

**UNIVERSIDADE FEDERAL
DO TOCANTINS**



**Universidade Federal do Tocantins
Campus de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal - PPGPV**

MAIKO EMILIANO SOUZA

**MANGANÊS SUPLEMENTAR NA CULTURA DO
ARROZ IRRIGADO**

GURUPI-TO

2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL
DO TOCANTINS**



**Universidade Federal do Tocantins
Campus de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal - PPGPV**

MAIKO EMILIANO SOUZA

MANGANÊS SUPLEMENTAR NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. D.Sc. Hélio
Bandeira Barros

GURUPI-TO

2017

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

S729m Souza, Maiko Emiliano.
MANGANÊS SUPLEMENTAR NA
CULTURA DO ARROZ IRRIGADO. / Maiko
Emiliano Souza. – Gurupi, TO, 2017.
70 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) -
Universidade Federal do Tocantins - Câmpus
Universitário de Gurupi – Curso de Pós-Graduação
(Mestrado) em Produção Vegetal, 2017.
Orientador: Hélio Bandeira Barros

1. Oriza sativa L.. 2. Nutrição mineral. 3.
Produtividade. 4. Micronutriente. I. Título

CDD 635

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS - A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de a
catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**



**Universidade Federal do Tocantins
Campus de Gurupi**


**Programa de Pós-Graduação em
Produção Vegetal - PPGPV**

DEFESA nº 06/2017


ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE MAIKO EMILIANO SOUZA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS.

Aos 09 dias do mês de Outubro do ano de 2017, às 08:00 horas, na Sala de defesa do Bloco da Produção Vegetal, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Orientador Prof. D.Sc. Hélio Bandeira Barros do Campus Universitário de Gurupi/Universidade Federal do Tocantins, Prof. D.Sc. Manoel Mota dos Santos do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e D.Sc. Aline Torquato Tavares, bolsista PNPB (Programa Nacional de Pós Doutorado/CAPES) do Campus Universitário de Gurupi/Universidade Federal do Tocantins, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de Maiko Emiliano Souza, intitulada "MANGANÊS SUPLEMENTAR NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo parecer favorável à aprovação, habilitando-o (a) ao título de Mestre em Produção Vegetal.

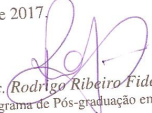
Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


D.Sc. Manoel Motá dos Santos
Primeiro examinador


D.Sc. Aline Torquato Tavares
Segundo examinador


D.Sc. Vítor Baudaia Barros
Universidade Federal do Tocantins
Orientador e presidente da banca examinadora

Gurupi, 09 de Outubro de 2017.


D.Sc. Rodrigo Ribeiro Fidelis
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal

Dedico
Senhor
Giliame
e por
Souza,
Veimar
memor
educap
Nonán
pois o
vida.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, o Todo Poderoso e Senhor da minha vida. À minha amada esposa e companheira Giliane Souza Costa por estar sempre ao meu lado me dando forças e por agora estar gerando nosso primeiro filho, Yan Benjamim Souza, maior benção de Deus em nossas vidas. Aos meus pais Veimar Benjamim de Souza e Sonia Maria dos Santos Souza (in memoriam) que sempre prezaram por me oferecer uma boa educação; aos meus irmãos Marco Antônio Benjamim de Souza e Nonária Norraide Silva e Souza e minhas sobrinhas Sofia e Isabela,

pois o amor da minha família é o maior presente que já recebi na vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Á Deus, pois sem Ele não teria conseguido concluir este curso.

Aos meus pais Veimar Benjamim de Souza e Sonia Maria dos Santos Souza (*in memorian*) por acreditarem que eu podia sempre ir mais além e alcançar os meus objetivos.

Aos meus irmãos Marco Antônio e Nonária Norraide pelo incentivo e companheirismo.

A minha esposa Giliane Souza Costa, a pessoa mais importante da minha vida, pelo carinho, apoio e compreensão.

A minha sogra Zélia Rodrigues e ao meu sogro Raimundo Neto pela ajuda prestada, pois foram de fundamental importância para que eu concluísse este curso.

Aos meus amigos Heichon Cordeiro, Thamires Reis, Sávio Moura e Kariny Reis, que foram meu alicerce desde quando cheguei nesta cidade de Gurupi no ano de 2010; Rodrigo Robson, Flávio Mendes, Alex Dário e Marony que foram companheiros me ajudando com o experimento, durante o processo de implantação, colheita e análise, e também aos demais integrantes do grupo de pesquisa.

Ao meu orientador Prof. D.Sc. Hélio Bandeira Barros, pelos ensinamentos a mim passados e pela sua paciência e compreensão.

À Universidade Federal do Tocantins por me dar a oportunidade de me tornar um profissional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, em nome de todos os professores, pelo aprendizado e pela oportunidade de me qualificar.

Aos membros examinadores da banca, D.Sc. Aline Torquato Tavares e Prof. D.Sc. Manoel Mota dos Santos pela contribuição no trabalho.

Ao CNPQ pela concessão da bolsa.

RESUMO

O arroz cultivado é um dos cereais mais importantes para a alimentação humana. O manganês é um micronutriente que está envolvido em vários processos metabólicos da planta. A deficiência desse nutriente tem sido agravada por diversos fatores, dentre os quais se destacam: o uso excessivo de calcário, decorrente de recomendações inadequadas e a não observação do período de efeito residual da calagem dentre outros fatores. Objetivou-se com este trabalho avaliar fontes e doses de manganês na cultura do arroz irrigado. O trabalho foi conduzido no município de Formoso do Araguaia - TO, no ano agrícola de 2016/2017. O experimento foi alocado em faixas de 3 m de largura (17 linhas no espaçamento de 0,17 m, por 25 m de comprimento), sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial $5 \times 5 + 1$, cinco fontes diferentes de Mn e cinco doses. A suplementação com Mn foi fornecida via foliar nas doses de (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 kg ha⁻¹), aplicadas todos na indução do perfilhamento das plantas de arroz. Foram analisadas as seguintes características: número de panículas por m², massa de 100 sementes (g), teor foliar de Mn (mg kg⁻¹), porcentagem de grãos inteiros e produtividade de grãos (kg/ha). Os tratamentos em que houve aplicação da fonte de manganês, composto por Carbonato de Mn, obtiveram as melhores respostas para a maioria das características avaliadas. Todas as doses empregadas em cada uma das fontes de manganês influenciaram o teor foliar das plantas de arroz. Com relação aos teores adequados de Mn, todas as fontes apresentaram teores acima da faixa considerada adequada, mas não houve sinais de fitotoxidez. A fonte de Carbonato de Mn (B) na dose de 1,5 kg ha⁻¹ proporcionou a maior produtividade com 7.375 kg ha⁻¹. Maiores

médias foram obtidas com a aplicação de 1,0 a 1,5 kg ha⁻¹ de manganês, com exceção para a porcentagem de grãos inteiros onde as melhores médias foram obtidas na dose de 2,5 kg ha⁻¹.

Palavras-chave: *Oriza sativa* L; nutrição mineral; produtividade; micronutriente.

ABSTRACT

The cultivated rice is one of the most important cereals for human consumption. Manganese is a micronutrient that is involved in various plant metabolic processes. The deficiency of this nutrient has been aggravated by several factors, such as the excessive use of limestone due to inadequate recommendations and failure to observe the residual liming period, among other factors. The objective of this work was to evaluate sources and doses of manganese in irrigated rice. The work was carried out in the municipality of Formoso do Araguaia - TO, in the agricultural year of 2016/2017. The experiment was allocated in 3 m wide strips (17 lines at a spacing of 0,17 m, length 25 m), the treatments were arranged in a 5 x 5 + 1 factorial scheme, five different sources of Mn and five doses. Mn supplementation was given via leaf at the doses of (0,5, 1,0, 1,5, 2,0 and 2,5 kg ha⁻¹), all applied in induction of tillering of rice plants. The following characteristics were analyzed: number of panicles per m², mass of 100 seeds (g), foliar Mn (mg kg⁻¹), percentage of whole grains and grain yield (kg/ha). The treatments in which the manganese source was applied, composed of Carbonate Mn, obtained the best responses for most of the evaluated characteristics. All the doses used in each one of the manganese sources influenced the leaf content of the rice plants. Regarding the adequate Mn contents, all sources had levels above the range considered adequate, but there were no signs of phytotoxicity. The source of Mn (B) carbonate at the dose of 1.5 kg ha⁻¹ provided the highest productivity with 7.375 kg ha⁻¹. Larger averages were obtained with the application of 1,0 to 1,5 kg ha⁻¹ of manganese, except for the

percentage of whole grains where the best means were obtained at the dose of 2,5 kg ha⁻¹.

Keywords: *Oryza sativa* L; mineral nutrition; productivity; micronutrient.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	25
2.1 A Cultura do Arroz (Oryza sativa).....	25
2.2 Manganês na planta.....	27
2.3 Manganês no solo.....	29
2.4 Adubação foliar e fontes de manganês.....	31
2.5 Teores de referência para o manganês na cultura do arroz.....	35
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	41
5. CONCLUSÕES.....	57
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

ISTA DE TABELAS

TABELA 1. Teores de referência para o Mn em plantas de arroz ..36

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Sintomas de deficiência de Mn	28
FIGURA 2. Número de panículas por m ² obtidos em plantas de arroz irrigado cultivado com diferentes fontes e doses de Mn suplementar, na Várzea Tropical do Tocantins, no ano agrícola de 2016/2017. *, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”	42
FIGURA 3. Massa de 100 sementes (gramas) obtidas em plantas de arroz irrigado cultivado com diferentes fontes e doses de Mn suplementar, na Várzea Tropical do Tocantins, no ano agrícola de 2016/2017. *, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”	44
FIGURA 4. Teor foliar de Mn (mg kg ⁻¹) obtidos em plantas de arroz irrigado cultivado com diferentes fontes e doses de Mn suplementar, na Várzea Tropical do Tocantins, no ano agrícola de 2016/2017. *, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”	47
FIGURA 5. Porcentagem de grãos inteiros obtidos em plantas de arroz irrigado cultivado com diferentes fontes e doses de Mn suplementar, na Várzea Tropical do Tocantins, no ano agrícola de 2016/2017. *, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”	53

FIGURA 6. Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) obtidos em plantas de arroz irrigado cultivado com diferentes fontes e doses de Mn suplementar, na Várzea Tropical do Tocantins, no ano agrícola de 2016/2017. *, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”54

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. Sua importância é destacada principalmente em países em desenvolvimento, tal como o Brasil, desempenhando papel estratégico em níveis econômico e social.

O arroz se destaca pelo fato de ser o componente principal da dieta básica dos brasileiros e de outros povos, também é um produto importante no comércio internacional, como no Uruguai, Argentina e Guiana, como exportadores, e no Brasil, México e Cuba, como importadores, o que impõe a busca de novas tecnologias visando acréscimos de produção nos setores produtivos. É um dos alimentos com melhor balanceamento nutricional, fornecendo 20% da energia e 15% da proteína necessária ao homem, e sendo uma cultura extremamente versátil, que se adapta a diferentes condições de solo e clima, é considerada a espécie que apresenta maior

potencial para o combate a fome no mundo. (ROTILI et al., 2010). Seu potencial produtivo vem aumentando, chegando a produzir mundialmente, aproximadamente, 496,7 milhões de toneladas de arroz beneficiado na safra 2016/2017 (ou 748 milhões de toneladas em equivalente casca), aumento de 1,1% frente à temporada 2015/2016 (FAO, 2017).

O Brasil, um dos maiores produtores da cultura, ocupando o 9º lugar da produção mundial, atingiu 12,3 milhões de toneladas na safra 2016/2017, sendo o estado do Rio Grande do Sul o maior produtor do país, com mais de 8 milhões de toneladas, com produtividade média de 7.930 kg ha⁻¹, em segundo lugar está o estado de Santa Catarina com mais de um milhão de toneladas (CONAB, 2017).

No Estado do Tocantins, o arroz é uma cultura de grande importância socioeconômica. O Estado assume na safra 2016/2017 a terceira posição na produção de arroz no Brasil. No ano agrícola 2013/2014 foram cultivados 113,90 mil hectares e colhidos 543,66 mil toneladas de arroz; na safra 2014/2015 subiu para 127,51 mil hectares com uma produção de 605,0 mil toneladas, um aumento de 13,61% na área plantada (CONAB, 2015). De acordo com a (CONAB, 2016a) o estado produziu 615,2 mil toneladas de arroz na safra 2015/2016.

Na safra 2016/2017 a produção total foi estimada em 619,1 mil toneladas, o cultivo de arroz de sequeiro teve redução de 23,5%

da área cultivada em relação à safra passada. Com relação ao plantio irrigado, a área teve incremento de 8,1% e aumento de produtividade de 2,3%. Com isso, o crescimento da produção foi de 10,7% em relação à safra 2015/2016 (CONAB, 2017). O crescimento do arroz se deve ao aumento da produção de arroz irrigado, que já corresponde por mais de 80% da produção deste grão no Tocantins. O cultivo do arroz de terras altas é distribuído por todo o Estado, enquanto o cultivo de arroz irrigado (inundação) está concentrado nas regiões centro-oeste e, principalmente, sudeste, abrangendo os municípios de Cristalândia, Dueré, Formoso do Araguaia, Lagoa da Confusão e Pium (EMBRAPA, 2012).

O manejo atual da adubação para a cultura do arroz irrigado é estabelecido em função dos resultados da análise de solo associados ao sistema de semeadura e expectativa da produtividade da cultura (POCOJESKI et al., 2007). As cultivares tradicionais apresentam porte elevado, folhas decumbentes e baixo perfilhamento e, sendo recomendada para áreas sem irrigação, enquanto as cultivares modernas são mais produtivas, apresentam porte baixo, folhas eretas, alto nível de perfilhamento e baixa tolerância a déficit hídrico, sendo recomendada para áreas com distribuição pluviométrica regular ou áreas irrigadas (BRESEGHELLO et al., 1998).

A planta de arroz é bastante exigente em nutrientes, sendo necessário que eles estejam prontamente disponíveis nos momentos

de demanda, para não limitar a produtividade (FAGERIA et al., 2003).

O manganês está envolvido com enzimas ativadas por cátions e na evolução fotossintética de oxigênio (TAIZ; ZEIGER, 2004). Também, pode-se notar grande quantidade de manganês nas zonas de crescimento da planta, pois o elemento concentra-se principalmente nos tecidos meristemáticos (VITTI et al., 2006).

Pela sua importância fisiológica, bioquímica e nutricional, tem sido citado também como um importante micronutriente na defesa das plantas às doenças e exerce papel fundamental na síntese de lignina e compostos fenólicos (HUBER & WILHELM, 1988; GRAHAM & WEBB, 1991). A lignina e os compostos fenólicos estão associados às barreiras físicas e químicas presentes na parede celular que dificultam a penetração e a colonização dos patógenos.

O Mn pode ser absorvido passivamente pelas plantas (KOCHIAN, 1991), e transportado das raízes para a parte aérea através do xilema de forma reduzida percorrendo pela corrente transpiratória (RAUSER, 1999). Ele pode ser encontrado em plantas formando compostos orgânicos ou fosfato no xilema (LUK et al., 2003).

É durante a diferenciação do primórdio da panícula que ocorre a maior fase de absorção deste elemento na cultura do arroz e permanece até o final da emissão das mesmas, chegando a reduzir-se

na fase de maturação (MALAVOLTA & FORNASIERI FILHO, 1983).

A deficiência desse nutriente no solo tem sido agravada por diversos fatores, dentre os quais se destacam: o uso excessivo de calcário, decorrente de recomendações inadequadas, a não-observação do período de efeito residual da calagem e até mesmo a incorporação do calcário recomendado para 0-20 cm na camada superficial do solo (SANZONOWICZ, 1995).

A deficiência de Mn também acaba afetando adversamente a produtividade, o aparato fotossintético, crescimento das raízes, os níveis de N solúvel, a regulação hormonal e a síntese de compostos secundários como clorofila, ácido giberélico dentre outros (THOMPSON & HUBER, 2007).

No presente contexto, tem-se aumentado a oferta de fertilizantes para a aplicação via solo ou foliar, visando à correção da deficiência de Mn. A eficiência agrônômica dessas fontes de manganês depende das características intrínsecas do adubo. Sendo que, mesmo após sua aplicação, podem ocorrer deficiências, sugerindo que, nem todo o manganês contido nos fertilizantes vai estar disponível para as plantas (LOPES, 1999).

A aplicação de manganês via fertilizantes torna-se uma importante ferramenta com vistas ao aumento de produtividade da cultura orizícola, portanto, tornam-se necessários estudos que

caracterizem melhor a resposta à aplicação deste nutriente na cultura do arroz irrigado.

Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito de fontes e doses de manganês na cultura do arroz irrigado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Cultura do arroz (*Oryza sativa* L.)

O arroz pertence ao gênero *Oryza* e é uma angiosperma monocotiledônea da família Gramineae (Poaceae), ordem Poales, subfamília Oryzoideae (Bambusoideae) e tribo Oryzeae (VAUGHAN, 1989; WATANABE, 1997). Para este gênero são mais de 22 espécies distribuídas em todas as regiões tropicais, subtropicais e temperadas da Ásia, África, América Central e do Sul e Austrália, mas apenas duas espécies são cultivadas: *Oryza glaberrima* (Steudel) e *Oryza sativa* (L.) (LU, 1999). O gênero *Oryza* é de particular interesse não apenas por ser o gênero do arroz, mas também por ser o gênero que apresenta uma forte relação com outras gramíneas, representando uma fonte de estudo para o entendimento de outras espécies (VAUGHAN et al., 2008). O arroz é uma cultura bastante versátil e desenvolve tanto em ambientes secos como em condições

de zonas úmidas, em baixas e altas altitudes, do delta do Mekong no Vietnã até as terras altas de Madagascar (SECK et al., 2012).

É uma gramínea anual classificada como planta C3, sendo considerado um dos cereais de maior importância econômica e social para o mundo, alimentando aproximadamente dois terços da população mundial, por ser um dos alimentos com melhor balanceamento nutricional, e também por poder ser cultivado em diferentes tipos de solos e sistemas de manejo (AZAMBUJA et al., 2004).

Ocupa posição de destaque principalmente nos países Asiáticos, onde provavelmente é o local de origem do arroz (CNPAP/EMBRAPA, 2010). Considerando que haverá uma demanda de 9 bilhões de habitantes no planeta em 2050 (FAO, 2009), será necessário um aumento de 60% a 110% da produção para atender estas exigências crescentes (RAY et al., 2013; GODFRAY et al., 2010; TILMAN et al., 2011). O arroz está entre os alimentos de grande importância para suprir essa demanda, por ser a terceira cultura mais produzida no mundo, com produção estimada em 747 milhões de toneladas (FAOSTAT - FAO, 2012) e área de 163,8 milhões de hectares (FAO, 2014).

O Brasil é o maior produtor de arroz fora do continente Asiático. Na safra 2015/2016 a área cultivada foi de aproximadamente 2 milhões de hectares, e a produção ficou em torno de 12 milhões de toneladas. Apesar de a produção estar distribuída

por todo o país, a maior parte está concentrada na região centro-sul, onde houve uma colheita de aproximadamente 10 milhões de toneladas (CONAB, 2016b). Nos últimos anos, a produção brasileira tem sido suficiente para acompanhar a demanda interna, não necessitando da importação de grandes volumes. Portanto, estima-se que na safra 2024/2025 deverão ser produzidas 13,3 milhões de toneladas, e para atender este montante projeta-se um aumento de 7,2% na produção de arroz nos próximos 10 anos (a partir de 2014/2015). A tendência é de que também a área plantada seja reduzida, passando de 2,3 milhões de hectares em 2014/15 para 1,4 milhão de hectares em 2024/25. A (FAO, 2015) projeta para o próximo decênio um consumo *per capita* de arroz de 40,0 Kg. As principais variáveis para o comportamento desse produto nos próximos anos serão a produtividade juntamente com a área plantada. Os estudos indicam que será necessária uma produtividade de 9,7 toneladas por hectare em 2024/25, bem acima da atual, 5,3 toneladas/hectare (MAPA, 2015).

2.2 Manganês na planta

O manganês (Mn) é um micronutriente que está envolvido em vários processos metabólicos da planta, particularmente em processos de ativação de diferentes enzimas, síntese de clorofila e fotossíntese (FAGERIA, 2001).

Mais de 60% do Manganês nas plantas está contido nos cloroplastos das folhas, e o Mn, juntamente com o Fe e o Cu, exerce papel importante no sistema de transporte de elétrons (OBATA, 1995).

O processo de fotólise da água (Reação de Hill) ocorre nos cloroplastos através de enzimas que contêm Mn, onde elétrons liberados da água são transferidos para o Fotossistema II. Várias enzimas da fase escura da fotossíntese são ativadas pelo Mn, como a enzima málica e a carboxiquinase fosfoenolpirúvica (MALAVOLTA, 2006).

Esse micronutriente é predominantemente absorvido pelos vegetais como Mn^{2+} , forma que apresenta propriedades químicas semelhantes às de metais alcalinos-ferrosos como o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , e de metais pesados como o Fe e o Zn, sendo que o excesso de Mn^{2+} pode inibir a absorção e transporte desses cátions nas plantas (MALAVOLTA et al., 1997).

O manganês não é facilmente redistribuído na planta, portanto a deficiência deste elemento começa nas folhas mais novas. Os sintomas de deficiência iniciam com clorose internervural nas lâminas das folhas mais novas, devido à redução na síntese de clorofila, que ficam com as nervuras proeminentes. São observadas linhas internervurais amareladas, mais ou menos da mesma largura. Conforme a evolução da deficiência, o tecido internervural torna-se necrótico, de coloração amarronzada (FAGERIA et al., 2003).





Figura 1. Sintomas de deficiência de Mn.
(Fonte: IPNI Brasil).

O excesso de manganês se acumula e produz os sintomas de toxidez nas folhas, afetando mais severamente a parte aérea do que as raízes, caracterizando-se como clorose marginal e distorção das folhas mais novas, pequenos pontos necróticos escuros cercados por tecido clorótico nas folhas mais velhas (FOY, 1973; PAVAN e BINGHAM, 1981).

Segundo Fageria et al. (1995) os teores foliares para a cultura do arroz são considerados deficientes, críticos, adequados e tóxicos, respectivamente em mg kg^{-1} : < 20 ; 20 a 30; 30 a 600 e > 1000 .

2.3 Manganês no solo

Segundo Borkert et al. (2001), o Mn presente nos solos brasileiros ocorrem predominantemente de forma pedogênica, em condições de campo, a deficiência normalmente ocorre nas plantas

cultivadas em solos tropicais altamente lixiviados ou solos com altos valores de pH e ricos em matéria orgânica (FAGERIA, 2001).

O Manganês pode ser encontrado no solo em três estados de oxidação: Mn^{2+} , Mn^{3+} e Mn^{4+} . É um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, o mesmo apresenta efeitos expressivos na nutrição das plantas, tanto do ponto de vista da deficiência, como da toxicidade, com perdas significativas na produção de plantas cultivadas sob ambos os efeitos (LOPES, 1999). Campbell e Nable (1988) afirmam que o rendimento do arroz é sensível a níveis deficientes ou excessivos de Mn na solução do solo.

No solo, o Mn pode ser encontrado em três formas principais: trocável, complexado organicamente e associado a óxidos. Da interação entre estas três formas resulta sua disponibilidade para as plantas. Esta interação depende do tipo de solo, pH e conteúdo de matéria orgânica e a textura dos solos (MARSCHNER, 1995).

Em solos com alta concentração de Mn, a aplicação de calcário pode diminuir o efeito de toxicidade deste micronutriente, em decorrência do aumento do pH do solo e da presença dos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} , do contrário, em condições de deficiência, a calagem pode agravar essa situação.

A presença de uma lâmina de água em áreas de cultivo do arroz favorece a mudança de um ambiente oxidado para um ambiente

reduzido, em decorrência da atividade dos microrganismos anaeróbios. É uma das alterações químicas que ocorre nessa condição de alagamento é a redução do Mn^{4+} para Mn^{2+} ocasionando o aumento de sua solubilidade, sendo que em algumas situações o manganês pode se tornar tóxico ao arroz, prejudicando o crescimento das plantas e a produtividade do arroz.

Moreira et al. (2003) estudando a influência que o magnésio exerce na absorção de manganês, constataram que na medida em que houve o aumento da concentração de Mg no solo, houve um decréscimo na absorção de Mn pelas raízes destacadas. O incremento na concentração de Mg de $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$ para $3,0$ e $6,0 \text{ mmol L}^{-1}$ diminuiu progressivamente a absorção de Mn, com redução média de $34,5\%$ ($3,0 \text{ mmol L}^{-1}$) e $60,3\%$ ($6,0 \text{ mmol L}^{-1}$). Esses resultados evidenciam a interação que ocorre entre os nutrientes, com inibição na absorção de Mn, pela maior presença de Mg na solução.

2.4 Adubação foliar e fontes de manganês

O efeito da adubação foliar depende da velocidade de absorção do nutriente através das folhas e de sua translocação na planta (BOARETTO et al., 2003). Essa velocidade, por sua vez, é dependente da fonte empregada e da quantidade aplicada.

A eficiência da adubação foliar pode ser avaliada por diversos métodos, sendo o método indireto o mais comum e prático,

no qual é feita a pulverização de nutrientes sobre as folhas e, decorridos 20 a 60 dias para a absorção dos mesmos, quantifica-se a alteração da composição química da planta (BOARETTO et al., 2003). As concentrações foliares é que representam o estado nutricional das plantas, identificam deficiências e/ou excessos e também avaliam a necessidade de corrigir as adubações (RUSCHEL et al., 2004).

As plantas possuem a capacidade de absorver os nutrientes pelas folhas, por essa razão é que a adubação foliar de um ou mais nutrientes é fisiologicamente viável. Uma grande quantidade de fertilizantes foliares estão disponíveis no mercado, produtos cada vez mais eficientes, econômicos e capazes de satisfazer as exigências nutricionais das plantas (PEREIRA e MELO, 2002).

Alcarde e Vale (2003) citam que no Brasil existem fontes de micronutrientes solúveis em água, como os quelatos, nitratos, sulfatos e cloretos; e insolúveis em água, como os carbonatos, fosfatos, óxidos, fritas, dentre outras. Para que estas fontes insolúveis em água possam ser utilizadas na adubação foliar é necessário que o tamanho das partículas seja menor que o tamanho do estômato da cultura alvo da aplicação (FERREIRA, 2009).

As vantagens que podem-se obter com esta redução de tamanho das partículas, são: alta dispersibilidade em calda; rápida utilização do ativo pela planta e ausência de problemas na aplicação como entupimento de bicos de pulverização; devido à alta

concentração de ativos e a baixa reatividade, auxilia a compatibilidade com defensivos, quando em caldas. Entretanto, ainda existe uma escassez de conhecimento sobre produtos mais adequados para adubação foliar (ROSSI et al., 2004), assim como as doses e métodos mais adequados para aplicação de produtos, como os óxidos e carbonatos.

Entre as fontes mais utilizadas na correção da deficiência de Mn, destacam-se: Mn-EDTA, Mn-lignosulfonato, óxidos, cloretos, sulfatos, oxissulfatos e óxidos silicatados (“Fritas”). Além dessas fontes, tem-se utilizado muito no Brasil micronutrientes misturados com fertilizantes NPK granulados. De maneira geral, a eficiência da aplicação de Mn via solo em condições de alto pH é baixa, devido o Mn solúvel contido no adubo passar rapidamente para formas não disponíveis, no entanto necessita a aplicação de doses consideradas elevadas em relação aos micronutrientes, e para evitar esse problema o interessante seria fornecer-lo via foliar.

A fonte mais tradicional de Mn é o sulfato (MnSO_4). Há vários relatos de correção de deficiências com muito mais eficiência via foliar do que via solo, usando como fonte o MnSO_4 (KANNAN, 1991). Entretanto, uma parte do MnSO_4 fica retida na cutícula, não sendo efetivamente absorvida pela folha (FERRANDON e CHAMEL, 1988). O MnCl_2 é menos retido na barreira cuticular que o MnSO_4 e o Mn-EDTA praticamente não apresenta retenção.

Portanto, o Mn-EDTA é bem mais sujeito a lavagem por chuvas logo após a aplicação.

No Brasil, estudos sobre a eficiência agrônômica de fontes de Mn são incipientes. Fertilizantes "tipo fritas" são atualmente a principal matéria prima visando o fornecimento de Mn empregada pelas indústrias de fertilizantes.

Mann et al. (2001) pesquisando o efeito da adubação com Mn via solo e foliar, constataram que a aplicação nas suas diferentes formas (época e local, solo/folha) proporcionou acréscimos significativos na produção de grãos de soja e nos teores foliares do elemento, em vaso.

Mascagni Júnior e Cox (1985) estudaram o efeito das fontes $MnSO_4$, oxisulfato, MnO , Mn-EDTA, Mn-DTPA e Mn-lignosulfonato na concentração de Mn e produção do milho e da soja. Os autores constataram que a aplicação de $MnSO_4$ e o oxisulfato promoveram aumento na concentração de Mn na soja e no milho. Por outro lado, a aplicação das outras fontes não foi eficiente no aumento da concentração de Mn. Em relação à produção, não foi observado aumento significativo para as culturas, após o fornecimento de Mn pelas diferentes fontes.

Bastos (2004) testando fontes e doses de Mn na cultura do arroz, verificou efeito significativo da interação desses fatores para a produção de massa seca da parte aérea (folhas + colmos) no perfilhamento, parte aérea (folhas + colmos) na colheita, panícula,

raiz e total. Entretanto, os resultados dessa variável não podem ser considerados como quesito único para se inferir sobre o fornecimento de Mn pelas fontes e doses utilizadas para a cultura do arroz (BASTOS, 2004).

O mesmo Bastos (2004) avaliou também a disponibilidade de Mn contido nos fertilizantes $MnSO_4$ (puro analítico); MnO_2 (puro analítico) + MnO (industrial); MnO_2 (industrial) + MnO (industrial); MnO_2 (industrial); MnO_2 (puro analítico) e MnO (industrial) para as plantas de arroz, por diferentes soluções extratoras. O autor verificou que o teor total não expressou a real eficiência do micronutriente contida nos fertilizantes.

2.5 Teores de referência para o manganês na cultura do arroz

O correto balanço nutricional da cultura é determinante para o bom desenvolvimento do vegetal e sua produção (MALAVOLTA, 2006). Segundo Fageria e Knupp (2013), a nutrição é um dos fatores mais importantes para o aumento da produtividade da cultura do arroz, que apesar de não ser considerada uma cultura exigente, apresenta em geral aplicação insuficiente de insumos.

Os riscos econômicos e de perda de produtividade devido à insuficiência hídrica estão entre os principais fatores que desestimulam maior investimento por parte dos produtores nessa cultura (FAGERIA et al., 2010).

A absorção adequada de nutrientes pelas plantas de arroz está condicionada a processos fisiológicos inerentes aos cultivares utilizados e a sua adaptabilidade à disponibilidade de água (FAGERIA et al., 1995). Assim, o conhecimento das exigências nutricionais da cultura, nas diversas situações de cultivo, pode contribuir para o estabelecimento de fórmulas e recomendações de adubação mais racionais (GIUDICE et al., 1983; BARBOSA FILHO, 1987).

A análise foliar é uma ferramenta complementar à análise do solo, por permitir a determinação do teor dos nutrientes no tecido vegetal durante o cultivo das plantas (CQFS RS/SC, 2004). Em outras palavras, a diagnose foliar consiste em analisar o solo usando a planta como solução extratora (MALAVOLTA et al., 1997) e, com a análise da planta, é possível identificar corretamente se um dado nutriente está em nível suficiente ou deficiente, naquela época.

Na maior parte dos casos, a concentração de nutrientes em folhas completamente expandidas de plantas é a melhor indicação do seu estado nutricional, refletindo a condição de fertilidade do solo (CQFS RS/SC, 2004). Segundo alguns autores os teores de referência para o Mn em plantas de arroz são mencionados na (Tabela 1).

Tabela 1. Teores de referência para o Mn em plantas de arroz.

Autores	Mn
	mg kg ⁻¹
Prado (2008)	70 - 400

Fageria et al. (2011)	145 - 250
CQFS RS/SC (2004)	30 - 600
Raij et al. (1996)	70 - 400
Malavolta et al. (1997)	100 - 150
CND (2004)	463 - 531
Cantarella e Furlani (1999)	70 - 400
Martinez et al. (1997)	90
Guindani et al. (1970)	500

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no município de Formoso do Araguaia - TO, no ano agrícola de 2016/2017, sob as coordenadas geográficas 11°50'8.01"S e 49°39'19.81"W, estando a uma altitude de 240 metros, na região sudeste do estado do Tocantins, em condições de várzea irrigada. O clima, segundo o método de Thornthwaite, é do tipo Aw, úmido com moderada deficiência hídrica, com precipitação anual média de 1.400 mm e temperatura média anual variando entre 22 a 32 °C.

A amostragem do solo foi realizada na profundidade de 0 a 20 cm e apresentou as seguintes características químicas e físicas: pH $\text{CaCl}_2 = 5,3$; $\text{Al}^{3+} = 0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{H+Al} = 2,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Ca}^{2+} = 2,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg}^{2+} = 0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{K}^+ = 52 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{P} = 26,2 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{B} = 0,1 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{Cu} = 1,1 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{Fe} = 90 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{Mn} = 1,2 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{Zn} = 1,2 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{MO} = 1,5 \text{ dag kg}^{-1}$; $\text{SB} = 3,53 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{CTC}(t) = 6,03 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{V} = 58\%$; areia = 675 g kg^{-1} ; silte = 75 g kg^{-1} ; argila = 250 g kg^{-1} .

Quanto ao Mn, salienta-se que o teor verificado, $1,2 \text{ mg dm}^{-3}$, foi classificado como baixo, uma vez que o nível crítico considerado por Ribeiro et al. (1999) é de $8,0 \text{ mg dm}^{-3}$.

Para preparo do solo foram feitas três gradagens mais uma dessecação com 3 L de glifosato (Roundup Tranzorb), 0,5 L do adjuvante (Óleo vegetal 892g/L) mais 50 ml ha^{-1} do inseticida (Lambda-Cialotrina 250 g/L), para o manejo da lagarta rosca.

Antes da semeadura, foi realizado o tratamento químico das sementes com os seguintes produtos: Carboxina + thiram, Thiodicarb, nas doses de 300 e 400 ml/100 kg de sementes, respectivamente. A semeadura foi realizada no dia 22 de outubro de 2016, utilizando a cultivar SCS 121 CL.

Na semeadura utilizou-se 100 kg ha^{-1} de sementes, a adubação de base foi realizada no sulco de semeadura com 266 kg ha^{-1} de NPK, com formulação (5-20-20) mais 30 kg de FTE como fonte de micronutrientes.

A suplementação com manganês foi fornecida via foliar em cinco doses (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$), aplicadas todos na indução do perfilhamento das plantas de arroz aos 15 DAE e com o solo seco. A aplicação foi realizada com pulverizador costal pressurizado com CO_2 e equipado com barra com seis pontas tipo cone, pressão de 40 lbs e taxa de aplicação de 100 L ha^{-1} . As fontes de Mn utilizadas foram: P1 - Nitrato de Mn (densidade: $1,40 \text{ g/mL}$); P2 - Cloreto de Mn (densidade: 1400 g/L); P3 - Quelato de Mn

(solubilidade em água a 20°C: 800 g/L); P4 - Carbonato de Mn (A) (densidade: 1,827 g/dm³) e P5 - Carbonato de Mn (B) (densidade: 1,86 g/cm³).

O experimento foi alocado em faixas de 3 m de largura (17 linhas no espaçamento de 0,17 m) por 25 m de comprimento, totalizando 75 m² para cada tratamento, composto por 26 parcelas, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial 5 x 5 + 1, cinco fontes diferentes de Mn e cinco doses, além de uma testemunha adicional sem suplementação.

A colheita foi realizada manualmente, a área útil da parcela foi determinada medindo-se 1 metro ao acaso repetindo quatro vezes até o fim da mesma.

Foram analisadas as seguintes características: 1) Número de panículas por m²: onde foi contada a quantidade de panículas colhidas dentro de um metro quadrado de cada repetição; 2) Massa de 100 sementes (g): obtida através da contagem de 100 sementes de cada repetição e pesadas com o auxílio de uma balança analítica; 3) Teor foliar de Mn (mg kg⁻¹): para amostragem de folhas, foi feito a coleta da terceira folha de ramos vegetativos localizados na região mediana da planta, na indução do primórdio floral, totalizando 200 folhas em cada parcela. As folhas coletadas foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação de ar forçada, por 48 horas na temperatura de 60°C. Após a secagem, as lâminas foliares foram moídas em um moinho portátil analítico e enviadas ao

laboratório para determinação do teor de manganês, conforme metodologia proposta por (MALAVOLTA et al., 1997); 4) Porcentagem de grãos inteiros: foi retirada uma amostra de 100 g de grãos de arroz em casca e utilizado um engenho de prova modelo MT, por 1 minuto e em seguida, os grãos brunidos (polidos) foram pesados e os valores encontrados foram considerados como rendimento de benefício, expressos em porcentagem. Posteriormente, os grãos brunidos foram colocados no "trieur" nº 2 e a separação dos mesmos foi processada por 30 segundos, em seguida pesou-se os grãos que permaneceram no "trieur" e o valor obtido foi considerado rendimento de inteiros, e os demais, grãos quebrados, ambos expressos em porcentagem; 5) Produtividade de grãos (kg ha^{-1}): as plantas coletadas dentro da área útil estipulada foram trilhadas manualmente, posteriormente as sementes foram pesadas com auxílio de uma balança analítica, com os valores corrigidos para 13% de umidade (base úmida) e os resultados convertidos para quilogramas por hectare.

As características avaliadas tiveram seus dados submetidos à análise de variância e as médias referentes às formas de aplicação comparadas pelo (Teste F) a 5 e 1% de probabilidade e, referentes às doses, foi ajustado equação de regressão com posterior teste de significância do coeficiente de determinação e inclinação da reta ajustado, por meio do aplicativo computacional (SIGMAPLOT 10.0, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação ao número de panículas por m^2 como mostra o (Figura 2), com as fontes em função das doses de Mn via foliar, constatou-se efeito quadrático significativo para o comportamento das plantas, sendo que a fonte com Carbonato de Mn (B) na dose de $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$, proporcionou 403,77 panículas por m^2 . O menor valor observado para a quantidade de panículas foi utilizando a fonte Carbonato de Mn (A) com 326,59 na dose de $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo que com as doses mais elevadas, acima de $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ os efeitos foram negativos; acontecendo o mesmo para as demais fontes.

Nota-se que os maiores valores para número de panículas por metro quadrado, eliminando a dose de $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$ do (carbonato de Mn B), foram observados na dose de $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ para a fonte (Cloreto de Mn) com 396,11 panículas por m^2 , 390,43 panículas por m^2 na fonte de (Quelato de Mn) e 384,15 panículas por m^2 na fonte (Nitrato de Mn); demonstrando grande influência das doses na produção de panículas na cultura do arroz. Sendo assim, é provável que no decorrer do crescimento e desenvolvimento das plantas, as doses de

manganês responsáveis pelas maiores quantidades de panículas, aliados aos demais nutrientes adicionados ao solo, supriram de forma equilibrada as necessidades nutricionais da cultura do arroz. Com relação ao desempenho geral por dose, os resultados demonstraram que a dose de 1,5 kg ha⁻¹, apresentou superioridade, com número médio de 394 panículas por metro quadrado, seguida da dose de 2,0 kg ha⁻¹, com média de 375 panículas por metro quadrado.

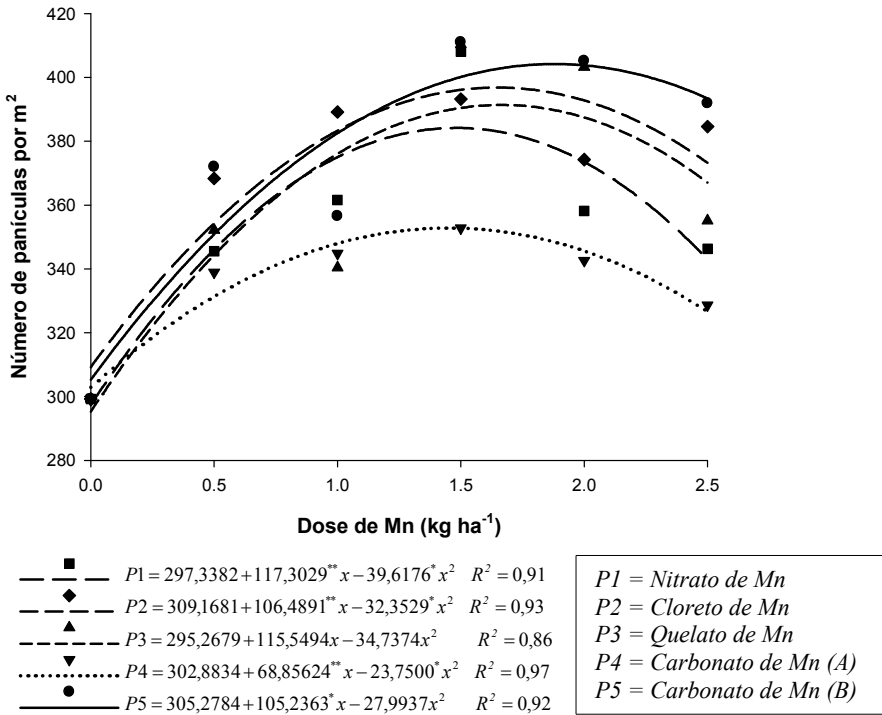


Figura 2 – Número de panículas por m² obtidos em plantas de arroz irrigado cultivado com diferentes fontes e doses de Mn suplementar, na Várzea Tropical do Tocantins, no ano agrícola de 2016/2017. *, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Segundo Barbosa Filho (1987), um maior número de panículas está relacionado ao maior número de perfilhamento, originando maior número de panículas férteis, sendo requisito importante para se obter alta produtividade. O autor ainda cita que, a dose recomendada pela literatura é de 8 mg dm^{-3} , se enquadrando na faixa de pequenos incrementos, sendo, portanto, a dose que propiciou o melhor índice de perfilhos e de panículas.

Para Fageria et al. (2007) os diferentes genótipos de arroz apresentam diferenças quanto a absorção, utilização de nutrientes e potencial de produtividade. O mesmo autor relata que o número de panículas e o índice de colheita de grãos (obtido pelo quociente entre produtividade de grãos em kg ha^{-1} e produtividade de matéria seca total da parte aérea em kg ha^{-1}), apresentaram diferenças de acordo com o ano de cultivo em interação com o tipo de genótipo (material utilizado).

Barbosa (2006) avaliou o efeito das doses do bioestimulante Hydrogen (0,2% Mn) em plantas de arroz irrigado. O autor encontrou valor máximo de 171 panículas por metro quadrado na dose de $2,5 \text{ L ha}^{-1}$.

Os valores da Massa de 100 sementes (g) das plantas de arroz irrigado na relação dose x fonte de manganês (Mn) encontram-se na (Figura 3). Para efeito das doses de Mn, constata-se que as doses ajustaram-se à regressão quadrática, com ponto máximo de peso de

100 sementes estimado de 3,05 gramas utilizando-se a fonte Carbonato de Mn (A) na dose de 1,0 kg ha⁻¹. Situação semelhante ocorreu para as fontes Cloreto de Mn, Nitrato de Mn e Carbonato de Mn (B) na dose de 1,0 kg ha⁻¹, havendo um decréscimo no peso das sementes a partir da dose de 1,5 kg ha⁻¹. Com exceção da fonte Nitrato de Mn, onde sua melhor dose foi de 0,5 kg ha⁻¹, com queda na massa de sementes a partir da dose de 1,0 kg ha⁻¹.

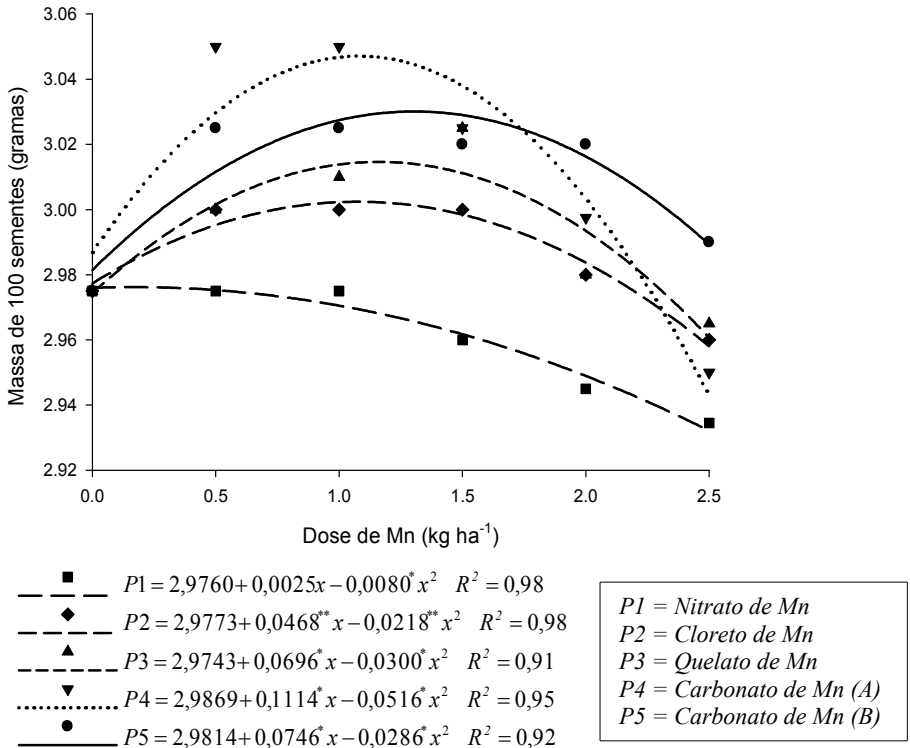


Figura 3 – Massa de 100 sementes (gramas) obtidas em plantas de arroz irrigado cultivado com diferentes fontes e doses de Mn suplementar, na Várzea Tropical do

Tocantins, no ano agrícola de 2016/2017. *, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Na cultura de arroz irrigado, o declínio da capacidade fotossintética pode ocorrer precocemente durante o enchimento de grãos, período em que a fotossíntese é responsável por 60% a 100% do conteúdo final de carbono armazenado nos grãos (YOSHIDA, 1981).

Barbosa (2006) avaliando a massa de 100 sementes de plantas de arroz, observou que o valor máximo nesta variável foi de 2,44 gramas na dose de 1,5 L ha⁻¹ de bioestimulante, resultado esse inferior ao encontrado neste trabalho. De acordo com Brasil (1992) e Marcos Filho et al. (1987) citados por Zaratin (2000), a massa hectolétrica e a massa de 100 sementes são influenciadas pelo cultivar, dando informações sobre o grau de maturidade e sanidade das sementes, sendo ainda influenciado pelas condições de clima e solo, adubação, sistema de cultivo (sequeiro ou irrigado), grau de umidade e beneficiamento.

Segundo Yoshida (1981), a massa do grão é um caráter que depende do tamanho da casca, determinado durante duas semanas que antecedem a antese e do desenvolvimento da cariopse após o florescimento (MATSUSHIMA, 1970) e, portanto, de acordo com Machado (1994), dependem das translocações de carboidratos, nos primeiros sete dias, para preencher a casca no sentido de seu comprimento, e nos sete dias posteriores, na largura e espessura.

De acordo com Epstein e Bloom (2005) e Baliza et al. (2007), em plantas acumuladoras de manganês, como o arroz após a absorção desse elemento pelas plantas, se polimeriza nas células da epiderme foliar formando uma camada rígida que dificulta o ataque de diversas pragas e doenças.

Com relação aos teores foliares (Figura 4), nota-se que ocorreu um efeito linear negativo para as fontes Carbonato de Mn (A) e Cloreto de Mn conforme foram-se aumentando as doses, mesmo assim a concentração de Mn na parte aérea não ultrapassou a faixa considerada tóxica para a cultura do arroz que é acima de 1000 mg kg⁻¹ segundo (FAGERIA et al., 1995). Comportamento semelhante também foram obtidos pelas fontes Carbonato de Mn (B) e Quelato – pó, com teores foliares acima dos considerados adequados pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS RS/SC, 2004) que são de (30 - 600 mg kg⁻¹), mais ainda estando dentro da faixa não considerada tóxica. Para a fonte Nitrato de Mn ocorreu efeito significativo em relação às demais, cujos valores se ajustaram à regressão quadrática, sendo esses teores ideais para a cultura do arroz em todas as doses aplicadas.

Observa-se que todas as doses empregadas em cada uma das fontes de manganês influenciaram o teor foliar das plantas de arroz.

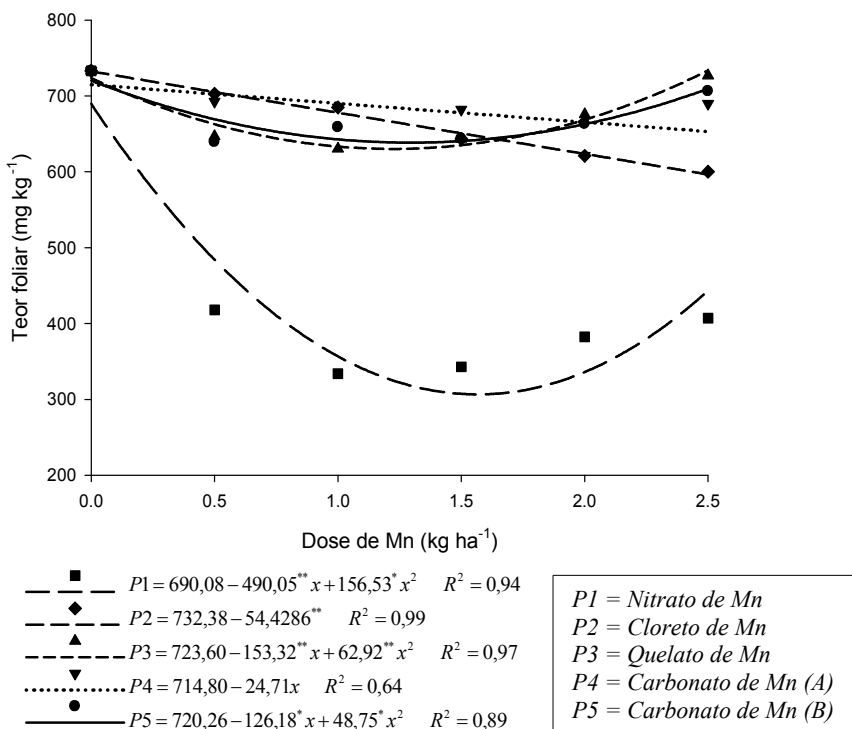


Figura 4 – Teor foliar de Mn (mg kg^{-1}) obtidos em plantas de arroz irrigado cultivado com diferentes fontes e doses de Mn suplementar, na Várzea Tropical do Tocantins, no ano agrícola de 2016/2017. *, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

É importante que na fase de perfilhamento da cultura do arroz, os teores foliares estejam em níveis adequados para que ocorra uma absorção eficiente da planta. Segundo Malavolta (1979), são considerados níveis deficientes e tóxicos os níveis < 20 e $> 2500 \text{ mg kg}^{-1}$. Para Fageria (1984), o nível de deficiência é $< 20 \text{ mg kg}^{-1}$, mas a toxidez ocorre quando os teores foliares deste elemento estão acima

de 1000 mg kg⁻¹. Já Tanaka e Yoshida (1970), ressaltam, que o teor foliar de Mn pode ser superior a 3000 mg kg⁻¹ sem sintomas de toxidez e sem reduzir a produção. Cabe ressaltar que o Mn, dentre os vários elementos essenciais, é o que apresenta na literatura, a maior amplitude de teores considerados adequados.

De acordo com Ponnampertuma (1972), a mais importante alteração química que ocorre quando um solo é alagado é a redução do ferro, de Fe³⁺ para Fe²⁺ e simultaneamente o aumento de sua solubilidade, o que acontece também com o manganês, cujo processo de redução ocorre antes do ferro. Como a amostra para análise foliar foi feita com o solo inundado, isso explica, possivelmente, os valores altos nos teores de Mn para todas as fontes utilizadas, mesmo na ausência de adubação suplementar, que, pela absorção, o acúmulo concentra-se nas folhas.

Devido haver esta interação com o Fe, recomenda-se aplicar Mn em solos com problemas de toxidez causada pelo Fe (PONNAMPERUMA e LANTIN, 1985), no entanto, pode ocorrer deficiência de Fe induzida por altas concentrações de Mn no solo (LEE, 1972). Em vários trabalhos já foi constatada a relação Fe/Mn como indicador da toxidez de Mn em plantas superiores (FOY, 1984).

Como a planta de arroz é bastante tolerante a altas concentrações desses nutrientes, a absorção e a concentração no

tecido foliar são elevadas nos casos em que os teores de Fe^{2+} e Mn^{2+} na solução do solo forem também altos.

Com relação aos teores adequados de Mn, todas as fontes apresentaram teores acima da faixa considerada adequada (30 - 600 mg kg^{-1}) pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS RS/SC, 2004). Mas não houve sinais de fitotoxidez porque segundo Fageria et al. (1995) os teores foliares para a cultura do arroz são considerados tóxicos, valores acima de 1000 mg kg^{-1} .

Ferreira et al. (2009) avaliando os teores foliares de nutrientes na parte aérea das cultivares de arroz, encontrou respostas diferenciadas, onde os fatores cultivares e doses de Mn não influenciaram, significativamente, o teor de nitrogênio, fósforo e boro na parte aérea das plantas de arroz, por ocasião do perfilhamento.

As diferenças dos genótipos podem se manifestar, de acordo com a variação no volume de Mn acumulado no tecido e na capacidade da planta em liberar esse elemento dentro do vegetal. A maior tolerância de cultivares de arroz ao excesso de Mn foi associada à capacidade de tolerar altos níveis internos de Mn e não a um possível mecanismo de exclusão desenvolvido pela planta (KOMATUDA et al., 1993).

Esses resultados mostram que não existe uma avaliação precisa do nível crítico de toxicidade e que a concentração de Mn

deverá ser usada como diagnóstico da toxicidade, com algumas restrições.

Pereira et al. (2001) trabalhando com doses de manganês em duas cultivares de arroz (canastra e confiança), observou que os resultados dos teores foliares de manganês na cultivar Canastra atingiram um resultado máximo de $78,50 \text{ mg kg}^{-1}$ na dose de 16 mg dm^{-3} , enquanto que na dose de $4,0 \text{ mg dm}^{-3}$ as plantas atingiram um índice de $27,47 \text{ mg kg}^{-1}$. No mesmo trabalho, a cultivar Confiança expressou um valor máximo de $80,31 \text{ mg kg}^{-1}$ na dose de 16 mg dm^{-3} , e o menor resultado foi de $35,45 \text{ mg kg}^{-1}$ na dose de 4 mg dm^{-3} .

Pereira (1999) verificou redução significativa nos teores foliares de Ca e Fe em arroz nas maiores doses de Mn avaliadas.

Para porcentagem de grãos inteiros, característica importante para se estimar o rendimento do arroz na indústria, verifica-se que houve decréscimos nas médias observadas com a elevação das doses para as fontes utilizadas. Observa-se na Figura 5 que as melhores porcentagens foram obtidas onde não houve a suplementação com manganês, ou seja, as doses não influenciaram de forma significativa para o aumento da porcentagem dos grãos inteiros.

Para todas as fontes testadas as melhores médias obtidas foram nas doses de $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$, com destaque para a fonte Carbonato de Mn (B), com $69,66 \%$ de grãos inteiros e nas doses de $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$, onde a fonte de Carbonato de Mn (A) obteve a melhor porcentagem

com 69,04 %, ambas não diferindo estatisticamente uma da outra. A menor porcentagem para grãos inteiros foi obtida com a fonte Nitrato de Mn na dose de 2,0 kg ha⁻¹, com 66,20 %.

Para Fornasieri Filho e Fornasieri (2006), nacionalmente, atribui-se ao arroz em casca uma renda base no benefício de 68%, constituída de um rendimento do grão de 40% de inteiros mais 28% de quebrados e quirera, e que valores abaixo desses estão fora das exigências para comercialização; mostrando que neste trabalho os valores estão acima da média.

A presença de grãos quebrados em lotes de arroz é uma característica indesejável, pois contribui para a diminuição da qualidade e do valor comercial do produto (ARF et al., 2002, SANTOS et al., 2006). Guimarães et al. (2011) também evidenciaram a importância do suprimento adequado de água para a formação e desenvolvimento da cultura, melhorando a qualidade dos grãos.

De acordo com Marchezan et al. (1993), o rendimento de grãos inteiros é determinado pela cultivar e pelo manejo da cultura, ou seja, pelo teor de umidade do grão no momento da colheita, pelas condições ambientais predominantes durante o período de granação e após a maturidade fisiológica dos grãos. Conforme foi observado por Andrade et al. (1992), Marchezan et al. (1993), Freitas et al. (2001; 2007), entre outros, a influência que o caráter genético também pode expressar nesse componente não pode ser descartada.

Em condições de campo, logo após a maturidade fisiológica, o grão de arroz é higroscópico, o que possibilita a ocorrência do processo de reumidificação. Esse processo pode ocorrer por chuva, orvalho e alta umidade do ar; pode ocorrer também pela troca de umidade entre os grãos mais secos e os mais úmidos numa massa de grãos colhidos. Para Fonseca et al. (2003), na colheita, quanto menor a proporção de grãos abaixo do limite crítico de umidade, menor será a frequência de grãos trincados.

O rendimento de inteiros é a quantidade de grãos inteiros obtidos após o beneficiamento, é um dos parâmetros mais importantes na determinação do valor de comercialização na cultura do arroz (OLIVEIRA, 1997).

De acordo com Carvalho e Nakagawa (1983), Oliveira (1999), o rendimento de grãos inteiros é uma característica extremamente sensível ao estágio de maturação, ou seja, ao momento da colheita. O estágio resultante nos mais altos rendimentos de grãos inteiros é muito curto, e encontra-se na faixa de 22 e 28% de umidade.

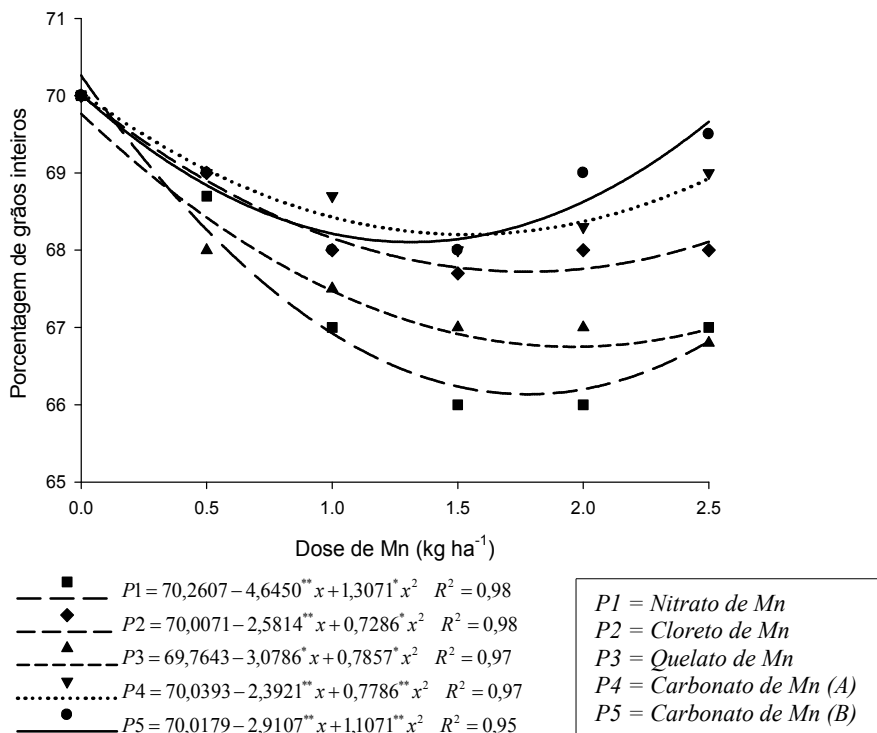


Figura 5 – Porcentagem de grãos inteiros obtidos em plantas de arroz irrigado cultivado com diferentes fontes e doses de Mn suplementar, na Várzea Tropical do Tocantins, no ano agrícola de 2016/2017. *, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Com base nos resultados de produtividade referentes às doses de Mn em função das fontes, verificou-se com a aplicação de doses superiores a 1,5 kg ha⁻¹ os efeitos foram negativos sobre a produtividade (Figura 6) para as fontes Nitrato de Mn, Cloreto de Mn, Quelato de Mn e Carbonato de Mn (B). As menores produtividades ocorreram utilizando-se a fonte de Carbonato de Mn

(A) a partir de doses acima de 1,0 kg ha⁻¹; sendo que, na dose de 2,5 kg ha⁻¹, obteve-se um rendimento de 5.266 kg ha⁻¹. A fonte de Carbonato de Mn (B) na dose de 1,5 kg ha⁻¹ proporcionou a maior produtividade com 7.375 kg ha⁻¹. Indicando desta maneira os efeitos positivos da aplicação foliar com Mn em doses adequadas, próximas a 1,5 kg ha⁻¹. Dados estes que se alinham aos obtidos quanto ao número de panículas por m² (Figura 2), pois os maiores valores também foram verificados com doses próximas a esta.

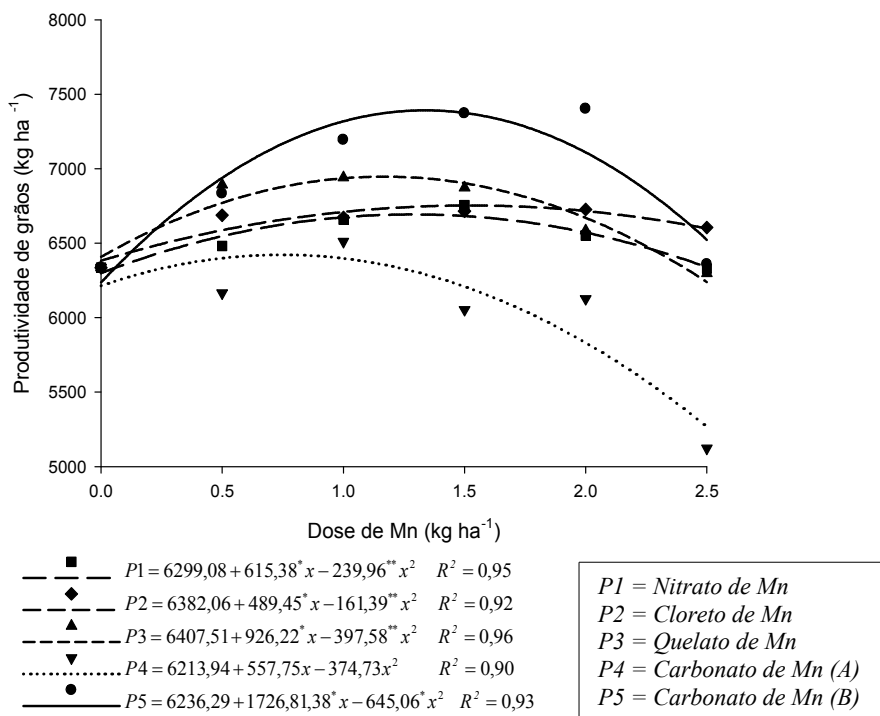


Figura 6 – Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) obtidos em plantas de arroz irrigado cultivado com diferentes fontes e doses de Mn suplementar, na Várzea Tropical do

Tocantins, no ano agrícola de 2016/2017. *, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Dentre as principais limitações ao cultivo de arroz em solos inundados, destaca-se a toxicidade por ferro (TANAKA et al., 1966). Os distúrbios fisiológicos atribuídos a essa toxicidade têm provocado grandes perdas na produção de arroz, em virtude de estarem associados com a diminuição dos índices de produtividade (FAGERIA et al., 1984).

Boeni et al. (2010) atribuem os maiores rendimentos de arroz obtidos, em solos com melhor fertilidade, e a menor produtividade se encontra com predominância em solos ácidos, arenosos e com baixo teor de matéria orgânica, apresentando em sua maioria baixos teores de nutrientes nas formas disponíveis.

No entanto, as concentrações de ferro e de manganês necessárias para a planta atingir boa produtividade são bem menores do que as alcançadas nos casos de cultivo em solos ricos em óxidos de Fe e Mn, o que faz com que o banco de dados apresente grande variabilidade na concentração desses micronutrientes no tecido foliar das plantas de arroz, mesmo nas populações de altas produtividades.

Rezer et al. (1997) relatam que a resposta a aplicação de micronutrientes está relacionada ao nível de produtividade obtido. Os mesmos autores consideram importante a utilização de micronutrientes quando se planeja uma produtividade superior a 6.000 kg ha⁻¹. Esta constatação foi comprovada no presente trabalho,

pois houve resposta positiva para a suplementação com Mn em todas as fontes testadas.

5 CONCLUSÕES

Os tratamentos em que houve aplicação da fonte de manganês, composto por Carbonato de Mn, obtiveram as melhores respostas para a maioria das características avaliadas;

Todas as doses empregadas em cada uma das fontes de manganês influenciaram o teor foliar das plantas de arroz;

Com relação aos teores adequados de Mn, todas as fontes apresentaram teores acima da faixa considerada adequada, mas não houve sinais de fitotoxidez;

A fonte de Carbonato de Mn (B) na dose de $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ proporcionou a maior produtividade com 7.375 kg ha^{-1} .

Maiores médias foram obtidas com a aplicação de 1,0 a $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de manganês, com exceção para a porcentagem de grãos inteiros onde as melhores médias foram obtidas na dose de $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando for constatada deficiência de micronutrientes em uma lavoura de arroz, poderá ser justificada a aplicação de adubos foliares fundamentada em orientação técnica especializada.

Neste caso, recomenda-se a utilização da análise de tecido vegetal como instrumento auxiliar na identificação de problemas nutricionais.

Bons resultados podem ser obtidos com a adubação foliar do arroz irrigado quando se considera os seguintes aspectos: o melhor momento (época) para aplicação do nutriente durante o período vegetativo, o número de aplicações necessárias (dose) para alcançar o rendimento esperado, o tipo de fertilizante (fonte) que deve ser aplicado, o local adequado, além dos aditivos ou condicionadores que devem ser utilizados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J. C.; VALE, F. Solubilidade de micronutrientes contidos em formulações de fertilizantes, em extratores químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 363-372, 2003.

ANDRADE, W. E. B.; AMORIM NETO, S.; FERNANDES, G. M. B.; OLIVEIRA, H. F. Épocas de aplicação de nitrogênio em cultivares de arroz irrigado na Região Norte Fluminense. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v. 45, n. 404, p. 14-17, 1992.

ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E.; CRUSCIOL, C. A. C.; PEREIRA, J. C. R. Preparo do solo, irrigação por aspersão e rendimento de engenho do arroz de terras altas. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 321-326, 2002.

AZAMBUJA, I. H. V.; VERNETTI JÚNIOR, F. J.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. Aspectos socioeconômicos da produção do arroz. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JR., A. M. (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa informação Tecnológica, 2004.

BALIZA, D. P. et al. Efeito da interação silício-nitrogênio sobre o crescimento do arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23., 2007, Gramado. Anais... Gramado: Serrano Centro de Convenções, 2007.

BARBOSA FILHO, M.P. **Nutrição e adubação do arroz (sequeiro e irrigado)**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 129p. (Boletim Técnico, 9) 1987.

BARBOSA, G.T. Efeito da aplicação de doses de bioestimulante sobre a produção e qualidade fisiológica das sementes de três cultivares de arroz. Dissertação-Mestrado em Agronomia, Ilha Solteira, SP, 2006. Disponível em: <<ftp://ftp.feis.unesp.br/docs/PPGA/Disserta%C3%A7%C3%B5es/dissertacoes2006/gustavo2006.pdf>> Acesso em: 18/08/2017

BASTOS, A. R. R. *Avaliação da solubilidade de cobre e manganês em fertilizantes e da disponibilidade desses nutrientes a plantas de arroz*. 2004. 188 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; BOARETTO, R. M. Absorção e translocação de Mn, Zn e B Aplicados via foliar em Citros. *Laranja*, v. 24, n. 1, p. 177-197, 2003.

BOENI, M. et al. Evolução da fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Cachoeirinha: IRGA. Divisão de Pesquisa, 2010. 38 p. (Boletim Técnico, 10).

BORKERT, C.M.; PAVAN, M.A. & BATAGLIA, O.C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van e ABREU, C.A., eds. **Micronutrientes elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.151-186.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento Nacional de Defesa Vegetal. Coordenadoria dos Laboratórios de Análise Vegetal. Regras para análise de sementes. Brasília, 1992, 365p.

BRESEGHELLO, F.; CASTRO, E.M.; MORAIS, O.P. Cultivares de arroz. In: BRESEGHELLO, F.; STONE, L.F. Tecnologia para o arroz de terras altas. Santo Antônio de Goiás: Cnpaf, p. 41-53, 1998.

CAMPBELL, L.C. and NABLE, R.O. Physiological functions of manganese in plants. In: GRAHAM, R.D.; HANNAM, R.J. and UREN, N.C. (Ed.). Manganese in soils and plants. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 1988. p. 139-154.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. Campinas: Fundação Cargill, 1983, p.139-152.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ARROZ E FEIJÃO. **Cnpaf/Embrapa**. Santo Antônio de Goiás. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br>>. Acesso em: 10 dez. 2010.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **11º Levantamento da safra 2012/2013**. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index>>. Acesso: Dez 2013.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, quarto levantamento, Janeiro 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_01_09_09_00_21_boletim_graos_janeiro_2015.pdf> Acesso em: 01 de Novembro 2015.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento** – Séries históricas. 2016. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 02 de Fevereiro de 2016.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento,

Agosto 2016. Disponível em: <
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_08_09_09_00_07_boletim_graos_agosto_2016_.pdf> Acesso em: 26 de Setembro de 2017.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, décimo segundo levantamento, Setembro 2017. Disponível em: <
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_09_12_10_14_36_boletim_graos_setembro_2017.pdf> Acesso em: 18 de Setembro de 2017.

CQFS RS/SC - Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004) Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10ª ed. Porto Alegre, SBCS - Núcleo Regional Sul. 400p. 2004.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Embrapa Arroz e Feijão. **Sistemas de Produção**. Disponível em: <
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrigadoTocantins/index.htm>>. Acesso: Out 2012.

EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400p.

FAGERIA, N.K. Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz. Rio de Janeiro: Campus: Embrapa, 1984. 341p.

FAGERIA, N.K.; FERREIRA, E.; PRABHU, A.S.; BARBOSA FILHO, M.P. & FILIPPI, M.C. Seja doutor do seu arroz. Piracicaba, Potafos, 1995. 20p. (Arquivo do Agrônomo, 9)

FAGERIA, V.D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of plant nutrition**, v.24, p.1269-1290, 2001.

FAGERIA, N. K., SANTOS, A. B., STONE, L. F. Manejo de nitrogênio em arroz irrigado. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 58), p. 4, 2003.

FAGERIA, N. K. ; SANTOS, A. B. ; CUTRIM, V. A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciada pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 1029-1034, 2007.

FAGERIA, N. K.; MORAIS, O. P. de; SANTOS, A. B dos. Nitrogen use efficiency in upland rice genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, p. 1696-1711, 2010.

FAGERIA, N. K.; KNUPP, A. M. Upland rice phenology and nutrient uptake in tropical climate. **Journal of Plant Nutrition**, v. 36, n. 1, p. 1-14, 2013.

FAO - Food and Agriculture Organization.. How to Feed the World in 2050. High Lev. Expert forum - Roma. 2009.35p.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2014. Rice Market Monitor volume 15, nº 1. www.fao.org/economic/RMM acesso em 23 de agosto de 2015.

FAO. Food and Agricultural Organization, 2015. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/>>. Acesso em: 28 de Outubro. 2015.

FAO - **Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) and the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations**. 2015. Disponível em <<http://www.oecd.org/>>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2016.

FAO. Food and Agricultural Organization. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&ret=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjN88Pbx6_WAhVDGZAKHRWzAVEQFggmMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.cepea.esalq.usp.br%2Fbr%2Fdocumentos%2Ftexto%2Farroz-perspec-2017-colheita-deve-pressionar-valor-no-1-semester-mas-estoque-pode-sustentar-no-2.aspx&usg=AFQjCNGliNmb4D0l25NngdmODphnApSY8nA>.

Acesso em: 18 de Setembro. 2017.

FAOSTAT - FAO.Statistical Databases. **Food Agric. Organ.** United Nations. 2012.

FERRANDON, M., CHAMEL, A. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganics forms. *J. Plant Nutrition*, 11: 247-263. 1988.

FERREIRA, J. M. F. **Preparação de óxidos de zinco e manganês via precipitação em solução homogênea, para utilização na agricultura como adubo foliar**. 2009. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade de São Paulo, Lorena, 2009.

FREITAS, J. G.; AZZINI, L. E.; CANTARELLA, H.; BASTOS, C. R.; CASTRO, L. H. S. M.; GALLO, P. B.; FELÍCIO, J. C. Resposta de cultivares de arroz irrigado ao nitrogênio. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 573-579, 2001.

FREITAS, J. G.; CANTARELLA, H.; SALOMON, M. V.; MALAVOLTA, V. M. A.; CASTRO, L. H. S. M.; GALLO, P. B.; AZZINI, L. E. Produtividade de cultivares de arroz irrigado resultante da aplicação de doses de nitrogênio. *Bragantia*, Campinas, v. 66, n. 2, p. 317-325, 2007.

FONSECA, J. R.; CASTRO, E. M.; ZIMMERMANN, F. J. P.; CUTRIM, V. A. “BRS Colosso”, “BRS Soberana” características e pontos de colheita. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 3 p. (Comunicado técnico, 56).

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. Manual da cultura do arroz. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 589 p.

FOY, C.D. Manganese and plants. In: *Manganese*: Washington, National Academy of Sciences, 1973. p.51-76.

FOY, C.D. Physiological effects of hydrogen, aluminum and manganese toxicities in acid soil. In: ADAMS, F. (Ed.). *Soil acidity and liming* 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1984. p.57-97.

GRAHAM, RD. & WEBB, M.J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. p.329-370. In: MORTVEDT, J.J; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (Eds.) *Micronutrients in Agriculture*. 2nd edition. Soil Science Society of America, 1991.

GIUDICE, R.M.; HAAG, H.P.; THIÉBAUT, J.T.L; DECHEN, A.R. **Absorção cumulativa de nutrientes minerais em duas variedades de arroz (*Oryza sativa* L.), cultivadas em três diferentes níveis de disponibilidade d’água**. Campinas, Fundação Cargill, 78p. 1983.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; OLIVEIRA J. P.; RANGEL, P. H. N.; RODRIGUES, C. A. P. Sistema radicular do arroz de terras altas sob deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 126-134, 2011.

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMIN, C. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, v. 327, n. 5967, p. 812–818, 12 fev. 2010.

HUBER, D.M. & WILHELM, N.S. The role of manganese in resistance to plant disease. In: GRAHAN, R.D.; HANNAM, R.J. & UREN, N.C. (Eds.). *Manganese in soils and plants*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 1988. p.155-173.

KANNAN, S. Role of foliar fertilization on plant nutrition. In: Baligar, V.C., Duncan, R.R. Crops as Enhancers of Nutrient Use. New York: Academic Press, Inc. 1991. 574p.

KOCHIAN, L.V. Mechanisms of uptake and translocation in plants. In: Micronutrients in Agriculture. MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, L.M. (Eds.). Soil Sci Soc. of Am., Madison WI. p.230. 1991.

KOMATUDA, C. R. N. et al. Comportamento de cultivares de soja sob deficiência ou excesso de manganês em solução nutritiva. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 17, n. 2, p. 217-221, 1993.

LEE, C.R. Interrelationships of aluminum and manganese on the potato plant. Agron. J., 64:546-549, 1972.

LONERAGAN, J.F. Distribution and movement of Manganese in plants In: GRAHAM, R.D.; HANNAM, R.J. & UREN, N.C., eds. Manganese in soils and plants. Netherlands, Kluwer Academic, 1988. p.113-124.

LOPES, A. S. *Micronutrientes*: filosofias de aplicação e eficiência agronômica. São Paulo: Anda, 1999. (Boletim técnico, 8).

LU, B. R. Taxonomy of the genus *Oryza* (Poaceae): historical perspectives and current status. **IRRI News**, v. 24, n. 3, 1999.

LUK, E., CARROLL, M., BAKER, M. & CIZEWSKI CULOTTA, V. Manganese activation of superoxide dismutase 2 in *Saccharomyces cerevisiae* requires TM1, a member of the mitochondrial carrier family. Proc. Natl. Acad. Sci., 100:10353-1035, 2003.

MACHADO, J. R. Desenvolvimento da planta e produtividade de grãos de populações de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado por inundação em função de épocas de cultivo. Botucatu, 1994. 237p. Tese (livre docência) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

MALAVOLTA, E. Absorção e transporte de íons e nutrição mineral. In: FERRI, M. G. (Ed.) Fisiologia vegetal 1. São Paulo. USP. p.77-113. 1979.

MALAVOLTA, E. & FORNASIERI FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: FERREIRA, M.E.; YAMADA, T. & MALAVOLTA, E. (Eds.). Cultura do arroz de sequeiro: fatores afetando a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1983. p.95-140.

MALAVOLTA, E.; VITTI G.C.; OLIVEIRA S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e Aplicações. 2ª ed. Piracicaba, **Potafós**. 319p. 1997.

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

MANN, E. N.; REZENDE, P. M.; CARVALHO, J. G.; CORRÊA, J. B.D. Efeito da adubação com manganês, via solo e foliar em diferentes épocas na cultura da soja *Glycine max* (L.) Merrill]. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 25, n. 2, p. 264-273, 2001.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Brasil: Projeções do Agronegócio 2014/2015 a 2024/2025**. 2015. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/PROJECoes_DO_AGRONEGOCIO_2025_WEB.pdf>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2016.

MARCHEZAN, E.; GODOY, O. P.; MARCOS FILHO, J. Relações entre épocas de semeadura, de colheita e rendimento de grãos inteiros de cultivares de arroz irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 28, n. 7, p. 843-848, 1993.

MARCOS FILHO, J. et al. Avaliação da qualidade de sementes. Piracicaba: Fealq, 1987, 230p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press, 1995. 889p.

MASCAGNI JUNIOR, H.J.; COX, F.R. Evaluation of inorganic and organic manganese fertilizer sources. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.458-461, 1985.

MATSUSHIMA, S. Crop science in rice: theory of yield determination and its application. Tokyo: Fuji, 1970. 37p

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; HEINRICHS, R.; TANAKA, R. T. Influência do magnésio na absorção de manganês e zinco por raízes destacadas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 95-101, jan. 2003.

OBATA, H. Physiological functions of micro essential elements. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K; HIRATA, H. (Ed.). **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Food and Agricultural Policy Research Center, 1995. p. 402-412.

OLIVEIRA, A. C. M. Efeito de doses de potássio na produção e qualidade de sementes de arroz de sequeiro, cv. Carajás e IAC-201. Ilha Solteira, SP, 1999, 60p.

Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista.

OLIVEIRA, G. S. Efeito De espaçamentos e densidade de semeadura sobre o desenvolvimento de cultivares de arroz de sequeiro irrigados por aspersão. Ilha Solteira, 1997. 65p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista.

PAVAN, M. A; BINGHAM, F.T. Toxidez de metais em plantas. I. Caracterização de toxidez de manganês em cafeeiros. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 16, n.6,p.825-821, 1981.

PEREIRA, G.D Manganês em cultivares de arroz de sequeiro: prognose da disponibilidade, nutricional mineral e produção. Lavras: UFLA, 1999. 111p. (Dissertação-Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

PEREIRA, G. D. et al. Doses e modos de adubação com manganês e seus efeitos na produção da cultura do arroz. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 25, n. 3, p. 625-633, 2001.

PEREIRA, H.S; MELLO, S.C. Aplicações de fertilizantes foliares na nutrição e na produção do pimentão e do tomateiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p.597-600, 2002.

POCOJESKI, E.; SILVA, L.S.;MARCHESAN E.; GRAUPE, F.A.; BRITZKE, D. Nível de nitrogênio em cultivares de arroz irrigado: uso do clorofilômetro e da cartela de cores. Anais... XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Gramado, RS, 2007.

PONNAMPERUMA, F.N. 1972. The chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy 24:29-96.

PONNAMPERUMA, F.N. e LANTIN, R.S. Diagnoses and amelioration of nutritional disorders of rice. Los Baños: IRRI, 1985. 20p.

RAUSER, W.E. Structure and function of metal chelators produced by plants: the case for organic acids, amino acids, phytin, and metallothioneins. Cell Biochem. Biophys., 31:19-48, 1999.

RAY, D. K.; MUELLER, N. D.; WEST, P. C.; FOLEY, J. A. Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. **PloS One**, v. 8, n. 6, p. e66428, 19 jun. 2013.

REZER, J.R., MARCHEZAN, E., VIZZOTTO, V.R., *et al.* Aplicação foliar de micronutrientes em arroz irrigado (*Oryza sativa* L.), em área de várzea sistematizada. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22, 1997, Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Itajaí : EPAGRI, 1997. p.248-250.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

ROSSI, R. M.; NEVES, M. F.; CARVALHO, D. T. Características do processo de decisão de compra pelos citricultores paulistas em relação a fertilizantes foliares. **Laranja**, v. 25, n. 1, p. 19-35, 2004.

ROTILI, E. A.; FIDELIS, R. R.; SANTOS, M. M.; BARROS, H. B.; PINTO, L. C. Eficiência do uso e resposta à aplicação de fósforo de cultivares de arroz em solos de terras altas. *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 3, p. 705-710, 2010.

RUSCHEL, J. et al. Concentrações foliares do porta-enxerto limoeiro ‘cravo’ em função da adubação N, P, K, Ca e S. *Scientia Agricola*, v. 61, n. 5, p. 501-506, 2004.

SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A. (Eds.). *A cultura do arroz no Brasil.* 2. ed. rev. ampl. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006,1000p.

SANZONOWICZ, C. *Deficiência de manganês em solos do Cerrado.* Piracicaba: Potafos, 1995.

SECK, P. A.; DIAGNE, A.; MOHANTY, S.; WOPEREIS, M. C. S. Crops That Feed the World 7: Rice. **Food Security**, v. 4, n. 1, p. 7–24, 22 fev. 2012.

SIGMAPLOT - **Scientific graphing software.** Version 10.0, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal.* 3. ed. Tradução de SANTARÉM, E. R. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TANAKA, A. & YOSHIDA, S. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. Los Baños: International Rice Research Institute, 1970.51p. (Technical Bulletin, 10).

TANAKA, A.; LOE, R. & NAVASERO, S.A. Some mechanisms involved in the development of iron toxicity symptoms in the rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 12:32-38, 1966

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B. L. Global Food Demand and the Sustainable Intensification of Agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 50, p. 20260–20264, 13 dez. 2011.

TOMPSON, I.A. & HUBER, D.M. Manganese and plant disease. In: DATNOFF, L.E.; ELMER, W.H. & HUBER, D.M. (Org.). Mineral Nutrition and Plant Disease: American Phytopathological Society, 2007. 278 p (no prelo).

VAUGHAN, D. A. Genus *Oryza* L. Current Status of Taxonomy. **IRRI Research Paper Series** (Philippines), v. 138, 1989.

VAUGHAN, D. A.; GE, S.; KAGA, A.; TOMOOKA, N. Phylogeny and Biogeography of the Genus *Oryza*. In: HIRANO, H. Y.; SANO, Y.; HIRAI, A.; SASAKI, T. (Ed.). **Rice Biology in the Genomics Era**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg: Biotechnology in Agriculture and Forestry, 2008. p. 219–234.

VITTI, G. C.; OLIVEIRA, D. B.; QUINTINO, T. A. Micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 121-138.

YOSHIDA, S. Fundamental of rice crop science. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981. 269p.

WATANABE, Y. Phylogeny and geographical distribution of genus *Oryza*. In: MATSUO, T.; FUTSUHARA, Y.; KIKUCHI, F.; YAMAGUCHI, H. **Science of the rice plant genetics**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1997, p.29-39.

ZARATIN C. Doses e parcelamento de potássio em quatro cultivares de arroz irrigados por aspersão. Ilha Solteira, SP, 2000, 61p. Monografia (Trabalho de Graduação) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista.