



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - POSAGRO

DIEGO DA SILVA BARBERENA

EFEITOS DE DOSES DE FÓSFORO E DE POTÁSSIO NO ARROZ
IRRIGADO EM VÁRZEA DE RORAIMA

BOA VISTA
RORAIMA - BRASIL
2009

DIEGO DA SILVA BARBERENA

**EFEITOS DE DOSES DE FÓSFORO E POTÁSSIO NO ARROZ
IRRIGADO EM VÁRZEA DE RORAIMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Roraima, em parceria com a Embrapa Roraima, como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração Produção Vegetal.

Orientador(a): Pesquisador Dr. Roberto Dantas de Medeiros

Boa Vista
Roraima - Brasil
2009

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)

B234 Barberena, Diego da Silva
Efeitos de doses de fósforo e potássio no arroz irrigado em várzea de Roraima/ Diego da Silva Barberena. – Boa Vista, 2009.
57 f.

Orientador: Dr. Roberto Dantas de Medeiros.
Dissertação (Mestrado) – Agronomia - Universidade Federal de Roraima.

1 – *Oryza sativa* L.. 2 - Roraima. I. Título. II – Roberto Dantas de Medeiros.

CDU – 633.18

DIEGO DA SILVA BARBERENA

**EFEITOS DE DOSES DE FÓSFORO E POTÁSSIO NA
CULTURA DE ARROZ IRRIGADO EM VÁRZEA DE RORAIMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Roraima, em parceria com a Embrapa Roraima, como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração Produção Vegetal.

Aprovada em: 30 de março de 2009

Pesquisador Dr. Roberto Dantas de Medeiros
Orientador – Embrapa Roraima

Pesquisador Dr. Gilvan Barbosa Ferreira
EMBRAPA-RR

Profa. Dra. Sandra Cátia Pereira Uchoa
UFRR

Pesquisador Dr. José Oscar Lustosa de Oliveira Junior
EMBRAPA-CPAMN

DEDICATÓRIA

À minha esposa Cinara, cuja força, presença, companheirismo, dedicação e amor, com certeza foram, são, e sempre serão vitais em todas as conquistas e realizações da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço pela orientação do professor Dr Roberto Dantas de Medeiros: sua paciência, condução do trabalho, orientação e amizade.

Ao Dr Gilvan Ferreira Barbosa, cuja orientação foi vital na análise dos dados desta pesquisa, escrita deste trabalho e atividades em campo. Obrigado pelas inúmeras horas de dedicação.

Aos funcionários da Embrapa-RR, indispensáveis na coleta do material para análise em campo. Agradeço.

A disponibilização da área de pesquisa, máquinas e tempo dispensado pelo produtor rural Genor Faccio, na fazenda Paraíso. Muito obrigado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Roraima e aos professores, pela oportunidade ímpar de ampliação de conhecimentos e formação.

BIOGRAFIA

DIEGO DA SILVA BARBERENA, filho de José Júlio Oliveira Barberena e Maria Inês da Silva Barberena, nasceu em 30 de junho de 1975, em Porto Alegre-RS.

Em março de 2003, concluiu o curso de graduação em Agronomia, pela Universidade Federal de Santa Maria.

Em março de 2006, foi admitido no curso de Pós-Graduação “lato sensu” em Proteção de Plantas da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de monografia em dezembro de 2006.

Em março de 2007, foi admitido no curso de Mestrado em Agronomia da Universidade Federal de Roraima, submetendo-se à defesa de dissertação em 30 de março de 2009.

BARBERENA, Diego da Silva. **Efeitos de Fósforo e Potássio no arroz irrigado em várzea de Roraima**. 2009. 57 p. Dissertação de Mestrado / Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2009.

RESUMO

A cultura do arroz irrigado é a principal atividade agrícola de Roraima, onde se faz uso intensivo de fósforo e potássio, tanto em áreas com vários anos de cultivo, como em áreas de primeiro ano. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta do arroz irrigado a diferentes doses de fósforo e potássio sobre a produtividade de grãos, determinada pela colheita da área útil da parcela (3 x 2,5), em kg ha⁻¹, altura de plantas em cm, medida em dez plantas ao acaso por parcela e componentes de produção. Os dados foram obtidos através da coleta de dez panículas por parcela na área útil, sendo a massa de mil grãos obtida da pesagem destes grãos em balança de precisão, e corrigida para 13%, número de grãos cheios, número de grãos estéreis e total de grãos por panícula, sendo feita sua contagem total e dividida pelo número de panículas, em áreas de primeiro ano e áreas intensamente adubadas. Utilizou-se o delineamento inteiramente ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, sendo feita análise de regressão através de superfície de resposta. Na área nova, o potássio influenciou significativa e positivamente todas as variáveis, exceto massa de mil grãos, sendo seu efeito o principal responsável pelas produtividades alcançadas. O fósforo influenciou positivamente a massa de mil grãos e a produtividade. O número de grãos por panícula, a massa de mil grãos e a altura contribuíram para as maiores produtividades. A maior produtividade encontrada (8.154 kg ha⁻¹ de grãos) ocorreu com uso de 304 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 228 kg ha⁻¹ de K₂O. A máxima eficiência econômica foi obtida com 134 e 158 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O, respectivamente, e produtividade de 7.501 kg ha⁻¹ de grãos, com lucro líquido de R\$ 696,78 ha⁻¹, relação benefício/custo de 1,18 e custo unitário de R\$ 0,5271 kg⁻¹ de arroz. Na área de cultivo intensivo, o potássio afetou o número de grãos estéreis, a altura de planta e panículas por m², com tendência positiva. O fósforo alterou a massa de mil grãos, número de grãos estéreis e total de grãos por panícula. Houve interação apenas para massa de mil grãos. Apenas o potássio influiu na produtividade, que foi reduzida para 6522 kg ha⁻¹. A ordem de acumulação dos nutrientes nas folhas foi N>K>Ca>P>Mg. O potássio influenciou as variáveis medidas, exceto fósforo disponível no solo. O fósforo alterou apenas seu teor no solo. Os altos teores no solo destes nutrientes não possibilitaram respostas positivas à adubação com fósforo e potássio. O potássio causou decréscimo na absorção de magnésio, devido ao seu baixo teor no solo, havendo redução da produtividade por desequilíbrio nutricional.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., equilíbrio nutricional, análise econômica.

BARBERENA, Diego da Silva. **Effects of phosphorus and potassium in the irrigated rice in lowland of Roraima**. 2009. 57p. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2009.

ABSTRACT

The cultivation of rice is the main agricultural activity of Roraima, which makes intensive use of phosphorus and potassium, so much in areas with several years of cultivation as in areas in the first year of agricultural activity. The aim of this study was to evaluate the response of irrigated rice to the application of different doses of phosphorus and potassium above the grains productivity, determined by the crop of the useful area of the portion (3 x 2,5), in kg ha⁻¹, height of plants in cm, measured in ten randomized plants for portion and production components. The Data were obtained by collecting ten panicles per plot in the useful area, being the thousand grain mass obtained from the weighing of grain in a precision scale and corrected to 13% number of filled grains, grain number and total number of sterile grains per panicle, and made his total score divided by the number of panicles, in areas of first year and heavily fertilized areas. It was used a completely randomized design in a split plot, being done through regression analysis of response surface. In the new area, the potassium affected significantly and positively all variables, except thousand grain mass, being its effect the primarily responsible for the productivity achieved. The phosphorus positively influenced the weight of thousand grains and productivity. The number of grains per panicle, weight of thousand grains and height contributed to the higher yields. The highest productivity (8,154 kg ha⁻¹ grains) occurred with the use of 304 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and 228 kg ha⁻¹ of K₂O. The maximum economical efficiency was with 134 and 158 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and K₂O, respectively, and productivity of 7501 kg ha⁻¹, of net profit of R \$ 696.78 ha⁻¹ benefit / cost and unit cost of 1.18 U.S. \$ 0.5271 kg⁻¹ of rice. In the area of intensive cultivation the potassium affect the number of seeds sterile, the plant height, and panicles per m². The phosphorus changed the mass of thousand grains, number of sterile grains and total grains per panicle. There was an interaction for mass of thousand grains. Only the potassium influenced on productivity at 6522 kg ha⁻¹. The order of accumulation of nutrients was N > K > Ca > P > Mg. The potassium influenced the variables, except available phosphorus in soil. Phosphorus only change their content in soil. The high levels of these nutrients in the soil not possible positive response to fertilization with phosphorus and potassium. The potassium caused decrease in the absorption of magnesium due to its low content in the soil, with reduced productivity by nutritional imbalance.

Keywords: *Oryza sativa* L., nutritional balance, economic analysis.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2. 1 POTÁSSIO.....	5
2.1.1 Potássio no solo.....	5
2.1.2 Potássio na planta.....	8
2.2 FÓSFORO.....	9
2.2.1 Fósforo no solo.....	9
2.2.2 Fósforo na planta.....	11
3 ARTIGO A: CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO EM RESPOSTA A DIFERENTES DOSES DE FÓSFORO E POTÁSSIO, EM VÁRZEA DE PRIMEIRO ANO, NO ESTADO DE RORAIMA.....	12
3.1 RESUMO.....	12
.....	12
3.2 ABSTRACT.....	12
3.3 INTRODUÇÃO.....	14
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.5 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	19
3.6 CONCLUSÕES.....	28
4 ARTIGO B: CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO EM RESPOSTA A DIFERENTES DOSES DE FÓSFORO E POTÁSSIO, EM ÁREAS DE VÁRZEA COM CULTIVO INTENSIVO, NO ESTADO DE RORAIMA.....	29
4.1 RESUMO.....	29
4.2. ABSTRACT.....	30
4.3 INTRODUÇÃO.....	31
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.6 CONCLUSÕES.....	50
5 CONCLUSÕES GERAIS.....	51
REFERÊNCIAS.....	52

LISTA DE TABELAS

TABELA	PÁGINA
3.4.1. Características químicas e físicas do solo de várzea em primeiro ano de cultivo, utilizado no experimento.....	16
3.5.1. Valores médios e significância dos efeitos tratados de altura de plantas, número de grãos cheios (NGC), de grãos estéreis (NGE), total de grãos, massa de mil grãos (MMG), número de panículas por metro quadrado (NPM) e produtividade (PROD) em função de doses de fósforo e potássio no arroz irrigado em várzeas do estado de Roraima. Safra 2007/2008.....	21
3.5.2. Análise econômica da adubação com fósforo e potássio no experimento de arroz de várzea BR Roraima, em área de primeiro ano, safra 2007/2008.....	25
3.5.3. Coeficientes de correlação entre produtividade e os componentes de produção. (M = 25 dados).....	27
4.4.1. Características químicas e físicas do solo de várzea em sexto ano de cultivo, utilizado no experimento.....	32
4.5.1. Valores médios e significância dos efeitos tratados de altura de plantas, número de grãos cheios (NGC), de grãos estéreis (NGE), total de grãos, massa de mil grãos (MMG), número de panículas por metro quadrado (NPM) e produtividade (PROD) em função de doses de fósforo e potássio no arroz irrigado em várzeas do estado de Roraima. Safra 2007/2008.....	38
4.5.2. Valores médios e significância de P e K disponíveis no solo e Magnésio em função de doses de fósforo e potássio em solos de várzeas, já cultivado, no estado de Roraima.....	42

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
3.5.1. Produtividade de arroz em casca (A), grãos cheios por panícula (B), altura (C) e panículas por m ² (D) em função de doses de potássio e fósforo na cultivar BR Roraima, em várzea do estado de Roraima, safra 2007/2008. Obs.: ns, *, **, ns = não significativo, significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.....	22
3.5.2. Resposta da cultivar BR Roraima em número de panículas m ⁻² em resposta a diferentes níveis de K ₂ O e P ₂ O ₅ em solo de várzea em Roraima. Obs.: ns, * e **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F.....	23
3.5.3. Resposta de produtividade da cultivar BR Roraima a diferentes níveis de K ₂ O e P ₂ O ₅ em solo de várzea em Roraima.....	24
4.5.1. Altura de plantas em função de doses de potássio (A) e fósforo (B) em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs.: * significativo a 5% pelo teste F.....	35
4.5.2. Número de grãos cheios por panícula, em função de doses de fósforo em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs.: * significativo a 5% pelo teste F..	35
4.5.3. Número de grãos estéreis por panícula em função de doses de potássio e fósforo em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs.: * significativo a 5% pelo teste F.....	36
4.5.4. Produtividade de arroz irrigado em resposta a diferentes doses de K ₂ O em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs.: p<0,056: significativo a 5,56% de probabilidade pelo teste F.....	40
4.5.5. Variação nos teores de K disponível no solo em função da aplicação de doses crescentes de potássio em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs.: * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F...	43
4.5.6. Variação nos teores de P disponível no solo em função da aplicação de doses crescentes de fósforo em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs.: *: significativo 5% de probabilidade pelo teste F.....	44
4.5.7. Teores de N na parte aérea de plantas de arroz irrigado em	

várzea já cultivada, em função da aplicação de doses crescentes de potássio, em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs.: **: significativo 1% de probabilidade pelo teste F.....	46
4.5.8. Variação nos teores de P foliar, na folha bandeira, em função da aplicação de doses crescentes de potássio, em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs.: *: significativo 5% de probabilidade pelo teste F.....	47
4.5.9. Variação nos teores de K, na folha bandeira, em função da aplicação de doses crescentes de potássio, em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs.: **: significativo 1% de probabilidade pelo teste F.....	48
4.5.10. Variação nos teores de Mg foliar, na folha bandeira, em função da aplicação de doses crescentes de potássio, em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs.: ***: significativo 0,1% de probabilidade pelo teste F.....	49

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta condições climáticas adequadas para a agricultura. Assim, particularidades edafoclimáticas são indicativas de que as recomendações de manejo são mais eficazes quando feitas de forma regionalizada. Contudo, ainda não foram realizados estudos suficientes que viabilizem recomendações específicas para todas as regiões do país (COSTA, 2005). Uma grande limitação está nos solos altamente intemperizados que necessitam de manejo cuidadoso da fertilidade, que estão sendo incorporados ao processo produtivo graças ao uso de fertilizantes.

O estado de Roraima tem grandes áreas aptas ao cultivo de várias espécies vegetais, sem impedimentos à mecanização. Porém, se faz necessária a correção da fertilidade dos solos, para a obtenção de boas produtividades e economicamente viáveis. Neste contexto, Roraima se destaca na região norte como um dos principais produtores de arroz irrigado, possuindo áreas de várzea em torno de 250.000 ha, dos quais 24.000 ha foram cultivados na safra 2007/2008, obtendo-se produção total em torno de 154.000 toneladas do grão (REVISTA SOMOS, 2008). Essa produção abastece o mercado interno e é exportada para os estados vizinhos, especialmente o Amazonas. No estado, muitas das tecnologias utilizadas na indicação de uso de fertilizantes são baseadas em resultados de pesquisas oriundas de outras áreas produtoras, não satisfazendo a nossa condição de solo e clima.

Há, então, a necessidade de pesquisas que possibilitem o uso de uma recomendação de adubação mais adequada às condições regionais, racionalizando o uso destes insumos, que são um dos principais itens no custo de produção, pois são utilizados atualmente 150 kg ha⁻¹ de fósforo e de potássio em cada ciclo da cultura.

Na cultura do arroz, o manejo da fertilidade em cultivo irrigado não pode ser realizado da mesma forma que nas condições de sequeiro, pois em solos alagados, a lâmina de água presente sobre a superfície do solo cria um ambiente diferenciado. Neste ambiente predominam organismos anaeróbicos que provocam a mudança de algumas propriedades, como aumento de pH,

disponibilidade de fósforo, potássio e ferro, e perda de nitrogênio por desnitrificação (POCOJESKI, 2007).

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo determinar os efeitos de fósforo e potássio nos componentes de produção e na produtividade de grãos de arroz irrigado em várzeas de primeiro e sexto ano consecutivos de cultivo no estado de Roraima.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O arroz é um dos cereais mais cultivados no mundo, principalmente na Ásia, onde é a base alimentar da população.

O comportamento das culturas nas várzeas é extremamente influenciado pelo manejo destas áreas, visto que apresentam características químicas e físico-hídricas bastante distintas das áreas de cultivo não inundado. Por conseguinte, há necessidade de desenvolver sistemas adequados de produção conforme suas peculiaridades, uma vez que é fundamental a manutenção, em níveis elevados, da fertilidade do solo e da produtividade do arroz irrigado.

Vários fatores determinam a eficiência de absorção dos nutrientes. Entre estes, o solo, a cultivar, a época de plantio, o manejo de água, o controle de pragas, a sequência de cultivos, as fontes, as doses e as épocas de aplicação dos fertilizantes. Assim, é importante o monitoramento da fertilidade do solo e do estado nutricional das culturas (GOSWAMI; BANERJEE, 1978).

De Datta (1981) relata que, além da deficiência generalizada de N, a deficiência de P é também bastante comum no Brasil, e que as respostas ao K ocorrem, principalmente, em cultivos intensivos de arroz. Entretanto, a importância da deficiência de K é baixa e depende da classe do solo. Em muitos solos, a adição de potássio resultou em resposta pequena e variável no rendimento de grãos de arroz. Fageria; Santos; Zimmermann (2000) também concluíram que o N é o nutriente mais limitante para a produção de arroz, seguido do P e do K. No entanto, para se obter alta produção nos solos de várzea, é necessário corrigir a deficiência nutricional existente. Neste caso, é importante observar a contribuição residual da adubação do ciclo da cultura anterior, principalmente para nutrientes de menor mobilidade como K e imóveis, como o P.

Fageria (1999) considera as extrações realizadas pela planta de arroz como as quantidades exigidas de nutriente, encontrando-se em ordem decrescente: $K > N > Ca > P > S > Mg > Fe > Mn > Zn > B > Cu > Cl > Mo$. Estes dados foram confirmados por Ferreira et al. (2007), que testaram a exportação de NPK por três cultivares de arroz, e encontraram a mesma ordem

de acúmulo de nutrientes na biomassa das plantas. As quantidades contidas nas sementes, no entanto, não seguem exatamente esta ordem, porque a distribuição entre palha e semente depende do nutriente. Os elementos N, P, Mg, S, Cu, Mo e Zn são encontrados em quantidades maiores nas sementes do que na palha e, portanto, a fração exportada é maior do que a que fica na lavoura. Ao contrário, os elementos Ca, K, B, Cl, Fe e Mn acumulam mais na palha do que nas sementes e, em consequência, a fração exportada é baixa. Isto é de fundamental importância para o manejo da adubação, pois o nutriente que fica nos restos culturais na lavoura é reciclado e volta ao sistema, sendo reaproveitado. As exportações de nutrientes decrescem na ordem $N > K > P > S > Mg > Ca > Fe > Zn > Mn > Cu > B > Cl > Mo$. Notam-se, assim, diferenças entre as exigências de alguns nutrientes e o que é exportado pela cultura, sendo, por exemplo, o cálcio o macronutriente menos exportado pela cultura, mas o terceiro mais exigido pela planta. Em geral, os dados demonstram que o N é mais limitante para a produção de arroz, seguido do P e do K. Assim, para se obter alta produção nesses solos é necessário corrigir a deficiência nutricional e manejar adequadamente sua fertilidade, considerando que o efeito residual da adubação é importante, principalmente quando se trata de nutrientes imóveis como P e K. Fageria (1999) definiu o efeito residual do fósforo e do potássio como a quantidade desses nutrientes disponível para a cultura sucessiva ou a resposta desta cultura no nível de P e K aplicados anteriormente. O efeito residual depende do tipo do solo, da quantidade de nutrientes aplicados e da produtividade.

Para a cultura do arroz irrigado, o manejo da adubação é feito de acordo com os resultados da análise do solo, como em todas as culturas, associados com sistema de semeadura e expectativa de rendimento. É recomendada a adubação de P e K na semeadura, podendo, no caso de solos arenosos, ser feito o parcelamento da dose de K e aplicado em cobertura juntamente com o N.

O aumento do pH em solos inundados proporciona o aumento da concentração de P na solução do solo, principalmente devido à redução de compostos férricos para formas ferrosas entre outras fontes, com liberação do P retido por adsorção ou por ligação química específica (SOUZA; LOBATO; REIN, 2004). Situação semelhante ocorre com o K, que mesmo com teor médio

ou baixo disponível no solo, não apresenta resposta do arroz irrigado em rendimento à aplicação deste nutriente em muitos casos, embora sua importância seja conhecida. Um dos fatores relacionados com esta baixa resposta ou nenhuma resposta pode ser a liberação de K das frações não trocável e estrutural, que podem suprir, durante algum tempo, a demanda da cultura pelo nutriente (CASTILHOS, 1999).

Os fatores importantes que influem na disponibilidade para o potássio (e o N-amoniaco) são os mecanismos de difusão e o fluxo de massa. Para o fósforo, o potássio (e o amônio), os parâmetros de maior sensibilidade foram a taxa de crescimento radicular (cm s^{-1}), a concentração inicial na solução do solo (mmol L^{-1}) e o raio médio da raiz (cm). Como se pode ver, independentemente do nutriente e do mecanismo, é fundamental que haja boa taxa de crescimento radicular durante o ciclo de desenvolvimento da planta. É importante, pois, haver um sistema radicular bem amplo e profundo, de modo a explorar o maior volume de solo possível.

Assim, o uso racional da adubação não somente aumenta a produtividade das culturas como, também, diminui o custo de produção e os riscos de poluição ambiental, melhorando assim a sustentabilidade ambiental da atividade e sua viabilidade econômica.

2. 1 POTÁSSIO

2.1.1 Potássio no solo

O potássio (K) é o terceiro nutriente essencial na escala de importância entre os macronutrientes primários, para a maioria das plantas, mas não é comum encontrá-lo em situação de deficiência severa, a não ser em solos derivados de sedimentos quartzosos (KIST, 2005). No entanto, em todas as formulações de fertilizantes, ele aparece como um componente obrigatório, respaldado pelo paradigma de que as reservas de potássio disponível (Kd) são baixas e é necessário manejá-las, para manter níveis satisfatórios no solo para

o desenvolvimento das plantas (KIST, 2005). Na cultura do arroz irrigado, o alagamento provoca profundas alterações nas características físicas, químicas e biológicas do solo, pelo estabelecimento de condições de redução. Entre essas características, a dinâmica do potássio é de interesse, pois afeta a sua disponibilidade e a resposta do arroz irrigado à adubação com este macronutriente, (ERNANI; JAIME; SANTOS, 2007).

O potássio no solo se apresenta sob diversas formas, estando algumas disponíveis para as plantas e outras não. Estas formas podem ser classificadas quanto a sua disponibilidade em estrutural, não-trocável, trocável e em solução (ERNANI; JAIME; SANTOS, 2007). O potássio estrutural faz parte dos minerais primários e secundários, estando contido em suas estruturas. O não-trocável é o teor extraído do solo através de uma solução de ácido nítrico fervente, subtraída daquela extraída através do acetato de amônio (K trocável), sendo esta uma porção que pode ficar disponível em médio prazo (VILLA; FERNANDES; FAQUIN, 2004). O potássio trocável é o que está adsorvido a cargas negativas do solo, sendo de vital importância, pois repõe o potássio em solução subtraído pelas plantas e o potássio em solução, que está contido na água do solo, juntamente com outros elementos minerais e compostos orgânicos dissolvidos. Esta fração é a prontamente disponível para as plantas e depende muito da composição do solo e de sua capacidade e velocidade de reposição através do potássio trocável (ERNANI; JAIME; SANTOS, 2007).

As saturações críticas para obtenção de produtividades satisfatórias variam de solo para solo e de acordo com a cultura. Cabbau et al. (2004), testando vários níveis de saturação da CTC potencial para diferentes classes de solo de várzea, obtiveram valores de 4, 8,1, 7,8 e 4,4% para obtenção de 90% da máxima produtividade, respectivamente, em Neossolo Flúvico, Gleissolo Háptico, Gleissolo Melânico e Organossolo Mésico, cultivados com arroz irrigado, sugerindo diferentes necessidades do nutriente para as várias classes de solo utilizadas em cultivo irrigado por inundação. O fato de o arroz ser cultivado em condições anaeróbicas influi sobre a biodisponibilidade de K, alterando o pH do solo, o equilíbrio fase sólida - fase líquida e a mobilidade deste nutriente em direção às raízes, aumentando os teores de K solúvel em água e do K trocável, em média, cerca de 155% e 39%, respectivamente.

Estes fatos podem explicar o não aumento significativo do rendimento da cultura em resposta a adição do K em muitas áreas utilizadas para o cultivo. Porém, as que apresentam resposta a este nutriente geralmente são áreas de abertura de novas lavouras.

Com a introdução de cultivares de maior potencial produtivo, tem-se verificado aumento na resposta do arroz irrigado com a utilização do K. Fageria; Barbosa Filho (1990) obtiveram aumento significativo no rendimento de grãos de arroz irrigado graças à aplicação de K; entretanto, a resposta ao nutriente variou com o ano de cultivo e com a cultivar usada. Estes autores, avaliando métodos de irrigação e manejo de K, obtiveram com irrigação contínua e com o parcelamento da dose total, em solo classificado como Gley Pouco Húmico, o melhor resultado para grãos por panícula, com 69 mg kg^{-1} e K. Manejo este que se mostra mais responsivo em solos mais arenosos, caso do solo em estudo no trabalho dos autores.

Knoblauch; Bacha; Stuker (2007) relatam que o potássio, em algumas regiões tem sido recomendado com o objetivo de propiciar, principalmente, maior produtividade de grãos, resistência às doenças e ao acamamento. No entanto, na maioria das lavouras, não se obtém aumento da produtividade de grãos em resposta as suas aplicações. Em trabalho feito pelos autores em GLEISSOLO HÁPLICO Tb distrófico, com $80 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K trocável, foram estudadas diferentes doses de N e K. Não houve diferença significativa na produção de grãos em função da aplicação de K, porém constatou-se ligeiro aumento de produtividade em todas as parcelas que receberam o nutriente até o limite de 924 kg ha^{-1} de N, na dose de 60 kg ha^{-1} de K_2O , mostrando assim o melhor aproveitamento do N em virtude do uso de K_2O , mesmo em solos com altos níveis do nutriente. Corroborando estas evidências, Medeiros et al. (2005), em experimento realizado na fazenda Paraíso, no município de Bonfim – RR, estudaram diferentes níveis de potássio em GLEISSOLO HÁPLICO Tb distrófico, com e sem a aplicação de calcário, em uma área de segundo ano de cultivo e outra no sexto ano, seus dados mostram reflexo positivo de doses crescentes deste nutriente em áreas em início de cultivo, na qual foi obtida uma produtividade média de 6304 kg ha^{-1} de grãos, sem adubação potássica, e 7328 kg ha^{-1} na dose de 150 kg ha^{-1} de K_2O . Isto demonstra que a reserva deste nutriente não era suficiente para obtenção de produções satisfatórias em

solos em início de cultivo. No entanto, na área com cinco anos de cultivo, no mesmo solo, não houve resposta significativa às diferentes doses aplicadas do nutriente, ficando assim demonstrado seu gradativo acúmulo no solo com o decorrer dos cultivos. De fato, os teores de K trocável encontrados no solo cultivado eram superiores aos da área virgem. Isto sugere a necessidade de uma possível diminuição gradativa de aporte do nutriente através da adubação química para a cultura do arroz irrigado ao longo de vários ciclos de cultivo na mesma área, pela melhora dos níveis de nutriente no solo.

Os resultados obtidos por estes autores mostram a necessidade de adequar as doses de potássio de acordo com o tempo de cultivo da área e classe de solo do local.

2.1.2 Potássio na planta

O suprimento de K nas raízes ocorre basicamente pelos mecanismos de fluxo de massa e difusão, havendo também um pequeno suprimento por interceptação radicular.

As características da planta que influenciam a disponibilidade de K são: a área explorada pelo sistema radicular, a taxa de demanda de cada espécie e os parâmetros cinéticos de absorção (velocidade máxima, constante de Michaelis-Menten, e concentração mínima na solução onde o influxo deixa de existir) (ERNANI; JAIME; SANTOS, 2007).

O potássio é o segundo nutriente mais abundante nas plantas de arroz, atuando em importantes processos fisiológicos, como ativação enzimática, relações hídricas, relações energéticas, fotossíntese e translocação de fotossintatos. As quantidades de K requeridas dependem, dentre outros fatores, da eficiência fisiológica com a qual as plantas utilizam o nutriente acumulado para aumento de produtividade. Sanes et al. (2007), em trabalho com seis cultivares de arroz em casa de vegetação utilizando vasos, testando eficiência do uso de K, definidas como a produção de biomassa e/ou grãos por unidade do nutriente absorvido pela cultura, obtiveram diferenças na eficiência do uso de potássio entre as cultivares testadas, demonstrando que algumas

cultivares absorvem mais K, mas isto não reflete em produtividade (cultivar Tiba com $EUK=37,96 \text{ g/g}^{-1}$ de grão para unidade de K), enquanto outras mantêm uma relação mais estreita entre a quantidade de K nos tecidos (cultivar Querência com $EUK=51,38 \text{ g/g}^{-1}$) e produtividade, mostrando a necessidade de estudos individuais para cada cultivar para a definição dos melhores níveis de adubação para cada uma.

A CQFS (2004) estabeleceu como teores foliares satisfatórios para o K na folha, variando de 1,5 a 4%, Oliveira (2004), valores entre 1,3 e 3% em solos de cerrado e Cabbau; Faquin; Fernandes (2004) obtiveram como teores críticos, variação de 0,96 a 1,15%, em quatro classes de solo de várzea. Esta variação na faixa pode ser explicada por diferenças de solo, clima, cultivares e épocas de coleta (POCOJESKI, 2007).

Quanto ao aumento de produtividade em função de K, Santos et al. (1999), obtiveram este principalmente devido ao maior número de grãos por panícula.

2.2 FÓSFORO

2.2.1 Fósforo no solo

O fósforo é o nutriente com menor mobilidade no solo dentre os exigidos pelas plantas. A maior parte do nutriente permanece no local que é colocado e pouca quantidade é diluída e transportada no perfil do solo pela água. Ele pode ser incorporado no solo por intermédio do transporte por insetos, minhocas e outros animais e pela erosão vertical nas rachaduras e nas galerias, através das partículas de solo que caem por estas vias. É um dos elementos de maior importância nos solos brasileiros e em geral é encontrado em níveis baixos.

Assim, o mecanismo de transporte do fósforo mais importante, devido à menor concentração na solução do solo, é a difusão, que se torna preponderante no contato íon-raiz. O manejo adequado do fertilizante fosfatado

varia com características específicas do solo, da cultura, da fonte e do sistema de cultivo, não podendo ser adotadas práticas de manejo generalizadas, ignorando as particularidades do solo de diferentes regiões (LANA et al., 2003).

Esta recomendação é dificultada pela constatação do aumento inicial da disponibilidade de fósforo logo após a inundação, com posterior diminuição desta. O aumento inicial provavelmente é devido à elevação do pH e redução de óxido de ferro. Já a posterior queda, é atribuída a readsorção na camada superficial de óxido de ferro oxidado pelo poder oxidativo das raízes que altera o número de oxidação do Fe^{+2} para Fe^{+3} , que precipita como $\text{Fe}(\text{OH})_3$ amorfo, e tem alta capacidade de adsorção (MELLO et al., 1992).

O fósforo aplicado no solo tem demonstrado efeitos residuais positivos e significativos para diversas culturas. Em solos de várzea, os efeitos são variados. Em alguns trabalhos, observam-se resultados positivos do fósforo residual para o arroz irrigado, em outros, não se constata nenhum efeito residual de adubação fosfatada (FAGERIA et al., 1999).

Wesz et al. (2007), em estudo sobre a eficiência do Fosfato de Arad como fonte de P na cultura do arroz em Planossolo, em combinação com diferentes níveis de superfosfato triplo, constataram que as maiores doses de P_2O_5 total, nas diferentes proporções das duas fontes, aumentaram os teores deste nutriente na folha bandeira, mas, em termos de produtividade, não foi obtida diferença significativa, mostrando que ao ser atingido o nível crítico de P no solo, o arroz não responde mais ao aumento da concentração do nutriente.

Fageria; Santos; Cutrim (2007) pesquisaram a resposta de doze diferentes cultivares de arroz a doses crescentes de fósforo, variando de 0 a 200 kg de P_2O_5 . Eles encontraram diferentes doses, (109 a 138 kg ha^{-1}) para as cultivares atingirem a máxima produtividade, ficando a média em 128 kg ha^{-1} , obtendo-se eficiência média de 114 kg de grãos para cada kg de P_2O_5 aplicado, demonstrando a necessidade de estudos individuais de doses para cada cultivar.

Por essa razão, é necessário avaliar de modo eficiente o P existente no solo sob condições de inundação, que está disponível às plantas, bem como determinar faixas de concentração adequadas desse nutriente para o desenvolvimento do arroz nesse sistema, em Roraima, uma vez que a inundação traz como consequências uma série de alterações físico-químicas

no solo que afetam a dinâmica e a disponibilidade de nutrientes, ainda havendo o fator tempo de cultivo e histórico de adubação.

2.2.2 Fósforo na planta

A deficiência de P, quando severa, pode provocar mudança de coloração das folhas de verde-escura a púrpura. O crescimento pode ser retardado chegando a sua paralisação através da diminuição da altura de plantas, retardamento da emissão de folhas, brotação, emissão de raízes, diminuição do número de sementes. Cabe ainda salientar que os prejuízos causados à planta são irreversíveis, mesmo com a posterior aplicação do nutriente (POTAFOS, 2001).

A resposta à adubação com P nas plantas de arroz irrigado se dá, principalmente no aumento do número de perfilhos. Assis et al. (2000), estudando a omissão de vários nutrientes individualmente na cultura, constataram diminuição de 33,64 a 73,65% neste componente de produtividade em duas classes de solo orgânico, com teores iniciais de 39 e 7 mg dm³ de P, em virtude da ausência do nutriente.

Quanto aos teores críticos de fósforo na planta para obtenção de produtividades satisfatórias, Mariano et al. (2002), encontraram valores de 0,98 a 2,47 g kg⁻¹ para P foliar, para obtenção de 90% da produção máxima sem calagem, e de 0,98 a 2,70 g kg⁻¹ com calagem. Estes variaram de acordo com cada uma das quatro classes de solo estudadas, Gleissolo Háplico, Neossolo Flúvico, Gleissolo Melânico e Organossolo Mésico, mostrando diferentes potenciais produtivos para cada uma.

3 ARTIGO A: CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO EM RESPOSTA A DIFERENTES DOSES DE FÓSFORO E POTÁSSIO, EM VÁRZEA DE PRIMEIRO ANO, NO ESTADO DE RORAIMA

3.1 RESUMO

São poucas as pesquisas em Roraima sobre o uso de fósforo e potássio na cultura do arroz irrigado (*Oryza sativa* L.) especialmente em área de várzea ainda não cultivada. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta do arroz irrigado à aplicação de diferentes doses de fósforo e potássio (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ ou K₂O) sobre a produtividade, altura e componentes de produção, e sua eficiência econômica na produtividade de grãos de arroz, em várzea de primeiro ano de cultivo. Utilizou-se o delineamento inteiramente ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os dados foram submetidos análise de variância, com aplicação de teste F a 95%. Suas médias foram ajustadas à regressão polinomial, sendo feita análise de regressão através de superfície de resposta. O potássio influenciou significativa e positivamente todas as variáveis, exceto a massa de mil grãos, a qual foi reduzida linearmente, sendo seu efeito o principal responsável pelas produtividades alcançadas. O fósforo influenciou positivamente a massa de mil grãos e a produtividade. O número de grãos por panícula, a massa de mil grãos e a altura contribuíram decisivamente para as produtividades atingidas. A maior produtividade encontrada (8.154 kg ha⁻¹ de grãos) ocorreu com uso de 304 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 228 kg ha⁻¹ de K₂O. A máxima eficiência econômica foi obtida com 134 e 158 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O, respectivamente, e produtividade de 7.501 kg ha⁻¹ de grãos, proporcionando lucro líquido de R\$ 696,78 ha⁻¹, relação benefício/custo de 1,18 e custo unitário de R\$ 0,5271 kg⁻¹ de arroz.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., correção da fertilidade, análise econômica

GROWTH AND PRODUCTIVITY OF IRRIGATED RICE IN RESPONSE TO VARYING DOSES OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN LOWLAND OF FIRST YEAR IN THE STATE OF RORAIMA

3.2 ABSTRACT

There are few studies in Roraima state on the use of phosphorus and potassium in irrigated rice (*Oryza sativa* L.). The aim of this study was to evaluate the response of rice to the application of different doses of phosphorus and potassium (0, 50, 100, 200 and 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ and K₂O) on

productivity, plant height and yield composition on area in the first year of cultivation. It was used in the design of randomized blocks in a split-plot, and made a regression analysis using surface response. The potassium significantly and positively affected all variables except weight of thousand grains, reducing it linearly, its effect is the main responsible for the productivity achieved. The phosphorus positively influenced the weight of thousand grains and productivity. The number of grains per panicle, the weight of thousand grains and plant height contributed decisively to the yields achieved. The higher productivity found (8,154 kg ha⁻¹ grains) occurred with the use of 304 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and 228 kg ha⁻¹ of K₂O. The maximum economic efficiency was obtained with 134 and 158 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and K₂O, respectively, and yield of 7501 kg ha⁻¹ grain, providing net earnings of R\$ 696.78 ha⁻¹, the benefit / cost reason of 1.18 and unit cost of R\$ 0.5271 kg⁻¹ of rice.

Keywords: *Oryza sativa* L., correction of fertility, economic analysis

3.3 INTRODUÇÃO

O arroz é um dos cereais de maior importância social e econômica para o mundo, sendo responsável pela alimentação de dois terços da população mundial, fornecendo aproximadamente 20% de energia e 15% da proteína necessária ao ser humano.

No Brasil, o arroz é cultivado em todo o país, sendo o irrigado responsável por mais da metade da produção nacional. Em Roraima, o arroz irrigado é a principal cultura agrícola, ocupando na safra 2007/2008 cerca de 24.000 hectares, com produção de 152.400 toneladas de arroz em casca e produtividade média de 6.350 kg ha⁻¹ de grãos (REVISTA SOMOS, 2008).

Entretanto, devido à baixa fertilidade dos solos do estado, onde pelo menos o nitrogênio e o fósforo são limitantes para a cultura em área de primeiro ano de cultivo (SILVA; MELO; MEDEIROS, 1998; MEDEIROS; DO Ó; GIANLUPPI, 2004), para se obter esta produtividade são necessárias o uso de altas doses de fertilizantes químicos. E, por não existirem resultados de pesquisa local sobre a correção adequada da fertilidade e sua manutenção nos cultivos sucessivos, os produtores utilizam, indiscriminadamente, em torno de 150 kg ha⁻¹ de fósforo e de potássio. Isso corresponde à aplicação em torno de 600 kg ha⁻¹ de fórmulas como 10-26-26 e/ou 05-25-25 + 0,4% de Zn, independente de a área ser de primeiro ano de cultivo e/ou já trabalhada há diversos anos. Assim oneram os custos de produção, que representam cerca de 30% do custo total da lavoura (BANCO DA AMAZÔNIA, 2006).

Em Roraima, há em torno de 250.000 ha de várzeas com potencial para a exploração com arroz irrigado. O comportamento da cultura nestas várzeas é muito influenciado por seu manejo, visto que são utilizados tipos de solos com características químicas e físico-hídricas distintas. Para tanto, é necessário desenvolver sistemas de manejo de adubação adequados a cada situação específica (SANTOS et al. 1999), capaz de proporcionar uma produtividade de grãos técnica e economicamente viável (FAGERIA; SANTOS; ZIMMERMANN, 2000).

A cultura do arroz irrigado responde à aplicação de nitrogênio bem como a de potássio e fósforo, aumentando a produtividade de grãos

(MEDEIROS; CORDEIRO; VILARINHO, 2005; FAGERIA; BARBOSA FILHO, 1990; FAGERIA; SANTOS; CUTRIM, 2007). Entretanto, a resposta desses nutrientes na cultura é influenciada pelas características físico-químicas do solo e pelo manejo, os quais são determinantes na disponibilidade desses elementos às plantas (FAGERIA; BARBOSA FILHO, 1990; FERREIRA et al., 2007).

No intuito de contribuir na racionalização da adubação do arroz em Roraima, este trabalho foi realizado com os objetivos de testar diferentes doses de fósforo e de potássio na cultura do arroz irrigado, em várzeas de primeiro ano de cultivo, e avaliar os efeitos destas doses sobre a altura de plantas, os componentes de produção e na produtividade de grãos de arroz.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em área de produção tradicional de arroz irrigado no município do Bonfim, no estado de Roraima, na fazenda Paraíso, a 96 km de Boa Vista, com sede localizada na latitude 3°19'3" norte e longitude 60°20'38" oeste, em área de solo classificado como Gleissolo Háplico Tb Distrófico, no ano agrícola 2007/2008.

O ensaio foi instalado em área de primeiro ano de cultivo. A análise química do solo, antes da implantação do experimento, foi realizada nas profundidades de 0 a 15 cm e 15 a 30 cm, apresentando as seguintes características do solo (tabela 3.4.1).

Tabela 3.4.1 - Características químicas e físicas do solo de várzea em primeiro ano de cultivo, utilizado no experimento.

Características químicas ¹													
Prof.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTCt	CTCe	P	V	m	
cm	-----cmol _c dm ⁻³ -----								mg dm ⁻³		---%--		
0-15	5,2	0,97	0,23	0,17	1,01	4,62	1,37	6,0	2,4	2,54	23	42	
15-30	5,3	0,91	0,19	0,14	2,66	6,02	1,24	7,3	3,9	1,50	17	68	
Composição Granulométrica (%)											MO		
		Areia		Silte		Argila						g kg ⁻¹	
0-15		13		54		33						20,5	
15 - 30		8		38		54						9,1	

¹pH em água, relação 1:2:5; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, extração com KCl 1 mol L⁻¹; H + Al, extrator acetato de cálcio, 5 mol L⁻¹ pH 7,0; K⁺ e P, Melich - ; M.O., matéria orgânica por Walkey - Black. Composição granulométrica pelo método de Borocos (EMBRAPA, 1997).

Os tratamentos constaram de cinco doses de fósforo combinados com cinco doses de Potássio (0, 50, 100, 200, 400 kg ha⁻¹ de K₂O ou P₂O₅), resultando em 25 tratamentos.

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. As parcelas principais, com área de 120 m² (6 x 20 m), foram constituídas pelas doses de potássio e as sub parcelas, em área de 12 m² (3m x 4m), foram casualizadas as doses de fósforo, cuja área útil foi de 7,5 m² (3 x 2,5 m). Cada parcela, com as doses de potássio, foi separada entre si por uma taipa, para a qual foram

deixados 2 m de espaçamento, evitando a contaminação dos tratamentos adjacentes, após a formação da lâmina de água.

Utilizou-se a cultivar de arroz irrigado Roraima, semeada a lanço, na densidade de 160 kg de sementes ha⁻¹. A adubação de plantio constou de 24 kg ha⁻¹ de nitrogênio, aplicado na forma de uréia mais 50 kg ha⁻¹ de FTE BR 12, e das doses de fósforo e potássio estabelecidas como tratamentos. Em cobertura, utilizou-se 200 kg ha⁻¹ de uréia, divididos em duas aplicações, efetuadas aos 18 e aos 45 dias após a emergência das plântulas. Utilizou-se superfosfato triplo e cloreto de potássio como fontes dos nutrientes aplicados.

O sistema de irrigação foi por inundação contínua, com lâmina de água de 5 a 15 cm de profundidade, iniciada a partir de 15 dias após a emergência das plântulas de arroz. O controle de plantas daninhas foi feito utilizando-se a mistura de propanil + 2,4-D nas doses de 6,0 e 0,2 L de ingrediente ativo ha⁻¹, respectivamente.

Foram avaliados, na área útil de cada parcela, a altura de plantas (determinada em 10 plantas por parcela), o número de panículas (determinado em quatro sub amostras de 0,25 m²), o número de grãos total, cheios e estéreis, por panícula (obtidos em dez panículas colhidas por parcela), a massa de mil grãos, determinada conforme as regras de análise de sementes (BRASIL, 1992) e a produtividade de grãos, com peso corrigido para 13% de umidade, conforme MACHADO et al. (2006).

A análise econômica foi obtida através da derivação da equação de regressão para produtividade, considerando-se o preço para a saca de arroz em casca de R\$ 31,00 e o valor do kg de P₂O₅ de R\$ 3,48 e de K₂O R\$ 3,08. Esses valores foram obtidos a partir da divisão do preço da tonelada de cloreto de potássio e superfosfato triplo pelas quantidades destes nutrientes nestas fontes. Foi calculada a relação insumo/produto e então igualada as derivadas dy/dP e dy/dK, obtendo-se as doses de máxima eficiência econômica.

Os dados foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA), com aplicação do teste F (p<0,05), sendo testado o modelo de regressão múltipla de superfície de resposta $\gamma = b_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3Z + b_4Z^2 + b_5XZ$, onde o γ é o valor da variável dependente em estudo, b_0 é a média obtida na variável dependente estudada, $b_1, 2, 3, 4$ e 5 são os coeficientes dos componentes

lineares, quadráticos e da interação dos fatores em estudo (X e Z) testados, X é o teor de fósforo aplicado (kg ha^{-1} de P_2O_5) e Z é o teor de potássio aplicado (kg ha^{-1} de K_2O). Também se fez a correlação entre a produtividade obtida, seus componentes de produção e a altura de planta. Foi utilizado o software SAEG 9.1 (RIBEIRO JÚNIOR, 2001) para o processamento das análises.

3.5 RESULTADO E DISCUSSÃO

A variável altura de plantas apresentou efeito principal significativo apenas das doses de potássio e em seus componentes linear e quadrático (Tabela 3.5.1, Figura 3.5.1. C), sendo a altura de plantas máxima alcançada (106,51 cm) obtida com de 230,34 kg ha⁻¹. Fageria; Zimmermann (1996), testando diferentes níveis de K₂O e P₂O₅, com 50 a 200 e 40 a 160 kg ha⁻¹, respectivamente, para várias cultivares em casa de vegetação, obtiveram altura média de 76 a 89 cm, ficando estas um pouco abaixo da média deste experimento, a qual foi 96 cm.

O maior número total de grãos (123,41 grãos por panícula) foi obtido com 227,11 kg ha⁻¹ de K₂O. Similarmente à altura de plantas, foi observado efeito apenas do potássio e seus componentes linear e quadrático (Tabela 3.5.1 e Figura 3.5.1. B).

Houve efeito principal significativo de potássio e sua interação com fósforo, no número de grãos estéreis por panícula. Porém, não houve ajuste significativo da superfície de resposta estudada, indicando ser complexo o efeito desses nutrientes sobre esta variável. Em geral, houve uma tendência de aumento na esterilidade com o incremento de potássio e redução na esterilidade de grãos com o aumento de fósforo (Tabela 3.5.1).

Não houve efeito principal significativo sobre a massa de mil grãos de nenhum dos fatores estudados, entretanto foram significativos os componentes lineares do efeito de potássio e o componente quadrático do efeito de fósforo na superfície de resposta testada (Tabela 3.5.1 e Figura 3.5.1 A). Segundo Gomes (1987), na análise de variância, é pressuposto a independência entre os tratamentos utilizados, e isto não se verifica no estudo de fatores quantitativos, onde a dependência entre os tratamentos é um fato bem estabelecido. Neste caso, os efeitos associados à regressão devem ser considerados acima dos resultados apresentados pelo efeito principal da análise de variância, sob pena desta análise não ser válida. Assim, conclui-se que a massa de mil grãos foi reduzida linearmente pela aplicação do potássio, mas que cresceu de forma quadrática em resposta ao uso do fósforo (Figura 3.5.1 A), com valor máximo de 28, 21 g mil⁻¹ sementes na dose de 178,62 kg

ha⁻¹ de P₂O₅ e zero de potássio. Este fato está relacionado com o aumento do tamanho da panícula. A média geral ficou em 25,77 g por mil sementes, sendo este resultado ideal para a cultura do arroz (COSTA; SANTOS; ZIMMERMANN, 2009), concordando com os dados encontrados por Fageria; Santos; Zimmermann (2000), em estudos com diferentes níveis de P e K, onde obtiveram resultados semelhantes para esta variável em seu experimento com três anos de cultivo consecutivos; também Chiarelo et al. (2007) obtiveram 25,31 g mil⁻¹ sementes, mostrando mudanças pequenas nesta variável com o incremento das doses de nutrientes, como obtido nesta pesquisa.

Para o número de panículas por metro quadrado, houve efeito principal de fósforo e de potássio, assim como sua interação (Tabela 3.5.1 e Figura 3.5.2). Porém, não houve ajuste significativo para os efeitos lineares e quadrático do fósforo, sendo esta variável explicada pelos efeitos lineares e quadráticos do potássio, em interação linear com o fósforo. O melhor resultado obtido para a variável ocorreu nas doses 400 kg ha⁻¹ de P₂O e K₂O com 470 panículas por m². No entanto, nestes níveis, a altura de plantas, número de grãos por panícula e massa de mil grãos, apresentaram menores respostas aos nutrientes.

A combinação com qualquer dose de P₂O₅ com a dose de 231,25 kg ha⁻¹ de K₂O apresentou o menor valor, para esta variável. A combinação de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, esta dose propiciou a maior média, obtendo-se 382,38 panículas por m² (Figura 3.5.2).

O número de panículas por m² na máxima produtividade obtida foi 366,25, enquanto a média geral do experimento em 395,26 panículas m². Estes resultados discordantes são encontrados na literatura. Assim SANTOS et al. (1999), testando diferentes manejos da lâmina de água e doses de K₂O, obtiveram valores de 533 a 655 panículas m⁻², sendo as maiores médias obtidas para o manejo com irrigação contínua e parcelamento de 70 kg ha⁻¹ do nutriente. Vale ressaltar que, apesar do número bem maior obtido para a variável na pesquisa citada, o número de grãos por panícula foi menor que o obtido nesta pesquisa, não levando à maior produtividade que a obtida no experimento aqui estudado.

Tabela 3.5.1 - Valores médios e significância dos efeitos tratados de altura de plantas, número de grãos cheios (NGC), de grãos estéreis (NGE), total de grãos, massa de mil grãos (MMG), número de panículas por metro quadrado (NPM) e produtividade (PROD) em função de doses de fósforo e potássio no arroz irrigado em várzeas do estado de Roraima. Safra 2007/2008.

Doses e fontes usadas	Altura de						
	planta (cm)	NGC	NGE	NTG	MMG	NPM	PROD
Kg ha⁻¹ P₂O₅	----- Efeito médio de P ₂ O ₅ -----						
0	91,81	80,76	18,06	98,82	24,47	358,80	5287
50	93,64	88,20	16,91	105,11	26,20	409,40	6228
100	97,14	86,78	15,21	101,98	27,71	396,80	6488
200	93,38	86,82	15,38	102,20	26,33	387,70	6650
400	95,34	84,05	14,93	98,98	23,90	423,60	6814
kg ha⁻¹ K₂O	----- Efeito médio de K ₂ O -----						
0	81,23	63,82	14,15	77,97	27,80	425,7	4819
50	92,06	84,33	14,56	98,88	26,70	465,6	6808
100	100,11	98,69	13,54	112,23	25,45	339	6934
200	104,71	104,44	15,54	119,98	23,74	345,6	6641
400	93,20	75,33	22,71	98,04	24,93	400,4	5947
Teste F (P)	**	**	**	**	ns	**	**
Ef. Linear ⁽¹⁾	**	**	ns	**	*	**	**
Ef. Quadr. ⁽²⁾	**	**	ns	**	ns	**	**
Teste F (K)	ns	ns	ns	ns	ns	*	**
Ef. Linear ⁽¹⁾	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
Ef. Quadr. ⁽²⁾	ns	ns	ns	ns	*	ns	**
Teste F (K x P)	ns	ns	**	ns	ns	*	ns
Efeito XZ ⁽³⁾	ns	ns	ns	ns	ns	*	**
C.V. (a), %	6,38	17,44	47,76	17,59	33,04	15,27	9,64
C.V. (b), %	7,54	22,06	44,69	22,55	20,25	16,14	8,35

ns, *, ** ns = não significativo e significativo a 5%, 1%, respectivamente, pelo teste F; CV (a) e (b), coeficientes de variação da parcela e subparcelas, respectivamente. ⁽¹⁾, ⁽²⁾ e ⁽³⁾ componentes linear, quadrático e interação dos fatores em estudo na superfície de resposta testada.

O número total de grãos apresentou efeito principal significativo apenas das doses de potássio e em seus efeitos componentes lineares e quadráticos (Tabela 3.5.2 e Figura 3.5.1 D). O máximo de grãos cheios obtidos (107,49 grãos por panícula) foi alcançado na dose de 212,95 kg ha⁻¹.

$$Y = 25.9911 + 0,248541P^{ns} - 0,0000695637P^{2*} - 0,00693975K^*$$

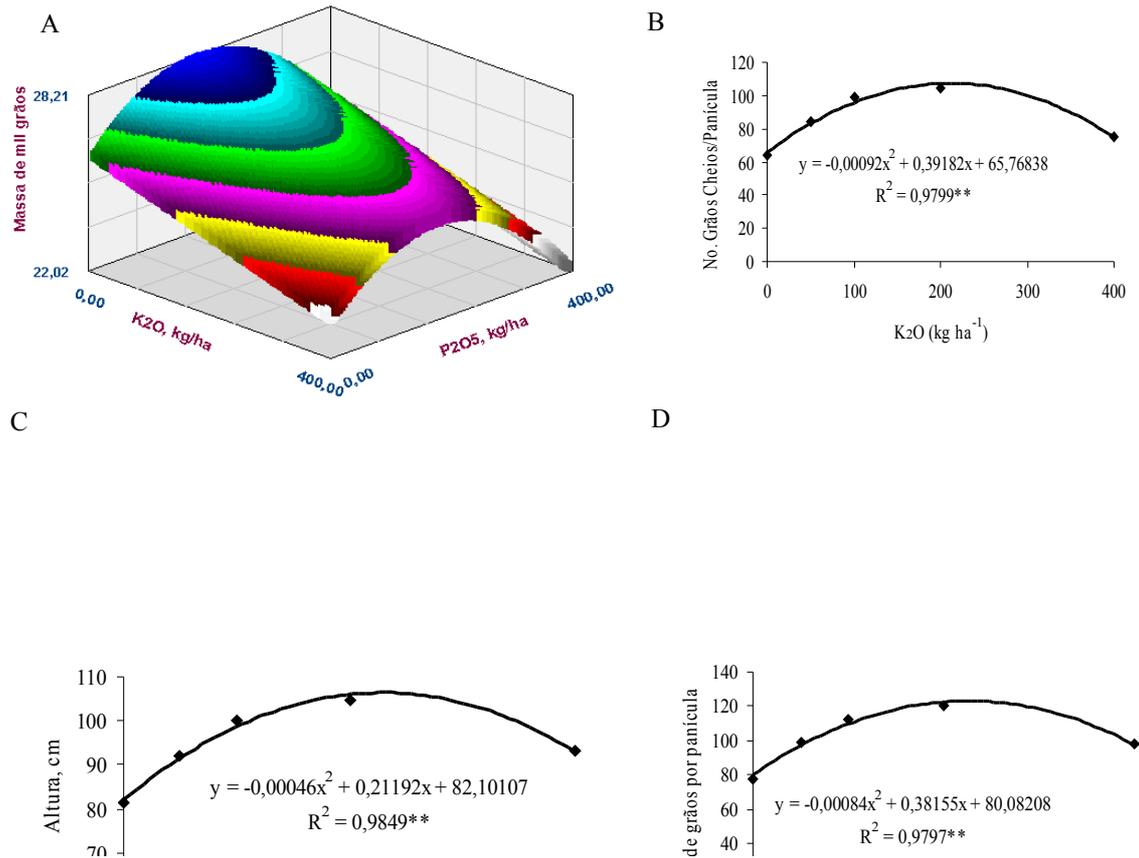


Figura. 3.5.1 - Produtividade de arroz em casca (A), grãos cheios por panícula (B), altura (C) e panículas por m² (D) em função de doses de potássio e fósforo na cultivar BR Roraima, em várzea do estado de Roraima, safra 2007/2008. Obs.: ns, *, **, ns = não significativo, significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

$$Y = 449,764^{ns} - 0,000118750P^{**} - 1,04797K + 0,00203916K^{2**} + 0,000713125Pk^*$$

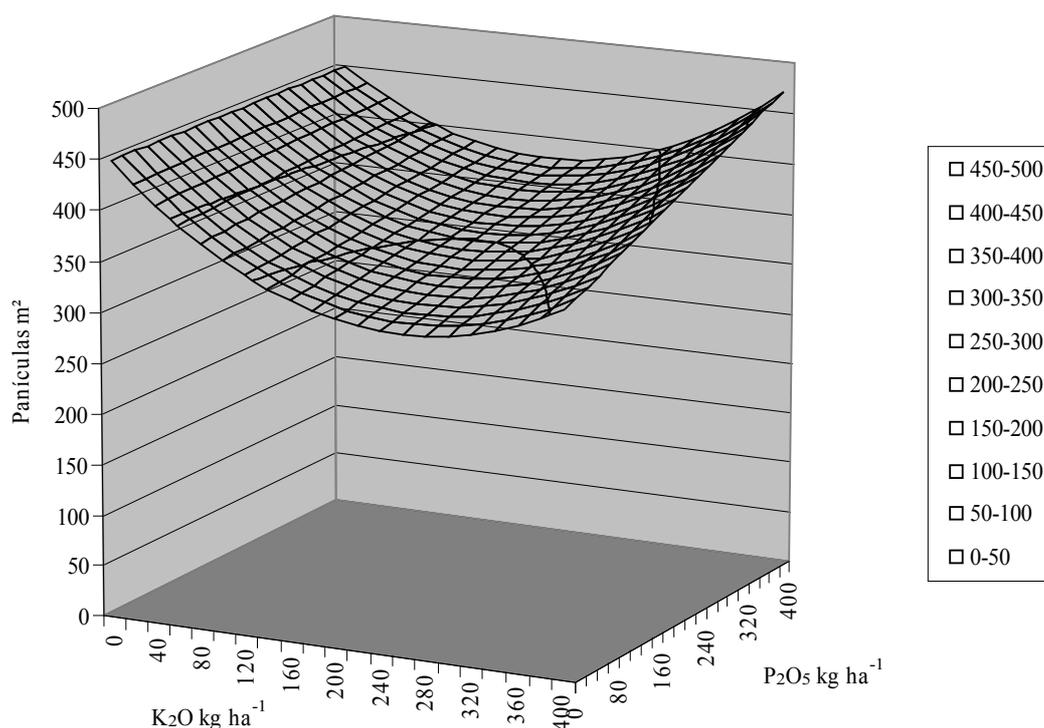


Figura 3.5.2 – Resposta da cultivar BR Roraima em número de panículas m² em resposta a diferentes níveis de K₂O e P₂O₅ em solo de várzea em Roraima. Obs.: ns, * e **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F.

Para a produtividade de grãos, por sua vez, houve efeito principal de fósforo e potássio, porém no ajuste da superfície de resposta houve também interação entre esses fatores. Os efeitos lineares e quadráticos, assim como as interações, foram altamente significativas. A máxima produtividade física obtida no experimento ocorreu nas doses de 304,20 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 228,00 kg ha⁻¹ de K₂O, obtendo-se 8.154 kg ha⁻¹ de grãos em casca, estimada pela equação de regressão (Figura 3.5.3).

$$y = 4678,56 + 9,29905P^{**} - 0,0180158P2^{**} + 18,0472K^{**} - 0,0443566K2^{**} + 0,00728187PK^{**}$$

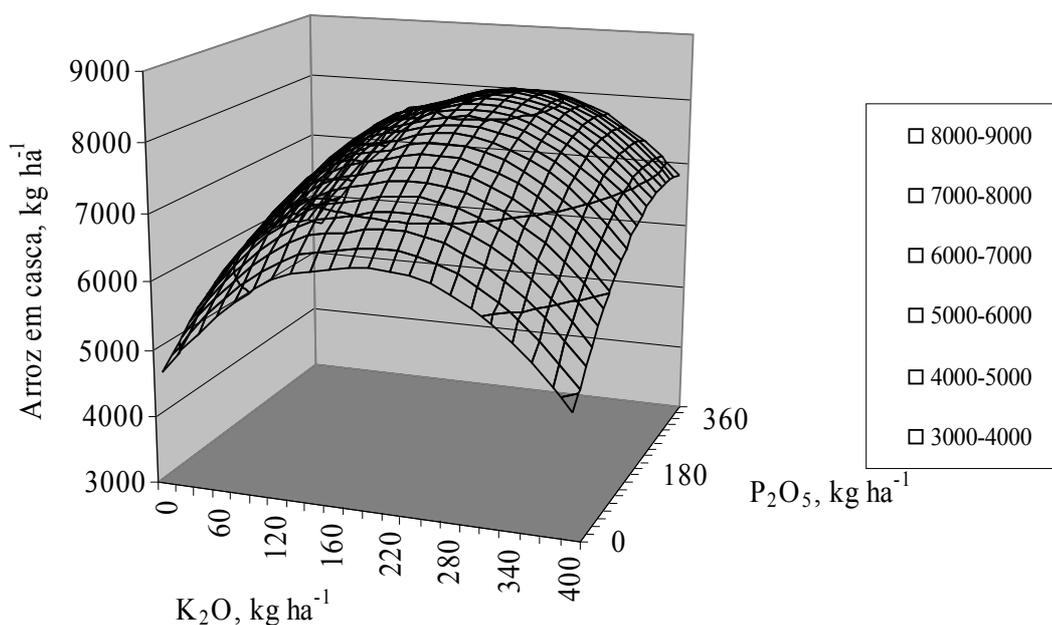


Figura 3.5.3 - Resposta de produtividade da cultivar BR Roraima a diferentes doses de K_2O e P_2O_5 em solo de várzea em Roraima.

O teor disponível de fósforo no solo era muito baixo, porém o de potássio era de médio a adequado no solo trabalhado (Tabela 3.5.1). A alta dose necessária para adubação no primeiro ano de plantio era esperada para fósforo, devido ao baixo teor disponível e ao teor de argila (33 dag kg^{-1}) na camada de 0 a 15 cm, e 54 dag kg^{-1} na camada de 15 a 30 cm. Segundo Souza; Lobato; Rein (2004) são necessários a aplicação de 150 a 300 kg ha^{-1} de P_2O_5 na correção da fertilidade em solos com teores de P muito baixo e teores de argila variando de 16 a 35 e 36 a 60 dag kg^{-1} , respectivamente. Além disso, é necessário um adicional em manutenção de 80 a 120 kg ha^{-1} para alcançar as maiores produtividades a partir do primeiro ano. Esses valores totais (230 a 420 kg ha^{-1}) são compatíveis com o observado neste trabalho, em se tratando da plena correção da fertilidade do solo já no primeiro ano. Entretanto, se o objetivo for ter o máximo retorno econômico já no primeiro ano, as doses de $134,32 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 e $157,92 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O permitem o alcance de produtividade média de 7.501 kg ha^{-1} , com rentabilidade de R\$ $696,78 \text{ ha}^{-1}$ e seriam as doses mais indicadas (Tabela 3.5.2).

Tabela 3.5.2 - Análise econômica da adubação com fósforo e potássio no experimento de arroz de várzea BR Roraima, em área de primeiro ano, safra 2007/2008.

Dose		Produção	Receita Bruta	Custo total	Receita Líquida	Relação benefício/custo	Custo unitário
P ₂ O ₅	K ₂ O						
----- kg ha ⁻¹ -----		----- R\$ ha ⁻¹ -----			R\$ R\$ ⁻¹		(R\$ kg ⁻¹)
0,00	0,00	4678,56	2.900,71	3.000,00	(99,29)	0,97	0,6412
134,32	0,00	5602,57	3.473,59	3.467,43	6,16	1,00	0,6189
0,00	157,92	6422,38	3.981,87	3.486,39	495,48	1,14	0,5429
134,32	157,92	7500,98	4.650,60	3.953,83	696,78	1,18	0,5271
150,00	150,00	7541,10	4.675,48	3.984,00	691,48	1,17	0,5283
304,00	228,00	8154,59	5.055,84	4.760,16	295,68	1,06	0,5837

Obs.: Custo de produção médio de R\$ 3.000,00 ha⁻¹; receita do arroz em casca de R\$ 31,00/saca de 50 kg; custo do adubo: P₂O₅ – R\$ 3,48 kg⁻¹; K₂O – R\$ 3,08 kg⁻¹.

A resposta em produção ao uso de fósforo no arroz, em cultivo de solos de várzeas irrigados por inundação, é comum no Brasil. Fageria; Santos; Cutrim (2007) obtiveram as maiores produtividades nas doses de 109 a 138 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para a máxima produtividade, na média, os genótipos apresentaram eficiência para o nutriente em 114 kg de grãos por kg do adubo. Já Mariano et al. (2002), testando doses crescentes de 75 a 800 mg dm⁻³ de P, encontraram resposta positiva até 519 mg dm⁻³, com calagem, e 623 mg dm⁻³, sem calagem, na mesma classe de solo do experimento em casa de vegetação. No entanto, Ferreira et al. (2007) não encontraram resposta à variação de 0 a 180 kg ha⁻¹ de P para arroz irrigado em três anos de cultivo consecutivos em solo com teor de 1 mg dm⁻³ do nutriente. Chiarelo et al. (2007), estudando dose de 80 kg ha⁻¹, com diferentes fontes de P, não encontraram diferenças para a testemunha com 0 de P, o mesmo ocorrendo com Wesz et al. (2007) que, testando doses de 0 a 180 kg de P, utilizando diferentes fontes para o nutriente, não encontraram resposta significativa em aumento de produtividade, mesmo ocorrendo maior absorção com o aumento das doses.

O alto requerimento em potássio, já no primeiro ano e em solo com teor superior a 66 mg dm⁻³ de K disponível (Tabela 3.4.1), é surpreendente, pois nas demais regiões produtoras de arroz esse nível de potássio é considerado adequado e raramente se recomenda mais que 90 kg ha⁻¹ de K₂O.

Possivelmente esta resposta tenha ocorrido por causa da alta produtividade alcançada no primeiro ano (8.154 kg ha^{-1}), da interação com o fósforo e ao manejo da cultura, especialmente a irrigação com lâmina contínua. Segundo Diel et al. (2007), o potássio pode ser dissolvido na água de irrigação e ser transportado para as áreas vizinhas, onde pode contribuir para a nutrição dos cultivos vizinhos, em áreas de várzeas. Esse deslocamento do potássio na água de irrigação, em várzeas inundadas, também foi encontrado por Machado et al. (2006) e Marchezan et al. (2001). Assim, parte do potássio aplicado em área total no início do experimento pode ter sido deslocado pela água de irrigação. Entretanto, a dose de máxima eficiência econômica de potássio ($157,92 \text{ kg ha}^{-1}$) é compatível com o alto nível de produtividade econômica (7.501 kg ha^{-1}) obtida já no primeiro ano de cultivo.

Estes dados concordam com Santos et al. (1999) que obtiveram aumento de produtividade significativo (19,5%) com o aumento de 35 para 70 kg ha^{-1} de K_2O , com inundação contínua e aplicação parcelada, atingindo a produtividade média de 6.269 kg ha^{-1} com a segunda dose citada. Cabbau et al. (2004), estudando níveis críticos de potássio para solos de várzea, encontraram resposta positiva e linear a sua aplicação em casa de vegetação. No entanto, estes resultados discordam dos obtidos por Knoblauch; Bacha; Stuker (2007) que, testando doses de 0 a 240 kg ha^{-1} de K_2O , em solo com teor de K disponível de 80 mg dm^{-3} , não tiveram aumento de produtividade significativo em áreas já cultivadas no sistema pré-germinado, onde o uso do nutriente é preconizado para aumentar a produtividade, diminuir a incidência de doenças e o acamamento. Também Genro Junior et al. (2007), testando doses de 0 a 180 kg ha^{-1} de K_2O , não obtiveram resposta significativa. É provável que acima de 80 mg dm^{-3} de K disponível não haja resposta significativa do arroz ao uso de adubação potássica.

Os componentes de produção que se relacionaram com a produtividade foram a massa de mil grãos ($r=0,4921^{**}$) e o número de grãos por panícula ($r=0,7222^{**}$) (Tabela 4). Além desses dois componentes, a altura de planta se relacionou estreitamente com a produtividade ($r=0,6854^{**}$).

O aumento da produtividade foi devido ao incremento da massa de mil grãos e, principalmente, do número de grãos cheios por panícula. O aumento em altura, obtido em resposta a aplicação dos tratamentos, especialmente de

potássio (Figura 3.5.1 C), possivelmente, reduziu o perfilhamento das plantas e, em consequência, o número de panícula m^{-2} ($r=-0,4438^{**}$). Porém, essa redução foi compensada pelo aumento no número de grãos por panícula ($r=0,8008^{**}$). Assim, a adubação potássica aumentou a altura da planta, que se tornou mais robusta e suportou a presença de uma panícula maior, com maior número de grãos e com grãos mais pesados, compensando o menor número de panículas m^{-2} . Esse efeito conjunto resultou nas maiores produtividades observadas.

Correlações positivas entre a altura de planta e a produtividade também foram verificadas por Costa; Santos; Zimmermann (2009), estudando as características agrônômicas da cultura principal do arroz e da soca para várias cultivares, onde encontraram correlação positiva e significativa de $0,58^{**}$, para o cultivo principal, e $0,42^*$, para a soca, entre a produtividade e a altura das plantas. A importância do número de panícula m^{-2} sobre a produtividade de grãos foi enfatizada por Fageria; Santos; Zimmermann (2000), que mostraram correlação direta e positiva entre estas duas variáveis. Porém, neste trabalho foi visto que nem sempre esta variável explica a produtividade, a qual pode ser mais explicada pelos outros componentes de produção com correção direta e mais significativa, como discutido anteriormente.

Tabela 3.5.3 - Coeficientes de correlação entre produtividade e os componentes de produção do arroz BR Roraima. (M = 25 dados).

Variável	1	2	3	4	5
1 Altura					
2 N° de grãos cheios/panícula	0,8008 ^{**}				
3 Esterilidade	-0,1866 ^{ns}	-0,0756 ^{ns}			
4 Massa de mil grãos	0,5444 ^{**}	0,5259 ^{**}	-0,8788 ^{**}		
5 N° de panículas por m^2	-0,4438 [*]	-0,4859 ^{**}	-0,1099 ^{ns}	-0,099 ^{ns}	
6 Produtividade	0,6854 ^{**}	0,7228 ^{**}	-0,1628 ^{ns}	0,4921 ^{**}	-0,0256 ^{ns}

^{*}, ^{**}, ^{ns} = significativo a 5% e 1% probabilidade e não significativo, respectivamente.

3.6 CONCLUSÕES

1. O uso de 134,32 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 157,92 kg ha⁻¹ de K₂O permite o alcance da máxima produção econômica (7.501 kg ha⁻²) de arroz em casca na cultivar BR Roraima, em várzeas do estado de Roraima.

2. O uso das doses recomendadas permite a obtenção de receita líquida de R\$ 696,78 ha⁻¹, com relação benefício/custo de 1,18 e obtenção de custo unitário de R\$ 0,5271 por kg de arroz em casca, já no primeiro ano de cultivo.

3. Há resposta em produtividade de arroz em casca até 8.154 kg ha⁻¹, com o uso de até 304,2 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 228 kg ha⁻¹ de K₂O.

4. A produtividade de grãos esta relacionada com o aumento no número de grãos por panícula, na massa de mil grãos e na altura de planta.

4 ARTIGO B: CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO EM RESPOSTA A DIFERENTES DOSES DE FÓSFORO E POTÁSSIO, EM ÁREAS DE VÁRZEA COM CULTIVO INTENSIVO, NO ESTADO DE RORAIMA

4.1 RESUMO

O uso de altas doses de fósforo e potássio por vários ciclos seguidos no cultivo de arroz irrigado em Roraima é prática comum entre os agricultores que utilizam cerca de 600 kg ha⁻¹ da fórmula 5-25-25. O objetivo desta pesquisa foi mensurar as respostas da cultura do arroz irrigado a aplicação de 5 doses de fósforo e 5 de potássio (0, 50, 100, 200, 400 kg ha⁻¹) em área de várzea, com vários anos de cultivo. Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas. Os modelos não foram significativos para as superfícies de resposta devido à falta de tendência de algumas variáveis aos tratamentos, utilizando-se regressão polinomial de primeiro e segundo grau. O potássio afetou o número de grãos estéreis, variando de 7,8 para 5,7 grãos por panícula, à altura de planta, com tendência positiva, obtendo 2 cm de acréscimo e panículas por m², com tendência positiva. O fósforo alterou a massa de mil grãos, número de grãos estéreis negativamente, diminuindo de 7,6 para 6,01 grãos, e total de grãos por panícula, variando a resposta linear e negativamente, de 105,6 a 96,6 grãos por panícula⁻¹. Houve interação apenas para massa de mil grãos, porém, o CV% foi baixo, não sendo consistente. Apenas o potássio influenciou na produtividade, atingindo segundo modelo 6.522 kg ha⁻¹. A ordem de acumulação dos nutrientes foi N>K>Ca>P>Mg. O potássio influenciou as variáveis, exceto fósforo disponível no solo. O fósforo alterou apenas seu teor no solo. Os altos teores no solo destes nutrientes não possibilitaram resposta à adubação com fósforo e potássio. O potássio causou decréscimo na absorção de magnésio devido ao seu baixo teor no solo, havendo redução da produtividade por desequilíbrio nutricional.

Palavras-Chave: *Oryza sativa* L., teores, manejo.

IRRIGATED RICE PRODUCTIVITY AND EFFECT ON THE COMPONENTS OF PRODUCTIVITY IN DIFFERENT LEVELS OF FERTILIZATION OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN AREAS OF INTENSIVE CULTIVATION IN STATE OF RORAIMA

4.2. ABSTRACT

The use of high doses of phosphorus and potassium followed by several cycles in the cultivation of rice in Roraima is common practice among farmers using 600 kg ha⁻¹ of the 5-25-25 formula. This study aimed at measuring the response to this growing application of 5 doses of phosphorus and potassium (0, 50, 100, 200, 400 kg ha⁻¹) in a lowland area with several years of cultivation. Was used a randomized block design with split plots. The models were not significant for the areas of response due to the lack of trend in some variables to treatment, using a polynomial regression of the first and second degrees. The potassium affect the number of sterile grains, the result ranging from 7.8 to 5.7 grains, the plant height, with positive trend, gaining only 2 cm of increase and panicles per m², with positive trend. The phosphorus changed the mass of thousand grains, number of sterile grains negatively, falling from 7.6 to 6.01 grains and total grains per panicle, varying the linear response and adversely from 105.6 to 96.6 grains panicle⁻¹. Interaction was observed only for a thousand grain weight, but the CV% was low and not consistent. Only the potassium influence on productivity reaching second model 6522 kg ha⁻¹. The order of accumulation of nutrients was N > K > Ca > P > Mg. The potassium influence the variables, except available phosphorus in soil. Phosphorus only change their content in soil. The high levels of these nutrients in the soil not facilitated response to fertilization with phosphorus and potassium. The potassium caused decrease in the absorption of magnesium due to its low content in the soil, with reduced productivity by nutritional imbalance.

Keywords: *Oryza sativa* L., Levels, management.

4.3 INTRODUÇÃO

O arroz irrigado no estado de Roraima é uns dos principais componentes do PIB, sendo cultivado por agricultores modernos que usam alta tecnologia, como plantio direto, manejo de solo mecanizado e todos os insumos químicos necessários ao bom desenvolvimento da lavoura de arroz (CORDEIRO, 2005). Como há poucos resultados de pesquisa local com calibração de doses de nutrientes, aplicam-se quantidades elevadas de fertilizantes na lavoura.

O cultivo de arroz em várzeas, em que o grão é a cultura principal e, na maioria das vezes a única, em determinada época do ano, por vários ciclos seguidos, tende a levar sua produtividade à estabilização após alguns anos, mantendo a mesma cultivar, manejo de adubação, quantidades e tratos culturais. A ocorrência de variação de produtividade entre cultivares é bastante descrita na literatura, assim como respostas variáveis a manejo de água, tratos culturais no geral e a adubação com diferentes nutrientes, como adição de fósforo e potássio por anos sucessivos. Há respostas positivas à adição destes elementos, assim como respostas nulas ou não significativas ao uso de diferentes quantidades destes insumos, ou as recomendadas normalmente pela assistência técnica e as de uso tradicional dos agricultores.

O presente trabalho teve por objetivo mensurar a resposta da cultura do arroz irrigado à adição de diferentes doses de P_2O_5 e K_2O em áreas intensamente adubadas durante vários anos, com quantidades bastante altas destes nutrientes.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em área de produtor rural, no município de Bonfim, na fazenda Paraíso, a 96 km de Boa Vista, Roraima, com sede localizada na latitude 3°19'3" norte e longitude 60°20'38" oeste, em área de solo classificado como Gleissolo Haplico Tb Distrófico, no ano agrícola 2007/2008.

O ensaio foi instalado em área cultivada há sete anos com arroz irrigado, com histórico de aplicação de altas doses de adubação de base, constituída de 600 kg ha⁻¹ de fertilizante da fórmula 05-25-25. Foi feita amostragem do solo e a análise química antes da implantação do experimento, nas profundidades de 0 a 15 cm e 15-30 cm, cujas características podem ser vistas na tabela 5.

Tabela 4.4.1 - Características químicas e físicas do solo de várzea em sexto ano de cultivo utilizado no experimento.

Características químicas ¹												
Prof.	Ph	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTCt	CTCe	P	V	m
Cm	-----cmol _c dm ⁻³ -----								-----mg dm ⁻³ --%--			
0-15	4,8	1,06	0,19	0,26	2,08	7,43	1,51	8,9	3,6	20,4	17	58
15 - 30	4,6	0,96	0,14	0,16	2,13	5,78	1,26	7,0	3,4	2,2	18	63
Composição Granulométrica (%)										MO		
		Areia		Silte		Argila		g kg ⁻¹				
0 - 15		12		40		48		20,9				
15 - 30		9		36		55		12,0				

¹ pH em água, relação 1:2:5; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, extração com kcl 1 mol L⁻¹; H + Al, extrator acetato de cálcio, 5 mol L⁻¹ pH 7,0; k⁺ e P, Melich-1; M.O.; matéria orgânica por Walkey-Block; composição granulométrica pelo método de Borocos (EMBRAPA, 1997).

Os tratamentos foram constituídos pela combinação de quatro doses de fósforo e de potássio (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ ou K₂O).

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas principais, com área de 96 m² (6 x 24 m), foram constituídas pelas doses de potássio e, nas sub parcelas, com área de 12 m² (3m x 4m), foram casualizadas as doses de fósforo, cuja área útil foi de 7,5 m² (3 x 2,5 m). Cada parcela, com as doses de potássio, foi separada entre si por uma taipa, para a

qual foram deixados 2 m de espaçamento para sua instalação, feita com entaipadora de base estreita, evitando a contaminação dos tratamentos adjacentes após a formação da lâmina de água.

Utilizou-se a cultivar de arroz irrigado BR Roraima, semeada a lanço, na densidade de 160 kg de sementes ha⁻¹. A adubação de plantio constou de 25 kg ha⁻¹ de nitrogênio, aplicado na forma de uréia, mais 50 kg ha⁻¹ de FTE BR 12, e as doses de fósforo e potássio estabelecidas como tratamentos. Em cobertura, utilizou-se 200 kg ha⁻¹ de uréia, divididos em duas aplicações, efetuadas pelo agricultor, com diferença de 10 dias entre as duas aplicações, sendo a primeira após o estágio fenológico recomendado (início do perfilhamento), e o segundo, antes do momento ideal (diferenciação do primórdio floral).

O sistema de irrigação foi por inundação contínua, com lâmina de água de 5 a 15 cm de profundidade, iniciada a partir dos 15 dias após a emergência das plântulas de arroz. O controle de plantas daninhas foi realizado utilizando-se a mistura de propanil + 2,4-D, nas doses de 6,0 e 0,2 L de ingrediente ativo ha⁻¹, respectivamente.

Foram avaliados, na área útil de cada parcela, a altura de plantas, (determinada em 10 plantas por parcela), o número de panículas, (determinado em quatro sub amostras de 0,25 m²), o número de grãos cheios por panícula, (obtidos em dez panículas colhidas ao acaso por parcela), a massa de mil grãos, oriundos do material coletado, determinada conforme as regras de análise de sementes (BRASIL, 1992) e a produtividade de grãos, com peso corrigido para 13% de umidade, conforme Machado et al. (2006). Também foram analisados os teores de P e K nos solo e os teores foliares de macronutrientes na folha bandeira.

Os dados foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA), com aplicação do teste F (P<0,05) e os graus de liberdade das variáveis decompostos e submetidos à análise de regressão polinomial. Os modelos e seus componentes foram testados ao nível de p<0,05 pelo teste F, usando o software SAEG 9,1 para o processamento dos dados (RIBEIRO JÚNIOR, 2001).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito principal significativo de potássio sobre o variável número de grãos estéreis, altura de planta, panículas m^{-2} e produtividade; e efeito de fósforo sobre massa de mil grãos, número de grãos estéreis e total de grãos por panículas (Tabela 6). A resposta dos componentes de produção, altura de plantas e produtividade aos tratamentos usados não pôde ser explicada através de superfície de resposta, devido à baixa significância dos modelos testados ou sua falta de ajuste.

A altura de planta foi afetada pelo efeito principal de K_2O , no qual houve significância dos efeitos linear e quadrático (Tabela 4.5.1 e Figura 4.5.1A), e pelo efeito linear e positivo de fósforo (Figura 4.5.1B). As plantas cresceram de 100,2 para 102,2 cm, com a variação das doses 0 a 200 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 . O comportamento da altura de planta em função das doses de potássio foi biologicamente inconsistente, tendo ligeira queda no crescimento com a primeira dose e se recuperando posteriormente. Esse crescimento pequeno e anômalo provavelmente foi devido aos altos teores desses nutrientes no solo (Tabela 4.4.1), onde as plantas já se encontravam em bom estado nutricional e responderam em crescimento com pouca consistência. A resposta a fósforo, por outro lado, concorda com os encontrados por Fageria; Zimmermann; Lopes (1977), que obtiveram diferença significativa na altura de plantas entre as doses 0, 200 e 400 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , e altura de 105, 115 e 119 cm, respectivamente, em solo de várzea com 18 $mg\ dm^{-3}$ de P, extraído por Mehlich. A maior altura de plantas no trabalho citado, provavelmente deveu-se ao alto nível de fertilidade em Ca e Mg (3,2 $cmol_c\ dm^{-3}$) do solo trabalhado pelos referidos autores, bem diferente dos teores encontrados no solo onde foi realizado este experimento (Tabela 4.4.1). Entretanto, não se pode descartar a eficiência da cultivar no uso do fósforo, pois é reconhecido que as diversidades de arroz variam amplamente em sua habilidade para absorver e utilizar o fósforo aplicado no solo (FURLANI; BATAGLIA; AZINI, 1986).

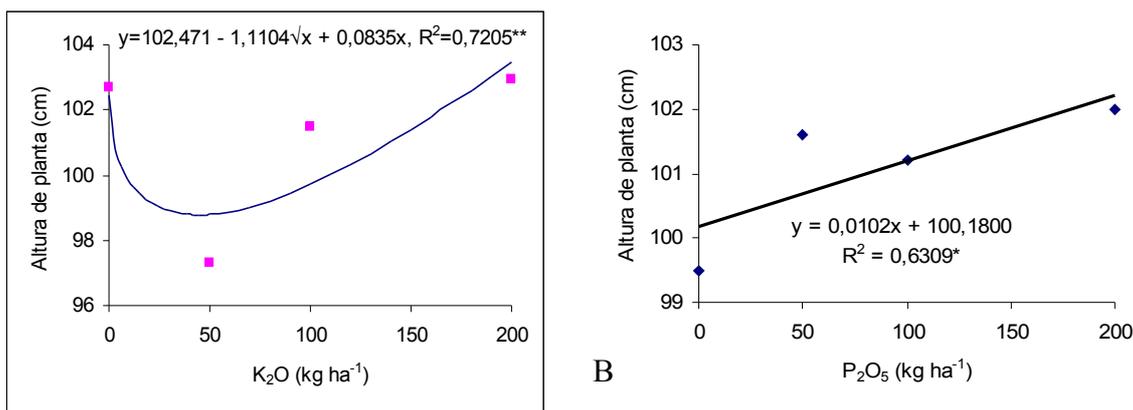


Figura 4.5.1 - Altura de plantas em função de doses de potássio (A) e fósforo (B) em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs.: * significativo a 5% pelo teste F.

O número de grãos cheios por panícula foi afetado apenas pelo componente linear do efeito de P_2O_5 , sendo reduzido de 105,6 a 96,6 grãos por panícula⁻¹, no intervalo de doses estudado (Tabela 4.5.1 e Figura 4.5.2). FAGERIA (1991), testando três cultivares em casa de vegetação, quanto a sua resposta ao fósforo, obteve efeito quadrático crescente ao nutriente.

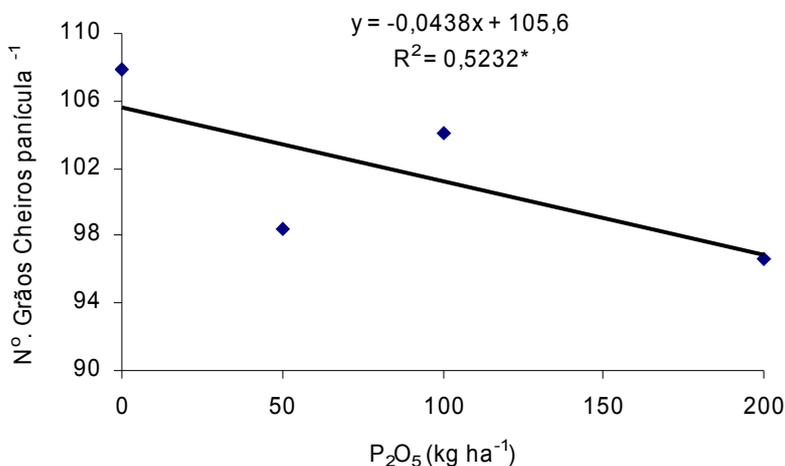


Figura 4.5.2 - Número de grãos cheios por panícula, em função de doses de fósforo em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs.: * significativo a 5% pelo teste F.

Os efeitos de P_2O_5 e K_2O sobre grãos estéreis foram significativos e lineares, provocando redução de 7,8 para 5,7 grãos por panícula⁻¹ para potássio e 7,6 para 6,1 grãos por panícula⁻¹ para fósforo, com uso da maior dose testada (Figura 4.5.3). Knoblauch; Bacha; Stuker (2007) não encontraram

efeito significativo do potássio sobre a esterilidade de grãos no arroz irrigado em Santa Catarina, ao contrário do nitrogênio, que aumentou o nível de esterilidade com o aumento da dose aplicada. Os autores não tiveram resposta significativa em produtividade ao uso de potássio. Já Fageria; Santos; Zimmermann (2000) encontraram a menor taxa de esterilidade quando usaram as maiores doses de NPK. Neste caso, houve ganho de produtividade com contribuição significativa da menor taxa de esterilidade obtida no ensaio. Assim, nas condições deste experimento, é provável que o aumento da esterilidade, com consequência negativa sobre a produtividade de grãos, seja devido à influência do potássio sobre outro nutriente no estado nutricional da planta, visto que o K disponível se encontra em nível elevado no solo (Tabela 4.5.1).

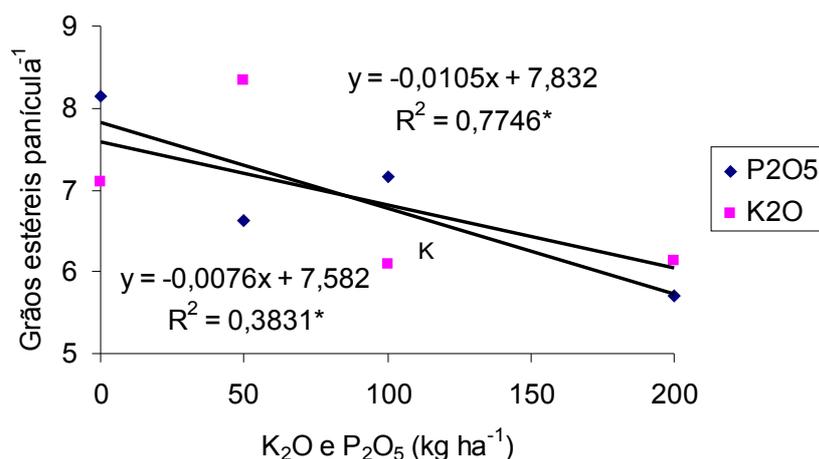


Figura 4.5.3 - Número de grãos estéreis por panícula em função de doses de potássio e fósforo em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs.: * significativo a 5% pelo teste F.

O número total de grãos foi afetado significativamente apenas pelo P₂O₅ em seu componente linear, sendo reduzido de 105,6 para 96,8 grãos por panícula⁻¹ na dose de 200 kg ha⁻¹. Provavelmente, a planta teve baixa capacidade fotossintética para encher os grãos devido ao teor limitante de Mg no solo (Tabela 4.4.1), agravado pelas doses de potássio e pela presença de maior teor de Ca nas raízes, devido a doses de fosfato aplicado. A redução na absorção de Mg pelo aumento dos teores de Ca e K é um fenômeno conhecido (MARSCHNER, 1995). Assim, o aumento no número de panícula m⁻² levou a um reajuste interno na distribuição de carboidratos, levando a redução do

número de grãos por panícula e, conseqüente, redução no tamanho da panícula. O atraso na aplicação da primeira dose de nitrogênio em cobertura (feita 10 dias após o início do perfilhamento) e a antecipação da segunda cobertura para uma semana após a primeira aplicação, pode ter reduzido o desenvolvimento da planta e sua capacidade produtiva. Segundo Marzari et al. (2005), a aplicação correta de N na fase reprodutiva contribui para a formação de perfilhos e, portanto, de panículas; na fase reprodutiva, ocorre a definição do número de grãos por panícula e do peso de grãos. Segundo Malavolta (1987), o efeito da adubação fosfatada está muito relacionada com o estado nutricional da planta em potássio e nitrogênio. Assim, todo estresse nutricional que implica em redução do número de perfilhos e da área foliar tende a provocar efeito em cascata sobre a capacidade da planta em produzir grãos e em carregá-los corretamente a partir de produtos da fotossíntese.

Houve interação entre as doses de P_2O_5 e K_2O apenas para variável massa de mil grãos, entretanto os modelos de superfície de resposta testados não explicaram satisfatoriamente esse fenômeno, pois tiveram baixos $R^2 < 0,10$. Apesar da significância do efeito de P_2O_5 para essa variável, não houve efeito linear ou quadrático para os ajustes polinomiais testados. Também não houve efeito algum para K_2O e para seus componentes lineares e quadráticos. Dessa forma, a variação significativa nos valores de massa de mil grãos se deveu ao baixo valor de C.V. nesta variável, sendo não consistente e de pouca relevância prática (Tabela 4.5.1). Fageria; Zimmermann; Lopes (1977) obtiveram crescimento da massa de mil grãos com o aumento das doses de P_2O_5 até 221 kg ha^{-1} , quando estudou o intervalo de 0 a 400 kg ha^{-1} , e obteve 26,59 g por massa de mil grãos. Este resultado está contido dentro da amplitude de variação dos dados encontrados no presente trabalho, que foi de 25,73 a 26,89 g.

O número de panículas por m^2 teve influência significativa do efeito principal de K_2O , mostrando tendência positiva com o aumento das doses do nutriente, obtendo-se média de 389,98 panículas m^{-2} para a média das doses de potássio aplicadas (Tabela 4.5.1). Não houve efeito para as doses de fósforo aplicadas sobre esta variável. Também Fageria (1980), estudando doses crescentes de P_2O_5 de 0 a 400 kg ha^{-1} em arroz irrigado, encontrou resposta positiva para o perfilhamento até a dose máxima utilizada, porém

obtendo diferença significativa até a dose 200 kg ha⁻¹, com aumento de 19% em relação à testemunha. Segundo este autor, o impacto do fósforo sobre a produtividade ocorre devido ao aumento que proporciona nos componentes de produção, especialmente no número de panícula m⁻². O número de panículas por unidade de área é relatado como um dos mais importantes componentes na produtividade, quando não existem estresses ambientais (MILLER; HILL; ROBERTS, 1991; ZENG; SHANNON, 2000). Assim, é possível que a ausência de efeito do fósforo aplicado sobre esta variável tenha ocorrido por causa do alto nível de fósforo e potássio existente na área trabalhada (Tabela 4.4.1). Também, o estresse nutricional ocasionado pelos baixos teores de Mg existente no solo e pelo uso de altas doses de K, dificultam a absorção do Mg, podendo limitar o potencial produtivo da cultura.

Tabela 4.5.1 - Valores médios e significância dos efeitos tratados de altura de plantas, número de grãos cheios (NGC), de grãos estéreis (NGE), total de grãos, massa de mil grãos (MMG), número de panículas por metro quadrado (NPM) e produtividade (PROD) em função de doses de fósforo e potássio no arroz irrigado em várzeas do estado de Roraima. Safra 2007/2008.

Doses e fontes usadas	Altura de planta (cm)	NGC	NGE	NTG	MMG	NPM	PROD
Kg ha⁻¹ P₂O₅		Efeito médio de P₂O₅					
0	99,50	107,91	8,15	116,06	26,09	375,03	5959,89
50	101,63	98,44	6,63	105,07	26,89	381,83	5864,04
100	101,25	104,08	7,16	111,24	25,73	363,46	5950,57
200	102,06	96,66	5,71	102,37	26,27	402,60	6177,75
Kg ha⁻¹ K₂O		Efeito médio de K₂O					
0	102,69	106,76	7,10	113,86	25,90	352,98	6522,20
50	97,31	102,26	8,33	110,59	26,05	416,93	5267,54
100	101,50	94,09	6,09	100,18	26,68	361,25	6417,59
200	102,94	103,98	6,14	110,12	26,35	391,76	5744,92
Efeito de K	**	ns	*	ns	ns	*	**
Ef. Linear ⁽¹⁾	**	ns	*	ns	ns	ns	ns
Ef. Quadrát. ⁽²⁾	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Efeito de P	ns	ns	*	*	*	ns	ns
Ef. Linear ⁽¹⁾	*	*	*	*	ns	ns	ns
Ef. Quadrát. ⁽²⁾	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Efeito de K x P	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
Média	101,11	101,77	6,91	108,68	26,25	380,73	5988,10
C.V. (%)⁽⁴⁾	17,58	3,42	25,96	17,43	14,03	5,90	17,95
C.V. (%)⁽⁵⁾	2,59	12,50	34,66	12,71	4,14	15,92	14,32

ns, *, **, ns = não significativo e significativo a 5%, 1%, pelo teste F; coeficientes de variação da parcela e sub parcelas. ⁽¹⁾ e ⁽²⁾: Efeitos medidos nos modelos de regressão testados. ⁽⁴⁾ e ⁽⁵⁾: coeficiente de variação na parcela e na sub parcela, respectivamente.

A produtividade de arroz não foi afetada significativamente pelo efeito de fósforo, porém foi influenciada pelo efeito principal de potássio (Tabela 4.5.1

e Figura 4.5.4). O teor de $20,4 \text{ mg dm}^{-3}$ é considerado elevado para esta cultura pela maioria dos sistemas oficiais de recomendação de adubação do Brasil (CRAVO; VIEGAS; BRASIL, 2007; SOUSA; LOBATO, 2004; IRGA, 2001). Nenhum dos modelos de regressão testados foi significativo ao nível de 5% de probabilidade para esses fatores em estudo. Apenas a 5,56% de probabilidade é que se conseguiu ajustar o modelo raiz-quadrada, o qual descreveu uma resposta negativa na produção de arroz pelo uso de doses crescentes de K_2O . Segundo o modelo, a produtividade cai com o aumento da dose aplicada e tende a se estabilizar a partir da aplicação de $88,65 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O , quando atinge o mínimo previsto pela equação $y = 6443,27 - 144,199\sqrt{x} + 7,657x$, ($5.764,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de arroz em casca) e tem variação positiva e pouco relevante a partir desse ponto. Possivelmente, essa resposta ocorra devido ao teor elevado de K disponível no solo, que era de $0,26 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, considerado alto para a maioria dos sistemas de recomendação (CRAVO; VIEGAS; BRASIL, 2007; VILELA; SOUSA; SILVA, 2002; IRGA, 2001; MALAVOLTA, 1978). Neste nível a probabilidade de resposta positiva é muito baixa ou nula, podendo haver decréscimo de produtividade por desequilíbrio nutricional do potássio com outro nutriente que seja absorvido e/ou usado de forma concorrente pela planta. No caso presente, a maior suspeita é a interação negativa na absorção entre o K e o Mg, pois este último se encontrava no solo em teor considerado baixo, antes da implantação do experimento. Não é comum que se faça calagem na áreas de várzeas, daí haver uma tendência de desbasificação com o tempo de cultivo.

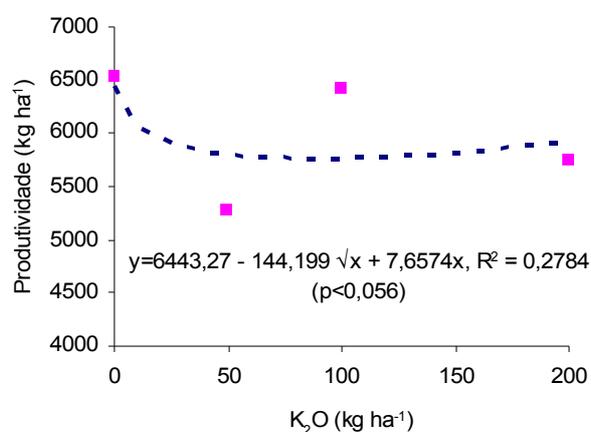


Figura 4.5.4 - Produtividade de arroz irrigado em resposta a diferentes doses de K_2O em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs.: $p < 0,056$: significativo a 5,56% de probabilidade pelo teste F.

A dose que proporcionou a maior produtividade foi zero de K_2O , com 6522 kg ha^{-1} de grãos em casca, já corrigida a 13% de umidade (ou 6.443 kg ha^{-1} na dose estimada no intercepto da equação ajustada). Estes resultados concordam com os obtidos por Knoblauch; Bacha; Stuker (2007), testando diferentes doses de N e K_2O , onde a resposta em produtividade não seguiu uma tendência de aumento ou posterior decréscimo ao serem utilizadas as doses crescentes de fertilizante.

Não houve resposta de produtividade de grãos aos diferentes níveis de fósforo (Tabela 4.5.1). Isto foi devido ao alto nível do nutriente encontrado no solo ($20,4 \text{ mg dm}^{-3}$), nível este bastante elevado para as necessidades da cultura, ficando além do ótimo (SOUSA, LOBATO; REIN, 2004). Este fato levou a uma ausência de resposta às diferentes doses utilizadas de P_2O_5 sobre a variável produtividade, tanto as maiores doses como a não aplicação tiveram efeito semelhante sobre a variável. A produtividade média obtida foi de $5.988 \pm 857 \text{ kg ha}^{-1}$, corroborando com os obtidos por Wesz et al. (2007) que testando níveis de fósforo de 30 até 180 kg ha^{-1} , não encontraram diferenças significativas para a variável em questão. Eles constataram um aumento nos níveis de P disponível no solo com o incremento das doses aplicadas, mas isto não influenciou na produtividade, que alcançou média de 7.300 kg ha^{-1} . Chiarelo et al. (2007) também não obtiveram resposta à aplicação de P_2O_5 para produtividade, testando diferentes fontes do nutriente e dose de 80 kg ha^{-1} , mesmo em solo de várzea com teor de P disponível de $1,7 \text{ mg dm}^{-3}$. A variação das fontes utilizadas (solúveis, semi-solúveis e a combinação destas) permitiu o alcance de produtividade média de 5.670 kg ha^{-1} . No entanto, Fageria; Zimmermann; Lopes (1977) encontraram aumento contínuo e quadrático de produção até a dose 400 kg ha^{-1} , atingindo a máxima produtividade com 386 kg ha^{-1} de P_2O_5 , em solo com 18 mg dm^{-3} de P disponível, alto teor de Ca+Mg ($3,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

A produtividade média obtida no experimento foi de 5.988 kg ha^{-1} de grãos, ficando abaixo da média alcançada na área de primeiro ano de cultivo, onde se obteve 6.993 kg ha^{-1} .

Quanto ao estado nutricional do arroz no experimento, a ordem de acumulação dos nutrientes na folha bandeira foi $N > K > Ca > P > Mg$ (Tabela 4.5.2). Fageria; Santos; Zimmermann (2000), estudando acúmulo de macro e micronutrientes em função de doses de N, encontraram sequência quase igual na parte aérea de plantas de arroz, $K > N > Ca > P > Mg$ e para grãos: $N > K > P > Mg > Ca$. Este resultado concorda com o obtido para Ca, P e Mg. Guindani; Anghinoni (2007) encontraram a mesma sequência deste experimento: $N > K > Ca > P > Mg$, em folhas-bandeira coletadas de mais de 389 lavouras no estado do Rio Grande do Sul.

Tabela 4.5.2 - Valores médios e significância de P e K disponíveis no solo e Magnésio em função de doses de fósforo e potássio em solos de várzeas, já cultivado, no estado de Roraima.

Doses e fontes usadas	Potássio no solo $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	Fósforo no solo mg dm^{-3}	Nitrogênio folha bandeira g kg^{-1}	Fósforo folha bandeira g kg^{-1}	Potássio folha bandeira g kg^{-1}	Cálcio na folha bandeira g kg^{-1}	Magnésio na folha bandeira g kg^{-1}
kg ha⁻¹ P₂O₅	-----Efeito médio de P ₂ O ₅ -----						
0	0,24	20,42	26,73	2,15	9,68	7,57	1,17
50	0,22	22,49	27,75	2,22	9,43	7,78	1,25
100	0,25	24,38	27,84	2,10	9,69	7,66	1,20
200	0,22	34,69	27,69	2,17	9,91	8,03	1,26
kg ha⁻¹ K₂O	-----Efeito médio de K ₂ O-----						
0	0,17	26,96	28,62	2,25	9,41	8,12	1,74
50	0,25	25,02	25,98	2,04	9,62	7,58	1,03
100	0,25	25,59	27,20	2,10	10,02	7,86	0,91
200	0,27	24,41	28,17	2,24	9,69	7,48	1,17
Teste F (K)	*	ns	ns	ns	**	ns	**
Ef. Linear ⁽¹⁾	*	ns	ns	*	**	ns	**
Ef. Quad. ⁽²⁾	ns	ns	ns	*	**	ns	**
Teste F (P)	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
Ef.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Linear ⁽¹⁾	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ef. Quad. ⁽²⁾	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
Teste F (KxP)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média	0,23	25,50	27,49	2,16	9,67	7,76	1,21
C.V.(%) ⁽⁴⁾	42,75	18,94	8,43	11,66	3,50	10,32	16,51
C.V. (%) ⁽⁵⁾	34,74	15,95	7,22	9,86	6,79	10,64	13,66

*, **, ns Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, 1% e não significativa respectivamente. ⁽¹⁾, ⁽²⁾ e ⁽³⁾: Efeitos medidos nos modelos de regressão testados. ⁽⁴⁾ e ⁽⁵⁾ Coeficiente de variação na parcela e na sub parcela, respectivamente.

A adubação com potássio influenciou, por meio de seus efeitos: principal, linear ou quadrático, a maioria das variáveis dependentes estudadas, exceto P disponível no solo e o teor de cálcio na folha bandeira. Já o fósforo afetou apenas seu teor no solo, em seus efeitos: principal e quadrático, não interferindo nas outras variáveis (Tabela 4.5.2).

O teor de potássio no solo foi influenciado pelo efeito principal de K₂O, sendo significativo seus componentes: linear e quadrático, havendo aumento quadrático dos teores com o incremento das doses aplicadas, as quais variaram de 0,17 a 0,27 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Tabela 4.5.2 e Figura 4.5.5). O teor considerado bom pelo IRGA (2001) é de 0,15 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de K disponível e, segundo Cravo; Viegas; Brasil (2007), entre 0,16 e 0,30 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ o teor é classificado como alto no Pará e é recomendada apenas a aplicação de 20 kg

ha⁻¹ de K₂O; acima de 0,30 cmol_c dm⁻³, o teor é considerado muito alto e não se recomenda adubação alguma na cultura do arroz irrigado.

Deste modo, observa-se que os teores existentes no solo, mesmo após o cultivo (Tabela 4.5.2), eram considerados adequados e havia a expectativa de produtividade crescente até apenas 40 kg ha⁻¹ de potássio, um valor abaixo da menor dose aplicada no ensaio. Assim, nos teores mínimos encontrados na área, a adubação recomendada pelos autores citados anteriormente variava de 40 a 20 kg ha⁻¹, ou aplicação apenas para repor a exportação pela cultura, ou 50% desta dose necessária do nutriente para manutenção de boas produtividades (VILELA; SOUSA; SILVA, 2004). Desta forma, a resposta negativa em produtividade à adição deste nutriente na área do experimento refletiu o atual patamar de fertilidade quanto ao nutriente estudado, reflexos das altas adubações anteriores, o que leva a inferir que a necessidade de aplicação de K₂O se encaixa nas recomendações acima citadas. Por outro lado, a redução na produtividade era possível devido ao excesso de nutriente, que foi claramente aplicado na área (doses > 40 kg ha⁻¹).

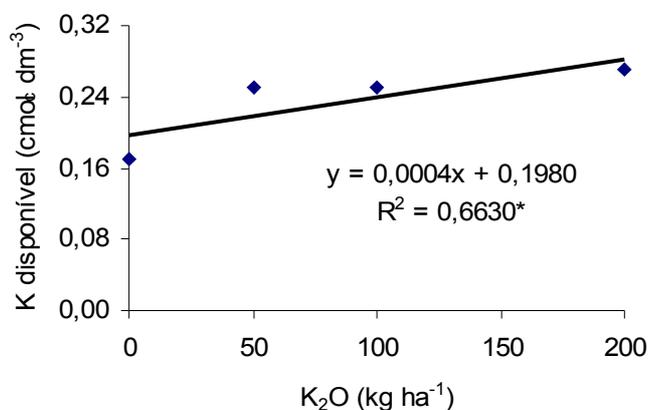


Figura 4.5.5 - Variação nos teores de K disponível no solo em função da aplicação de doses crescentes de potássio em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs. (* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.)

O teor de P disponível no solo foi alterado pelo efeito principal do nutriente através de sua componente quadrática, tendo resposta crescente com o incremento das doses de P₂O₅ aplicadas, atingindo 34,8 mg dm⁻³ na maior dose aplicada (Tabela 4.5.2 e Figura 4.5.6). Estes teores estão acima dos encontrados por Wesz et al. (2007) que, mesmo com amplitude de doses

próximas às deste experimento, encontraram $20,0 \text{ mg dm}^{-3}$ como maior teor residual após o cultivo de arroz irrigado. Fageria (1980), por outro lado, obteve aumento do teor de P_2O_5 de 8,25 para $12,25 \text{ mg dm}^{-3}$, na dose 200 kg ha^{-1} , e 14 e 15 mg dm^{-3} para as doses de 400 e 600 kg ha^{-1} , respectivamente. Assim, o teor de P disponível se encontra em nível satisfatório para o desenvolvimento da cultura, havendo a tendência de diminuição das doses necessárias a serem aplicadas anualmente na área para manutenção de patamares altos de produtividade. Segundo Cravo; Viegas; Brasil (2007), não se deve aplicar fósforo em solo com teores de P disponível (extrator Mehlich) superiores a 12 mg dm^{-3} . Em geral, os agricultores de Roraima aplicam $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, independente do resultado da análise de solo. Não surpreende, pois, a ausência de resposta à adubação da cultura com fósforo nestas áreas já cultivadas por vários anos.

A relação quadrática crescente obtida no experimento (Figura 4.5.6) demonstra que as superfícies das argilas estão com teores elevados de fósforo adsorvido e que a energia de adsorção tende a ser reduzir com as doses aplicadas, facilitando uma maior extração química dos teores presentes no solo, como mostrado por Novais; Smyth (1999).

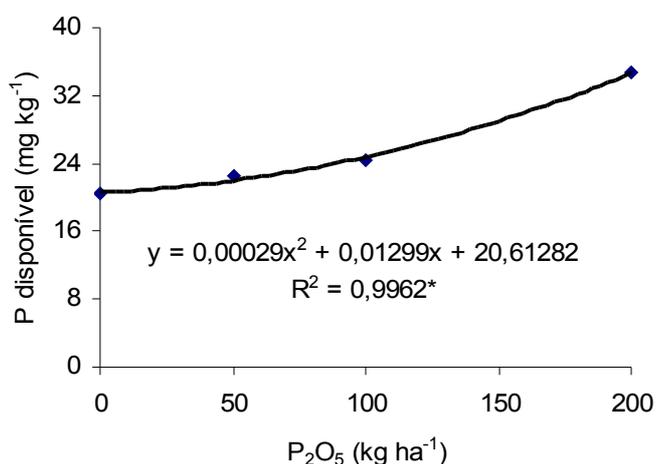


Figura 4.5.6 - Variação nos teores de P disponível no solo em função da aplicação de doses crescentes de fósforo em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs. (*: significativo 5% de probabilidade pelo teste F.)

O nitrogênio foi alterado pela ação dos componentes linear e raiz-quadrática de K_2O (Tabela 4.5.2 e Figura 4.5.7). Segundo o modelo ajustado,

houve uma redução inicial no teor deste nutriente, com ligeira recuperação de sua concentração com o aumento das doses de potássio, com uma similaridade grande com a resposta obtida em crescimento em altura (Figura 6A) e em produtividade (Figura 7). Provavelmente, o mesmo fenômeno que atingiu a absorção de nitrogênio também afetou as variáveis citadas. Em cultura de arroz irrigada, a principal fonte de nitrogênio é o amônio (NH_4^+), originado na decomposição da matéria orgânica e da uréia aplicada. Segundo Marschner (1995) o amônio é um cátion preferencial de absorção na membrana das raízes, especialmente, quando em baixa concentração na solução do solo. Entretanto, sistemas menos específicos de absorção começam a atuar com o aumento da concentração deste íon, podendo sofrer competição, em nível de membrana, pela presença de teores elevados de potássio. Como o solo em questão é deficiente em nitrogênio e houve um atraso na época de aplicação da primeira cobertura, é provável que a absorção do nutriente em maior quantidade tenha sido prejudicada pelos altos teores de potássio aplicados por meio das doses usadas neste experimento. Isto explicaria a estreita relação do efeito do potássio sobre o teor de N foliar, assim como a similaridade do fenômeno de crescimento e produtividade.

Apesar do fato relatado anteriormente, os teores de N na folha estão dentro da faixa de suficiência, que, segundo Pcojeski (2007), situam-se entre 26 e 42 g kg^{-1} . No entanto, vale observar que os teores encontrados no experimento estão bastante próximos do limite inferior desta faixa, tendo alcançado o valor mínimo de 26,39 g kg^{-1} , na dose de 53,05 kg ha^{-1} de K_2O . Sendo assim, a quantidade de nitrogênio absorvida pode ter sido uma das justificativas para produções obtidas inferiores as esperadas. Apesar desse fato, vale ressaltar que a demanda por nitrogênio no arroz varia com a cultivar utilizada. Fageria et al. (1996), estudando a resposta de 15 genótipos de arroz irrigado, mostraram que a aplicação de nitrogênio diferiu entre as variedades e dependeu de sua capacidade de extração do nutriente do solo.

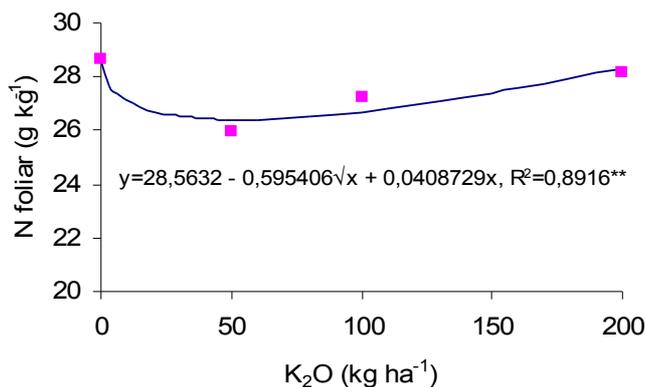


Figura 4.5.7 - Teores de N na parte aérea de plantas de arroz irrigado em várzea já cultivada, em função da aplicação de doses crescentes de potássio, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs. (**: significativo 1% de probabilidade pelo teste F.)

O teor de fósforo contido na folha bandeira foi afetado significativamente pelos componentes quadrático e linear de K₂O, atingindo valor mínimo na dose de 49,61 kg ha⁻¹ com teor de P foliar de 2,06 g kg⁻¹ (Tabela 4.5.2 e Figura 4.5.8). Os valores encontrados estão abaixo dos obtidos por Wesz et al (2007), de 2,44 a 2,78 g kg⁻¹, com 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 2,21 a 2,59 g kg⁻¹, com a dose de 60 kg ha⁻¹. Fageria (1987) determinou os níveis críticos do nutriente na faixa de 0,2 a 0,3%, na fase vegetativa, e 0,12 a 0,18% na fase reprodutiva. Isto demonstra que os teores encontrados neste experimento estão acima dos níveis críticos para obtenção de produtividades satisfatórias. Este fato é corroborado por Oliveira (2004), quando relata como faixa adequada 1,8 a 3,0 g kg⁻¹. A variação ocorrida com as doses sugere que o suprimento já existente no solo estava em nível adequado para a satisfatória nutrição das plantas de arroz e que respostas à adição do nutriente podem vir a ser nulas, pequenas ou sem tendência definida, fato ocorrido no experimento, quanto a produtividade. Entretanto, também não se pode descartar a hipótese de que fenômenos de absorção em nível de membrana estejam atuando, reduzindo a absorção de fósforo além do limite desejável pela planta. A concentração alta de íons cloreto no meio, vindo do adubo cloreto de potássio aplicado, pode diminuir a absorção elevada de fósforo pelo efeito de competição direta e pela preferência como íon acompanhante do potássio absorvido (Marschner, 1995).

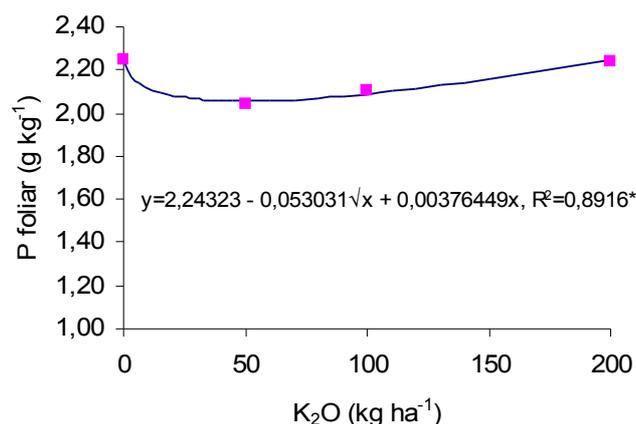


Figura 4.5.8 - Variação nos teores de P foliar, na folha bandeira, em função da aplicação de doses crescentes de potássio, em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs. (*: significativo 5% de probabilidade pelo teste F.)

Os teores de potássio na folha foram afetados pelo efeito linear e quadrático do potássio aplicado (Tabela 4.5.2 e Figura 4.5.9), com a máxima resposta em 122,62 kg ha⁻¹, quando se obteve teor máximo de g ha⁻¹ (Figura 4.5.9). É importante observar que o teor de potássio aumentou linearmente no solo (Figura 4.5.5) e foi absorvido intensamente pela cultura. Segundo Oliveira (2004), o teor adequado de potássio para o arroz na folha bandeira, na época do perfilhamento, é de 13 a 30 g kg⁻¹. Entretanto, esse teor tende a cair com a idade da planta, sendo bem menor no florescimento. Segundo Furlani; Bataglia; Azini (1986) as variedades de arroz têm sensibilidade variada na absorção e acúmulo de potássio. Os autores encontraram variação de 9,0 a 16,1 g kg⁻¹ de K na parte aérea de 42 variedades de arroz de sequeiro cultivadas em solução nutritiva por 40 dias.

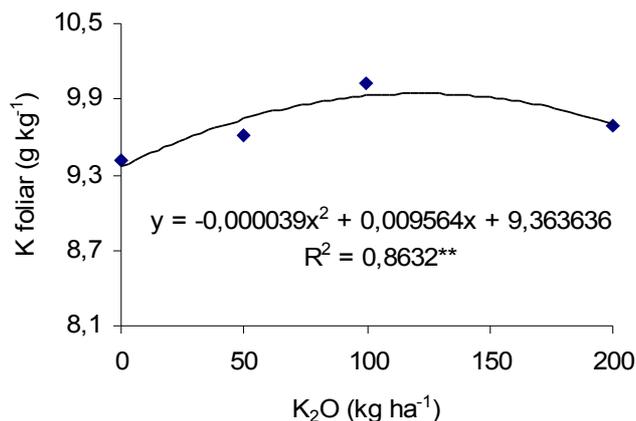


Figura 4.5.9 - Variação nos teores de K na folha bandeira, em função da aplicação de doses crescentes de potássio, em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs. (**: significativo 1% de probabilidade pelo teste F.)

Em solos com alto teor de potássio disponível, como o usado neste ensaio, o preocupante é o efeito desse cátion sobre os teores de Ca e Mg nas folhas, especialmente nas condições de Roraima, em que os teores desses nutrientes são baixos no solo pela não aplicação de calcário (Tabela 4.4.1).

O teor de cálcio foliar não foi afetado por nenhum dos tratamentos, ficando sua média em 7,76 g kg⁻¹. Apesar disso, houve tendência de redução no teor desse nutriente pela aplicação do potássio, porém significativo apenas a 10% de probabilidade (Tabela 4.5.2). Segundo Oliveira (2004) o teor adequado desse nutriente para a cultura situa-se na faixa de 2,5 a 10,0 g kg⁻¹.

Ao contrário do fósforo, as doses aplicadas de potássio tiveram um forte efeito sobre os teores de Mg na folha, tendo sido altamente significativos seus componentes lineares e quadráticos (Tabela 4.5.2 e Figura 13). À medida que o teor de potássio aumentou com as doses de K₂O aplicadas (Figura 12) houve forte redução dos teores foliares de Mg (Figura 4.5.10). Segundo Marschner (1995), o Mg é um elemento constituinte da molécula de clorofila, estando no centro do anel pirrólico; ele também é necessário para todas as reações de fosforilação das plantas, dentre outras funções. O elemento pode sofrer redução significativa na absorção radicular pela presença excessiva de potássio, visto que ambos entram na planta passivamente, em uniporte e via canal iônico, dissipando o gradiente de potencial eletroquímico de membrana, criado pelas bombas de prótons existentes na membrana plasmática (H⁺-ATPases). Assim, em solo com baixo teor de Mg e alto nível e/ou alto uso de

adubação potássica, o teor foliar pode ser reduzido ao nível de deficiência crônica (“fome escondida”) ou aguda, situação em que se manifestam os sintomas de deficiências visuais. Em ambas as situações, o potencial fotossintético da planta é reduzido e pode haver redução na produtividade de grãos.

O teor de Mg foliar considerado adequado para a planta de arroz varia de 1,5 a 3,0 g kg⁻¹ na folha bandeira, no início do florescimento (CQFS, 2004). No presente trabalho, os teores variaram de 1,74 g kg⁻¹ na dose zero até 0,95 g kg⁻¹, na dose de 87,27 kg ha⁻¹ de K₂O. Ou seja, os teores que já estavam no limite inferior da faixa foram reduzidos para apenas 63% da necessidade mínima de Mg no tecido foliar. Como a forma da resposta a Mg encontrada (Figura 4.5.10) é semelhante ao resultado obtido para crescimento em altura (Figura 4.5.1A) e produtividade (Figura 4.5.4) em função das doses de potássio, é muito provável que a deficiência mineral neste nutriente tenha sido o fator mais limitante na produtividade da cultura no presente ensaio, reduzindo substancialmente o potencial produtivo da cultura, que pode alcançar até 9 t ha⁻¹. Por sua vez, Furlani; Bataglia; Azini (1986) não encontraram relação estreita entre a absorção de potássio e a redução dos teores de Ca e Mg, em 42 variedades de arroz submetidas a cultivo em solução nutritiva. Provavelmente, as condições de altos teores de nutrientes geralmente observados nesta condição impediram a manifestação do efeito inibitório do potássio sobre a absorção de magnésio.

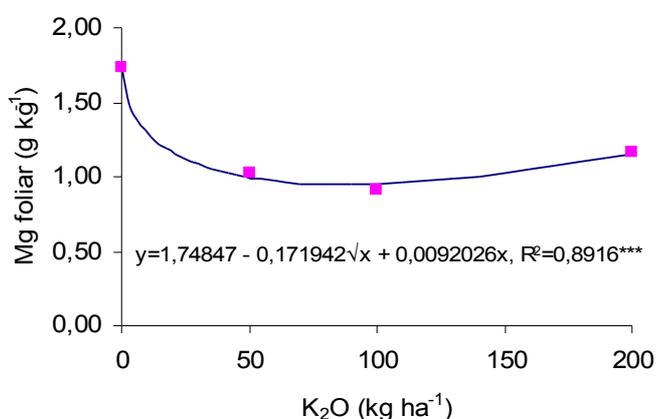


Figura 4.5.10 - Variação nos teores de Mg foliar, na folha bandeira, de arroz cv. BR Roraima em função da aplicação de doses crescentes de potássio, em arroz de várzea irrigado em área já cultivada, no estado de Roraima. Safra 2007/2008. Obs. (***: significativo 0,1% de probabilidade pelo teste F.)

4.6 CONCLUSÕES

1. Em solos de área de várzea já incorporados à produção de arroz irrigado à várias safras e submetidos ao manejo corrente em Roraima, não há resposta em produtividade de grãos ao uso de fósforo e potássio;
2. O uso de doses elevadas de potássio em solos de várzea pobres em magnésio, e cultivados com arroz irrigado, provoca a redução da produtividade de grãos de arroz.

5 CONCLUSÕES GERAIS

1. O uso de 134,32 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 157,92 kg ha⁻¹ de P₂O₅ permite o alcance da máxima produção econômica (7.501 kg ha⁻¹) de arroz em casca na cultivar BR Roraima, em várzeas no estado de Roraima, em primeiro ano de cultivo.

2. O uso das doses de melhor retorno econômico permite a obtenção de receita líquida de R\$ 696,78 ha⁻¹, com relação benefício/custo de 1,18 e obtenção de custo unitário de R\$ 0,5271 por kg de arroz em casca, já no primeiro ano de cultivo.

3. Há resposta em produtividade física de arroz em casca até 8.154 kg ha⁻¹, com o uso de até 304,2 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 228 kg ha⁻¹ de K₂O.

4. A produtividade está relacionada com o aumento no número de grãos por panícula, a altura de planta e a massa de mil grãos.

5. Em solos de área de várzea já incorporados à produção de arroz irrigado às várias safras e submetidos ao manejo corrente em Roraima, não há resposta em produtividade ao uso de fósforo e potássio.

6. O uso de doses elevadas de potássio em solos de várzea pobres em magnésio e cultivados com arroz irrigado provoca a redução da produtividade de grãos.

REFERÊNCIAS

Arroz Irrigado: **Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil / IRGA**. – Porto Alegre, RS : IRGA, 2001. 128 p.: il.

ASSIS, M. P.; CARVALHO, J. G.; CURI, N.; BERTONI, J. C.; ANDRADE, W. E. B.; Limitações nutricionais para a cultura do arroz em solos orgânicos sob inundação. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 24, n.1, p.87-95, jan./mar., 2000.

AZEVEDO, W. R. Disponibilidade de fósforo para o Arroz inundado sob efeito residual de Calcário, gesso e esterco de curral aplicados na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28:995-1004, 2004.

BANCO DA AMAZÔNIA. **Estimativa do orçamento para custeio de 1,0 hectare de arroz irrigado**. Boa Vista, RR.2006.

BERTONI, J. C.; BASTOS, A. R. B.; CARVALHO, J. G.; MIRANDA, J. R. P. de. Níveis críticos de fósforo para o arroz em um solo de várzea inundado em condições de casa-de-vegetação. **Revista Universidade Rural, Série Ciências da Vida**, v 22, n 2, p.45-53, 2003.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992. 365p.

CABBAU, A. R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A.; ANDRADE, A. T.; LIMA SOBRINHO, L. R. Resposta e níveis críticos de Potássio para o arroz cultivado em solos de várzea inundados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 1, p. 75-86, jan./fev., 2004.

CASTILHOS, R. M. V. Suprimento de potássio para o arroz alagado, em solos do RS. In: **Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 1., reunião da cultura do arroz irrigado**, 22., 1999, Pelotas. Embrapa Clima Temperado, p.334-337, 1999.

Cerrado: correção do solo e adubação/ Editores Técnicos Djalma Martinhão Gomes de Sousa, Edson Lobato. – 2. ed. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

CHIARELO, C.; GOMES, A. G.; FERREIRA, L. H. G.; PEREIRA, R. R. B.; WINKLER, A. S. Resposta do arroz irrigado ao termofosfato yorin e a combinações de fontes de fósforo. In: **Anais do V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado; XXVII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado**, Pelotas, 2007/ Editado por Ariano Martins de Magalhães Júnior [et al] – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p. 577 – 579, 2007.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS-NRS/EMBRAPA-CNPT, 2004, 400 p.

CORDEIRO, A. C. C. O Cultivo do Arroz Irrigado em Roraima. In: BARBOSA, Reinaldo Imbrozio, XAUD, Haron Abrahim Magalhães, SOUZA, Jorge Manoel Costa e. (Org.). SAVANAS DE RORAIMA: **Etnoecologia, Biodiversidade e Potencialidades Agrossilvipastoris**. Boa Vista Roraima: FEMACT- Fundação do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia, p. 01-195, 2005.

COSTA, E. G. de C.; SANTOS, A.B.; ZIMMERMANN, F. J. P. [Características agrônômicas da cultura principal e da soca de arroz irrigado](http://www.editora.ufla.br/revista/suple_2000/Vol24_Esp.htm). Disponível em: <http://www.editora.ufla.br/revista/suple_2000/Vol24_Esp.htm>. Acesso em 25 fev. 2009.

COSTA, M. C. G. **Avaliação da Fertilidade do Solo**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2005. 32p.(Embrapa Roraima. Documentos, 5).

CRAVO, S. C.; VIEGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará**. Belém, PA: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2007. 262 p.

DE DATTA, S. K. **Principles and practices of rice production**. New York: John Wiley and Sons, 1981. 618p.

DIEL, M.; CASTILHOS, R. M. V.; SOUSA, R. O.; VALH, L. C.; SILVA, J. B. Nutrientes na água para irrigação de arroz na região sul do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.102-109, jan-fev, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

ERNANI, P. R.; JAIME, A. de. A.; SANTOS, F. C. dos. Potássio. In: NOVAIS, R. F. et al. (eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa, SBCS, 2007. p. 551-594.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; CUTRIM, V. A. Resposta de genótipos de arroz irrigado a aplicação de fósforo. **Anais do V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado; XXVII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado**, Pelotas, 2007 / Editado por Ariano Martins de Magalhães Júnior [et al] – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007 – p. 586 - 588.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. & ZIMMERMANN, F. J. P. Resposta do arroz irrigado à adubação residual e aos níveis de adubação em solo de várzea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. Ambiental, Campina Grande, v.4, n.2, p.177-182, 2000.

FAGERIA, N. K. **Avaliação de características morfológicas e acumulação de macronutrientes na planta de arroz irrigado**, 1999.

FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F.J.P. Resposta de arroz irrigado a adubação em solos de várzea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v 31, n 6, p. 463-466, jun. 1996.

FAGERIA, N. K.; Resposta de cultivares de arroz a fertilizante fosfatado em latossolo vermelho-escuro do Brasil central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 63-67, 1991.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M.P. Potassium fertilization increase upland rice yield in cerrado soil. **Better Crops International**, Atlanta v.6, p.12-3, 1990.

FAGERIA, N. K. Variação em diferentes estádios de crescimento do nível crítico de fósforo em plantas de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.1, p. 77-80, 1987.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M. P. Avaliação de cultivares de arroz para a maior eficiência de absorção de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.16, p.772-782, 1981.

FAGERIA, N. K. Efeitos da aplicação de fósforo no crescimento, produção e absorção de nutrientes do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v 4, p. 26-31. 1980.

FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F.J.P. & LOPES, A. M. Resposta do arroz irrigado a aplicação de fósforo, zinco e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v 1: 72-76. 1977.

FERREIRA, L. H. G.; GOMES, A. S.; THEISEM, G.; GARDIN, J. P. P.; SILVEIRA, C. A. P.; PEREIRA, R. S. D.; WINKLER, A. S. Acúmulo de biomassa e absorção de NPK em três cultivares de arroz irrigado. In: **Anais do V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado; XXVII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado**, Pelotas, 2007 / Editado por Ariano. Martins de Magalhães Júnior [et al] – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p.524 – 526, 2007.

Fertilidade do solo / editores Roberto Ferreira Novais... [et al.]. – Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C. & AZINI, L. E. Variabilidade entre linhagens de arroz na absorção e utilização de potássio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v 10: 135 – 141, 1986.

GENRO JR, S.A.; SCHOENFELD, R.; MARCOLIN, E. Resposta do arroz irrigado à aplicação de doses de potássio em solos com diferentes CTCs. In: **Anais do V congresso brasileiro de arroz irrigado**, 5.; **Reunião da cultura do arroz irrigado**, 27, 2007, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: EMBRAPA, 2007.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 12.ed. São Paulo: Livraria Nobel, 1987. 403p.

GONÇALVES, G. K; MEURER, E. J. Disponibilidade de fósforo em solos cultivados com arroz irrigado por alagamento no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 32:2745-2750, 2008, Número Especial.

GOSWAMI, N.N.; BANERJEE, N.K. **Phosphorus, potassium, and other macrolelements**. In: BRADY, N.C. (Ed.). Soils and rice. Los Baños: IRRI, 1978. p.561-580.

GUINDANI, R. H. P.; ANGHINONI, I.; Diagnose foliar para avaliação do estado nutricional do arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: **Anais do V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado; XXVII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado**, Pelotas, 2007/ Editado por Ariano Martins de Magalhães Júnior [et al] – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007 – p. 577 – 579.

KIST, S. L. **Suprimento de potássio em argissolo com histórico de adubação potássica**. Dissertação de mestrado. Santa Maria, RS, Brasil, 2005.

KNOBLAUCH, R.; BACHA, R. E. ; STUKER, H. Níveis de nitrogênio e potássio para adubação do arroz irrigado em sistema pré-germinado. In: **Anais do V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado; ; XXVII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado**, Pelotas, 2007 / Editado por Ariano Martins de Magalhães Júnior [et al] – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p.504 – 506, 2007.

LANA, R. M. L.; VILELA FILHO, C. E.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; PEREIRA, H. S.; LANA, A. M. Q. Adubação superficial com fósforo e potássio para a soja em diferentes épocas em pré-semeadura na instalação do sistema de plantio direto. **Scientia Agraria**, v.4, n.1-2, p.53-60, 2003.

MACHADO, S. L. O.; MARCHESAN, E.; RIGHES, A. A.; CARLESSO, R.; VILLA, S. C. C.; CAMARGO, E. R. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.36, n.1, jan-fev, 2006.

MALVOLTA, E.; **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres, 1987. 496p.: il

MALAVOLTA, E.; **Nutrição Mineral e Adubação do Arroz Irrigado**. Série Divulgação Técnica. 1978.

MARCHESAN, E.; SEGABINAZZI, T.; MARZARI, V.; VILLA, S. C. C.; AVILA, L. A. Manejo da adubação do arroz irrigado em sistema pré-germinado na produtividade e perda de nutrientes através da água de drenagem inicial. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.5, p.877-879, 2001.

MARIANO, I. O .S.; FAQUIN, V; FERNANDES, L. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. C. Efeito residual da adubação fosfatada e da calagem e níveis críticos de fósforo em plantas de arroz cultivadas em solos inundados **Ciência e Agrotecnologia**, lavras, v.26, n.4, p.731-740, jul./ago., 2002

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.

MARZARI, V; MARCHESAN, E; SILVA, L. S.; RANNO, S. K.; SANTOS, F. M.; CAMARGO, E. R. Épocas de aplicação do fertilizante nitrogenado no sistema convencional de semeadura de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.35 n.5, 2005.

MEDEIROS, R. D., CORDEIRO, A. C. C., VILARINHO, A. A. Influência de doses de potássio e de calcário sobre a produtividade de grãos de arroz irrigado em Roraima. In: **Anais / IV Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado e XXVI Reunião da Cultura do Arroz Irrigado**, Santa Maria – RS – Brasil, 09 a 12 de agosto de 2005. – Santa Maria: Editora Orium, 2005. – p. 415 – 417.

MEDEIROS, R. D. de; DO Ó, W. C. R.; GIANLUPPI, D. **Características químicas e físico-hídricas de solos de várzeas em Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2004. 13p. (Embrapa Roraima. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 3).

MELLO, J. W. V.; FONTES, M. P. F.; RIBEIRO, A. C. ; NOVAIS, R. F. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p. 319-324, 1992.

MILLER, B. C.; HILL, J. E.; ROBERTS, S. R. Plant population effects on growth and yield in water seeded rice. **Agronomy Journal**. V-83, n.2, p.291-297,1991.

Novais, R.F.; Smyth, T.J. 1999. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 399p.

OLIVEIRA, S. A. Análise Foliar. In: Embrapa Informação Tecnológica. **Cerrado, Correção do Solo e Adubação**. Brasília, 2004. 2 ed. p 245-256.

PESKE, S. T.; NEDEL, J. L.; BARROS, A. C. S. A. **Produção de arroz irrigado**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 1998. 659p.; il.

POCOJESKI, E. **Estimativa do estado nutricional do arroz irrigado por alagamento**. 2007. 95p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

POTAFOS - Associação Brasileira Para Pesquisa da Potassa e do Fosfato
INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS Nº 95. SETEMBRO / 2001.

REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. **Plant analysis: an interpretation manual**. Sidney, Melbourn: Inkata Press, 1988. 218p.

REVISTA SOMOS. Boa Vista: Fecomércio, n. 10, set. 2008.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa: UFLA, 2001. 301 p. il.

SANES F. S. L.; CASTILHOS, R. M. V.; SCIVITTARO, W. B. VAHL; S. C. I. Eficiência de uso de potássio de seis cultivares de arroz irrigado. In: **Anais do**

V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado; XXVII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, Pelotas, 2007 / Editado por Ariano Martins de Magalhães Júnior [et al] – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p. 543 – 545, 2007.

SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K.; STONE L. F.; SANTOS C. Manejo de Água e de Fertilizante Potássico na Cultura de Arroz Irrigado, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.34, n.4, p.565-573, abr. 1999.

SILVA, A. J.; MELO, V. F.; MEDEIROS, R. D. de. Limitações nutricionais para a cultura do arroz em solo de várzea do Estado de Roraima. I. Efeito sobre características agrônômicas. In: FERTIBIO 98. Caxambu, 1998. **Resumos**. Lavras, UFLA/SBCS/SBM. 1998. p. 562.

SILVA, M. L. S. **Sistema de amostragem do solo e avaliação da disponibilidade de fósforo na fase de implantação do plantio direto** / Maria Lúcia de Souza Silva. – Piracicaba, 2002. 97p.

Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira (2: 2004: São Pedro, SP). In: **Anais do simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira** / edição de Tsuioshi Yamada e Terry L. Roberts, --Piracicaba, 2005.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF, 2004. 2. ed, p. 147-167.

VILELA, L.; SOUSA, D. M. G.; SILVA, J. E. Adubação potássica. In: **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF, 2004. 2. ed, p. 169-182.

VILLA, M. R.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V. Formas de potássio em solos de várzea e sua disponibilidade para o feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 28:649-658,2004.

WEBER, L.; MARCHEZAN, E.; CARLESSO, R.; MARZARI, V. Cultivares de arroz irrigado e nutrientes na água de drenagem em diferentes. Sistemas de cultivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.1, jan-fev, p.27-33, 2003.

WESZ, J.; SOUSA, R. O.; GOMES, A. da S. G.; PEREIRA, R. S. D. Disponibilidade de fósforo para o arroz irrigado em PLANOSSOLO HÁPLICO, adubado com superfosfato triplo e fosfato natural. In: **Anais do V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado; XXVII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado**, Pelotas, 2007 / Editado por Ariano Martins de Magalhães Júnior [et al] – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p. 514 -517, 2007.

ZENG, L.; SHANNON, M.C. Salinity effects on seedling growth and yield components of rice. **Crop Science**., v.40:996-1003, 2000.