

Heterogeneidade espacial dos solos de Cerrado, zona de ecótono com o Pantanal⁽¹⁾

Isabela Codolo de Lucena⁽²⁾; Ricardo Santos Silva Amorim⁽³⁾; Francisco de Almeida Lobo⁽³⁾; Raquel Negrão Baldoni⁽⁴⁾; Dalva Maria da Silva Matos⁽⁵⁾, Rafael Bernardino da Silva⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPQ.

⁽²⁾ Professora; Instituto Federal de Mato Grosso; Jaciara, MT; isabela.lucena@svc.ifmt.edu.br

⁽³⁾ Professor, Universidade Federal de Mato Grosso

⁽⁴⁾ Pesquisador, Universidade Federal de São Carlos

⁽⁵⁾ Professora, Universidade Federal de São Carlos

⁽⁶⁾ Pesquisador, Universidade Federal de Mato Grosso

RESUMO: Nas áreas de Cerrado em zona de ecótono com o Pantanal, o solo apresenta características inerentes ao processo de formação dos solos tanto do Planalto Central quanto da Planície do Pantanal. Considerando tal premissa, esta área deve se destacar por sua elevada heterogeneidade edáfica. O presente estudo teve como objetivos determinar os atributos físicos, químicos e físico-hídricos que melhor explicam a heterogeneidade de solos em áreas de Cerrado, ecótono com o Pantanal, avaliar a distribuição espacial e se estes atributos diferem entre os fragmentos estudados e entre solos de Cerrado do Planalto Central e da Planície do Pantanal. Foram coletadas 160 amostras de solo e descritos 11 perfis. Foram identificadas 3 classes de solo que ainda não haviam sido descritas para esta região. Os atributos químicos CTC, H, M.O., K, P, Mg, Ca, Mn explicaram 40,49% da variabilidade de solos. A distribuição espacial dos atributos variou entre aleatória e agregada, sendo os atributos químicos CTC, K, Ca e Mg similares aos solos da Planície do Pantanal. Al, P e Mn bem como as variáveis hídricas foram similares ao Planalto. Por outro lado, o teor médio de matéria orgânica, o pH, cascalho e calhaus, foram característicos tanto do Planalto como da Planície.

Termos de indexação: atributos físico-químicos. Geoestatística

INTRODUÇÃO

Os recursos naturais geralmente não estão homogeneamente distribuídos no espaço e essa heterogeneidade ambiental representa uma barreira para plantas devido sua natureza sésstil

(Poor et al., 2005). O solo, um recurso natural essencial, se destaca por sua heterogeneidade espacial, o que maximiza a biodiversidade de um ecossistema em particular (Possley et al., 2008),

seja por meio da pedodiversidade taxonômica, funcional, genética ou ainda devido à heterogeneidade dos atributos do solo (Duniway et al., 2010). Para o Cerrado, o detalhamento dos atributos do solo é uma necessidade comprovada em função da variabilidade química, física e hídrica (Neri et al., 2012). O Cerrado da Depressão Cuiabana apresenta relevo aplainado e rochas muito alteradas, o que gerou a deposição de cascalhos provenientes da desagregação dos veios de quartzo (Castro junior, 2006). Em função da peneplanização, esta área se assemelha à Formação Pantanal e possui 18 classes de solo (Shinzato et al., 2006). No entanto, devido à pequena escala do mapa, não há registros sobre a existência de outras classes e sobre a heterogeneidade física, química e físico-hídrica da camada superficial do solo (Prodeagro, 2001; Shinzato et al., 2006). Parte desta Depressão é constituída por uma zona de ecótono. Ecótonos consistem em áreas de transição ambiental (Kark & Van Rensburg 2006). Neste estudo os objetivos foram: a) determinar os atributos físicos, químicos e físico-hídricos que melhor explicam a variabilidade do solo nesta região; b) avaliar a heterogeneidade espacial destes atributos; c) avaliar se as classes e atributos da camada superficial do solo encontradas diferem entre os solos de Cerrado do Planalto Central e da Planície do Pantanal.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em cinco fragmentos de Cerrado, zona de ecótono com o Pantanal, inseridos em uma matriz de pastagem (DATUM: SAD 69 - 15°43' S; 56°04' W). O perímetro de cada fragmento foi delimitado por meio do uso de um GPSMAP 76C para delimitação da área. Todo o perímetro de cada fragmento foi dividido em parcelas de 10 x 10 m. Segundo o método de aleatorização restrita (Greig-smith, 1983), em cada fragmento foram selecionadas 32 parcelas e em cada parcela foi coletada uma amostra de solo de 0 – 20 cm de profundidade, totalizando 160 amostras para análise dos atributos físicos e químicos.

Para determinar a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e disponibilidade de água para a planta (DAP) foram selecionados sete pontos de coleta em função da variação dos teores de argila na área (103; 134,4; 160; 190,4; 210,4; 250 e 296 g kg⁻¹). A CC foi determinada por meio da drenagem de coluna de solo e o PMP utilizando a curva de retenção de água no solo, equivalente à umidade retida no solo à tensão de -15 atm. Como o solo estudado apresenta elevada porcentagem de calhaus (9,1% ± 11,25%) e de cascalhos (32,8% ± 24%), fez-se a correção dos valores de CC e de PMP para a porcentagem real de terra fina seca ao ar (TFSA) de cada amostra por meio das equações 1 e 2:

$$PMP_{real} = \frac{PMP \cdot TFSA}{100} \quad (1)$$

$$CC_{real} = \frac{CC \cdot TFSA}{100} \quad (2)$$

A disponibilidade de água para as plantas foi obtida por meio da diferença entre CC_{real} e PMP_{real}. Estas variáveis foram estimadas para os demais pontos de coleta da camada superficial do solo por meio das equações 3 e 4, respectivamente:

$$CC_{real} (\%) = 11,625 + (-0,353 \text{ calhaus}) \quad R^2 = 0,94 \quad (3)$$

$$PMP_{real} (\%) = 2,94 + ((-0,107 \text{ cascalho}) + (0,139 \text{ silte})) \quad R^2 = 0,95 \quad (4)$$

Para a descrição dos perfis foram selecionadas as parcelas que apresentaram os valores mais altos e baixos de riqueza e de abundância de espécies lenhosas com diâmetro a 30 cm do solo ≥ 3 , sendo valores intermediários identificados apenas para o fragmento 1, totalizando 11 perfis de solo. Os perfis de solo foram descritos conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa, 2006). As análises de solo dos atributos físicos e químicos dos perfis foram realizadas conforme Embrapa (1997).

Empregou-se o programa SPSS 17.0 para realizar a análise fatorial, com rotação varimax e normalização Kaiser. Assim foi possível ordenar as variáveis em um pequeno grupo de fatores que representassem a máxima variação presente no solo. Foram consideradas as variáveis com autovetor > 0,6 e variância acumulada próxima de 70%. Este critério foi determinado de acordo com a análise da matriz fatorial.

Para avaliar a distribuição espacial das variáveis do solo, foram utilizadas as coordenadas (x, y) e os coeficientes dos fatores. Para tanto, foi empregado o método de Análise Espacial por Índices de Distância por meio do programa estatístico SADIEShell, versão 1.22. Obteve-se o índice de agregação $I_a = 1$ e $p > 0,05$ indicam distribuição aleatória; $I_a > 1$ e $p < 0,05$ agregada; $I_a < 1$ e $p > 0,95$ uniforme. Para todas estas

análises realizadas, empregaram-se 30.000 permutações. A partir dos resultados de similaridade, foram produzidos mapas de índices de agregação por meio do Software Surfer, versão 8.0, utilizando o método de krigagem para interpolação dos índices de agregação gerados pelo programa SadieShell. Para avaliar se as variáveis, que compõem os fatores, diferiram entre os fragmentos, foi utilizado o teste *t* de permutação (N = 1000). Por meio de revisão bibliográfica, foram comparados os valores médios dos atributos do solo da área em estudo com os do Planalto e da Planície do Pantanal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados revelaram a ocorrência de 3 novas classes para esta região, Latossolo Amarelo distrófico, Latossolo Amarelo distrófico com plintita e Plintossolo Pétrico Litoplíntico típico. Nesta mesma área, apenas haviam sido identificadas as classes Latossolo Vermelho Amarelo e Plintossolo Pétrico na escala de 1:100.000 (Shinzato et al., 2006), Latossolo Vermelho-Amarelo e Concrecionários Podzólicos distróficos na escala de 1:250.000 (Prodeagro, 2001). A identificação de novas classes de solo, associada às demais classes anteriormente identificadas (Shinzato et al., 2006, Prodeagro, 2001) contribui para afirmar descrever a heterogeneidade edáfica em área de Cerrado, zona de ecótono com o Pantanal. Esta heterogeneidade ambiental pode ser o fator que maximiza a biodiversidade (Possley et al., 2008) e as funções de um ecossistema.

A partir da análise fatorial, foi verificado que os quatro primeiros fatores explicaram 70,61% da variância acumulada (**Tabela 1**). Com esses quatro fatores, foram selecionadas 16 variáveis da camada superficial do solo com autovetor > 0,6, sendo que a maior variabilidade foi identificada para variáveis químicas que caracterizam a fertilidade do solo conforme o fator 1 (**Tabela 1**).

A distribuição espacial foi aleatória e agregada para os quatro fatores (**Tabela 2**). A distribuição aleatória indica ausência de dependência espacial enquanto a distribuição agregada confirma a dependência espacial de um determinado fator.

Este resultado pode estar associado às propriedades intrínsecas do solo, que está sob influência do Pantanal e do Cerrado. Para o fator 1, todas as variáveis estão positivamente correlacionadas (**Tabela 1**), com distribuição espacial aleatória e agregada (**Tabela 2**).

Tabela 1 – Correlações e variância dos atributos físicos, químicos e hídricos da camada superficial do solo e os quatro eixos da análise fatorial. Correlações com $r > 0,6$ estão em negrito.

Atributos do solo	Fatores Principais			
	1	2	3	4
CTC	0.959	0.137	0.12	-0.113
H	0.896	0.231	-0.21	-0.122
M.O.	0.857	0.294	0.2	-0.062
K	0.77	0.17	0.186	-0.178
P	0.742	0.348	0.218	-0.001
Mg	0.726	-0.005	0.576	-0.023
Ca	0.701	0.065	0.597	-0.079
Mn	0.670	0.336	0.365	-0.045
PMP	-0.277	-0.847	-0.122	0.239
Calhau	0.362	0.799	0.194	-0.226
Cascalho	0.480	0.765	0.058	0.065
Argila	0.098	-0.643	-0.250	-0.343
pH	0.136	0.211	0.907	-0.04
Al	-0.212	-0.290	-0.855	-0.108
DAP	-0.091	0.024	-0.04	0.957
CC	-0.116	0.107	-0.051	0.954
Variância (%)	40.49	12.37	9.99	7.76
Variância acumulada (%)	40.49	52.86	62.85	70.61

Tabela 2 – Índice de agregação (Ia) dos atributos do solo para cada fragmento obtida por meio de análise do padrão espacial (SADIEShell). Ia = 1 e $p > 0,05$ indicam distribuição aleatória*; Ia > 1 e $p < 0,05$ indicam distribuição espacial agregada**.

Fatores	Fragmentos				
	1	2	3	4	5
1	1.45*	1.31**	0.89 *	0.80*	1.62**
2	2.52**	1.50*	1.29 *	0.99*	1.20*
3	1.64**	1.23*	0.81 *	0.97*	1.26*
4	1.09*	0.80*	0.91 *	1.33**	1.01*

Este resultado pode estar associado à variação altimétrica. Nascimento (2012) sugeriu a existência de áreas de transferência à partir de 200m de elevação. Nesta condição, a região em estudo é uma área de transferência de arenitos e calcários, as principais fontes de sedimentos e soluções transportados pelo rio Cuiabá, o que influencia na distribuição espacial das variáveis químicas do solo de ecótono. Para os fatores 2 e 3, quanto maior a percentagem de cascalho e calhaus menor os valores de PMP e de argila e quanto maior os valores de Al menor os de pH (**Tabela 1**). O fator 4 (DAP, CC) está associado às características hidrológicas do solo, indicando o aumento disponibilidade de água à capacidade de campo (**Tabela 1**). A distribuição espacial dos fatores 2 (PMP, calhau, cascalho, argila) e 3 (pH, Al) foi agregada para o fragmento 1 e aleatória para os outros quatro fragmentos (**Tabela 2**). O fator 4 está distribuído de forma aleatória para

quatro dos cinco fragmentos analisados (**Tabela 2**).

A distribuição aleatória é definida por propriedades intrínsecas do solo, como fatores biológicos e hidrologia diferencial. A dependência espacial, observada na distribuição agregada, pode ocorrer em função do relevo e do material de origem (Campos et al., 2007). No caso em estudo, esta condição pode estar associada às classes de solos concrecionários e litoplínticos, tanto Plintossolos como em Latossolos Petroplíntico, caracterizados por grande quantidade de pedra canga ao longo do perfil (Lacerda & Barbosa, 2012).

As variáveis similares aos solos da Planície do Pantanal foram CTC, K, Ca e Mg (**Tabela 3**) (Lopes & Cox, 1977; Ferreira Junior, 2009; Nascimento, 2012). Estes valores são menores aos identificados para o Planalto (Neri et al., 2012), provavelmente em função de mudanças na mineralogia do solo no ecótono em estudo.

Das variáveis químicas, Al, P e Mn foram similares aos identificados para o Planalto (Lopes & Cox, 1977; Neri et al., 2012), assim como as variáveis hídricas capacidade de campo e a disponibilidade de água para a planta. Os solos se enquadram nas classes texturais arenosa e média (**Tabela 3**).

Tabela 3 – Valores médios e desvio padrão dos atributos da camada superficial do solo Letras indicam diferença entre médias ($p < 0,05$).

Fatores	Atributos do solo	Valores médios + desvio padrão
1	CTC (pH 7,0)	4.54 ± 2.16
	H (cmolc/ dm)	2.51 ± 1.21
	M.O. (g/ dm ³)	16.09 ± 8.9
	K (cmolc/ dm ³)	0.17 ± 0.09
	P (mg/ dm)	3.90 ± 2.65
	Mg (cmolc/ dm ³)	0.62 ± 0.43
	Ca (cmolc/ dm ³)	0.86 ± 0.93
	Mn (mg/ kg)	74.88 ± 34.82
2	PMP (%)	2.55 ± 1.04
	Calhau (%)	9.11 ± 11.26
	Cascalho (%)	32.82 ± 24.01
3	Argila (%)	13.14 ± 4.56
	pH (H ₂ O)	5.17 ± 0.30
4	Al (C. ef) m%	0.38 ± 0.24
	CC (%)	14.17 ± 10.14
	DAP (%)	11.66 ± 9.84

Quanto às variáveis similares a ambos os solos do Planalto e da Planície do Pantanal, foram identificados o teor médio de matéria orgânica, pH e o esqueleto do solo (Shinzato et al., 2006; Assis et al., 2011; Lopes & Cox, 1977; Neri et al., 2012). Foi observada uma dominância de solos com acidez média, pH próximo de 5,0 (Lopes & Cox, 1977). A variação da fração grosseira do solo, composta por calhaus e cascalhos, variou em função das classes de solo. A presença desse

material se deve aos depósitos de cascalhos oriundos da desagregação dos veios de quartzo e a Cobertura Detrito-laterítica imatura, também constituída por “pedras de canga”, o que forma o solo raso (Shinzato et al.; 2006). O processo de plintização ocorre tanto em áreas suscetíveis a inundações como em áreas com impedimento de drenagem.

CONCLUSÕES

A identificação de diferentes classes de solo associada aos diferentes tipos de distribuição espacial, bem como a distinção de atributos específicos de Pantanal ou Cerrado ou similares a ambos, caracterizam a heterogeneidade edáfica do Cerrado em zona de ecótono com o Pantanal.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela bolsa de doutorado concedida à primeira autora.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, A. C. C. et al. Water availability determines physiognomic gradient in an area of low-fertility soils under Cerrado vegetation. *Plant Ecology*, 212: 1135-1147, 2011.
- CAMPOS, M.C.C. et al. Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. *Revista Ciência Agronômica*, 38: 149-157, 2007.
- CASTRO JUNIOR, P. R.; SALOMÃO, F. X. T.; BORDEST, S. M. L. Geomorfologia. In: Thomé Filho, J. J.; Scislewski, G.; Shinzato, E.; Rocha, G. A.; Dantas, M.; Castro Jr., P. R.; Araújo, E. S.; Melo, D. C. R.; Armesto, R. C. G.; Araújo, L. M. N. Sistema de Informação Geoambiental de Cuiabá, Várzea Grande e Entorno – SIG CUIABÁ. Goiânia: CPRM, 2006, p. 3-48.
- DUNIWAY, M. C.; BESTELMEYER, B. T.; TUGEL, A. Soil process and properties that distinguish ecological sites and states. *Rangelands*, 32: 9-15, 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. – Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- FERREIRA JUNIOR, W.G. Análise de gradientes vegetacionais e pedogeomorfológicos em Floresta, Cerrado e Campo no Pantanal mato-grossense, Barão de Melgaço, Mato Grosso. 2009. 178 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009
- GREIG-SMITH, P. Quantitative plant ecology. University of California, Berkeley. 1983. 359 p.
- KARK, S. & VAN RENSBURG, B.J. Ecotones: marginal or central areas of transition? *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 52: 29-53, 2006.
- LACERDA, M. P. C.; BARBOSA, I. O. Relações Pedomorfogeológicas e Distribuição de Pedoformas na Estação Ecológica de Águas Emendadas, Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36: 709-721, 2012.
- LOPES, A. S.; COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under Cerrado vegetation in Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, 41: 742-747, 1977.
- NASCIMENTO, A. F. Relações pedologia-geomorfologia-sedimentologia no Pantanal Norte. 2012. 200 f. Tese (Doutorado em Ciências/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2012.
- NERI, A. V. et al. The influence of soils on the floristic composition and community structure of an area of Brazilian Cerrado vegetation. *Edinburgh Journal of Botany*, 69: 1-27, 2012.
- POOR, A. et al. Do physiological integration and soil heterogeneity influence the clonal growth and foraging of *Schoenoplectus pungens*. *Plant Ecology*, 181: 45-56, 2005.
- POSSLEY, J.; WOODMANSEE, S. W.; MASCHINSKI, J. Patterns of Plant Composition in Fragments of Globally Imperiled Pine Rockland Forest: Effects of Soil Type, Recent Fire Frequency, and Fragment Size. *Natural Areas Journal*, 28: 379-394, 2008.
- PROJETO DE DESENVOLVIMENTO AGROAMBIENTAL DO ESTADO DE MATO GROSSO – PRODEAGRO. Mapa de reconhecimento de baixa intensidade dos solos e pontos amostrais – MIR 388. 1 Mapa. Escala 1: 250.000. 2001.
- SHINZATO, E.; TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, J.S. Solos. In: Thomé Filho, J. J.; Scislewski, G.; Shinzato, E.; Rocha, G. A.; Dantas, M.; Castro Jr., P. R.; Araújo, E. S.; Melo, D. C. R.; Armesto, R. C. G.; Araújo, L. M. N. Sistema de Informação Geoambiental de Cuiabá, Várzea Grande e Entorno - SIG CUIABÁ. Goiânia: CPRM, 2006, p. 117-161.