidade da cor (McGUIRE, 1992). Segundo Walter, Marchezan e Avila (2008), a cor também está relacionada à concentração de fenólicos no grão, que normalmente é maior em grãos com pericarpo vermelho e preto.

Considerando a interação entre compostos fenólicos e o parâmetro croma no arroz cru (Tabela 27), observa-se correlação alta e positiva (0,74), ou seja, diretamente proporcional, levando em conta o estudo de Walter; Marchezan e Avila (2008) nota-se que quanto maior o conteúdo de compostos fenólicos no arroz, maior será o valor do croma. O mesmo foi observado para o parâmetro croma do arroz cozido, a correlação positiva e alta.

Tabela 27 - Coeficiente de Correlação de Pearson e respectivas probabilidades estatísticas entre fenólicos e croma no arroz cru e cozido

X	Y	Coeficiente de Pearson	P value
Fenólicos	Croma no arroz cru	0,7409	0,0058
Fenólicos	Croma no arroz cozido	0,7476	0,0052

O efeito da temperatura favorece os processos de escurecimento, como o escurecimento enzimático, a reação de Maillard e a caramelização (SOUZA et al., 2003). A tendência ao escurecimento também é atribuída ao tempo de processamento e exposição à luz, ou ao menor grau de maturação da amostra em relação às demais (MACDOUGALL, 2002). Segundo Matuska, Lenart e Lazarides (2006), um processo que utiliza altas temperaturas (maior que 50°C) resulta na degradação da cor de acordo com o tempo. Sendo assim, os valores de L^* tendem a se elevar quando são utilizadas estas temperaturas. O maior valor para L^* foi encontrado no arroz zebu polido cozido (91,51) e o menor para o arroz vermelho integral cru (39,8).

Tanto os valores dos parâmetros croma quanto os valores do parâmetro L^* , estão próximos aos mencionados no estudo de Zanão et al. (2009), que encontrou para arroz polido cru irradiado e não irradiado faixas para croma de 95,17 a 96,53 e para o parâmetro L^* faixas de 67,93 até 71,30

O ângulo Hue é entre a^* e b^* , indicando a saturação da cor do objeto. Com relação ao ângulo H° , observamos que houve diferença significativa entre as amostras, sendo em sua maioria o valor maior quando o arroz foi submetido ao cozimento. Foram encontrados os maiores valores para o arroz chorinho polido ($96,14 \pm 0,43$), seguido do arroz zebu polido ($94,78 \pm 1,04$). Segundo estudo realizado por Zanão et al. (2009) com arroz polido cru, submetidos a diferentes doses de irradiação, o valor para L variou de

67,93 a 71,30. Já para o croma encontrou valores na faixa de 10 até 14,05 sendo maior quando se aumentava a dose de irradiação. Para o parâmetro H° variou de 95,17 a 96,53 valores esses próximos aos encontrados neste trabalho. Em relação a esses valores de ângulo, quanto mais distantes de 90° , representam colorações mais verdes, e quanto mais próximas de 90° , mais amareladas são as amostras (McGUIRE, 1992).

3 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que:

a) Experimento I

- As concentrações de fósforo e zinco no solo influenciaram na quantidade de minerais, aumentando o teor conforme se aumentou o fertilizante.
- Maiores quantidades de fitatos foram encontrados no solo argiloso e arenoso quanto submetido à adubação de zinco.
- A porcentagem de dialisado foi maior no solo arenoso, porém sem comprovação estatística.

b) Experimento II

- 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.
- A cocção influenciou de modo expressivo na composição em nutrientes destes alimentos, diminuindo o conteúdo dos mesmos em sua maioria.
- As concentrações de fenólicos sofreram influência da cocção, sendo a sua quantidade reduzida no arroz cozido.
- O arroz vermelho apresenta maiores quantidade de fenólicos quando comparado com os outros cultivares.
- Os fitatos sofreram influência da temperatura, sendo o valor maior no grão cozido.
- O teor de vitaminas no grão biofortificado foi maior no grão integral do que no polido, sendo o valor reduzido após cocção.
- Com relação aos parâmetros de qualidade (conteúdo de amilose, propriedade de pasta e cor) do grão biofortificado, os valores estão próximos ao encontrado na literatura, não sendo o processo de biofortificação interferente nesses parâmetros.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo partiu da necessidade de se conhecer, a influência das diferentes adubações, cultivo do arroz em diferentes tipos de solo e diferentes genótipos na composição do grão, ou seja, parte comestível da planta, a fim de se criar uma interface entre a nutrição humana e a nutrição das plantas.

Os resultados encontrados referentes ao teor de ácido fítico no projeto I demonstram relação direta entre o efeito da adubação com maiores quantidades no teor de fósforo do solo e o teor de ácido fítico no cereal.

O conteúdo mineral de ferro e zinco pode ter sido influenciado pelas condições de cultivo, incluindo a fertilização e as condições do solo. Sendo o solo argiloso o que reteve maior quantidade de minerais, tornando o mineral menos disponível para planta.

A cor da superfície do grão é diretamente influenciada pelo nível de mineral depositado sobre a superfície e/ou na camada superior de células do endosperma. No experimento I, notou-se coloração diferenciada e intensificada conforme aumentou-se a dosagem de fertilizante e tipo de solo cultivado.

No estudo, notou-se que a adubação do solo interfere na quantidade de dialisado *in vitro* sendo mais expressiva quanto maior a dose. Houve interferência dos fitatos nos teores de diálise dos minerais Ca, Fe, Mg e Zn. Notando-se que quando os valores de fitatos são maiores, a diálise apresenta menores valores.

Já no projeto II, com arroz biofortificado, o tipo de beneficiamento sofrido influenciou a composição nutricional dos cultivares de arroz, sendo que o arroz integral apresentou teores de fibra e minerais significativamente mais elevados do que o arroz branco.

Para o conteúdo de fenólicos, os maiores valores são em grãos integrais e com pericarpo escuro, sofrendo redução quando submetido à cocção. Diferentemente dos fitatos que não sofreram redução após as amostras serem cozidas. Com relação às vitaminas, os valores estão dentro dos citados na literatura e reafirmam o já esperado obtendo-se menores valores quando o arroz é cozido.

O conteúdo de amilose, a propriedade de pasta e a cor são parâmetros importantes na qualidade do grão.

Por fim, o estudo reforça a importância da criação da interface entre a nutrição de plantas e a nutrição humana, visando à obtenção de melhores alimentos para o consumo humano, com melhor qualidade nutricional.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINI, T.S. **Desenvolvimento de metodologia para determinação simultânea, por CLAE, das vitaminas B₁, B₂, B₆, ácido nicotínico e nicotinamida em alimentos enriquecidos**. 1996. 183 p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.
- AGTE, V.V.; JOSHI, S.R. Effect of traditional food processing on phytate degradation in wheat and millets. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 45, n. 5, p. 1659- 1661, 1997.
- ALLOWAY, B.J. (Ed.). **Micronutrient deficiencies in global crop production**. New York: Springer, 2008. 353 p.
- AMAYA-FARFAN, J.; DOMENE, S.M.A.; PADOVANI, R.M. DRI: síntese comentada das novas propostas sobre recomendações nutricionais para antioxidantes. **Revista de Nutrição da PUCCAMP**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 71-78, 2001.
- ANICETO, C.; CANAES, L.S.; FATIBELLO-FILHO, C. Determinação espectrofotométrica de vitamina B₂ (riboflavina) em formulações farmacêuticas empregando sistema de análises por injeção em fluxo. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 5, p. 637-640, set./out. 2000.
- ARRUDA, V.A.S. **Estabilidade de vitaminas do complexo B em pólen apícola**. 2009. 121 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 16th ed. Washington, 2006. v. 2.
- BAÑUELOS, G.S.; LIN, Z.Q. **Development and uses of biofortified agricultural products**. Boca Raton: CRC Press, 2008. 297 p.
- BARBER, R.S. Milled rice and changes during storage. **Rice Chemistry and Technology**, Minnesota, v. 20, p. 215-263, 1972.
- BARRUETO-GONZÁLEZ, N.B. **Biodisponibilidade de cálcio, magnésio, cobre e zinco na soja (*Glycine max*) e em novas variedades de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*), obtidas por melhoramento genético clássico e sua relação com fatores antinutricionais não protéicos**. 2007. 122 p. Tese (Doutorado em Nutrição Básica Experimental e Aplicada à Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- BEARD, J.L.; DAWSON, H.; PIÑERO, D.J. Iron metabolism: a comprehensive review. **Nutrition Reviews**, Pennsylvania, v. 54, n. 10, p. 295-317, 1996.

BECKMAN, C.H. Phenolic-storing cells: keys to programmed cell death and periderm formation in wilt disease resistance and in general defence responses in plants?

Physiological and Molecular Plant Pathology, London, v. 57, n. 3, p. 101-110, 2000.

BEHALL, K.M.; SCHOLFIELD, D.J.; HALLFRISCH, J. Whole-grain diets reduce blood pressure in mildly hypercholesterolemic men and women. **Journal of the American Dietetic Association**, Beltsville, v. 106, p. 1445-1449, 2006.

BIANCHI, M.L.P. **Biodisponibilidade de ferro em produtos industrializados de soja**. 1988. 187 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

BIANCHI, M.L.P.; SILVA, H.C.; DUTRA DE OLIVEIRA, J.E. Considerações sobre a biodisponibilidade do ferro dos alimentos. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Venezuela, v. 42, n. 2, p. 94-100, 1992.

BÔENO, J.A. **Caracterização da qualidade de grão de diferentes genótipos de arroz vermelho (*Oryza sativa* L.)**. 2008. 121 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e Tecnológicas) – Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2008.

BOUIS, H.E. Economics of enhanced micronutrient density in food staples. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 66, n. 1/2, p. 165-173, 1999.

BRIGIDE, P.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G. Antinutrients and *in vitro* availability of iron in irradiated common beans (*Phaseolus vulgaris*). **Food Chemistry**, Oxford, v. 98, n. 1, p. 85-89, Jan. 2006.

BUERKERT, A.; HAAKE, C.; RUCKWIED, M.; MARSCHNER, H. Phosphorus application affects the nutritional quality of millet grain in the Sahel. **Field Crops Research**, Stuttgart, v. 57, p. 223–235, 1998.

BURBANO, C.; MUZQUIZ, M.; OSAGIE, A.; AYET, G.; CUADRADO, C. Determination of phytate and lower inositol phosphates in spanish legumes by HPLC methodology. **Food Chemistry**, Barking, v. 52, n. 3, p. 321- 325, 1995.

BUTLER, L.G. New perspective on the antinutritional effect of tannins. In: KINSELLA, J.E.; SOUCIE, B. **Food products**. Champaing: American Oil Chemistry Society, 1989. chap. 22, p. 402-409.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 302, n. 1/2, p. 1-17, 2008.

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

CHAMPAGNE, E.T.; WOOD, D.F.; JULIANO, B.O.; BECHTEL, D.B. **Rice: chemistry and technology**. 3rd ed. Houston: The American Association of Cereal Chemists, 2004. p. 77-107.

CHANDLER, R.F. **Arroz en los trópicos**. São José: IICA, 1984. 280 p.

CHEIGH, H.S.; RYU, J.H.; JO, J.S.; KWON T.W. Nutritional losses during washing and cooking of rice. **Grains Journal**, Taiwan, v. 6, p. 36–42, 1982.

CHEN, H.; SIEBENMORGEN, T.J. Effect of rice kernel thickness on degree of milling and associated optical measurements. **Cereal Chemistry**, Fayetteville, v. 74, p. 821–825, 1997.

COOK, J.D.; REDDY, M.B.; BURRI, J.; JUILLERAT, M.A.; HURRELL, R.F. The influence of different cereal grains on iron absorption from infant cereal foods. **American Journal of Clinical Nutrition**, Kansas, v. 65, p. 964–969, 1997.

CORREA, P. The role of antioxidants in gastric carcinogens. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 35, n.1/2, p.59-64, 1995.

CRAIG, I.D.; ASHBY, C.W.; BROWN, I.; CROSBY, N.T.; GUFOGG, S.; HENDERSON, K.; HIND, C.; JAMES, K.; JENKINSON, D.; JONES, A.; JOIYCE, N.; LANGRIDGE, E.W.; MERSON, G.H.; MOULER, A.A.; NUTTAL, R.T.; PATEL, I.; REVETT, S.; WAGLAND, A.A.; WILSON, J.J. Determination of thiamine and riboflavin in pet foods and animal feedingstuffs, **Analyst**, London, v. 125, p. 353- 360, 2000.

CUNEO, F.; FARFAN, J.A.; CARRARO, F. Distribuição dos fitatos em farelo de arroz estabilizado e tratado com fitase exógena. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612000000100018>. Acesso em: 14 fev. 2007.

DESHPANDE, S.S.; DAMODARAN, S. Food legumes: chemistry and technology. **Advances in Cereal Science and Technology**, Manhattan, v. 10, p. 147-241, 1990.

DESHPANDE, S.S.; CHERYAN, M. Determination of phenolic compounds of dry beans using vanilin, redox and precipitation assays. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 52, n. 2, p. 332-334, 1987.

DIBB, D. W.; ROBERTS, T.L.; WELCH, R.M. From quantity to quality – the importance of fertilizers in human nutrition. In: INTERNATIONAL PLANT NUTRITION COLLOQUIUM, 15., 2005, Beijing. **Proceedings...** Beijing: IFPRI, 2005. p. 20-25.

DOMÍNGUEZ, B.M.; GÓMEZ, M.V.I.; LEÓN, F.R. Ácido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analítica. **ALAN**, Caracas, v. 52, n. 3, p. 219-231, set. 2002.

DUHAN, A.D.; KHETARPAUL, N.; BISHNOI, S. Content of phytic acid and HCL extractability of calcium, phosphorus and iron affected by various domestic processing and cooking methods. **Food Chemistry**, London, v. 78, n. 1, p. 9-14, 2002.

EC SCIENTIFIC COMMITTEE FOR FOOD REPORT. **Nutrient and energy intakes for the European Community**. Luxembourg: Directorate-General, Industry, 1993. 255 p.

ELIAS, M.C.; CONRAD, V.J.D., AOSANI, E.; OLIVEIRA, M. ArrozL gerenciamento operacional define a qualidade. **Seed News**, Pelotas, v. 7, n. 4, p. 12-14, 2003.

EMBRAPA. Arroz e Feijão, 2004. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br>>. Acessado em: 19 set. 2009.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Associates, 2004. 400 p.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Agricultural Research Service. **National nutrient database for standard reference: release 14**. Washington, 2001.

ESTUDO NACIONAL DA DESPESA FAMILIAR. **Consumo alimentar: despesas das famílias**. 5. ed. Rio de Janeiro, 1999. 127 p.

FAO. **Statistical databases**, 2006. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 10 abr. 2010.

FAULDS, C.B.; WILLIAMSON, G. The role of hydroxycinnamates in the plant cell wall). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Norwich, v. 79, n. 3, p. 393-395, 1999.

FERREIRA, C.M.; MÉNDEZ DEL VILLAR, P.; ALMEIDA, P.N.A. Qualidade e utilização das principais cultivares de arroz de terras altas. **Desenvolvimento tecnológico e dinâmica da produção de arroz de terras altas no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. p. 37-50.

FERREIRA, F.A.G. **Nutrição humana**. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1983. 1291 p.

FINOCCHIARO, F.; FERRARI, B.; GIANINETTI, A.; DALL'ASTA, C.; GIANNI GALAVERNA, G.; SCAZZINA, F.; PELLEGRINI, N. Characterization of antioxidant compounds of red and white rice and changes in total antioxidant capacity during processing. **Molecular Nutrition Food Research**. Fiorenzuola d'Arda, v. 51, p. 1006–1019, 2007.

FORBES, R.M.; PARKER, H.M.; ERDMAN, J.W. Effects of dietary phytate, calcium and magnesium levels on zinc bioavailability to rats. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 114, n. 8, p. 1421-1425, 1984.

FRANZ, K.B.; KENNEDY, B.M.; FELLERS, D.A. Relative bioavailability of zinc from selected cereals and legumes using rat growth. **Journal of Nutrition**, Berkeley, v. 110, n. 11, p. 2272-2283, 1980.

GAMA, T.M.M.T.B.; MASSON, M.L.; HARACEMIV, S.M.C.; ZANETTE, F.; CÓRDOVA, K.R.V. A influência de tratamentos térmicos no teor de amido, cor e aparência microscópica de pinhão nativo (*Araucaria angustifolia*) e pinhão proveniente de polinização controlada. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**. Joinville, v. 4, n. 2, p. 161-178, 2010.

GARROW, J.S.; JAMES, W.P.T.; RALPH, A. **Human nutrition and dietetics**. 10th ed. London: Churchill Livingstone, 2000. 912 p.

GARVIN, D.F.; WELCH, R.M.; FINLEY, J.W. Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentrations of US hard red winter wheat germplasm. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Minnesota, v. 86, n. 13, p. 2213-2220, 2006.

GIBSON, R.S. Content and bioaccessibility of trace elements in vegetarian diets. **American Journal of Clinical Nutrition**, Ontario, v.59, p. 1223S–1232S, 1994.

GIBSON, R.S.; HOTZ, C.; TEMPLE, C.; YEUDALL, F.; MTITIMUNI, B.; FERGUSON, E. Dietary strategies to combat deficiencies of iron, zinc, and vitamin A in developing countries: development, implementation, monitoring, and evaluation. **Food and Nutrition Bulletin**, Malawi, v. 21, p. 219-231, 2000.

GLAHN, R.P.; CHENG, Z.; WELCH, R. M. Comparison of iron bioavailability from 15 rice genotypes: studies using an *in vitro* digestion/caco-2 cell culture model. iron bioavailability of rice. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Ithaca, v. 50, n. 12, p. 3586-3591, 2002.

GOFFMAN, F.D.; BERGMAN, C.J. Total phenolics and radical efficiency of rice bran extracts. In: RICE TECHNICAL WORKSHOP GROUP MEET, 2002, Little Rock. **Proceedings...** p. 29.

_____. Rice kernel phenolic content and its relationship with antiradical efficiency. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Beaumont, v. 84, n. 10, p. 1235-1240, 2004.

GOLDA, A.; SZYNIAROWSKI, P.; OSTROWSKA, K.; KOZIK, A.; RAPALA-KOZIK, M. Thiamine binding and metabolism in germinating seeds of selected cereal and legumes. **Plant Physiology and Biochemistry**, Cracow, v. 42, p. 187-195, 2004.

GOMES, A.S.; MAGALHÃES JUNIOR, A.M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 900 p.

GONZALEZ, L.; LIVORE, A.; PONS, B. Physico-chemical and cooking characteristics of some rice varieties. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 1, 2004. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-89132004000100010&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 14 fev. 2007.

GOPALAN, G.; RAMASASTRI, B.V.; BALASUBRAMANIAN, S.C. **Nutritive value of Indian foods**. New Delhi: Indian Council of Medical Research, 1999. p. 53-55.

GRAF, E.; ENPSOM, K.L.; EATON, J.W. Phytic acid: a natural antioxidant. **Journal of biological Chemistry**, Minnesota, v. 262, p. 11647-11650, 1987.

GRAHAM, R.D.; WELCH, R.M. Breeding for staple-food crops with high micronutrient density: long-term sustainable agricultural solutions to hidden hunger in developing countries. In: WELCH, R.M. (Ed). **Proceedings of the Agricultural strategies for micronutrients**, Washington: IFPRI, 1996. p. 73.

GRAHAM, R.D.; WELCH, R.M.; SAUNDERS, D.A.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; OUIS, H. E.; BONIERBALE, M.; HAAN, S.; BURGOS, G.; THIELE, G.; LIRIA, R.; MEISNER, C. A.; BEEBE, S.E.; POTTS, M.J.; KADIAN, M.; HOBBS, P.R.; GUPTA, R.K.; TWOMLOW, S. Nutritious subsistence food systems. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 92, p. 1-74, 2007.

GREGORIO, G.B.; DHARMAWANSA, S.; HTUT, H.; GRAHAM, R.D. Breeding for trace mineral density in rice. **Food and Nutrition Bulletin**, Boston, v. 21, n. 4, p. 382-386, 2000.

GREGORY, J.F. **Chemical changes of vitamins during food processing**. Chicago: Van Nostrand Reinhold Company, 1986. 514 p. (IFT Basic Symposium Series).

GRIST, D.H. Nutritional value of rice. In: _____. **Rice**. 5th ed. New York: Longman, 1978. chap. 19, p. 449-472.

GRYNSPAN, F.; CHERYAN, M. Phytate-calcium interactions with soy protein. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Champaign, v. 66, n. 1, p. 93-97, 1989.

GUIMARÃES, E.P. **Qualidade de grão em arroz**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1989. 14 p.

GUTOSKI, L.C.; ELIAS, M.C. Estudo da água de maceração de arroz a 60°C em diferentes condições e manejo. Instituto Rio-Grandense de Arroz – IRGA: **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 47, n. 414, p. 6-10, 1994.

HAO, H.; WEI, Y.; YANG, X.; FENG, Y.; WU, C. Effects of different nitrogen fertilizer levels on Fe, Mn, Cu and Zn: Concentrations in shoot and grain quality in rice (*Oryza sativa*). **Rice Science**, Hangzhou, v. 14, n. 4, p. 289-294, 2007.

HARVESTPLUS. **Desenvolvendo produtos agrícolas mais nutritivos**. Washington, 2004. 4 p.

_____. **Desenvolvendo produtos agrícolas mais nutritivos**. Washington, 2009. 4p.

HEINEMANN, R.J.B.; FAGUNDES, P.L.; PINTO, E.A.; PENTEADO, M.V.C.; LANFER-MARQUEZ, U.M. Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, New York, v. 18, n. 4, p. 287-296, 2005.

HEMALATHA, S.; PLATEL, K.; SRINIVASAN, K. Zinc and iron contents and their bioaccessibility in cereals and pulses consumed in India. **Food Chemistry**, Mysore, v. 102, p. 1328–1336, 2007.

HENRY, C.J.K.; MASSEY, D. Micro-nutrient changes during food processing and storage. **Crop post-harvest programme**. Issues Paper – 5. Dec. 2001. Disponível em: <http://www.cphp.uk.com/downloads/issue_paper_5.pdf>. Acesso em: 22 set. 2004.

HIRA, C.K.; KAUR, A.P. Phytate/zinc and phytate x calcium/ zinc ratios of common cereals, legumes and their combinations. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 30, n. 3, p. 213-215, 1993.

HOTZ, C.; BROWN, K. H. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations. **Food and Nutrition Bulletin**, Boston, v. 25, n. 1, p. S130-S162, 2004. Suppl. 2.

HU, C.; ZAWISTOWSKI, J.; LING, W.; KITTS, D.D. 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**, Vancouver, v. 51, n. 18, p. 5271-5277, 2003.

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**, Grand Forks, v. 50, p. 5229-5235, 2002.

HUNT, J.R.; JOHNSON, P.E.; SWAN, P.B. Dietary conditions influencing relative zinc availability from foods to the rat and correlations with *in vitro* measurements. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 117, n. 11, p. 1913-1923, 1987.

HURRELL, R.F.; COOK J.D. Strategies for iron fortification of foods. **Trends Food Science Technology**, Kansas, v. 1, p. 56–61, 1990.

HURRELL, R.F.; REDDY, M.B.; JUILLERAT, M.A.; COOK, J.D. Degradation of phytic acid in cereal porridges improves iron absorption by human subjects. **American Journal of Clinical Nutrition**, Lausanne, 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**, Cheju, v. 52, p.2213-2217, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estudo nacional da despesa familiar**: tabela de composição de alimentos. 5. ed. Rio de Janeiro, 1999. 137 p.

INTERNATIONAL NUTRITIONAL ANEMIA CONSULTATIVE GROUP. **Guidelines for the eradication of iron deficiency anemia**: a report of the International Nutritional Anemia Consultative Group. Washington, 1979. 29 p.

ITANI, T.; TAMAKI, M.; ARAI, E.; HORINO, T. Distribution of amylose, nitrogen, and minerals in rice kernels with various characters. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Hiroshima, v. 50, p. 5326–5332, 2002.

JACKSON, M.J. Assessment of the bioavailability of micronutrients. **European Journal Clinical Nutrition**, Liverpool, v. 51, n. 1, p. 1-2, 1997.

JACOBS, H.; ERLINGEN, R.C.; CLAUWAERT, W.; DELCOUR, J.A. Influence of annealing on the pasting properties of starches from varying botanical sources. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 72, p. 480–487, 1995.

JANG, S.J.; XU, Z. M. Lipophilic and hydrophilic antioxidants and their antioxidant activities in purple rice bran. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Louisiana, v. 57, p. 858–862, 2009.

JULIANO, B.O. Rice starch: production, properties and uses. In: WHISTLER, R.L.; MILLER, J.N.; PASCHALL, E.F. (eds.). **Starch**: chemistry and technology. 2.ed. Orlando: Academic Press, 1984. p. 507-527.

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. chap. 3, p. 17-57.

_____. **Rice in human nutrition**. Rome: FAO, 1993. Disponível em: <<http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/t0567e/t0567e00.htm>>. Acesso em: 01 mar. 2010.

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. chap. 2, p. 17-57.

KABATA-PENDIAS, A.; MUKHERJEE, A.B. **Trace elements from soil to human**. Berlin: Springer, 2007. 576 p.

KAIMOTO, A.M.; FERREIRA, S.M.R. Perfil da qualidade do arroz parboilizado adquirido num sistema de alimentação coletiva. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 15, p. 79-89, 2001.

KAMCHAN, A.; PUWASTIEN, P.; SIRICHAKWAL, P.P.; KONGKACHUICHAI, R. *In vitro* calcium bioavailability of vegetables, legumes and seeds. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 17, n. 3, p. 311-320, 2002.

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

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B.; NGUYEN, N. Nutrient impact assessment of rice in major rice-consuming countries. **International Rice Commission Newsletter**, Rome, v. 51, p. 33-42, 2002.

KHAN, T.N.; REDDY, N.S. Quality attributes of four rice varieties. **International Journal of Food Science and Technology**, Parbhani, v. 26, n. 2, p. 153–156, 1991.

KHATOON, N.; PRAKASH, J. Nutritional quality of microwave and pressure cooked rice (*Oryza sativa*) varieties. **Food Science and Technology International**, Mysore, v. 12, n. 4, p. 297–305, 2006.

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

KOIDE, T.; KAMEI, H.; HASHIMOTO, Y.; KOJIMA, T.; HASEGAWA, M. Antitumor effect of hydrolyzed anthocyanin from grape rinds and red rice. **Cancer Biotherapy and Radiopharmacology**, Nagoya, v. 11, n. 4, p. 273-277, 1996.

KOROLKOVAS, A.; BURCKHALTER, J.H.; **Química farmacêutica**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982. 783 p.

KUMAR, I.; KHUSH, G.S. Genetic analysis of different amylose levels in rice. **Crop Science**, Madison, v. 27, n. 6, p. 1167-1172, 1987.

LAMBERTS, L.; BIE, E.D.; VANDEPUTTE, G.E.; VERAVERBEKE, W.S.; DERYCKE, V.; MAN, W.D.; DELCOUR, J.A. Effect of milling on colour and nutritional properties of rice. **Food Chemistry**, Olen, Belgium, v. 100, n. 4, p. 1496–1503, 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, B.J.; HENDRICKS, D.G. Metal-catalyzed oxidation of ascorbate, deoxyribose and linoleic acid as affected by phytic acid in a model system. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 62, n. 5, p. 935-938, 1997.

LEKLEM, J.E. Vitamin B6. In: MACHLIN, L.J. (Ed.). **Handbook of vitamins**: nutritional, biochemical, and clinical aspects. 2nd ed. New York: M. Dekker, 1991. p. 341-392. (Food Science and Technology, 40).

LESTIENNE, I.; ICARD-VERNIERE, C.; MOUQUET, C.; PICQ, C.; TRECHÉ, S. Effects of soaking whole cereal and legumes seeds on iron, zinc and phytate contents. **Food Chemistry**, London, v. 89, n. 3, p. 421-425, 2005.

LI, J.; KANEKO, T.; QIN, L.Q.; WANG, J.; WANG, Y.; SATO, A. Long-term effects of high dietary fiber intake on glucose tolerance and lipid metabolism in GK rats: comparison among barley, rice, and cornstarch. **Metabolism**, Tamaho, v. 52, n. 9, p. 1206-1210, 2003.

LI, Y.; DIOSADY, L.L.; JANKOWSKI S. Stability of vitamin B1 in ultra rice in the presence of encapsulated ferrous fumarate. **Journal Food Science Nutrition**, Toronto, v. 59, p. 24-33, 2008.

LIANG, J. **Iron, zinc and phytic acid in rice from China**: wet and dry processing towards improved mineral bioavailability. 2007. 144 p. Thesis (PhD) - Wageningen University, Wageningen, 2007.

LII, C.; TSAI, M.; TSENG, K. Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. **Cereal Chemistry**, St Paul, v. 73, n. 4, p. 415-420, 1996.

LIMA-PALLONE, J.A.; CATHARINO, R.R.; GODOY, H.T. Folatos em brócolis convencional e orgânico e perdas no processo de cocção em água. **Química Nova**, Campinas, v. 31, n. 3, p. 530-535, 2008.

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

LIU, Z.H.; CHENG, F.M.; CHENG, W.D.; ZHANG, G.P. Positional variations in phytic acid and protein content within a panicle of japonica rice. **Journal of Cereal Science**, Hangzhou, v. 41, p. 297-303, 2005.

LUCAS, A.E.; BATES, C.J. Occurrence and significance of riboflavin deficiency and preterm infants. **Biol Neonate**, Cambridge, v. 52, p.113-118, 1987.

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

LUTEN, J.; CREWS, H.; FLYNN, A.; VAN DAEL, P.; KASTENMAYER, P.; HURRELL, R.; DEELSTRA, H.; SHEN, L.; FAINVEATHER-TAIT, S.; HICKSON, K.; FARRÉ, R.; SCHLEMMER, U.; FRARHLICH, W. Interlaboratory trial on the determination of the *in vitro* iron dialysability from food. **Journal of Science of Food and Agriculture**, Amsterdam, v. 72, p. 415-424, 1996.

LYON, B.G.; CHAMPAGNE, E.T.; VINYARD, B.T.; WINDHAM, W.R.; BARTON, F.E.; WEBB, B. D. Effects of degree of milling, drying condition and final moisture content on sensory texture of cooked rice. **Cereal Chemistry**, Athens, v. 76, p. 56–62, 1999.

MA, G. **Iron and zinc deficiencies in China**: existing problems and possible solutions. Wageningen: Wageningen University, 2007. 161 p.

MACDOUGALL, D.B. **Color in food**. Cambridge: CRC Press, 2002. 211 p.

MATUSKA, M.; LENART, A.; LAZARIDES, H.N. On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics minimal solids up take. **Journal of Food Engineering**, Warsaw, v. 72, n. 1, p. 85-91, 2006.

MAHAN, K.E.; ARLIN, M. **Krause**: alimentos, nutrição e dietoterapia. 8. ed. São Paulo: Roca, 1995. 1179 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. Nutrição de plantas, fertilidade do solo, adubação e a economia brasileira. In: LAPIDO, F.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes e sustentabilidade na agricultura**. Rio de Janeiro: CETEM, 2009. p. 1-26.

MALIWAL, B.P. *In vitro* methods to assess the nutritive value of leaf protein concentrate. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v. 31, n. 2, p. 315-319, 1983.

MANO, Y.; KAWAMINAMI, K.; KOJIMA, M.; OHNISHI, M.; ITO, S. Comparative composition of brown rice lipids (lipid fractions) of indica and japonica rices. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, Hokkaido, v. 63, n. 4, p. 619-626, 1999.

MARQUEZ, U.M. Ácidos fenólicos em genótipos de arroz. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 994-1002, out./dez. 2008.

MARTINEZ-DOMINGUEZ, B.M.; IBANEZ GÓMES, M.V.; RINCON LEON, R. Ácido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Córdoba, v. 52, n. 3, p. 219-231, 2002.

MASSARETTO, I.L. **Efeito do cozimento e ação dos compostos fenólicos de arroz integral na inibição da enzima de angiotensina I e da α -amilase**. 2009. 103 p.

Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos e Nutrição Experimental) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MATSUZAKI, A.; TAKANO, T.; SAKAMOTO, S.; KOBOYAMA, T. Relation between eating quality and chemical components in milled rice and amino acid contents in cooked rice. **Japanese Journal of Crop Science**, Tsukuba, v. 61, p. 561–576, 1992.

MECHI, R.; CANIATTI-BRAZACA, S.G.; ARTHUR, V. Avaliação química, nutricional e fatores antinutricionais do feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiado. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**. Campinas, v. 25, p. 109-114, jan./mar. 2005.

McGUIRE, R.G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, Alexandria, v. 21, p. 1254-1255, 1992.

McKEVITH, B. Nutritional aspects of cereals. **Nutrition Bulletin**, London, v. 29, n. 2, p. 111-142, June 2004.

MENDEZ, M.H.M.; DERIVI, S.C.N.; RODRIGUES, M.C.R.; FERNANDES, M.L. **Tabela de composição de alimentos**. Niterói: EDUFF, 1995. 41 p.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M.M.; ZAMBELLO DE PINHO, S. Efeito de parâmetros de extrusão na cor e propriedades de pasta da farinha de mandioca-salsa (*Aarracacia xanthorrhiza*). **Ciências Agrotecnológicas**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1780-1792, nov./dez. 2007.

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

MERCK INDEX. **Encyclopeia of chemicals and drugs and biologicals**. 11th ed. Rahway, 1989. 1175 p.

MERUSSE, J.L.B.; LAPICHIK, V.B.V. Instalações e equipamentos. In: COMISSÃO DE ENSINO DO COLÉGIO BRASILEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO ANIMAL. **Manual para técnicos em bioterismo**. 2. ed. São Paulo:EPM, 1996. 259 p.

MESSINA, M., BARNES, S. The role of soy products in reducing risk of cancer. **Journal of National Cancer Institute**, Bethesda, v.83, n.8, p.541-546, 1991.

MILLER, D.D. Minerals. In: FENNEMA, O.R. **Food chemistry**. 3rd ed. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 641-645.

MINOLTA. **Precise color communication**: color control from feeding to instrumentation. Tokyo, 1997. 49 p.

MIRA, N.V.M.; BARROS, R.N.C.; SHIOCCHET, M.A.; NOLDIN, J.R.; LANFER-MARQUEZ, U.M. Ácidos fenólicos em genótipos de arroz. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 994-1002, out./dez. 2008.

MORAES, M.F. Relação entre nutrição de plantas, qualidade de produtos agrícolas e saúde humana. **Informações Agrônômicas**, São Paulo, n.123, p. 21-23, 2008.

_____. **Micronutrientes e metais pesados tóxicos: do fertilizante ao produto agrícola**. 2009. 108 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MORAES, M.F.; BOARETTO, A.E. Contribuição da nutrição adequada para qualidade dos alimentos. In: SIMPÓSIO PAULISTA SOBRE NUTRIÇÃO DE PLANTAS APLICADA EM SISTEMAS DE ALTA PRODUTIVIDADE: DIAGNOSE FOLIAR EM HORTALIÇAS, 2010, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FCAV; FAPESP; CAPES; FUNDUNESP, 2010. p. 9-44.

MORAES, M.F.; NUTTI, M.R.; WATANABE, E.; CARVALHO, J.L.V. Práticas agrônômicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 1., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Editora da UFV, 2009. p. 299-312.

MORESCHI, E.C.P. **Desenvolvimento e validação de métodos cromatográficos e avaliação da estabilidade de vitaminas hidrossolúveis em alimentos**. 2006. 220 p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MORIMITSU, Y.; KUBOTA, K.; TASHIRO, T.; HASHIZUME, E.; KAMIYA, T.; OSAWA, T. Inhibitory effect of anthocyanins and colored rice on diabetic cataract formation in the rat lenses. **International Congress Series**, Oxford, v. 1245, p. 503-508, 2002.

MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1991. 760 p.

MURPHY, P.A. Technology of vitamin A fortification of foods in developing countries. **Food Technology**, Chicago, v. 50, p. 69–74, 1996.

MURPHY, K.M.; REEVES, P.G.; JONES, S.S. Relationship between yield and mineral nutrient concentrations in historical and modern spring wheat cultivars. **Euphytica**, Pullman, v. 163, n. 3, p. 381-390, 2008.

NAM, S.H.; CHOI, S.P.; KANG, M.Y.; KOZUKUE, N.; FRIEDMAN, M. Antioxidative, antimutagenic, and anticarcinogenic activities of rice bran extracts in chemical and cell assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Albany, v. 53, p. 816-822, 2005.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrients requirements of dairy cattle**. 7th ed. Washington: National Academic Press, 2001. 381 p.

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

NEWPORT SCIENTIFIC. **Operation manual for series 4**: instructions manual. Warriewood, 1995.

_____. **Manual de operação RVA-4**. 1998.

NING, H.; LIU, Z.; WANG, Q.; LIN, Z. CHEN, S.; LI, G.; WANG, S.; DING, Y. Effect of nitrogen fertilizer application on grain phytic acid and protein concentrations in japonica rice and its variations with genotypes. **Journal of Cereal Science**, Nanjing, v. 50, p. 49–55, 2009.

NUTTI, M.R.; CARVALHO, J.L.V.M.; WATANABE, E. A biofortificação como ferramenta para combate a deficiências em micronutrientes. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE BIOLOGIA MÉDICA, 2005, Rio de Janeiro. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/media/Palestra10.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2010.

OATWAY, L.; VASANTHAN, T.; HELM, J.H. Phytic acid. **Food Reviews International**, New York, v. 17, p. 419-431, 2001.

O'DELL, B. L. Bioavailability of trace elements. **Nutrition Reviews**, Columbia, v. 42, p. 301–308, 1984.

OLOGHOBO, A.D.; FETUGA, B.L. Effect of processing on the trypsin inhibitor, haemagglutinin, tannic acid and phytic acid contents of seeds of tem cowpea varieties. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 61, n. 4, p. 261-264, 1984.

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**, Leicestershire, v. 21, p.251-260, 1995.

ORNELLAS, L.H. **Técnica dietética**: seleção e preparo dos alimentos. 6. ed. São Paulo: Atheneu, 1995. 194 p.

OTTAWAY, P.B. (Ed.). **The technology of vitamins in food**. London; New York: Blackie Academic e Professional, 1993. 265 p.

PAIK, H.T.; SHIM, J.E.; JOUNG, H.; NAM, G.; LEE, J.; SHIM, J.E. Bioavailable zinc intake of Korean adults in relation to the phytate content of Korean foods. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 17, p. 713-724, 2004.

PARK, J.K.; KIM S.; SANDKIM, K.O. Effect of milling ratio on sensory properties of cooked rice and on physicochemical properties of milled and cooked rice. **Cereal Chemistry**, Seongnam, v. 78, p. 151–156, 2001.

PECK, N.H.; GRUNES, D.L.; WELCH, R.M.; MacDONALD, G.E. Nutritional quality of vegetable crops as affected by P and zinc fertilizers. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 528-534, 1980.

PENTEADO, M.V.C. (Org.). **Vitaminas**: aspectos nutricionais, bioquímicos, clínicos e analíticos. São Paulo: Manole, 2003. 612 p.

PEREIRA, J. **Alterações na qualidade tecnológica de grãos de arroz (Oryza Sativa L.) durante o armazenamento**. 1996. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

PEREIRA, J.A. **O arroz-vermelho cultivado no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 90 p.

PESQUISA DO ORÇAMENTO FAMILIAR. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicao_de_vida/pof/2008_2009_analise_consumo/defaulttab_zip_alimentos.shtm>. Acesso em: 10 jan. 2012.

PHARMACOPÉE FRANÇAISE. **Codex français**. 8th ed. Paris, 1965. 1898 p.

PHILIPPI, S.T. **Tabela de composição de alimentos**: suporte para decisão nutricional. 2. ed. São Paulo: Coronário, 2002. 133 p.

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, June 2003.

PRESOTO, A.E.F.; ALMEIDA-MURADIAN, L.B. Analysis of water-soluble vitamins and iron in oat flours used as raw material in dry cereal food enriched. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF NUTRITION, 2005, Durban. **Abstracts...** p. 18.

_____. Validação de métodos cromatográficos por CLAE para análise das vitaminas B₁, B₂, B₆ e niacina naturalmente presentes em farinha de cereais. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 498-502, 2008.

REDDY, N.R.; SATHE, S.K.; SALUNKHE, D.K. Phytates in legumes and cereal. **Advances in Food Research**, San Diego, v. 28, p. 1-92, 1982.

RESURRECCION, A.P.; JULIANO, B.O.; TANAKA, Y. Nutrient content and distribution in milling fractions of rice grain. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Laguna, v. 30, p. 475-481, 1979.

ROBERTO, T. S.; MAGNONI, D.; CUKIER, C. **Aplicações Clínicas das Vitaminas do Complexo B**, 2012. Disponível em

<http://www.amway.com.br/downloads/misc/vitaminas_complb_imen.pdf> Acesso em: 13 abril 2012.

SÁ, M.E.; BUZZETI, S. **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994. 433 p.

SANDBERG, A.S. Bioavailability of mineral in legumes. **British Journal Nutrition**. Göteborg, v. 88, suppl. 3, p. S281-285, 2002.

SANDBERG, A.S.; ROSSANDER-HULTEN, L.; TURK, M. Dietary *Aspergillus niger* phytase increases iron absorption in humans. **Journal of Nutrition**, Göteborg, v. 126, p. 476-480, 1996.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 60 p.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide**: statistics; version 8.0. Cary, 1999. 532 p.

SGARBIERI, V.C. **Alimentação e nutrição**: fator de saúde e desenvolvimento. Campinas: UNICAMP, 1987. 387 p.

SGARBIERI, V.C.; ANTUNES, P.L.; ALMEIDA, L.D. Nutritional evaluation of four varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Journal of Food Science**, Campinas, v. 44, p. 1306-1308, 1979.

SICHIERI, R.; SZARFARC, S.C.; MONTEIRO, C.A. Relação entre dieta e ocorrência de anemia ferropriva em crianças. **Jornal de Pediatria**, Rio de Janeiro, v. 64, n. 5, p. 169-174, 1988.

SIGULEM, D.M.; TUDISCO, E.S.; GOLDEMBERG, P.; ATHAIDE, M.M.; VAISMAN, E. Anemia ferropriva em crianças do município de São Paulo. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 168-178, 1978.

SILVA, E.M.M. **Produção de macarrão pré-cozido à base de farinha mista de arroz integral e milho para celíacos utilizando o processo de extrusão**. 2007. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SILVA, M.R.; SILVA, A.A.P. Aspectos nutricionais de fitatos e taninos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 5-19, 1999.

SINGH, A.; GUPTA, D. K.; PANDEY, J. P. Interrelationship between protein content and degree of polish of milled rice. **International Rice Research Notes**, Nagar, v. 26, n. 2, p. 27-28, 2001.

SINGH, K.; MORI, S.; WELCH, R.M. **Perspectives on the micronutrient nutrition of crops**. Jodhpur: Scientific Publishers, 2001. 295 p.

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

SNEDEKER, S.M.; GREGER, J.L. Effects of dietary protein, sulfuramino acids and phosphorus on human trace element metabolism. **Journal of Nutrition**, Beltsville, v. 113, p. 644–652, 1983.

SOUSA, P.H.M.; MAIA, G.A.; SOUZA FILHO, M.S.A.M.; FIGUEIREDO, R.W.; SOUZA, A.C.R. Goiabas desidratadas osmoticamente seguidas de secagem em estufa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 414-416, dez. 2003.

SOUZA, E.L.; PINTO, I.C.S.; OLIVEIRA, M.E.G.; LIMA, M.A.; DONATO, N.R.; CAMBUIM, R.B. Fatores antinutricionais: elementos de interferência sobre a biodisponibilidade de nutrientes. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 131, n. 19, p. 19-23, maio 2005.

SOUTHGATE, D.A.T. Trace elements: databases and food composition compilations. **Food Chemistry**, Norwich, v. 43, p. 289-293, 1992.

STERMER, R.A. An instrument for objective measurements of degree of milling and color of milled rice. **Cereal Chemistry**, Texas, v. 45, p. 358–364, 1968.

STEWART, W.M.; DIBB, D.W.; JOHNSTON, A.E.; SMITH, T.J. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 1, p. 1-6, 2005.

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

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

TAIRA, H. Grain quality: physicochemical properties and quality of rice grains. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. **Science of the rice plant**. Tokyo: Food and Agriculture Police Research Center, 1995. v. 2, chap. 6.1, p. 1063-1089.

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**, Hiroshima, v. 36, p. 460-462, 1988.

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**, Gifu, v. 52, p. 4808-4813, 2004.

TORRES, M.A.A.; QUEIROZ, S.S. Prevenção da anemia ferropriva em nível populacional: uma revisão da literatura dos últimos quinze anos. **Nutrire**, São Paulo, v. 19/20, p. 145-164, 2000.

TRAN, T.U.; SUZUKI, K.; OKADOME, H.; HOMMA, S.; OHTSUBO, K. Analysis of the tastes of brown rice and milled rice with different milling yields using a taste sensing system. **Food Chemistry**, Tokyo, v. 88, p. 557–566, 2004.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. **Tabela de composição química de alimentos**. Disponível em: <<http://www.fcf.usp.br/tabela>>. Acesso em: 07 jun. 2011.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/nepa/taco>>. Acesso em: 07 jun. 2011.

VASCONCELOS, M.; DATTA, K.; OLIVA, N.; KHALEKUZZAMAN, M.; TORRIZO, L.; KRISHAN, S.; OLIVEIRA, M.; GOTO, F.; DATTA, S.K. Enhanced iron and zinc accumulation in transgenic rice with the ferritin gene. **Plant Science**, Goa, v. 164, p. 371-378, 2003.

VICHAPONG, J.; SOOKSERM, M.; SRIKESDARUK, V.; SWATSITANG, P.; SRIJARANAI, S. High performance liquid chromatographic analysis of phenolic compounds and their antioxidant activities in rice varieties. **Food Science and Technology**, Khon Kaen, v. 43, p. 1325-1330, 2010.

WADSWORTH, J.I. **Rice: science and technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. 470 p.

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

WANG, Y.; WANG, L.; SHEPARD, D.; WANG, F.; PATINDOL, J. Properties and structures of flours and starches from whole, broken, and yellowed rice kernels in a model study. **Cereal Chemistry**, Fayetteville, v. 79, p. 383–386, 2002.

WEAVER, C.M.; KANNAN, S. Phytatr and mineral bioavailability. In: REDDY, N.R.; SATHE, S.K. **Food phytates**. Boca Raton: CRC Press, 2002. p. 211-223.

WELCH, R.M. Micronutrients, agriculture and nutrition: linkages for improved health and well being. In: SINGH, K.; MORI, S.; WELCH, R.M. (Ed.). **Perspectives on the micronutrient nutrition of crops**. Jodhpur: Scientific Publishers, 2001. p. 247-289.

_____. Linkages between trace elements in food crops and human health. In: ALLOWAY, B.J. (Ed.). **Micronutrient deficiencies in global crop production**. New York: Springer, 2008. chap. 12, p. 287-309.

WELCH, R.M.; GABELMAN, W.H. **Crops as sources of nutrients for humans.** Madison: Soil Science Society of America; Crop Science Society of America; American Society of Agronomy, 1984. 89 p. (Special Publication, 48).

WELCH, R.M.; GRAHAM, R.D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 396, p. 353-364, 2004.

WELCH, R.M.; HOUSE, W.A. Factors affecting the bioavailability of mineral nutrients in plant food. In: WELCH, R.M.; GABELMAN, W.H. (Ed.). **Crops as sources of nutrients for humans.** Madison: Soil Science Society of America; Crop Science Society of America; American Society of Agronomy, 1984. p. 37-54. (Special Publication, 48).

WELCH, R.M.; COMBS, G.F.; DUXBURY, J.M. Toward a "greener" revolution. **Issues in Science and Technology**, Ithaca, v. 14, n. 1, p. 50-58, 1997.

WEN, Y. Content mensuration and study of Zn, Fe, Ca, Mn, Cu in rice. **Microelement Health**, Hangzhou, v. 17, n. 4, p. 46-47, 2000.

WHITE, P.J.; BRADSHAW, J.E.; DALE, M.F.B.; RAMSAY, G.; HAMMOND, J.P.; BROADLEY, M.R. Relationship between yield and mineral concentrations in potato tubers. **HortScience**, Scottsdale, v. 44, n. 1, p. 6-11, 2009.

WHITTAKER, P.; SPIVEY FOX, M.R.; FORBES, A.L. *In vitro* prediction of iron bioavailability for food fortification. **Nutrition reporter International**, Beltsville, v. 39, n. 6, p. 1205-1215, 1989.

WIMBERLY, J.E. **Paddy rice postharvest industry and devoloping countries.** Manila: International Rice Research Institute, 1983. 188p.

WOLTERS, M.G.E. **Prediction of the bioavailability of minerals and trace elements in foods: the influence of dietary fibre, phytic acid and other food components on the in vitro availability of calcium, magnesium, iron, copper and zinc.** 1992. 155 p. Dissertation (Ph.D) - Wageningen Agricultural University, Wageningen, 1992.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO handbook on human nutritional requirements.** Geneva, 1974. 78 p. (Monograph Series, 61).

_____. Infant feeding $\frac{3}{4}$ the physiological basis. **Bulletin World Health Organ**, Geneva, v. 67, p. 1-5, 1989.

WU D.; SHU Q.; WNAG Z.; XIA Y. Effect of gamma irradiation on starch viscosity and physicochemical properties of different rice. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 65, p. 29-86, 2002.

WYATT, C.J.; TRIANA-TEJAS, A. Soluble and insoluble Fe, Zn, Ca, and phytates in foods commonly consumed in northern Mexico. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Oaxaca, v. 42, p. 2204-2209, 1994.

XIA, M.; LING, W.H.; MA, J.; KITTS, D.D.; ZAWISTOWSKI, J. Supplementation of diets with the black rice pigment fraction attenuates atherosclerotic plaque formation in apolipoprotein E deficient mice. **Journal of Nutrition**, Guangzhou, v. 133, n. 3, p. 744-751, 2003.

YANG, X.; YE, Z.Q.; SHI, C.H.; ZHU, M.L.; GRAHAM, R.D. Genotypic differences in concentrations of iron, manganese, copper, and zinc in polished rice grains. **Journal of Plant Nutrition**, Hangzhou, v. 21, n. 7, p. 1453-1462, 1998.

YOUNG, V.R.; PELLETT, P.L. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. **American Journal of Clinical Nutrition**, Cambridge, v. 59, p. 1203S-1212S, 1994. Supplement.

ZANÃO, C.F.P.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; SARMENTO, S.B.S.; ARTHUR, V. Características físico-química e sensoriais de arroz (*Oryza sativa* L.) irradiado e o efeito no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L. **Ciência Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 46-55, jan./mar. 2009.

ZENEBON, O.; PASCUET, N.S.; TIGLEA, P. **Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2005. 1020 p.

ZHANG, M.W.; GUO, B.J.; ZHANG, R.F.; CHI, J.W.; WEI, Z.C.; XU, Z.H. Separation, purification and identification of antioxidant compositions in black rice. **Agricultural Science**, Guangzhou, v. 5, p. 431-440, 2006.

ZHANG, W.J.; ZHANG, X.Y. A forecast analysis population and urbanization precess. **Enviroment, Development and Sustainability**. Dordrecht, v. 10, n. 6, p. 717-730, 2007.

ZHOU, J.R.; ERDMAN, J.W. Phytic acid in health and disease. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 35, n. 6, p. 495-508, 1995.

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

_____. The distribution of phenolic acids in rice. **Food Chemistry**, Wagga Wagga, v. 87, p. 401-406, 2004.

ZULETA, A.; DYNER, L.; SAMBUCETTI, M.E.; FRANCISCO, A. Effect of gamma irradiation on the functional and nutritive properties of rice flours from different cultivars. **Cereal Chemistry**, St Paul, v. 83, n. 1, p. 76-79, 2006.