

Variabilidade espacial do fósforo disponível e da produtividade de arroz de terras altas sob integração lavoura-pecuária ⁽¹⁾

Gabriel Casagrande Torres⁽²⁾; Rodrigo Gonçalves Trevisan⁽³⁾; Mônica Cristina Sangiovo⁽³⁾; Flávio Jesus Wruck⁽⁴⁾; Onã da Silva Freddi⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil, CNPq; ⁽²⁾ Graduando em Agronomia, Universidade Federal do Mato Grosso, UFMT/Sinop/ICAA, Sinop–MT, casagrandetorres@hotmail.com; ⁽³⁾ Graduandos em Agronomia, UFMT/Sinop/ICAA; ⁽⁴⁾ Eng. Agrônomo, M. Sci. Fitotecnia Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão; ⁽⁵⁾ Professor adjunto II, UFMT/Sinop/ICAA.

RESUMO: O fósforo é um dos principais macronutrientes absorvidos pelas plantas, estando intimamente relacionado com o potencial produtivo das culturas. Diante disso, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial do fósforo disponível em um Latossolo Vermelho-Amarelo e suas possíveis correlações lineares e espaciais com a produtividade do arroz de terras altas cultivado em sistema de ILP. O estudo foi realizado em 2012, no município de Santa Carmem, norte do Estado de Mato Grosso. Adotou-se uma malha regular com 100 pontos distribuídos numa área de 26400 m², nos quais se determinou a produtividade de grãos, a massa de cem grãos e o teor de fósforo disponível nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. A produtividade de grãos de arroz apresentou-se positivamente correlacionada com os teores de fósforo disponível, tanto linear quanto espacialmente. Todas as variáveis analisadas apresentam dependência espacial, com alcances variando entre 36,3 e 192,0 m.

Termos de indexação: Geoestatística, correlação, fertilidade do solo.

INTRODUÇÃO

O arroz é um dos alimentos mais importantes para a população brasileira, ocupando a 4^a maior área agrícola do país, equivalente a 2,42 milhões de hectares de uma área total de 52 milhões de hectares cultivados com grãos (CONAB, 2013). O cultivo do arroz de terras altas em Mato Grosso ainda não está consolidado, sendo necessária a inserção desta cultura em novos sistemas produção, como é o caso do sistema de integração lavoura-pecuária (ILP). A ILP busca maximizar a utilização do solo, aproveitando efeitos residuais de corretivos e fertilizantes para propiciar maior disponibilidade de água e nutrientes, refletindo em maiores produtividades das culturas.

O fósforo é um dos principais macronutrientes absorvidos pelas plantas, porém, é pouco disponível devido ao baixo teor natural no solo e sua alta fixação, o que se agrava nos solos do Cerrado, que apresentam baixa disponibilidade natural desse

nutriente (Miranda; Miranda, 2003). Sua deficiência causa redução na altura da planta, atraso na emergência das folhas e redução na brotação, no desenvolvimento de raízes secundárias, na produção de matéria seca e na produção de sementes (Grant et al., 2001).

A variabilidade dos atributos do solo, em decorrência dos fatores envolvidos na formação do solo bem como dos manejos empregados, representa um dos fatores de oscilação da produtividade agrícola (Amado et al., 2007). Nesse contexto, a pesquisa da ciência do solo apoia-se intensamente no uso da geoestatística, que tem permitido a obtenção de inúmeras respostas às mais variadas questões existentes que, até então, eram ignoradas (Carvalho et al., 2003).

Diante disso, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial do fósforo disponível em um Latossolo Vermelho-Amarelo e suas possíveis correlações lineares e espaciais com a produtividade do arroz de terras altas cultivado em sistema de ILP.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em parceria com a EMBRAPA Agrossilvipastoril na Unidade de Referência Tecnológica em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, implantada na Fazenda Dona Isabina, município de Santa Carmem, norte do Mato Grosso (12° 03' 58" S e 55° 21' 07" O). O local apresenta tipo climático Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com precipitação média anual de 2.064 mm, temperatura média de 30°C e altitude de 375 m. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, de textura argilosa.

O solo na área do experimento vem sendo usado sob o sistema de integração lavoura-pecuária. O arroz, cultivar BRS Monarca, foi semeado no dia 01/12/2011 e colhido no dia 25/03/2012.

Adotou-se uma malha retangular constituída de 7 linhas e 12 colunas, contendo 84 pontos amostrais, espaçados de 20 em 20 m em ambos os eixos, com mais 16 pontos de refinamento, totalizando 100 pontos numa área de estudo de 26400 m².

Para cada ponto amostral determinou-se a massa de 100 grãos (MC) e a produtividade de grãos (PG), que foi representada pela massa de grãos contidos em duas linhas de 3 m, no entorno de cada ponto amostral, corrigindo-se a umidade para 13% e transformando-se para a área de um hectare.

Nos mesmos pontos foram coletadas amostras de solo com trado do tipo Holandês, nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. Estas foram utilizadas para análise do fósforo disponível, utilizando-se o extrator Mehlich-1 e determinação por espectrofotometria de absorção molecular, seguindo metodologia descrita em EMBRAPA (1997).

Para cada variável estudada, efetuou-se a análise descritiva clássica e análise de correlação linear, com auxílio do programa R versão 2.15.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012). Posteriormente, realizou-se a identificação dos outliers, considerando-se atípicos os valores encontrados além de três vezes o intervalo interquartil no gráfico Box Plot, sendo estes substituídos pelo valor médio de quatro circunvizinhos contidos na malha. Para testar a hipótese de normalidade dos dados, foi utilizada o teste de Shapiro & Wilk ($p < 0,05$).

Os dados foram então submetidos a análise geoestatística, com auxílio do programa GS+ v.7.0 (Robertson, 2004). Realizou-se a modelagem dos semivariogramas, sendo ajustados pelo método dos mínimos quadrados ordinários e como critério para avaliação da dependência espacial utilizou-se a equação e a interpretação propostas por Zimback (2001). O critério final de decisão do modelo de semivariograma foi o melhor ajuste obtido pela validação cruzada. Uma vez ajustados os semivariogramas, realizou-se a krigagem ordinária dos dados e a geração dos mapas de contorno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade média de grãos de arroz foi de $1,70 \text{ Mg ha}^{-1}$, valor este inferior à média no estado do Mato Grosso, que foi de $3,20 \text{ Mg ha}^{-1}$ na safra 2011/2012 (CONAB, 2012). A baixa produtividade foi resultado da ocorrência de um veranico de 12 dias durante a fase de florescimento e enchimento de grãos do arroz, quando a planta é mais sensível, e que é considerada uma fase crítica para a obtenção de altas produtividades.

Os valores médios de P ficaram ligeiramente abaixo do nível crítico para este solo (Tabela 1), que segundo Souza et. al. (2004) é 8 mg dm^{-3} . Além disso, em alguns pontos o nível de fósforo foi baixo, chegando a $2,87 \text{ mg dm}^{-3}$ para o P1 e $2,45 \text{ mg dm}^{-3}$ para o P2, caracterizando um nível de insuficiência para a planta.

Tabela 1 – Análise descritiva inicial dos atributos avaliados no cultivo de arroz de terras altas em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob integração lavoura-pecuária. Fazenda Dona Isabina, Santa Carmem-MT, 2012.

Atributo ^(a)	PG	MC	P1	P2
	(Mg ha^{-1})	(g)	(mg dm^{-3})	
Média	1,70	2,68	7,71	5,52
Mediana	1,59	2,67	7,31	5,21
Mínimo	0,70	2,07	2,87	2,45
Máximo	3,12	3,30	18,76	15,89
Desvio padrão	0,55	0,25	1,52	1,45
CV (%)	32,2	9,3	19,7	26,4
Coef. Curtose	-0,720	-0,094	-0,626	0,004
Coef. Ass. ^(b)	0,387	-0,058	-0,006	0,461
Pr < w ^(c)	0,014	0,918	0,399	0,133
DF ^(d)	TN	NO	LN	LN

^(a) PG, MC, P1 e P2, são, respectivamente, a produtividade de grãos, a massa de cem grãos e o fósforo disponível nas profundidades de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m; ^(b) Ass: Assimetria; ^(c) Estatística do teste de Shapiro-Wilk; ^(d) DF: distribuição de frequências, sendo NO do tipo normal, TN tendendo a normal e LN do tipo lognormal.

Na matriz de correlação das variáveis analisadas observa-se que houve correlações significativas e positivas entre P1 e P2 e a PG (Tabela 2), assim, quando o teor de fósforo aumenta a produtividade também aumenta. A correlação entre P2 e P1 também foi positiva, mostrando que, apesar dos maiores teores na camada superficial, o P apresenta comportamento semelhante para as duas camadas. O P não foi correlacionado com a MC, o que indica que os incrementos na produtividade devem ser devido a algum outro fator.

Tabela 2 – Matriz de correlação linear dos atributos avaliados no cultivo de arroz de terras altas em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob integração lavoura-pecuária. Fazenda Dona Isabina, Santa Carmem-MT, 2012.

Variável ^(a)	Coeficiente de correlação ^(b)		
	PG	MC	P1
MC	0,574**		
P1	0,215*	0,097 ^{ns}	
P2	0,253*	0,036 ^{ns}	0,742**

^(a) PG, MC, P1 e P2, são, respectivamente, a produtividade de grãos, a massa de cem grãos e o fósforo disponível nas profundidades de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m; ^(b) Valores em negrito com * e ** são significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; ns não significativo.

A análise geoestatística das variáveis avaliadas evidenciou a existência de dependência espacial,

sendo esta moderada para os semivariogramas simples e alta para os semivariogramas cruzados (**Tabela 3**). O semivariograma que melhor se ajustou a variância experimental foi do tipo esférico para a PG, exponencial para a MC, P1 e P2 e gaussiano para os semivariogramas cruzados. Quanto ao alcance da dependência espacial, estes variaram entre 36,3 para a MC e 192,0 m para o P1.

O alcance da dependência espacial para o P foi maior na primeira camada do solo, diferindo dos resultados encontrados por Dalchiavon et al. (2012), que obtiveram maiores alcances para o P na camada de 0,10 a 0,20 m.

A correlação espacial existente entre a produtividade de grãos de arroz e os teores de fósforo no solo pode ser comprovada pela modelagem dos semivariogramas cruzados. O semivariograma que descreve a PG em função do P1 apresentou maior alcance (180,0 m) e maior dependência espacial (ADE=99%) que o semivariograma que descreve a PG em função do P2, embora a qualidade do ajuste na validação cruzada tenha sido semelhante para os dois.

A validação cruzada mostrou que os semivariogramas ajustados foram capazes de prever adequadamente o valor das variáveis em locais não amostrados, o que permitiu a realização da krigagem ordinária e a geração dos mapas apresentados na **figura 1**.

O mapa da disponibilidade de fósforo pode ser de grande importância para o conhecimento da localização das áreas que ocorre deficiência, permitindo uma intervenção localizada através da adubação fosfatada em taxa variável (Bottega et al., 2013).

Na comparação entre os mapas do P2 e da PG observa-se a presença de padrões semelhantes de distribuição espacial, com a concentração de valores mais altos no lado esquerdo e em uma pequena área da região central dos mapas, enquanto que no lado direito e na parte superior dos mapas ocorrem menores valores tanto de P2 quanto de PG, evidenciando mais uma vez a presença de correlação espacial positiva entre essas variáveis.

A constatação de que nas áreas de baixo teor de fósforo a produtividade foi menor demonstra que a produtividade do arroz pode ter sido limitada pelo teor de fósforo.

CONCLUSÕES

A produtividade de grãos de arroz apresentou-se positivamente correlacionada com os teores de fósforo disponível, tanto linear quanto espacialmente.

Todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial, com alcances variando entre 36,3 e 192,0 m.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil, CNPq, pela concessão de bolsas ao segundo e terceiro autores.

REFERÊNCIAS

- AMADO, T.J.C. et al. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 8, p. 1101–1110, 2007.
- BOTTEGA, E.L. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. *Rev. Ciênc. Agron.* vol. 44, n.1, pp. 1-9, 2013.
- CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, p.695-703, 2003.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, décimo segundo levantamento, setembro 2012. Brasília-CONAB, 2012. 30 p.
- DALCHIAVON, F.C. et al. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.
- GRANT, C.A. et al. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. *Informações agrônomicas*, n. 95. Piracicaba: Potafós, 2001.
- MIRANDA, L.N.; MIRANDA, J.C.C. Efeito residual da adubação fosfatada para a cultura do arroz em solo do cerrado. Planaltina - DF, 2003. (Comunicado Técnico, 87).
- R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2012.
- ROBERTSON, G. GS+: Geostatistics for the environmental sciences: user's guide. Michigan: Plainwell, 2004.
- SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E; REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). Cerrado: Correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília: EMBRAPA, p.81-96, 2004.
- ZIMBACK, C.R.L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 2001. 114 f. Tese (Doutorado) — Tese (Livro-Docência)–Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

Tabela 3 – Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os atributos avaliados no cultivo de arroz de terras altas em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob integração lavoura-pecuária. Fazenda Dona Isabina, Santa Carmem-MT, 2012.

Atributo ^(a)	Modelo ^(b)	Co	Co+C	Ao (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
PG	esf(64)	1,18E-1	2,95E-1	38,0	0,52	6,62E-3	60	ME	0,00	0,993	0,44
MC	exp(64)	2,13E-2	5,87E-2	36,3	0,52	1,42E-4	64	ME	0,39	0,814	0,30
P1	exp(202)	7,74E-2	1,95E-1	192,0	0,92	5,66E-4	60	ME	0,98	0,912	0,47
P2	exp(202)	4,25E-2	1,43E-1	74,7	0,92	1,82E-4	70	ME	0,06	1,000	0,47
PG=f(P1)	gau(206)	1,00E-4	5,77E-2	180,0	0,95	1,73E-4	99	AL	0,61	0,637	0,43
PG=f(P2)	gau(206)	1,18E-2	4,85E-2	135,0	0,99	1,44E-5	76	AL	0,61	0,640	0,43

^(a) PG, MC, P1 e P2, são, respectivamente, a produtividade de grãos, a massa de cem grãos e o fósforo disponível nas profundidades de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m; ^(b) exp: exponencial, gau: gaussiano; parênteses sucedendo o modelo: número de pares do primeiro lag, Co: efeito pepita, Co+C: patamar, Ao: Alcance; ^(c)SQR: soma dos quadrados dos resíduos; ^(d)ADE: avaliador de dependência espacial, sendo AL: alta dependência e ME: moderada dependência.

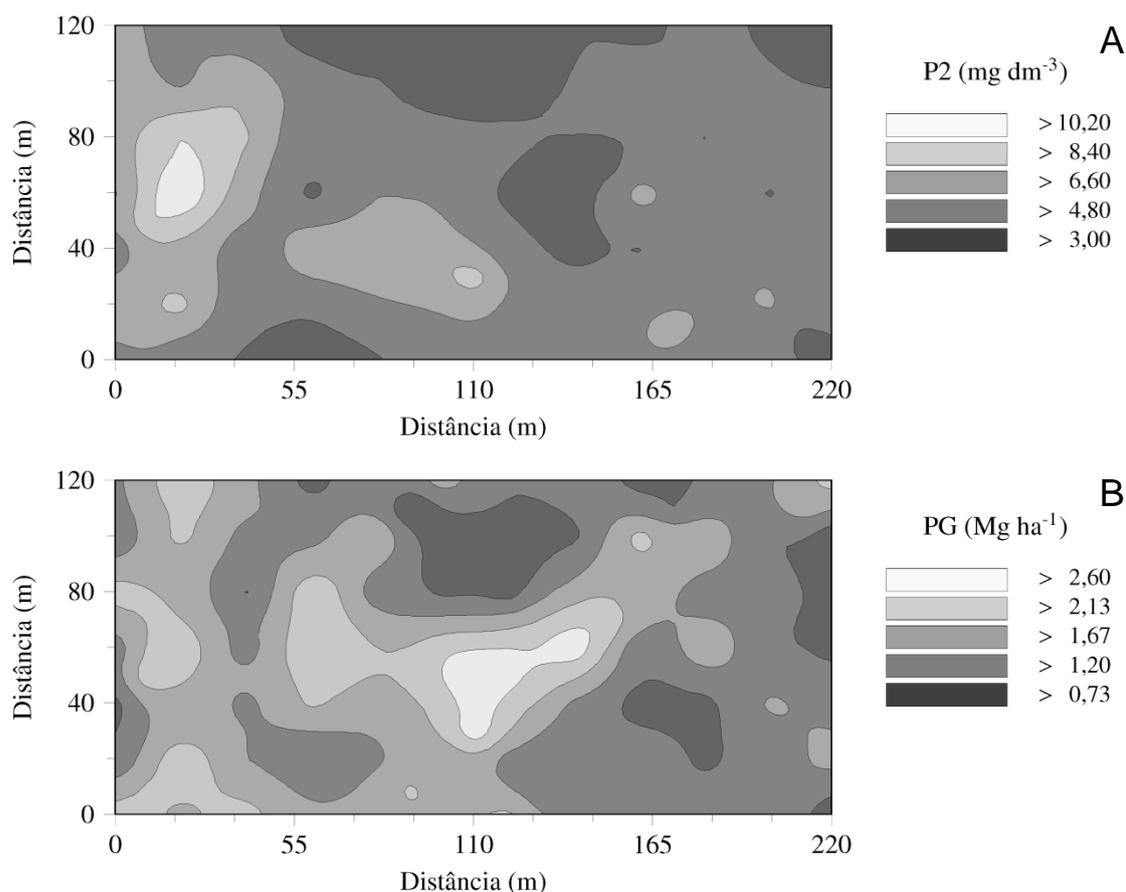


Figura 1 – Mapas de krigagem para (A) o fósforo disponível e (B) a produtividade de grãos de arroz de terras altas em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob integração lavoura-pecuária. Fazenda Dona Isabina, Santa Carmem-MT, 2012.