

# Variabilidade de atributos físicos do solo e do arroz cultivado sob plantas de cobertura em sistema de integração lavoura-pecuária

## Variability of physical properties of soil and rice grown under cover crops in crop-livestock integrated system

Rodrigo Gonçalves Trevisan<sup>1</sup>, Onã da Silva Freddi<sup>2\*</sup>, Flávio Jesus Wruck<sup>3</sup>, Renan Rimoldi Tavanti<sup>2</sup>, Fernanda Salles Cunha Peres<sup>4</sup>

1. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Departamento de Engenharia de Biosistemas - Piracicaba (SP), Brasil.
2. Universidade Federal de Mato Grosso - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais - Sinop (MT), Brasil.
3. Embrapa Agrossilvipastoril - Sinop (MT), Brasil.
4. Universidade do Estado de Mato Grosso - Cáceres (MT), Brasil.

**RESUMO:** A cultura do arroz de terras altas no Mato Grosso ainda não está consolidada nos sistemas de produção, tampouco estão definidos os efeitos dos atributos físicos do solo e a correlação destes com a produtividade do arroz em sistemas de integração lavoura-pecuária. Diante disso, o objetivo do trabalho foi determinar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da cultura do arroz em semeadura direta sob diferentes plantas de cobertura, utilizando-se técnicas de análise de componentes principais e geoestatística. O experimento foi realizado no município de Santa Carmem, norte do Estado de Mato Grosso. Uma malha regular com 100 pontos foi instalada em uma área de 26.400 m<sup>2</sup>. Amostras de solo e de planta foram coletadas nos pontos da malha para a caracterização dos atributos físicos do solo e agronômicos do arroz. A produtividade média do arroz após os consórcios de braquiária com feijão-caupi, crotalária e campim-sudão foi de 1,70 Mg·ha<sup>-1</sup>, com elevada variabilidade, com valor mínimo de 0,70 Mg·ha<sup>-1</sup> e máximo de 3,12 Mg·ha<sup>-1</sup>. No consórcio de feijão-caupi e braquiária, o solo apresentou as maiores densidades e resistências à penetração, que não foram restritivos à produtividade do arroz, sendo verificados nesse consórcio as maiores produtividades, que se correlacionaram com a menor incidência de mancha de grãos. Nos demais consórcios, observaram-se menores produtividades, que foram correlacionadas negativamente com a maior incidência de mancha de grãos; entretanto, o solo apresentou maiores valores de macroporosidade e porosidade total.

**Palavras-chave:** *Oryza sativa*, manejo do solo, sustentabilidade agrícola.

**ABSTRACT:** The production systems of upland rice culture in Mato Grosso are not consolidated yet while the effects of soil physical properties and their correlation with rice yield in crop-livestock integrated systems are not defined as well. Therefore, this study determined the spatial variability of physical properties of soil and rice cultivated in no-tillage system under different cover crops, using principal components analysis and geostatistics. The experiment was conducted in Santa Carmem, northern Mato Grosso. A regular grid with 100 sample points distributed in an area of 26,400 m<sup>2</sup> was installed. Soil and rice samples were collected to determine rice variables and soil physical properties. The average rice yield was 1.70 Mg·ha<sup>-1</sup>, ranging from 0.70 to 3.12 Mg·ha<sup>-1</sup>. The highest yields were observed in consortium with cowpea and brachiaria and were associated with lower incidence of grain spots, despite higher soil density and penetration resistance. The consortium with brachiaria, crotalaria, and sudangrass had lower yields, which was associated with higher incidence of grain spots, despite higher soil macroporosity and total porosity.

**Key words:** *Oryza sativa*, soil management, agricultural sustainability.

\*Autor correspondente: [onafreddi@gmail.com](mailto:onafreddi@gmail.com)

Recebido: 2 Dez. 2015 – Aceito: 25 Abr. 2016

## INTRODUÇÃO

A inserção do arroz como componente de sistemas agrícolas de sequeiro no Estado de Mato Grosso vem ocorrendo de forma gradual. Para isso, é necessário que o cultivo do arroz seja introduzido em sistemas de rotação de culturas em áreas antigas ou estabelecidas, e não apenas cultivado em áreas novas ou recém-abertas. Segundo Carvalho et al. (2011), alguns consórcios de forrageiras com culturas, tal como o milho, de porte alto e rápido desenvolvimento inicial, já estão elucidados na literatura, sendo viáveis tecnicamente. No entanto, para os consórcios com outras culturas de menor porte, como o arroz, há poucas informações, sendo uma alternativa interessante para recuperação de pastagens no sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) (Carvalho et al. 2011).

Os sistemas integrados de produção estão se difundido por todo o Brasil, devido aos problemas encontrados em lavouras que utilizam a sucessão de culturas, como soja e milho em plantio direto. Os principais problemas são a compactação e erosão do solo, diminuição do teor de matéria orgânica e diminuição de produtividade, resultando em maior custo de produção e degradação dos recursos naturais, principalmente solo e água.

Contudo, os sistemas integrados de produção são considerados formas mais complexas de cultivo, modificando as relações entre os fatores que governam a produtividade, principalmente com relação ao sistema plantio direto, rotação de culturas e controle fitossanitário, apresentando resultados divergentes quando comparados ao monocultivo.

Dentre as limitações ao cultivo do arroz de terras altas em sistema plantio direto está a compactação superficial dos solos. Beutler et al. (2004) verificaram tais limitações na produtividade do arroz a partir de valores de densidade e resistência do solo à penetração de 1,62 Mg·m<sup>-3</sup> e 1,82 MPa, respectivamente.

Outro agravante do sistema plantio direto é o manejo dos restos culturais, no qual toda a palhada é deixada sobre o solo. Esse sistema pode criar condições favoráveis à multiplicação e a sobrevivência de fitopatógenos necrotróficos em restos culturais, pois muitos dependem dessas condições para sobreviver (Reis et al. 2011). Segundo Reis e Casa (2004), as doenças das culturas, como as manchas foliares do trigo, são mais severas em plantio direto. Todos os fitopatógenos que sobrevivem saprofiticamente nos restos culturais dos hospedeiros têm suas populações afetadas pelo plantio direto

e rotação de culturas (Reis et al. 2011). Logo, os sistemas integrados de produção ainda carecem de maior entendimento, principalmente com relação a culturas alternativas para os sistemas de rotação e a incidência de doenças.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi determinar a distribuição espacial e correlação dos atributos físicos do solo, a incidência de mancha de grãos e parâmetros da cultura do arroz em semeadura direta sob diferentes culturas de cobertura, após 7 anos de integração lavoura-pecuária, utilizando, de forma conjunta, as técnicas de análise de componentes principais e a geoestatística.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Dona Isabina, localizada no município de Santa Carmem, norte do Estado de Mato Grosso, situada nas coordenadas geográficas lat 12°03'58"S e long 55°21'07"O, com altitude média de 375 m, sendo a região localizada na transição entre os biomas Cerrado e Amazônia. O clima da região é do tipo tropical quente e úmido Aw, segundo classificação de Köppen. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura argilosa, com 342 g·kg<sup>-1</sup> de areia, 123 g·kg<sup>-1</sup> de silte e 535 g·kg<sup>-1</sup> de argila, com as seguintes características químicas na camada de 0 – 0,20 m: 5,7 de pH em H<sub>2</sub>O; 6,6 mg·dm<sup>-3</sup> de P; 58,65 mg·dm<sup>-3</sup> de K; 2,17 cmol<sub>c</sub>·dm<sup>-3</sup> de Ca; 1,10 cmol<sub>c</sub>·dm<sup>-3</sup> de Mg; 5,08 cmol<sub>c</sub>·dm<sup>-3</sup> de H + Al; 38% de saturação por bases e 32,7 g·kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica.

A área foi utilizada com o sistema de integração lavoura-pecuária por 7 anos, sendo que, nos últimos anos, foi adotada a sequência de manejos constituída do cultivo de pastagem nas safras 2005/2006 e 2007/2008, seguido por safra de arroz e segunda safra de feijão comum em 2008/2009, safra de soja precoce e consórcio de milho e braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) na segunda safra de 2009/2010. No ano agrícola 2010/2011, cultivou-se soja precoce na safra principal e em seguida repartiu-se a área em 3 faixas para implementação das seguintes culturas de cobertura, estabelecendo, assim, 3 tratamentos — T1: consórcio de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) e braquiária (*B. ruziziensis*); T2: consórcio de crotalária (*Crotalaria ochroleuca*) e braquiária (*B. ruziziensis*); e T3: consórcio de capim-sudão (*Sorghum sudanense*) e braquiária (*B. ruziziensis*).

O manejo químico das plantas de cobertura foi realizado em 10/11/2011, 20 dias antes da semeadura do arroz,

→

que foi realizada em 01/12/2011. Utilizou-se a cultivar de arroz BRS Monarca, semeadas com espaçamento de 0,225 m entre linhas, no sentido perpendicular às faixas das culturas de cobertura. Nas aduções, utilizou-se a aplicação de 0,370 Mg·ha<sup>-1</sup> do fertilizante 04-20-20 por ocasião da semeadura e mais 2 adubações de cobertura com 0,060 Mg·ha<sup>-1</sup> do fertilizante 20-00-20. Em 15/01/2012, aplicou-se o fungicida Piori, na dose de 0,3 L·ha<sup>-1</sup> para o controle de doenças fúngicas. Os demais tratos culturais seguiram as recomendações técnicas para a cultura do arroz em condições de sequeiro.

Para o acompanhamento das condições climáticas, utilizaram-se os dados da estação meteorológica do Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus de Sinop, sendo os valores de precipitação adaptados aos observados na área do experimento (Figura 1). A evapotranspiração potencial da cultura (ETC) foi obtida pelo produto da evaporação diária no tanque classe A e o coeficiente da cultura (Kc), conforme descrito em Stone e Moreira (2005).

Para coleta de dados, instalou-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, totalizando uma área de estudo de 26.400 m<sup>2</sup>. Além disso, foram alocadas dentro da malha mais 16 pontos de refinamento, ao centro do quadrado formado por 4 pontos

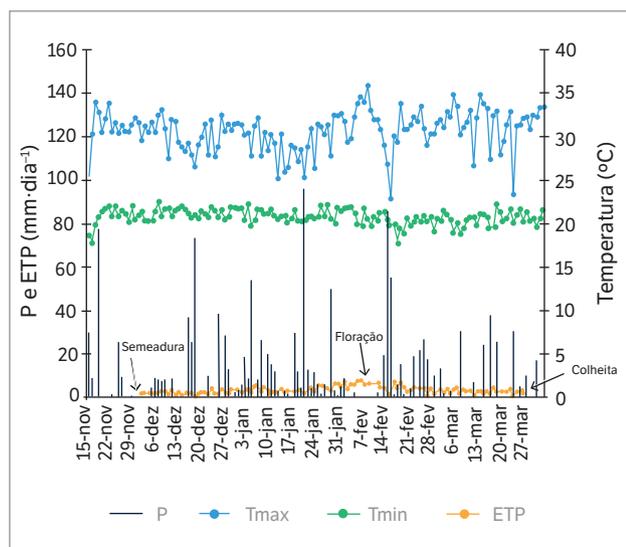
adjacentes, visando detalhar o estudo da dependência espacial dos dados para espaçamento entre pontos menores do que 20 m. Somando-se os pontos da malha e dos refinamentos, totalizaram-se 100 pontos amostrais.

Em cada ponto da malha, foram coletadas 2 amostras com estrutura indeformada no centro das camadas de 0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, utilizando-se anéis volumétricos de 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro.

No laboratório, as amostras foram saturadas por meio de elevação gradual de uma lâmina de água em bandeja e, então, submetidas à tensão de 60 hPa em mesa de tensão. Após a estabilização da drenagem, as amostras foram pesadas para determinação do conteúdo de água e procedeu-se à determinação da resistência do solo à penetração (RP) por meio de um penetrômetro eletrônico estático de bancada, com velocidade constante de penetração de 10 mm·min<sup>-1</sup> e cone com ângulo de 30°. Após a determinação da resistência do solo, as amostras foram secas em estufa a 105 °C por 24 h e pesadas novamente. Com isso, determinaram-se a macroporosidade (MA), a microporosidade (MI), a porosidade total (PT) e a densidade do solo (DS), conforme Embrapa (1997).

Para determinação da estabilidade dos agregados em água, coletaram-se amostras de solo com estrutura preservada na camada de 0 – 0,10 m. Após secagem ao ar, as amostras foram peneiradas separando-se os agregados com tamanho entre 8 e 4 mm. Para o processo de tamisagem via úmida, em cada repetição, utilizaram-se 3 amostras de 30 g, 2 para determinação da agregação e 1 para determinação da umidade. As amostras foram umedecidas por capilaridade sobre um papel filtro e, então, transferidas com auxílio de jatos de água para o conjunto de peneiras com malhas de 4,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 e 0,125 mm para separação das classes de tamanhos dos agregados. Em seguida, o conjunto de peneiras foi colocado no tanque de Yoder e submetido a agitação vertical por 15 min, com 30 oscilações por minuto. Adotou-se como índice de agregação o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG), seguindo-se a proposta de Kemper e Rosenau (1986).

Para determinação dos atributos da planta, foram contados o número de perfilhos (NP) e o número de panículas férteis (PF) em 2 linhas de 1 m em cada ponto da malha amostral, transformando os valores para a área de 1 m<sup>2</sup>. A produtividade de grãos (PG) foi representada pela massa de grãos contidos em 2 linhas de 3 m, no entorno de cada ponto amostral, corrigindo-se a umidade para 13% e transformando-se para a área de 1 ha. Determinou-se também a massa



**Figura 1.** Temperatura máxima ( $T_{max}$ ), temperatura mínima ( $T_{min}$ ), precipitação diária (P) e evapotranspiração potencial (ETP) durante o ciclo do arroz de terras altas cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo sob integração lavoura-pecuária. Dados da estação meteorológica do Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus de Sinop.

de 100 grãos (MC) e a severidade da mancha dos grãos (SM). Para determinação da SM, utilizou-se a escala de notas elaborada pelo International Rice Research Institute (IRRI 1996).

Para cada variável, efetuou-se a análise descritiva. Em seguida, os dados foram padronizados para apresentarem média 0 e variância 1, tendo sido, então, submetidos à análise de componentes principais (ACP), considerando-se apenas os componentes principais (CPs) com autovalores superiores a 1 (Hair et al. 2005). Os escores dos CPs, obtidos a partir da combinação linear das variáveis originais, foram, então, submetidos a análise geoestatística, a qual constituiu-se da modelagem dos semivariogramas. A classificação do avaliador de dependência espacial (ADE) foi feita com base na razão entre o efeito pepita e o patamar ( $C/C + C_0$ ), segundo o qual  $ADE \leq 20\%$  indica variável com baixa dependência espacial;  $20\% < ADE \leq 40\%$  indica variável com baixa dependência

espacial;  $40\% < ADE \leq 60\%$ , variável com média dependência espacial;  $60\% < ADE \leq 80\%$ , variável com alta dependência espacial; e  $ADE > 80\%$ , variável com dependência espacial muito alta (Dalchiavon et al. 2012). O critério final de decisão do modelo de semivariograma e do número de vizinhos usados na predição foi o melhor ajuste obtido pela validação cruzada, ou seja, ajustes com o coeficiente angular mais próximos a 1 e coeficiente linear mais próximos a 0. Uma vez ajustados os semivariogramas, realizou-se a *krigagem* ordinária dos dados e a composição dos mapas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise descritiva dos atributos da cultura do arroz (Tabela 1), observa-se que a PG média foi

→

**Tabela 1.** Análise descritiva dos componentes da produção do arroz e atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob integração lavoura-pecuária.

Variável	Medidas estatísticas descritivas									
	Valor					Coeficiente			Prob.	
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)	Curtose	Ass.	Pr < W	DF
<b>Atributos da planta</b>										
PG	1,70	1,59	0,70	3,12	0,55	32,2	-0,649	0,395	0,015	TN
MC	2,68	2,67	2,07	3,30	0,25	9,3	0,026	-0,059	0,918	NO
NP	274	271	200	347	31	11,3	-0,273	0,255	0,272	NO
PF	240	240	164	330	37	15,3	-0,103	0,353	0,106	NO
SM	4,94	5,00	1,00	9,00	1,96	39,6	-0,275	-0,005	0,000	TN
<b>Atributos do solo (0 – 0,10 m)</b>										
MA1	0,103	0,098	0,047	0,168	0,025	24,5	-0,195	0,378	0,255	NO
MI1	0,354	0,353	0,318	0,390	0,015	4,2	-0,128	0,032	0,958	NO
PT1	0,456	0,458	0,405	0,495	0,020	4,4	-0,416	-0,286	0,304	NO
DS1	1,10	1,10	0,98	1,23	0,05	4,2	0,074	0,029	1,000	NO
RP1	2,10	2,11	1,08	3,46	0,56	26,7	-0,573	0,159	0,207	NO
DMP1	4,47	4,43	3,51	5,32	0,38	8,4	-0,193	-0,202	0,677	NO
DMG1	3,32	3,25	2,03	4,66	0,54	16,2	-0,317	0,031	0,935	NO
<b>Atributos do solo (0,10 – 0,20 m)</b>										
MA2	0,095	0,090	0,041	0,153	0,025	26,5	-0,454	0,347	0,091	NO
MI2	0,339	0,339	0,304	0,373	0,015	4,5	-0,121	-0,222	0,248	NO
PT2	0,433	0,432	0,397	0,478	0,018	4,1	-0,295	0,309	0,309	NO
DS2	1,13	1,13	1,02	1,26	0,05	4,3	-0,012	-0,027	0,955	NO
RP2	1,85	1,74	0,74	3,64	0,65	35,0	0,355	0,789	0,001	TN

Os números 1 e 2 que constam após as abreviações dos atributos do solo representam as camadas de 0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, respectivamente. Prob. = Probabilidade referente ao teste de normalidade; DP = Desvio padrão; CV = Coeficiente de variação; Ass. = Assimetria; DF = Distribuição de frequências, sendo NO do tipo normal e TN tendendo ao normal; PG = Produtividade de grãos de arroz; MC = Massa de 100 grãos; NP = Número de perfilhos; PF = Número de paniculas férteis; SM = Nota de severidade de mancha nos grãos; MA = Macroporosidade; MI = Microporosidade; PT = Porosidade total; DS = Densidade do solo; RP = Resistência do solo à penetração; DMP = Diâmetro médio ponderado; DMG = Diâmetro médio geométrico.

de 1,70 Mg·ha<sup>-1</sup>, valor inferior à média do Estado do Mato Grosso, que foi de 3,20 Mg·ha<sup>-1</sup> para a safra 2011/2012 (CONAB 2012).

Durante o ciclo da cultura, foram registrados 1.200 mm de chuva (Figura 1), valor acima da necessidade de água para o cultivo do arroz de terras altas, que varia de 600 a 700 mm (Stone e Moreira 2005). Contudo, a distribuição das chuvas foi irregular, tendo ocorrido veranico durante a fase de “emborrachamento” e florescimento do arroz, a qual aconteceu entre 60 e 70 dias após sua emergência (Figura 1), o que pode ter limitado sua PG. Nesse período, também foram registradas evapotranspirações superando 8 mm de lâmina d’água por dia.

Segundo Guimarães et al. (2002), a deficiência hídrica é pouco importante durante a fase vegetativa do arroz, porém seu efeito é severo quando ocorre durante a fase reprodutiva, especialmente na divisão da célula-mãe do pólen (meiose) e no florescimento. Segundo os autores, o efeito da deficiência hídrica na produtividade dá-se pela interferência nos processos fotossintéticos, transporte de carboidratos, inibição da emissão das panículas e esterilidade de espiguetas, o que pode ser confirmado pelo trabalho de Heinemann (2010), no qual se verificaram perdas na produtividade do arroz acima de 60% devido ao estresse hídrico ocorrido a partir de 10 dias antes do período de florescimento do arroz. Reduções na produtividade do arroz por estresse hídrico também foram constatadas por Tonello et al. (2012), que verificaram para a cultivar BRS Monarca produtividades entre 0,520 e 1,82 Mg·ha<sup>-1</sup>, com média de 1,17 Mg·ha<sup>-1</sup>. Segundo os autores, a baixa produtividade foi decorrência de estresse hídrico com duração de 10 dias a partir da fase de diferenciação dos primórdios florais.

Apesar da baixa produtividade média do arroz no sistema de ILP, constataram-se, dentre os consórcios, produtividades que variaram de 0,70 a 3,12 Mg·ha<sup>-1</sup>, evidenciando a possibilidade de obtenção de elevada produtividade nesse sistema. A MC média foi de 2,67 g, próxima aos valores encontrados por Tonello et al. (2012), que foram de 2,80 g para a mesma cultivar.

A SM apresentou média de 4,94, representando uma severidade de incidência moderada da doença, o que pode causar reduções de 12 a 30% na massa de grãos e reduções de 18 a 22% no número de grãos cheios por panícula (Filippi e Prabhu 1998). Segundo Singh et al. (1978), as condições de ambiente favoráveis ao desenvolvimento da doença são: alta precipitação intermitente e um período de luminosidade

por 4 semanas antes do florescimento. Portanto, as condições foram favoráveis ao desenvolvimento dos patógenos, justificando a severidade da doença.

Com relação aos atributos do solo, verificou-se que a MA média foi de 0,10 m<sup>3</sup>·m<sup>-3</sup> (Tabela 1), para as 2 camadas estudadas, sendo este o valor limite para adequada aeração do solo (Reichert et al. 2007). Contudo, a amplitude da macroporosidade foi de 0,041 a 0,168 m<sup>3</sup>·m<sup>-3</sup>, considerando-se as 2 camadas do solo. Com isso, ocorreram locais com valores de macroporosidade abaixo de 10%, com restrição à difusão de oxigênio do solo e possivelmente ao crescimento radicular.

Já para a MI, PT e DS (Tabela 1), verificou-se baixa amplitude, o que pode ser confirmado pelos baixos coeficientes de variação encontrados para esses atributos do solo, segundo escala de Pimentel-Gomes e Garcia (2002).

A DS média do solo foi de 1,11 Mg·m<sup>-3</sup>, sendo considerada baixa para esse Latossolo Vermelho-Amarelo. Contudo, foram observados valores elevados de densidade do solo de até 1,26 Mg·m<sup>-3</sup>. Verifica-se também que a elevação de 0,98 para 1,26 Mg·m<sup>-3</sup> na DS resultou em severas modificações na MA e RP (Tabela 1), sendo essas variáveis mais susceptíveis às modificações impostas pelo manejo do solo.

Somente a camada de 0 – 0,10 cm do solo apresentou RP média superior ao limite de 1,82 MPa, sugerido por Beutler et al. (2004) como limitante à produtividade do arroz de sequeiro. Porém, é sabido que a RP limitante à produtividade das culturas varia com o tipo de solo, sendo o limite de RP determinado pelos autores em Latossolo Vermelho de textura média, dificultando conclusões sobre os valores de RP encontrados.

No trabalho realizado por Ralisch et al. (2008), os autores verificaram valores de RP acima de 2 MPa em área de floresta e valores de RP acima de 3 MPa nos sistemas de semeadura direta, preparo convencional e pastagem na camada de 0,20 a 0,40 m. Nascimento et al. (2010) também verificaram valores de RP entre 2 e 5 MPa na camada de 0,05 – 0,35 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo localizado no Campus Universitário de Gurupi, pertencente à Universidade Federal de Tocantins.

A estabilidade dos agregados em água representada pelo DMP e DMG apresentou valores médios de 4,47 e 3,32 mm, respectivamente (Tabela 1), considerados elevados segundo Loss et al. (2011), denotando excelente estruturação desse solo submetido à ILP por um período de 7 anos.

O teste de Shapiro-Wilk confirmou a distribuição do tipo normal para a maioria dos atributos, com exceção da PG,

SM e RP na camada de 0,10 a 0,20 m. Embora o teste tenha sido significativo para esses atributos, indicando desvios na normalidade, considerou-se que esses dados apresentaram distribuição tendendo à normalidade, o que pode ser justificado pelos baixos coeficientes de curtose e assimetria e a proximidade entre a média e a mediana desses atributos (Tabela 1).

Foram realizadas análises de CPs para os atributos da planta e solo. Conforme critério já discutido, foram considerados para análise autovalores acima de 1; com isso, as análises foram realizadas utilizando-se os 6 primeiros CPs (Tabela 2), os quais representaram 82,67% de toda a variabilidade. Contudo, os 2 primeiros CPs representaram 44,81% de toda a variabilidade, sendo que os demais representaram variabilidades inferiores a 12,58%.

Esses CPs foram construídos pela combinação da correlação entre os atributos da planta e do solo, sendo classificadas de acordo com Coelho (2003). Nessa classificação, os autovetores, que são valores que representam o peso de cada atributo em cada componente (Silva

et al. 2015), com valor absoluto  $< 0,30$ , foram classificados como pouco significativos;  $0,30$  a  $0,40$ , classificados como mediamente significativos e  $\geq 0,50$ , classificados como altamente significativos. Verificou-se que todos os atributos da planta e do solo apresentaram autovetores com peso maior ou igual a  $0,50$ , altamente significativo, em alguns dos 6 CPs; com isso, todos os atributos foram mantidos na análise.

O CP1 apresentou correlação positiva com PG, DS e RP da camada superficial e negativa com SM, MA e PT da camada de 0 – 0,10 m. Verifica-se que a separação dos acessos no CP1 foi governada por 2 atributos da planta e por atributos da camada de 0 – 0,10 m do solo e que a condição física da camada de 0,10 – 0,20 m não teve correlação com a variação da PG.

Pela Tabela 2, também é possível verificar a correlação entre os atributos da planta e do solo no CP1 e que as maiores produtividades ocorreram em locais com elevada DS e RP. Verifica-se também que as menores produtividades foram obtidas em locais com elevada SM. Verifica-se também que

**Tabela 2.** Resumo dos componentes principais da análise multivariada dos componentes da produção do arroz e dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob integração lavoura-pecuária.

Componente principal	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Autovalor	3,93	3,67	2,13	1,82	1,38	1,12
Variância explicada (%)	23,17	21,64	12,58	10,73	8,14	6,61
Variável	Correlação <sup>1</sup>					
Produtividade de grãos	0,52*	-0,29	0,19	0,51*	0,31	-0,04
Massa de 100 grãos	0,48	-0,15	0,10	0,39	0,52*	-0,08
Número de perfilhos	0,25	-0,34	0,58*	0,33	-0,47	0,16
Número de panículas	0,23	-0,35	0,56*	0,40	-0,45	0,07
Nota de severidade	-0,55*	0,065	-0,06	-0,40	-0,42	-0,12
Macroporosidade 1	-0,86*	-0,20	0,22	0,19	0,11	0,11
Microporosidade 1	0,47	0,31	0,02	-0,04	0,08	-0,71*
Porosidade total 1	-0,73*	-0,06	0,30	0,21	0,21	-0,41
Densidade do solo 1	0,87*	0,14	-0,23	-0,13	-0,13	0,16
Resistência do solo 1	0,78*	0,20	-0,11	-0,13	-0,31	-0,20
Diâmetro médio ponderado 1	0,18	0,18	0,77*	-0,53*	0,18	0,00
Diâmetro médio geométrico 1	0,16	0,16	0,76*	-0,55*	0,19	0,02
Macroporosidade 2	-0,05	0,93*	0,09	0,20	-0,01	0,06
Microporosidade 2	-0,11	-0,66*	-0,03	0,00	-0,25	-0,43
Porosidade total 2	-0,17	0,71*	0,10	0,28	-0,24	-0,29
Densidade do solo 2	0,15	-0,79*	-0,19	-0,30	0,18	0,01
Resistência do solo 2	0,07	-0,80*	0,00	-0,21	-0,08	-0,20

<sup>1</sup>Correlações consideradas na interpretação do componente principal. Os números 1 e 2 que constam após o nome dos atributos do solo representam as camadas de 0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, respectivamente.

a SM aconteceu em regiões de maior MA e PT, ou seja, em locais menos compactados e de melhor aeração e trocas gasosas entre o solo e a atmosfera.

O CP2 representa a variabilidade dos atributos físicos do solo da camada de 0,10 – 0,20 m. As correlações desse CP foram negativas com MI, DS e RP e positivas com MA e PT. Com isso, valores positivos nesse CP representam melhores condições de drenagem, aeração do solo e crescimento radicular e valores negativos, condições de compactação, representados por elevados valores de DS e RP.

O CP3 representou a variabilidade de NP, PF, DMP e DMG, sendo os atributos do solo referentes à camada de 0 – 0,10 m. Esses atributos apresentaram correlações positivas no CP3. Logo, maiores valores neste CP indicam maior perfilhamento e número de panículas do arroz e maior agregação do solo. Contudo, no CP4, foi observada correlação negativa entre PG e DMP e DMG, evidenciando que a PG não apresentou correlação com o NP e PF e que as maiores produtividades do arroz aconteceram em regiões de menor estruturação do solo, ou seja, com menores DMP e DMG, justificando os resultados encontrados no CP1.

Possivelmente, as maiores produtividades estão correlacionadas com a MC, que foi representada no CP5 como única variável explicativa. Verifica-se também que, no CP1, a MC apresentou correlação positiva com a PG, embora, nesse componente, tal atributo seja considerado mediantemente significativo. O CP6 correlacionou-se negativamente apenas com a MI da camada de 0 – 0,10 m.

A análise geoestatística foi realizada com o intuito de mapear a condição física do solo e PG após os consórcios no ILP. Apenas os CP1, CP2 e CP6 apresentaram dependência espacial (Tabela 3), ajustando-se aos modelos esféricos (CP1 e CP2) e exponencial (CP6). Os demais CPs apresentaram

efeito pepita puro, ou seja, uma distribuição aleatória e independência espacial.

A semivariância estabiliza-se quando o patamar é atingido, definindo, assim, o alcance, que, para os CP1, CP2 e CP6, foram de 30,7; 56,5 e 35,7 m, respectivamente. Observa-se que o CP2, que representa os atributos físicos da camada de 0,10 – 0,20 m do solo, apresentou maior alcance, indicando uma maior continuidade dos atributos no espaço, o que pode ser atribuído as menores alterações desta camada pelo cultivo e tráfego de máquinas. O ADE foi classificado como alto para CP1 e CP6 e médio para CP2. O CP1 obteve o melhor ajuste, que pode ser confirmado pela validação cruzada, na qual esse CP apresentou coeficiente regressão igual a 1 (Tabela 3). Para CP2 e CP6, os ajustes foram satisfatórios com coeficientes de regressão acima de 0,60.

Com base nos modelos de semivariância e levando-se em consideração os parâmetros ajustados, os dados dos CPs foram interpolados por meio da *krigagem* ordinária (Figura 2). Pelo mapa do CP1, verifica-se que nos consórcios de crotalaria e braquiária e capim-sudão e braquiária ocorreram os menores valores para o CP1. Isso significa que, nesses consórcios, foram observados os maiores valores de MA, PT e SM. Um dos motivos para as menores produtividades no consórcio de capim-sudão e braquiária pode ser a liberação de compostos alelopáticos por espécies pertencentes ao gênero *Sorghum*, principalmente a sorgoleone, uma benzoquinona exsudada por raízes vivas da planta e que apresenta potente efeito inibidor da respiração mitocondrial e também do transporte de elétrons no fotossistema II (Vidal e Trezzi 2004).

Cazetta et al. (2008) ressaltam o efeito negativo do sorgo na produtividade do arroz de terras altas em sistema de plantio direto, que, apesar de produzir quantidade

**Tabela 3.** Parâmetros dos semivariogramas dos componentes principais da análise multivariada dos atributos do arroz e físicos nas camadas de 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob integração lavoura-pecuária.

Variável	Parâmetros do ajuste										
	Modelo	Co	Co + C	Ao (m)	r <sup>2</sup>	SQR	ADE		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
CP1	Esférico	0,804	3,352	30,7	0,61	0,70	0,76	AL	0,06	1,00	0,39
CP2	Esférico	1,871	3,335	56,5	0,61	0,696	0,44	ME	0,05	0,77	0,32
CP3	Epp	2,120	2,120	-	-	-	-	-	-	-	-
CP4	Epp	1,543	1,543	-	-	-	-	-	-	-	-
CP5	Epp	1,020	1,020	-	-	-	-	-	-	-	-
CP6	Exponencial	0,140	0,632	35,7	0,62	0,016	0,78	AL	0,03	0,63	0,21

Co = Efeito pepita; Co + C = Patamar; Ao = Alcance; SQR = Soma dos quadrados dos resíduos; ADE = Avaliador de dependência espacial; AL = Alta dependência espacial; ME = Média dependência espacial; Epp = Efeito pepita puro.

adequada de palhada, reduziu em quase metade a produção de grãos de arroz quando comparado ao cultivo após crotalária. Os autores atribuíram esse comportamento ao efeito aleloquímico do sorgo. Além disso, a alta relação C/N da palhada associada a baixas doses de N, que foram inferiores às exigidas pela cultura, pode ter provocado a imobilização do N pelos microrganismos, tornando-se um fator limitante à produtividade (Guimarães e Stone 2003).

A variabilidade da SM pode ser o resultado da capacidade de cada cultura em hospedar os agentes patogênicos que causam a doença em estudo, sendo que várias espécies do gênero *Sorghum* já foram relatadas como hospedeiras dos principais patógenos responsáveis pela mancha dos grãos (Fakhrunnisa e Ghaffar 2006). Em trabalho realizado por Malavolta et al. (2007), a severidade de manchas nas sementes apresentou correlação negativa com peso da panícula e número de grãos cheios e positiva com número de grãos chochos e porcentagem de esterilidade, afetando, portanto, os principais componentes da produtividade do arroz.

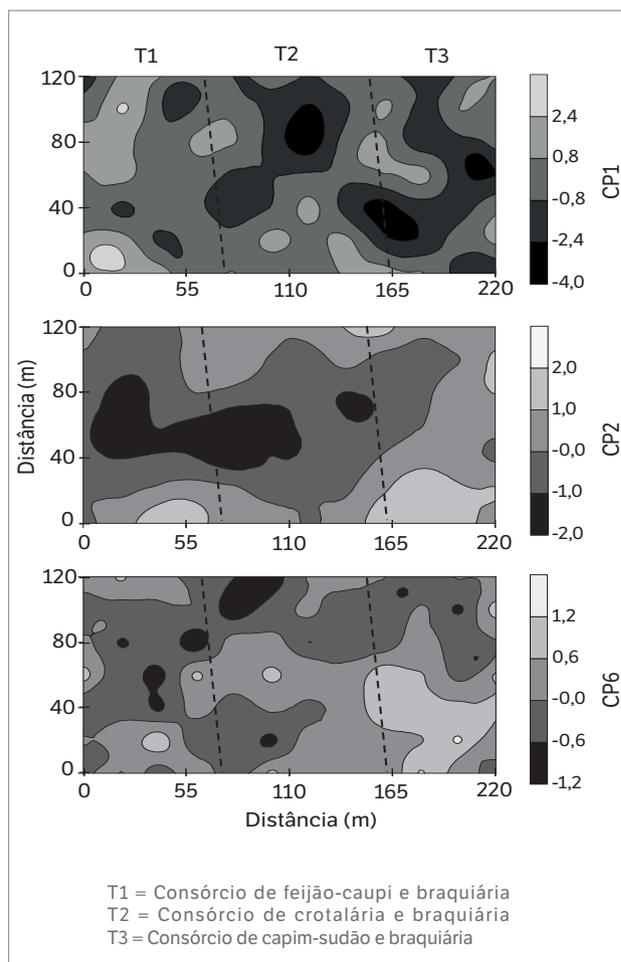
Já na área de consórcio de feijão-caupi e braquiária, ocorreram os maiores valores para o CP1, indicando que, nesse tratamento, foram observadas as maiores produtividades, contudo, as maiores DS e RP.

Pelo CP1, fica evidente que as maiores PGs foram observadas nas áreas mais compactadas, e a incidência de mancha nos grãos aconteceu nas áreas menos compactadas. A presença dos macroporos é importante para a aeração do solo, mas também contribui para o menor volume de água retido, ou seja, menor volume de microporos, acentuando o problema causado pelo déficit hídrico, o que pode explicar as correlações negativas entre a PG e a MA e a positiva com a MI. Devido à ocorrência do veranico no florescimento do arroz, os locais com maior MI apresentaram maior volume de água retido no solo, possibilitando maiores produtividades (Figura 2).

A planta do arroz produz um tecido nas raízes denominado aerênquima, que tem a função de levar o oxigênio disponível na atmosfera até as células das raízes; dessa forma, a menor aeração do solo proporcionada pela baixa MA não seria limitante à respiração das raízes. Contudo, os menores valores de MA desse tratamento estão associados aos maiores valores de DS e RP, confirmando que esses valores não foram limitantes para o desenvolvimento e produtividade do arroz de sequeiro em ILP.

Para o CP2, que representa os atributos físicos do solo na camada de 0,10 – 0,20 m, verifica-se que o consórcio de feijão-caupi e braquiária resultou em maiores valores de MI, DS e RP (Figura 2). Já para o consórcio de capim-sudão e braquiária, foram verificados os maiores valores de MA e PT, sendo que o consórcio de crotalária e braquiária apresentou valores intermediários (Figura 2).

A análise multivariada baseada nos componentes principais, associada à geoestatística, possibilitou resumir, mapear e correlacionar toda a variabilidade dos atributos físicos do solo e da cultura do arroz em um experimento complexo, com diversos fatores envolvidos, como o consórcio de culturas, ILP, semeadura direta e incidência de doenças nos grãos, facilitando a interpretação conjunta dos dados.



**Figura 2.** Mapas dos 2 componentes principais (CP1 e CP2) para os atributos do arroz e de algumas propriedades físicas nas camadas de 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob integração lavoura-pecuária.

## CONCLUSÃO

Os atributos físicos do solo e da cultura do arroz apresentaram de média a alta variabilidade espacial, sendo toda informação resumida em 3 componentes principais.

A maior produtividade do arroz e a menor incidência de manchas de grãos são obtidas após o consórcio de braquiária

com feijão-caupi. Os consórcios de braquiária com crotalária ou capim-sudão resultam em maior incidência de mancha de grãos e menor produtividade do arroz.

O solo sob o consórcio de braquiária e feijão-caupi apresenta maior densidade e resistência do solo à penetração quando comparado aos consórcios de braquiária com crotalária ou capim-sudão.

## REFERÊNCIAS

- Beutler, A. N., Centurion, J. F., Silva, A. P., Roque, C. G. e Ferraz, M. V. (2004). Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade de arroz de sequeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39, 575-580. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000600009>.
- Carvalho, M. A. C., Yamashita, O. M., Roque, C. G. e Noetzold, R. (2011). Produtividade de arroz no sistema integração lavoura-pecuária com o uso de doses reduzidas de herbicida. *Bragantia*, 70, 33-39.
- Cazetta, D. A., Arf, O., Buzetti, S., Sá, M. E. e Rodrigues, R. A. F. (2008). Desempenho do arroz de terras altas com a aplicação de doses de nitrogênio e em sucessão às culturas de cobertura do solo em sistema de plantio direto. *Bragantia*, 67, 471-479. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000200023>.
- Coelho, A. M. (2003). Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In N. Curi, J. J. Marques, L. R. G. Guilherme, J. M. Lima, A. S. Lopes e V. V. H. Alvarez (Eds.), *Tópicos em ciência do solo* (p. 259-290). Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Companhia Nacional de Abastecimento (2012). Acompanhamento da safra brasileira: grãos (Décimo segundo levantamento, p. 1-30). Brasília: CONAB; [acessado 26 Nov. 2015]. [www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)
- Dalchiavon, F. C., Carvalho, M. P., Andreotti, M. e Montanari, R. (2012). Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho distroférrico sob Sistema Plantio Direto. *Revista Ciência Agronômica*, 43, 453-61.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Fakhrunnisa, M. H. H. e Ghaffar, A. (2006). Seed-borne mycoflora of wheat, sorghum and barley. *Pakistan Journal of Botany*, 38, 185-192.
- Filippi, M. C. e Prabhu, A. S. (1998). Doenças do arroz e seu controle. In F. Bresseghello e L. Stone (Eds.), *Tecnologia para o arroz de terras altas* (p. 139-156). Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão.
- Guimarães, C. M., Fageria, N. K. e Barbosa Filho, M. P. (2002). Como a planta de arroz se desenvolve. Piracicaba: Potafos.
- Guimarães, C. M. e Stone, L. F. (2003). Adubação nitrogenada do arroz de terras altas no sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7, 210-214.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L. e Black, W. (2005). *Análise multivariada de dados*. Porto Alegre: Bookman.
- Heinemann, A. B. (2010). Caracterização dos padrões de estresse hídrico para a cultura do arroz (ciclo curto e médio) no estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. *Ciência e Agrotecnologia*, 34, 29-36.
- International Rice Research Institute (1996). Standard evaluation system for Rice. Manila: INGER/Genetic Resources Center.
- Kemper, W. D. e Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution. In A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1 – Physical and Mineralogical Methods* (p. 425-442). Madison: Soil Science Society of America.
- Loss, A., Pereira, M. G., Anjos, L., Giacomo, S. e Perin, A. (2011). Carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46, 658-767.
- Malavolta, V. M. A., Soligo, E. A., Dias D. D., Azzini, L. E. e Bastos, C. R. (2007). Incidência de fungos e quantificação de danos em sementes de genótipos de arroz. *Summa Phytopathologica*, 33, 280-286.
- Nascimento, A. H. C., Queiroz, A. P., Lima, S. O., Carvalho, C. M., Feitosa, H. O. e Oliveira, A. L. (2010). Desenvolvimento da mamoneira com

diferentes níveis de calagem em um Latossolo Vermelho-Amarelo compactado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 5, 163-169.

Pimentel-Gomes, F. e Garcia, C. H. (2002). Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ.

Ralisch, R., Miranda, T. M., Okumura, R. S., Barbosa, G. M. C., Guimarães, M. F., Scopel, E. e Balbino, L. C. (2008). Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho-amarelo do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12, 381-384.

Reichert, J. M., Suzuki, L. E. A. S. e Reinert, D. J. (2007) Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In C. A. Ceretta, L. S. Silva e J. M. Reichert (Eds.), *Tópicos em ciência do solo* (p. 49-134). Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Reis, E. M. e Casa, R. T. (2004) Sobrevivência de fitopatógenos. In F. X. R. Vale, V. C. Jesus e L. Zambolim (Eds.), *Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas*. (p. 335-364). Belo Horizonte: Perfil.

Reis, E. M., Trezzi, C. e Bianchin, V. (2011). Controle de doenças de plantas pela rotação de culturas, *Summa Phytopathol*, 37, 85-91.

Silva, E. N. S., Montanari, R., Panosso, A. R., Correa, R., Tomaz, P. K. e Ferraudo, A. F. (2015). Variabilidade de atributos físicos e químicos do solo e produção de feijoeiro cultivado em sistema de cultivo mínimo com irrigação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39, 598-607. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20140429>.

Singh, B. M., Saharan, G. S., Shyam, K. R. e Sood, A. K. (1978). Factors affecting severity of glume blight in different cultivars of rice in Himachal Pradesh. *Indian Phytopathology*, 31, 419-423.

Stone, L. F. e Moreira, J. A. A. (2005). Irrigação do arroz de terras altas em função da porcentagem de cobertura do solo pela palhada, no sistema plantio direto. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão.

Tonello, L. P., Silva, J., Ramos, D. P., Sousa, S. A. e Fidelis, R. R. (2012). Eficiência do uso de fósforo em genótipos de arroz cultivados em solos de terras altas. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 7, 25-32.

Vidal, R. A. e Trezzi, M. M. (2004). Potencial da utilização de coberturas vegetais de sorgo e milheto na supressão de plantas daninhas em condição de campo: I - plantas em desenvolvimento vegetativo. *Planta Daninha*, 22, 217-233.