

## Formas de ferro em relação à fertilidade do solo em área de cultivo irrigado.

Célia Regina Paes Bueno<sup>(1)</sup>; Daniela Popim Miqueloni<sup>(2)</sup>; Vanessa Quagliariello<sup>(2)</sup>; Gabriel Ferreira Damasceno<sup>(3)</sup>; James Ribeiro Azevedo<sup>(3)</sup>.

<sup>(1)</sup> Prof. Dra. Universidade Estadual Paulista/FCAV, Jaboticabal, SP. E-mail: [crbueno@fcav.unesp.br](mailto:crbueno@fcav.unesp.br);

<sup>(2)</sup> M.Sc. Universidade Estadual Paulista/FCAV, Jaboticabal, SP. E-mail: [danimique@yahoo.com.br](mailto:danimique@yahoo.com.br), [vquagli@hotmail.com](mailto:vquagli@hotmail.com). <sup>(3)</sup> Pós-Graduando da Universidade Estadual Paulista/FCAV. E-mail: [gabrielfdamasceno@gmail.com](mailto:gabrielfdamasceno@gmail.com); [jamesazevedo@ufma.br](mailto:jamesazevedo@ufma.br);

**RESUMO:** De maneira geral, os óxidos de ferro e alumínio contribuem para aumentar a acidez dos solos e sendo relacionados com o material de origem, grau de intemperismo e processos pedogenéticos de, tornam-se ótimos indicadores pedoambientais. Assim, objetivou-se analisar a relação dos óxidos de ferro com a fertilidade do solo de cada cultura em uma área irrigada, por meio de análise discriminante. Os valores médios dos atributos químicos analisados apresentam-se médios para o pH e altos para todos os demais. As quantidades de ferro não cristalinos e amorfo ( $\text{FeO}$ ) variaram de 0,12 a 0,44  $\text{g kg}^{-1}$ , 21,2 a 43,2% das quantidades extraídas pelo ditionito ( $\text{FeD}$ ), indicando as formas de óxidos de ferro da área estudada está sob a forma de ácidos cristalinos. A primeira raiz (64,71%), discriminada principalmente por  $\text{FeO}$  e  $\text{FeD}$  em contraste com MO e pH, mostra que os maiores teores de P, Ca e Mg, além de  $\text{FeD}$  e  $\text{FeO}$  estão concentrados na cultura do feijão. O  $\text{FeD}$  mostrou maior correlação com o Mg e P, relacionado aos processos de adsorção de P. A segunda raiz (35,29%), é discriminada principalmente pelas variáveis MO, Zn e Cu, em contraste com B e  $\text{FeO}$  distribuídos pelas culturas de milho e café, devido, principalmente ao manejo.

**Termos de indexação:** ferro pedológico e amorfo, análise discriminante, fertilidade do solo.

### INTRODUÇÃO

De maneira geral, os óxidos de ferro e alumínio contribuem para aumentar a acidez dos solos e a matéria orgânica, para abaixá-lo (Camargo et al., 2003). O termo "óxidos de ferro" geralmente inclui óxidos, oxihidróxidos e hidróxidos de ferro, variando nos solos de menos de 1 a mais de 500  $\text{g kg}^{-1}$  de solo, relacionados com o material de origem, grau de intemperismo e com os processos pedogenéticos de acumulação ou remoção, tornando-se assim ótimos indicadores pedoambientais (Kämpf & Curi, 2000).

A presença significativa de hematita e goethita nos solos altamente intemperizados, (como os Latossolos, que na maioria das vezes é a classe

dominante do topo de uma topossequência) já foi amplamente constatada (Ferreira, 2008). O  $\text{Fe}^{2+}$  presente nos minerais primários é liberado durante a intemperização e em contato com a água forma o  $\text{Fe}^{3+}$  por hidrólise. Uma vez formados, os óxidos de ferro podem ser redissolvidos por redução microbiana a  $\text{Fe}^{2+}$  ou por complexação por ligantes orgânicos, os quais podem ser novamente fontes de óxidos de  $\text{Fe}^{3+}$  (Kämpf & Curi, 2000). Na paisagem, a dinâmica da água promove a concentração de ácidos húmicos nas partes mais baixas, o que favorece a formação da goethita ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Já nas partes mais altas do relevo, com menor umidade e maior temperatura, verifica-se a formação preferencial de hematita ( $\text{Fe}^{3+}$ ), principalmente pela facilidade de desidratação da ferrihidrita (Ferreira, 2008).

Em sedimentos transportados em condições de oxi-redução, há a presença de óxidos de ferro cristalinos (hematita e goethita), seguida pela neoformação de formas de baixa cristalinidade ou amorfo (lepidocrocita e ferrihidrita), como indicativo de novo ambiente (Silva Neto et al., 2008). As variações do regime hídrico, associada aos teores de matéria orgânica dos solos podem determinar condições favoráveis aos compostos de ferro de baixa cristalinidade, associados com a maior reatividade aos compostos químicos do solo, principalmente os fosfatos (Hernández & Meurer, 1998). Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a relação dos óxidos de ferro com a fertilidade do solo de cada cultura em uma área irrigada, por meio de análise discriminante.

### MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no município de Carmo do Rio Claro (MG), sob as coordenadas centrais 390200W e 7667900S (UTM Córrego Alegre, 23K), com altitude média de 811 m. O relevo predominantemente é suave ondulado, com declividades médias de 3 a 10%. O solo predominante da área é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico textura argilosa e em menor área como Nitossolo Vermelho eutrófico, com cerca de 29,18 ha em sua área total, cultivados no sistema

convencional de plantio com feijão, milho e café com sistema de irrigação. A área foi dividida numa malha com espaçamento irregular de 50 metros entre os pontos totalizando 150 pontos de amostragem. Cada ponto foi coletado com a utilização de um trado holandês em uma profundidade de 0,0-0,2m.

Foram determinados pH, teores de matéria orgânica (MO), Cálcio (Ca), Potássio (K), Magnésio (Mg), Fósforo (P) e acidez potencial (H+Al) segundo procedimentos descrito por Raij et al. (1987). Os teores de Cobre (Cu), Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Zinco (Zn) foram extraídos por DTPA, segundo Lindsay & Norvell (1978), e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O teor de Boro (B) foi extraído por água quente e determinado por colorimetria. O ferro pedogenético (FeD), relativo a totalidade dos óxidos de ferro, foi extraído com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio a 80°C, em duas extrações sucessivas (Mehra & Jackson, 1960). O Fe referente aos óxidos de Fe de baixa cristalinidade (Feo) foi extraído com oxalato de amônio 0,2 mol L<sup>-1</sup> a pH 3 no escuro (Schwertmann, 1964). Os teores de Fe solubilizados foram determinados por espectroscopia de absorção atômica (EAA). A concentração dos minerais óxidos de Fe foi realizada pelo tratamento da fração argila com solução de NaOH 5 mol L<sup>-1</sup> a quente (Kämpf & Schwertmann, 1982).

Os dados foram avaliados através da estatística descritiva, parâmetros como média aritmética, mediana, coeficiente de variação, desvio padrão, coeficientes de assimetria e curtose, utilizando-se o programa Statistica 7.0 (Statsoft, 2005), assim como a análise discriminante com o método forward stepwise, com a transformação dos dados de forma a se aproximarem da distribuição normal, conforme pré-requisito da análise.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os limites estabelecidos para os níveis de fertilidade do solo para as culturas proposto por Raij et al. (1997), os valores médios dos atributos químicos apresentam-se médios para o pH e altos para todos os demais (**Tabela 1**). Essa amplitude é mais acentuada para alguns atributos, tais como o P, provavelmente por consequência da fosfatagem, nas culturas anuais a lanço. Entretanto, na área onde se encontra a cultura perene o fertilizante fosfatado foi aplicado no sulco do plantio. A amplitude observada para os teores de Mg pode ser atribuída a aplicação de diferentes tipos de calcários.

As quantidades de ferro não cristalinos e amorfo (FeO) variaram de 0,12 a 0,44 g kg<sup>-1</sup>, 21,2 a 43,2% das quantidades extraídas pelo ditionito (FeD). Isto indica que a maioria das formas de óxidos de ferro da área estudada esta sob a forma de ácidos cristalinos, o que esta de acordo com a origem basáltica do solo, com alto grau de intemperismo (Inda Junior & Kämpf, 2003; Silva Neto, et al., 2008)

Os coeficientes de variação (CV) observados foram baixos (<12%) para pH e H+Al, altos (>60%) para o ferro pedogenético (FeD) e o restante, médios (12 < CV% < 60) (Tabela 1), de acordo com a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980).

Pela análise discriminante, foram obtidas duas raízes, contendo 100% da variabilidade. A variável potássio (K) não foi considerada relevante na discriminação dos dados segundo modelo da análise. A primeira raiz (64,71%), discriminada principalmente pelo ferro de baixa cristalinidade e amorfo (FeO) e ferro pedogenético (FeD) em contraste com MO e pH (Figura 1). A segunda raiz (35,29%), é discriminada principalmente pelas variáveis MO, Zn e Cu, em contraste com B e FeO.

A primeira raiz mostra que os maiores teores de P, Ca e Mg, além de FeD e FeO estão concentrados na cultura do feijão. Esta área apresentou maior variabilidade dos resultados possivelmente devido ao manejo praticado intensivamente. Já os micronutrientes, MO, pH e acidez potencial (H+Al) estão distribuídos pelas culturas de milho e café. Esta última, sendo perene, mostrou a maior concentração de Zn, Mn, H+Al e MO, indicando potencial para aumento da acidez do solo e indisponibilidade de nutrientes para a cultura (Malavolta, 1976). Os maiores teores Zn podem estar relacionados a valores de pH mais baixos e à adubação foliar com zinco, realizadas como prática regular na cultura do café.

Já a cultura do milho apresentou maiores teores de ferro total (FeT), B, Cu e pH. Os maiores teores de B e Cu foram coincidentes com os maiores teores de MO, segundo a raiz 1 (variáveis do lado esquerdo do gráfico). Isto ocorre devido à forte retenção de Cu por complexação e quelatização nas ligno-proteínas que compõem a MO, e a disponibilidade de B afetada pela MO, existindo uma correlação positiva entre a matéria orgânica e o B solúvel em água, considerado disponível para as plantas (Malavolta, 1976).

O FeO mostrou maior correlação com o Ca, aparecendo no limite das culturas de feijão e milho, já o FeD mostrou maior correlação com o Mg e P na cultura do feijão. O método de redução pelo ditionito de sódio caracteriza a fração de ferro livre (Mehra & Jackson, 1960). Esse tratamento revela a



completa dissolução dos óxidos de ferro, sem diferenciar as formas de óxidos que podem estar relacionados com processos de adsorção de P (Hérmendez & Meurer, 1998), o que pode explicar sua relação discriminada pela segunda raiz (**Figura 1**).

### CONCLUSÕES

A distribuição dos óxidos de ferro está concentrada na área de plantio de feijão, onde há associação dos óxidos de baixa cristalinidade e amorfos com o cálcio e dos óxidos cristalinos com fósforo e magnésio.

As áreas de milho e café mostraram concentração de micronutrientes, possivelmente devido ao manejo, não relacionados diretamente com as formas de ferro analisadas.

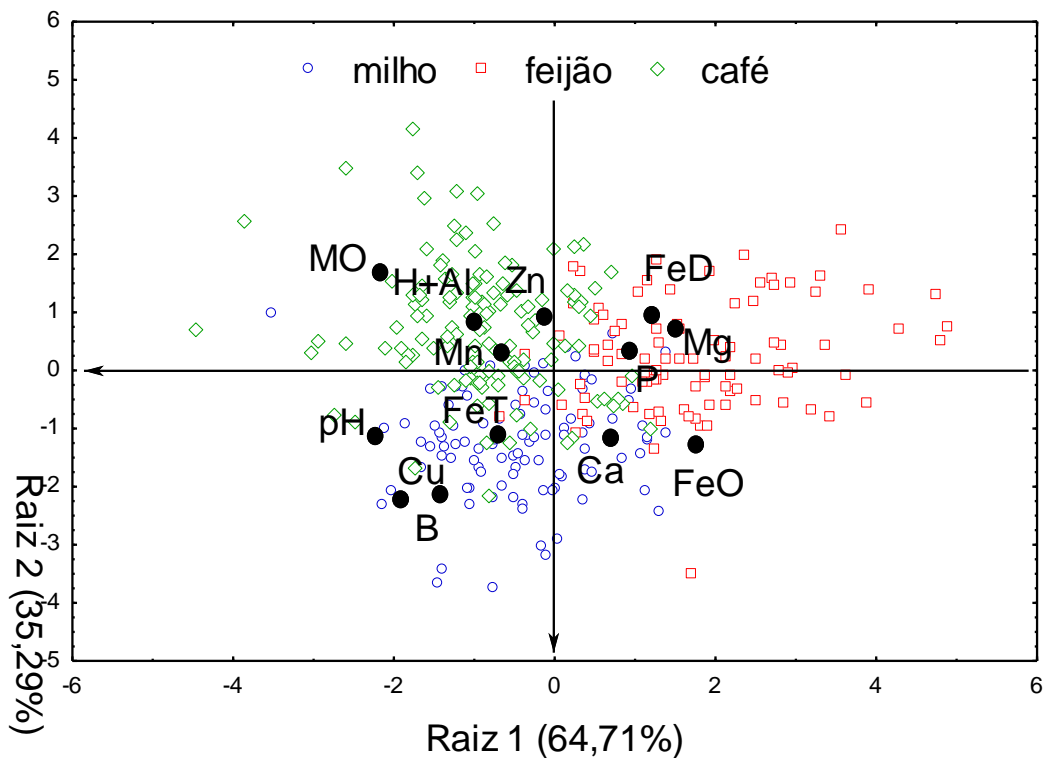
### REFERÊNCIAS

- CAMARGO, O. A. de; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA Manual de métodos de análises de solo 2 ed., Rio de Janeiro: CNPS, 1997, 212p.
- FERREIRA, C. A. Gênese de "Latossolos Acinzentados" em topossequência de Latossolos das Chapadas do Alto Vale do Jequitinhonha, MG. 2008. 84f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina.
- HERNÁNDEZ, J.; MEURER, E. J. Adsorção de fósforo e sua relação com formas de ferro em dez solos do Uruguai. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, p. 223, 230, 1998.
- INDA JUNIOR, A. V.; KÄMPF, N. Avaliação de procedimentos de extração dos óxidos de ferro pedogênicos com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, p. 1139-1147, 2003.
- KÄMPF, N. e CURTI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R., (eds.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, 2000. p. 107-138.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. The 5 M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soil. *Clays Clay Minerals*, Washington, v. 30, p.401-408, 1982.
- LINDSAY, N.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.42, p.2321-2319, 1978.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola – Nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1976. 528p.
- MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Minerals*, Washington, v. 5, p. 317-327, 1960.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: Fundação Cargil, 1997
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxide des bodens durch extraktion mit ammoniumoxalat-lösung. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd.*, v. 105, p. 194-202, 1964.
- SILVA NETO, L. de F. da; INDA, A. V.; BAYER, C.; DICK, D. P.; TONIN, A. T. Óxidos de ferro em Latossolos tropicais e subtropicais brasileiros em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 1873-1881, 2008.
- STATSOFT, INC. Statistica for Windows – computer program manual. Tulsa (UK): StatSoft, 1995. 322 p.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed.), *Applications of soil physics*. Academic Press, New York. 1980. p.319-344.

**Tabela 1.** Estatística descritiva das variáveis analisadas: fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), manganês (Mn), potencial hidrogeniônico (pH), acidez potencial (H+Al), matéria orgânica (MO), ferro total (FeT), óxido de ferro pedogênico (FeD) e óxido de ferro de baixa cristalinidade e amorfo (FeO).

Variáveis	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)	Assimetria	Curtose
P <sup>1</sup>	78,92	75,5	8,00	310,00	37,72	47,80	1,087	4,149
K <sup>2</sup>	3,80	3,80	0,90	6,30	0,93	24,47	0,185	0,180*
Mg <sup>2</sup>	11,38	10,00	2,00	49,00	6,55	57,56	2,455	8,903
Ca <sup>2</sup>	38,01	37,00	7,00	111,00	14,28	37,57	0,852	2,445*
Zn <sup>3</sup>	4,65	4,10	0,90	24,50	2,38	51,18	3,65	20,99
Cu <sup>3</sup>	4,76	4,55	0,80	10,60	1,70	35,71	0,344	0,440*
B <sup>3</sup>	0,68	0,66	0,29	1,55	0,19	27,94	0,698	1,685*
Mn <sup>3</sup>	9,88	8,60	3,10	48,30	5,81	58,81	2,880	11,700
pH	5,07	5,00	4,00	6,50	0,43	8,48	0,269	0,243*
H+Al <sup>2</sup>	34,53	34,00	12,00	80,00	0,61	1,77	0,971	1,60*
MO <sup>5</sup>	2,36	2,35	1,3	3,1	0,31	13,14	-0,477	0,554*
FeT <sup>2</sup>	42,06	41	10,00	101,00	15,73	37,40	0,510	0,900*
FeD <sup>2</sup>	5,84	5,12	0,81	14,93	2,73	46,75	1,419	1,861*
FeO <sup>2</sup>	1,27	1,21	0,35	3,01	0,43	33,86	1,549	3,620*

<sup>1</sup> unidade em mg dm<sup>-3</sup>; <sup>2</sup> em mmolc dm<sup>-3</sup>; <sup>3</sup> mg kg<sup>-1</sup>; <sup>4</sup> g kg<sup>-1</sup>; <sup>5</sup> %. \* distribuição normal pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5%. DP = desvio padrão, CV (%) = coeficiente de variação.



**Figura 1.** Gráfico bidimensional das raízes obtidas pela análise discriminante com base no fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), manganês (Mn), potencial hidrogeniônico (pH), acidez potencial (H+Al), matéria orgânica (MO), ferro total (FeT), óxido de ferro pedogênico (FeD) e óxido de ferro de baixa cristalinidade e amorfo (FeO).