

PADRÃO ESPACIAL DE GOETHITAS E FÓSFORO DISPONÍVEL EM LATOSSOLOS. Livia Arantes Camargo, José Marques Júnior, Gener Tadeu Pereira, Renata Alves Horvat - Agronomia – Departamento de Solos e Adubos – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal.

Atualmente a cana de açúcar vem sendo uma interessante fonte de energia renovável e sua importância no cenário agrícola vem crescendo significativamente nos últimos anos. O Brasil ocupa o primeiro lugar em produção e em área plantada de cana-de-açúcar. Devido a sua extensão a cultura vem sendo instalada em diferentes ambientes que são resultantes da interação de vários fatores tais como clima, relevo, solo entre outros (Maule et al. 2001). O teor e a distribuição espacial dos óxidos de ferro da fração argila, são extremamente dependentes das formas do relevo. Por outro lado a presença e o teor, bem como a cristalografia desses óxidos de ferro da fração argila interferem no comportamento dos atributos químicos dos Latossolos, particularmente na disponibilidade de fósforo. Dentre os óxidos de ferro a goethita vem sendo estudada por diversos autores (Schwertmann & Taylor, 1989; Schwertmann & Carlson, 1994; Norrish & Taylor, 1961; Resende, 1976). É crível a goethita ser o mineral de maior importância no processo adsorção de fósforo no solo (Curi & Franzmeier, 1994). Porém, não estão totalmente esclarecidas as relações espaciais da cristalografia desse mineral com a disponibilidade de fósforo. O presente estudo tem o objetivo de avaliar as relações do padrão espacial dos cristais de goethitas e teor de fósforo disponível. A área de estudo se localiza no município de Guariba, nordeste do estado de São Paulo, e a vertente de estudo foi escolhida com base na origem basáltica sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, textura muito argilosa (LVef) (Embrapa, 1999) sob cultivo de cana-de-açúcar, com sistema de colheita mecanizada. Registra-se na área de estudo um histórico de trinta anos de manejo com uma única dose de adubo fosfatado, de acordo com análise do solo. As coordenadas geográficas são 21° 19' de latitude sul e 48° 13' de longitude. Foram coletadas amostras nos pontos de cruzamento de uma malha com intervalos de 10m e com dimensão 100 x 100 m. Essas amostras foram submetidas a análises de laboratório para determinação do fósforo disponível no solo segundo procedimentos descritos por Raij et al., (2001), e a concentração dos óxidos de ferro da fração argila pelo método de Norrish & Taylor (1961) modificado por Kämpf & Schwertmann (1982). Após a concentração dos óxidos de ferro da fração argila realizou-se a difração de raio X. Todas as amostras que foram submetidas à difração foram preparadas pelo método do pó e peneiradas em malha 0,10mm. A difração de raio x (DRX) foi realizada em aparelho HGZ equipado com cátodo de cobalto e filtro de ferro e radiação K α (20mA, 30kV) e a velocidade de varredura igual a 1.20°/minuto. Foram feitas análises estatísticas e geoestatísticas dos resultados da determinação do teor de fósforo disponível no solo e atributos mineralógicos da goethita. Observou-se nos difratogramas a presença de goethitas (Gt) e hematitas (Hm), e o que está de acordo com os estudos de Schwertmann & Taylor (1989). E o reflexo do mineral anatásio (An) também foi identificado em todas as amostras. Para a avaliação e cálculo dos atributos cristalográficos, interpretou-se os reflexos dos minerais: Gt (110), Gt (111), Hm (012) e Hm (110). Para o cálculo da área da goethita, foi utilizado o reflexo do mineral Gt (110). Os valores para este atributo oscilaram de 0,024 a 0,48 cm², valores estes menores que os encontrados por Cunha (2000) em Latossolos de uma vertente em Jaboticabal. Os valores de largura à meia altura (LMA) variaram de 0,05 a 0,6 °2 θ Schwertmann & Kämpf (1985) em seus estudos em solos da região central do Brasil, encontraram maiores valores para este atributo, porém em um intervalo menor. O parâmetro substituição isomórfica oscilou de 1,12 a 36 mol % de Al. O valor máximo está de acordo com o obtido por Kämpf et al. (1988) e Schwertmann & Kämpf (1985), e maior que os obtido por Norrish & Taylor (1961) e Resende (1976). Os teores de goethita no presente estudo foram de 4,4 a 75,5 g.kg⁻¹ intervalo menor que o encontrado por Schwertmann & Kämpf (1985) e maior que os encontrado por Cunha (2000). Quanto ao o atributo fósforo obteve-se como valor médio 21,49 mg.dm⁻³ e um intervalo de valores de 3 a 47 mg.dm⁻³. Motta et al. (2002) encontrou valores dentro deste intervalo em diversos Latossolos cultivados e não cultivados. Os valores das estatísticas dos atributos estudados estão presentes na Tabela 1. Os atributos que apresentaram distribuição normal referente ao teste de Kolmogorov-Smirnov foram: área do pico, substituição isomórfica, teor de goethita e teor de água no solo (Tabelas 2 e 3). Conforme critério de classificação para CV proposto por Warric & Nielsen (1980), o coeficiente de variação (CV) apresentou-se alto para todos os atributos cristalográficos da

goethita e teor de fósforo. É comum a adoção das classes de CV para auxiliar a avaliação da variabilidade espacial do solo, porém o uso da mesma não deve ser generalizado já que o entendimento da dependência espacial deve ser feito adotando-se técnicas da geoestatística. Os valores da média e mediana, para todas as variáveis, estão próximos mostrando distribuições simétricas, o que pode ser confirmado pelos valores de assimetria próximos de zero. Para verificar a dependência espacial dos atributos referentes à goethita, matéria orgânica e teor de água do solo foram construídos os semivariogramas de caráter isotrópicos. Os dados da análise geoestatística estão presentes na Tabela 2.

Tabela 1. Estatísticas descritivas dos atributos da goethita e teor de fósforo disponível (0,20 - 0,40 cm) e valor mínimo significativo p do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov.

	Área do pico -----cm ² -----	LMA ¹ -----°2θ-----	DMC ² -----nm-----	SI ³ ---mol%---	Teor de Gt ----g kg ⁻¹ ----	Fósforo --mg dm ⁻³ --
Média	0,21	0,32	63,02	20,43	32,10	21,49
Mediana	0,20	0,32	68,27	19,30	30,70	20,00
Mínimo	0,02	0,05	19,12	1,12	4,40	3
Máximo	0,48	0,60	88,46	36,00	75,5	47
Variância	0,01	0,02	543,01	80,40	2,94	101,60
Assimetria	0,35	-0,33	-0,35	-0,12	0,55	0,78
Curtose	-0,53	-0,44	-0,15	-0,83	-0,2	-0,05
Desv. padrão	0,11	0,14	23,30	8,96	1,71	10,07
CV(%)	54,01	45,89	36,97	43,87	53,29	42,89
p ⁴	0,15	0,01	0,01	0,15	0,15	0,01

¹Largura a Meia Altura ² Diâmetro Médio do Cristalito ³ Substituição Isomórfica ⁴ Estatística do teste de Kolmogorov-Smoirnov.

Tabela 2. Avaliação geoestatística dos atributos mineralógicos da goethita e teor de fósforo disponível (0,20 – 0,40m).

	Área do pico	LMA ⁷	DMC ⁸	SI ⁹	Teor de Gt	Fósforo
Modelo	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial
C ₀ ⁽¹⁾	0,0348	0,0051	144,00	19,90	0,771	28,60
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	0,01226	0,0164	478,10	65,58	2,626	89,48
C ₀ /(C ₀ + C ₁)*(100)	28,38	31,00	30,00	30,00	29,00	32,00
a (m) ⁽³⁾	34,20	25,2	20,4	27,00	30,6	30,9
R ² ⁽⁴⁾	0,833	0,877	0,707	0,881	0,824	0,047
RSS ⁽⁵⁾	2,35E-06	1,624E-06	2068	26,6	0,0960	25,6
GDE ⁽⁶⁾	moderado	moderado	Moderado	moderado	Moderado	Moderado

¹ Efeito Pepita; ² Patamar; ³ Alcance; ⁴ Coeficiente de determinação; ⁵ Soma dos quadrados dos resíduos; ⁶ Grau de dependência espacial; ⁷ Largura a Meia Altura; ⁸ Diâmetro Médio do Cristalito; ⁹ Substituição Isomórfica.

Todos os atributos em estudo ajustaram-se ao modelo exponencial, Segundo Cambardella et al. (1994) as variáveis apresentam dependência espacial moderada pois a relação C₀/(C₀ + C₁) para todos os atributos está entre 25% e 75%. Como todos os atributos estudados apresentaram dependência espacial, os parâmetros dos modelos de semivariograma ajustados foram utilizados para estimar valores em locais não amostrados através da Krigagem. Os mapas de krigagem são observados na Figura 1. Observando os mapas obtidos pela krigagem identifica-se uma semelhança nos padrões de ocorrência espacial, mostrando que os atributos estão relacionados e são interdependentes. O padrão espacial observado divide a área em dois compartimentos I e II (Figura 2). No compartimento I observa-se uma área linear com declive menos acentuado; e no compartimento II uma área com forma côncava-convexa. No compartimento II pode-se observar uma tendência de menores valores de LMA e maiores de DMC. Valores contrários foram obtidos no compartimento I, para estes atributos. Estes valores informam que a goethita está melhor cristalizada no compartimento II, sendo este, portanto, o

ambiente preferencial para sua cristalização. O mapa do fósforo disponível informa que seus menores teores estão relacionados com goethitas de pior grau de cristalinidade (maior LMA e menor DMC). Este resultado pode ser atribuído à menor área superfície específica que os minerais com maior DMC possuem e conseqüentemente menor capacidade adsortiva dos mesmos. Rolim Neto et al. (2004) em seus estudos afirmam que o óxido de ferro goethita, dos minerais da fração argila de latossolos, é o que possui maior participação na adsorção de fósforo. Para Motta et al. (2002) formas pouco lábeis em solos cultivados estão associadas à presença de minerais oxídicos. Conclui-se que o grau de cristalização da goethita influenciou a disponibilidade do fósforo no solo, e estes atributos são dependentes das formas de relevo.

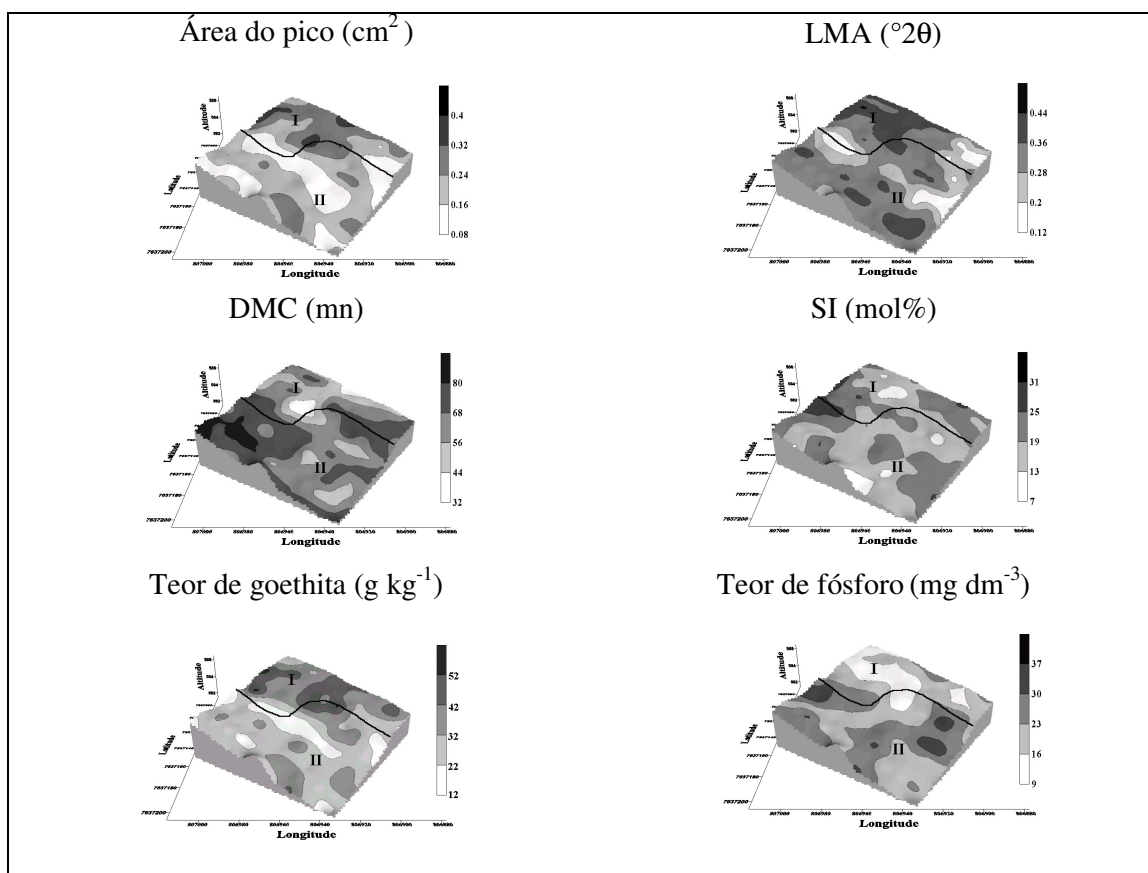


Figura 1. Mapas de krigagem dos atributos mineralógicos da goethita e teor de fósforo disponível.

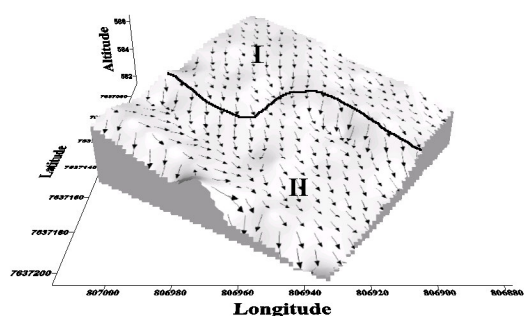


Figura 2. Modelo de elevação digital da área de estudo. Sentido e tamanho das setas indicam a modelagem do declive do terreno, conseqüentemente o fluxo de água.

Referências Bibliográficas:

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D. L.; TURCO R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa Soils. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CUNHA, P, Superfícies geomórficas e variabilidade de Latossolos em uma vertente sobre arenito-basalto em Jaboticabal (SP), 2000. 149f, Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. p.412

KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequência in Southern Brazil and their application in classification of kaolinitic Soils. Geoderma, Amsterdam, v. 29, p. 27-39, 1982.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A. e MARTHA JR., G. B, Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita, Sci. agri., n. 2, v. 58, p. 295-301, 2001.

MOTTA, P.E.F.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; VAN RAIJ, B.; FURTINI NETO, A.E.; LIMA, J.M. Adsorção e formas de fósforo em Latossolos: influencia da mineralogia e histórico de uso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 26, p. 349-359, 2002.

NORRISH, K.; TAYLOR, R. M. The isomorphous replacement of iron by aluminium in soil goethites. J. Soil Sci., Oxford, v. 12, p. 294-306, 1961.

RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.(Eds.) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 258p.

RESENDE, M, Minerology, Chemistry, Morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil, 1976, Thesis (PhD) - Purdue University, Purdue, 1976.

ROLIM NETO, F.C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; COSTA, L.M.; CORRÊA, M.M.; FERNANDES FILHO, E.I.; IBRAIMO, M.M. Adsorção de fósforo, superfície específica atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 28, p. 953-964, 2004.

SCHWERTMANN, U.; CARLSON, L. Aluminium influence on iron oxides: XVII. Unit-cell parameters and aluminium substitution of natural goethites. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.58, p.256-61, 1994.

SCHWERTMANN, U.; KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of Southern and Central Brazil. Soil. Sci., Baltimore, v.139, n.4, p.344-50, 1985.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). Minerals in soil environments. 2.ed. Madison: SSSA, 1989. p.379-438. (Book Series, 1).

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of physical properties in the field. In: HILEL, D. (Ed.). Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

Agradecimentos: Usina São Martinho pela concessão da área
Bolsa: Fapesp