

VARIABILIDADE ESPACIAL DE INDICADORES DE ACIDEZ DO SOLO EM RELEVO ONDULADO SOB CAFEIEIRO CONILON (*Coffea Canephora* Pierre) NA REGIÃO SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Diego Lang Burak¹, Danilo Andrade Santos², Renato Ribeiro Passos³

1. Professor Adjunto I do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (dlburak@hotmail.com)
2. Graduando em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo
3. Professor Adjunto III do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo. Brasil.

Data de recebimento: 02/05/2011 - Data de aprovação: 31/05/2011

RESUMO

Os solos brasileiros em geral tendem a ser ácidos, influenciando fortemente a fertilidade do solo. Partindo do princípio de que o relevo condiciona variabilidade espacial dos atributos químicos, o objetivo desse trabalho foi estudar a variabilidade espacial dos indicadores de acidez do solo, em uma lavoura de café conilon (*Coffea canephora* Pierre) em função do relevo, utilizando as ferramentas da geoestatística e a análise de terreno para a interpretação dos dados. A partir dos resultados pôde-se concluir que os indicadores de acidez do solo variaram na área estudada de 0,6 ha sendo essa variação espacialmente estruturada possibilitando a confecção de mapas geoestatísticos da distribuição dos nutrientes na área. Adicionalmente, esses atributos apresentaram correlação com os parâmetros geomorfológicos demonstrando a influência do relevo na sua variabilidade espacial. De forma geral, em maiores altitudes e menores declividades os valores de pH e os teores de Ca são maiores e em contrapartida os teores mais baixos de Al que ocorre em função da menor movimentação do Ca e Mg.

PALAVRAS-CHAVE: Análise geoestatística, atributos químicos do solo, geomorfologia

SPATIAL VARIABILITY OF INDICATORS OF SOIL ACIDITY IN CONILON COFFEE (*Coffea canephora* Pierre) IN THE SOUTHERN REGION OF THE STATE OF THE ESPÍRITO SANTO IN HILLY RELIEF

ABSTRACT

Brazilian soils are usually acidic with lower fertility. In the present work we examined the hypothesis of topography effects in the spatial variability of different chemical attributes. For this, we studied the spatial variability of indicators of soil acidity in a coffee plantation conilon (*Coffea canephora* Pierre) in relation to relief. The results showed that indicators of soil acidity in the study area of 0,6 ha have higher variability spatially structured allowing the geostatistical analysis and confection of distribution maps of nutrients in the area. Additionally, these variations are correlated with the

geomorphological parameters showing the influence of topography on spatial variability of indicators of soil acidity. In general, at higher altitudes and smaller slope values of pH and Ca are larger and in contrast to the lower levels of Al that occurs due to decreased movement of Ca and Mg.

KEYWORDS: Geoestatistical analisys, soil chemical properties, geomorphology

INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros em geral tendem a ser ácidos, situação que influencia fortemente na menor fertilidade dos solos. O crescimento ótimo das raízes de cafeeiro depende da neutralização do Al^{3+} e do aumento dos teores disponíveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo. No Espírito Santo, a cafeicultura ocupa predominantemente solos ácidos com teores baixos de cálcio, magnésio e fósforo (MATIELLO, 1998). BALDOTTO et al. (2000), ao trabalharem com 28 lavouras de café conilon em Alegre no Sul do Espírito Santo, observaram que a maioria das lavouras apresentou produtividade baixa, sendo o Ca, Mg e K os nutrientes limitantes. O desenvolvimento e a produção econômica dos cafezais dependem do fornecimento dos nutrientes necessários ao cafeeiro de forma equilibrada, de origem natural do solo e/ou das adubações. Para que esse fornecimento pelas adubações ocorra de forma equilibrada devem ser evitadas aplicações de doses acima ou abaixo daquelas recomendadas.

Contudo, dentro do contexto tecnológico atual no sul - capixaba, a aplicação convencional de insumos (calcário e adubos) é baseada em teores médios de nutrientes que influem na fertilidade dos solos, podendo ocorrer a sub ou superestimação desses teores no solo em locais onde eles estão muito afastados dos valores médios. Como consequência disso, excessos ou déficits nutricionais ocorrem em determinadas áreas, prejudicando a produtividade média. Esse quadro tecnológico está sofrendo constante transformação, impulsionada pelos preceitos da agricultura de precisão dentro dos quais a otimização dos recursos de produção, a minimização dos efeitos indesejáveis ao meio ambiente e o aumento de produtividade são os objetivos finais do desenvolvimento sustentado de um sistema produtivo moderno. Nesse cenário surge o conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade do solo e separação de zonas homogêneas como uma ferramenta poderosa para otimizar a aplicação localizada de corretivos e fertilizantes, melhorando, dessa maneira, o controle do sistema de produção das culturas (SOUZA et al, 2004).

No caso de uma área cultivada, existem outras fontes de variabilidade no solo além daquelas relacionadas ao manejo exercido pelo homem (SOUZA et al., 1997). Essas outras fontes estão relacionadas aos fatores de formação do solo, que condicionam a variabilidade, tanto vertical como horizontal dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Dentre esses fatores, o relevo destaca-se ao considerar uma região de mesma geologia e condições climáticas. Nesse sentido, o estudo das formas do relevo que influenciam os fluxos de água, que condiciona a variabilidade dos atributos químicos, físicos, biológicos e mineralógicos no solo, torna-se interessante para melhor compreensão da variabilidade espacial de tais atributos (BLASZCZYNSKI, 1997).

OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo a avaliação da variabilidade espacial dos valores de pH, e dos teores de Al, Ca e Mg trocáveis e sua relação com o relevo de um segmento da paisagem de uma área de 0,6 ha com mesma classe de solo. Mapas de declividade, altitude e fluxo acumulado do escoamento superficial auxiliaram na interpretação da distribuição espacial desses atributos partindo da premissa de que o relevo condiciona variabilidade desses atributos químicos dentro de um segmento da paisagem.

METODOLOGIA

A área de estudo localiza-se na Fazenda Experimental Bananal do Norte, pertencente ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), localizada no distrito de Pacotuba, município de Cachoeiro de Itapemirim, sul do estado do Espírito Santo. A área tem um total de 0,6 ha e está localizada nas coordenadas geográficas: 20° 45' 17,31" de Latitude Sul e 41° 17' 8,86" de Longitude Oeste de Greenwich com altitude média de 113 metros.

A Fazenda Experimental Bananal do Norte está inserida dentro do domínio morfoclimático de Mares de Morro segundo AB'SABER (1977) sobre um embasamento geológico de granito-gnaiss. O solo representativo da região foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura argilosa. As amostras de solo foram coletadas em 109 pontos georreferenciados, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm totalizando 218 amostras. A área encontra-se sob lavoura de café da espécie *Coffea canephora* Pierre, var. Robusta Tropical – 'Emcaper 8151', implantada em 1999, sendo o manejo realizado sem maquinário agrícola e uso anual de adubação e calagem. Após a coleta das amostras e obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), procederam-se às extrações e determinações do pH. O pH em água, foi obtido mediante utilização de um potenciômetro com eletrodo combinado, imerso em suspensão solo/água na proporção de 1:2,5, sendo a leitura realizada diretamente no aparelho (EMBRAPA, 1997). Os teores de Ca, Mg e Al trocáveis, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, foram obtidos segundo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997), utilizando como meio extrator a solução de KCl 1 mol L^{-1} . A determinação dos teores de Ca e Mg nos extratos foi feita por Espectroscopia de Absorção Atômica e o teor de Al foi obtido por titulação.

Para melhor visualização das formas do relevo na área foram avaliados a declividade, o fluxo acumulado do escoamento superficial e o Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 1).

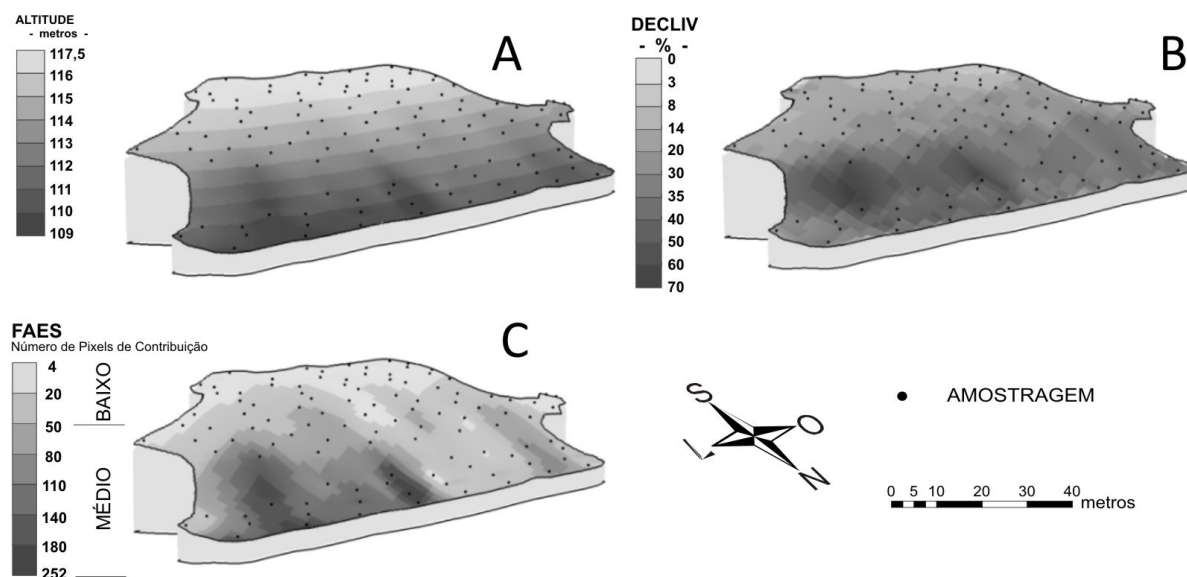


FIGURA 1. Modelo Digital de Elevação (A), Declividade (B) e Fluxo acumulado do escoamento superficial da área de estudo (FAES) (C). (Fonte: Burak et al., 2010)

O MDE foi produzido a partir de curvas de nível com intervalo de um metro. A interpolação das curvas de nível foi feita em uma estrutura de grade triangular, formando um MDE de formato TIN (Triangulated Irregular Network), sendo todo o procedimento realizado no programa ArcGIS 9.0 (ESRI, 2001) com a ferramenta 3D Analyst. Posteriormente o MDE, foi transformado para o formato raster, com tamanho de células (ou pixels) de dois metros (Figura 1A). A partir do MDE raster foram extraídos os planos de informação da declividade em percentagem (Figura 1B) e do fluxo acumulado do escoamento superficial (Figura 1C). Planos de informação da curvatura do terreno (côncavo-côncavo, convexo-convexo, côncavo-convexo ou convexo-côncavo) não foram utilizados por apresentarem pequena variação dos seus valores na área.

Com os valores dos atributos químicos avaliados representativos e os valores numéricos de altitude, fluxo acumulado do escoamento superficial e declividade dos pontos georreferenciados, foram feitas análises estatísticas descritivas e correlações de Pearson. Os atributos químicos foram analisados dentro do domínio da estatística espacial, com a confecção de semivariogramas e a avaliação da estrutura espacial.

Para avaliação dos modelos teóricos dos semivariogramas utilizou-se a validação cruzada, que se baseiam em menores valores da média do erro reduzido e valores da variância do erro reduzido mais próximos a um para indicar os modelos com melhores ajustes (GOOVAERTS, 1997). Adicionalmente utilizaram-se os valores do R^2 do semivariograma ajustado. Esse procedimento auxiliou na escolha entre os modelos teóricos mais bem ajustados pela avaliação da validação cruzada. Com os resultados dos semivariogramas, as variáveis foram interpoladas em toda a área fazendo-se uso do método da krigagem ordinária gerando mapas geoestatísticos dos atributos químicos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando os resultados da análise descritiva (Tabela 1) nota-se que os valores de média e mediana são próximos para todos os atributos químicos avaliados. Os coeficientes de assimetria e curtose do pH, Ca e Mg estão próximos de zero, o que caracteriza uma distribuição simétrica, em ambas profundidades estudadas. Distribuições próximas à normal resultam em melhores ajustes do semivariogramas (GOOVAERTS, 1997).

TABELA 1. Análise descritiva (média, valor mínimo, valor máximo e desvio padrão, coeficiente de variação, curtose e assimetria) dos atributos químicos.

Atributo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	CV	Assimetria	Curtose
Profundidade de 0 – 10 cm							
pH	4,910	4,900	4,000	5,940	7,393	0,100	0,053
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,114	0,096	0,008	0,513	84,038	1,616	3,009
Ca (cmol _c dm ⁻³)	2,674	2,613	0,861	4,802	27,106	0,182	0,314
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,933	0,921	0,318	1,760	29,959	0,446	0,117
Profundidade de 10 – 20 cm							
pH (cmol _c dm ⁻³)	4,652	4,600	3,800	5,700	7,480	0,443	0,314
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,188	0,150	0,008	0,629	79,851	0,987	0,117
Ca (cmol _c dm ⁻³)	1,958	1,862	0,775	3,631	30,948	0,385	-0,380
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,665	0,633	0,247	1,559	36,854	0,655	0,777

Segundo WEBSTER & OLIVER (2007), um coeficiente de assimetria dos dados entre os valores de 0 e 0,5 não indica a necessidade de transformação, um coeficiente entre 0,5 e 1,0 a transformação em raiz quadrada é a mais recomendável e um coeficiente maior que 1,0, se faz necessário a transformação logarítmica dos dados. Apenas o Al na profundidade de 0-10 cm apresentou coeficientes de assimetria e curtose distantes de zero caracterizando uma distribuição assimétrica dos dados, sendo utilizada sua transformação logarítmica nas análises geoestatísticas. A avaliação da variabilidade dos atributos, medida pelo coeficiente de variação (CV) foi baseada nos limites propostos por WARRICK & NIELSEN (1980), para classificação de atributos do solo, que consideram: variabilidade baixa (CV < 12 %); média (12% < CV < 60 %) e alta (CV > 60 %). Analisando os resultados de coeficientes de variação (CV) é possível observar que o pH foi o único a apresentar baixa variabilidade, destacando o Al que apresentou alta variabilidade. As demais variáveis apresentaram média variabilidade.

Os resultados das análises de Correlação de Pearson (Tabela 2) demonstram que alguns atributos químicos estudados apresentaram correlações significativas com os parâmetros geomorfológicos (altitude, fluxo acumulado do escoamento superficial e declividade). Isto indica que o relevo teve um papel importante na variabilidade dos atributos químicos. A altitude apresentou uma correlação positiva e significativos com pH e Ca na profundidade de 0-10 cm, em contraposição à correlação negativa e significativa do Al com a altitude. Com relação à declividade, correlações negativas são encontradas entre este parâmetro geomorfológico e o pH e Ca. Não foram encontradas correlações significativas entre o fluxo acumulado e os indicadores de acidez do solo avaliado.

TABELA 2. Análises de correlações de Pearson⁽¹⁾ das variáveis estudadas e dos parâmetros geomorfológicos

Parâmetro geomorfológico	Profundidade 0-10 cm				Profundidade 10-20 cm			
	pH	Al	Ca	Mg	pH	Al	Ca	Mg
Altitude	0,44**	-0,20*	0,24*	0,05	-0,10	0,00	0,23*	-0,02
Fluxo Acumulado	-0,15	0,09	-0,07	-0,02	0,09	0,09	-0,15	-0,06
Declividade	-0,34**	0,12	-0,22*	-0,08	0,00	-0,03	-0,04	0,00

⁽¹⁾ * significativo a 1% de probabilidade, ** significativo a 5 % de probabilidade.

Os resultados geoestatísticos (Tabela 3) mostram que o modelo que melhor se ajustou às variáveis estudadas na profundidade de 0-10 cm foi o exponencial enquanto que na profundidade 10-20 cm os modelos que melhor se ajustaram foram o esférico para pH e Mg e o gaussiano para Al e Ca. A análise do grau de dependência espacial dos atributos foi realizada segundo CAMBARDELLA et al. (1994) a partir da relação $C_0/(C_0+C_1)$, em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita menor ou igual 25 % do patamar, moderada entre 25 % e 75 %, e fraca quando for maior que 75 %.

A relação entre $C_0/(C_0 + C_1)$ demonstrou uma dependência espacial moderada para o pH em ambas profundidades estudadas, Al e Mg na profundidade de 0-10 cm e Ca na profundidade de 10-20 cm. O Al e o Mg na profundidade de 10 -20 cm e o Ca na profundidade de 0-10 cm apresentaram dependência espacial forte. Os elementos Al, Ca e Mg estudados apresentaram alcances semelhantes e menores que aqueles encontrados para o pH. A variável pH apresentou os maiores alcances sendo estes menores na profundidade 10-20 cm em relação a profundidade de 0-10 cm. O alcance informa até qual distância existe dependência espacial. Ao ultrapassá-la considera-se que existe independência estatística entre amostras.

TABELA 3. Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os atributos estudados e resultados da validação cruzada

Variável	Prof. (cm)	Modelo ⁽⁴⁾	Parâmetros ⁽¹⁾			Validação cruzada ⁽³⁾			
			C_0	$C_0 + C_1$	$C_0/(C_0 + C_1)$ ⁽²⁾	A	R ²	Variância	Média
pH	0 – 10	EXP	0,062	0,144	29,9	39,3	0,68	-0,002	1,157
	10 - 20	ESF	0,053	0,122	43,2	14,61	0,54	0,012	1,071
Al	0 – 10	EXP	0,217	0,357	60,2	10,95	0,54	-0,017	0,945
	10 - 20	GAUS	0,007	0,168	4,50	8,43	0,98	0,006	1,029
Ca	0 – 10	EXP	0,011	0,498	2,00	8,19	0,88	0,001	1,071
	10 - 20	GAUS	0,126	0,355	35,4	7,89	0,93	0,001	0,930
Mg	0 – 10	EXP	0,031	0,075	41,2	8,37	0,69	0,003	0,997
	10 - 20	ESF	0,005	0,061	8,00	9,84	0,90	0,009	1,075

⁽¹⁾ C_0 = efeito pepita; C_0+C_1 = patamar; a = alcance; ⁽²⁾ Grau de dependência espacial em percentagem, sendo classificado em: <25% = forte; entre 25 e 75 % = moderada e > 75% = fraca (Cambardella et al, 1994); ⁽³⁾ Validação cruzada feita com a média do erro reduzido e a variância do erro reduzido e valores dos coeficiente determinação dos valores medidos versus os valores preditos pela krigagem ⁽⁴⁾ EXP=exponencial, ESF=esférico e GAUS=gaussiano.

Observa-se na Figura 2 que os padrões de distribuição espacial dos atributos químicos avaliados foram diferentes. Pode-se observar a tendência geral de maiores valores de pH ocorrerem em maiores altitudes, onde são encontrados menores teores de Al e maiores teores de Ca. Nas menores altitudes ocorreram os maiores teores de Al concomitantemente aos menores teores de Ca. O Mg não apresentou uma tendência clara em função do relevo, destacando os maiores teores onde o fluxo acumulado do escoamento superficial é maior. De acordo com a classificação proposta por PREZOTTI et al. (2007) para solos do Espírito Santo, os teores de cálcio e magnésio no solo variaram de baixo ($< 1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $< 0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente) a alto ($> 4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $< 1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente), já os teores encontrados para alumínio variam de baixo ($< 0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) a médio ($0,3-1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e a acidez do solo, com base no pH em água, variou de média (5,0 – 5,9) a elevada ($< 5,0$).

Os atributos químicos avaliados foram influenciados pelo relevo, mesmo em um segmento de 0,6 ha de área, como observado pelos resultados da correlação dos atributos químicos avaliados e parâmetros geomorfológicos. O entendimento das relações entre o relevo torna-se importantes para o manejo sendo tal entendimento eficientemente alcançado com auxílio da geoestatística. Locais onde o relevo favorece o fluxo de água em superfície, ou seja, regiões em menores altitudes, maiores declividades e fluxo acumulado do escoamento superficial mais elevado, são observados menores teores de Ca e Mg. Nesses locais o maior carregamento desses elementos e/ou deles na forma de partículas não solubilizadas de calcários, pode ocorrer uma vez que a calagem não é incorporada ao solo. Ademais, a perda de partículas mais finas com tamanho das frações argila, assim como a matéria orgânica mais solúvel durante o escoamento superficial podem favorecer o transporte de nutrientes (WALTON et al. 2000).

Nos locais onde os teores de Ca e Mg são menores, observa-se um menor valor de pH assim como maiores teores de Al. Dessa forma a dinâmica da água em superfície e maior fluxo acumulado condiciona a maior movimentação do Ca e Mg, cátions básicos mais móveis no solo, resultando na alteração do pH e predominância do Al, menos móvel e que condiciona maior acidez ao solo. A mobilidade do nutriente estudado também afeta a sua distribuição no relevo conforme observado por MELLO et al. (2006), que encontraram maiores teores de Ca, Mg e K nas locais de menor altitude no sopé do relevo, e maiores valores de P em maiores altitudes, que segundo o autor devem-se à maior mobilidade das bases em comparação ao P. No presente trabalho o segmento da paisagem avaliado não contempla o sopé do relevo onde ocorre a deposição de materiais.

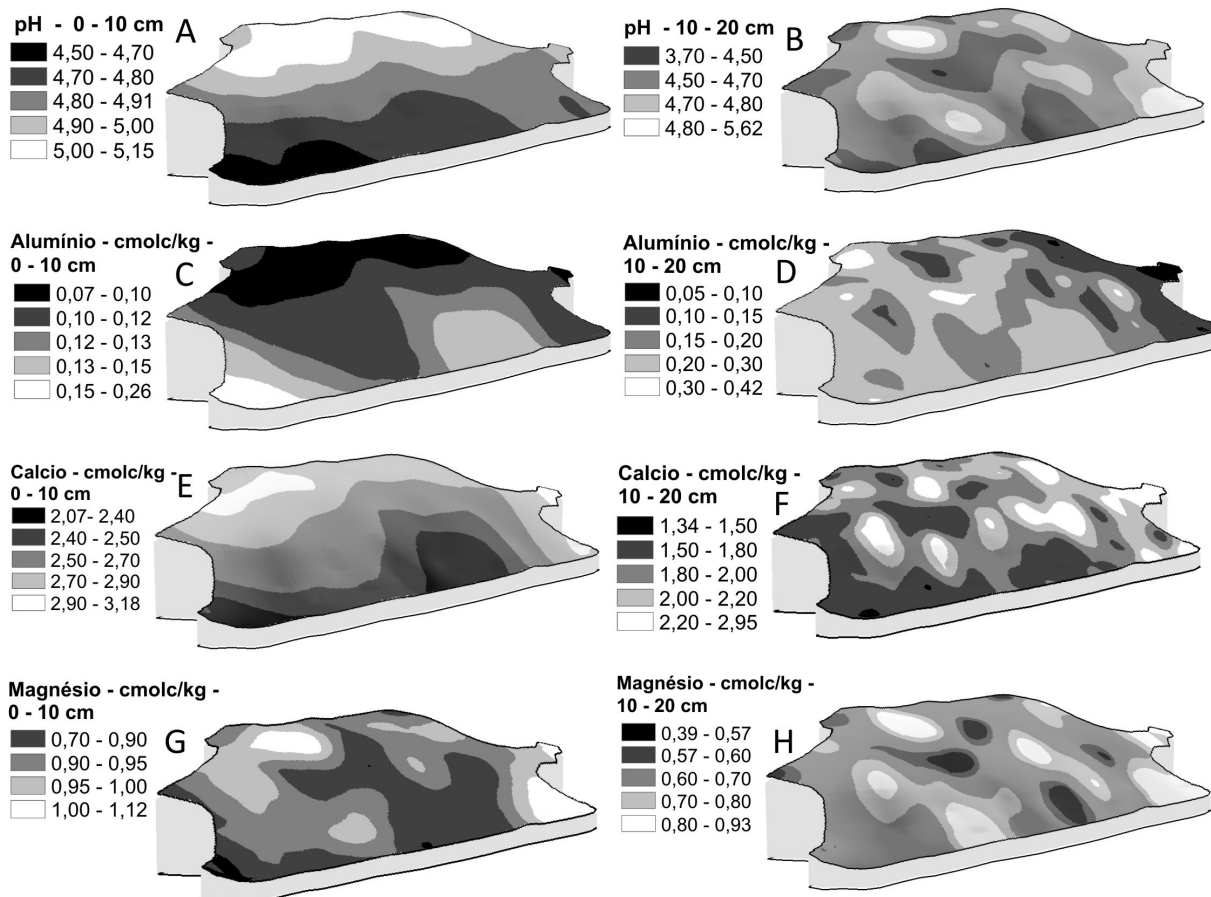


FIGURA 2. Distribuição espacial dos valores de pH na camada de 0-10 cm (A), pH na de 10-20 cm (B), teores de Al na camada 0-10 cm (C) e na camada de 10-20 cm (D), teores de Ca na camada de 0-10 cm (E) e na camada de 10-20 cm (F), teores de Al na camada 0-10 cm (G) na camada de 10-20 cm (H). Os valores foram interpolados por meio da krigagem ordinária.

O manejo da calagem na área estudada deve ser diferenciado nas diferentes zonas com teores homogêneos de Ca, Mg e Al para otimização na aplicação da calagem e melhor desempenho da cultura, resultando em um manejo sustentável do solo aumentando a eficiência de práticas agrônômicas. Isto indica que a calagem efetuada na área está tendo um melhor resultado nos locais em maiores altitudes e em menor declividade na profundidade de 0-10 cm, devido ao menor carreamento do calcário aplicado que foram mais efetivos no aumento do pH e neutralização do Al nesses locais de maiores altitudes.

CONCLUSÃO

Os atributos do solo relacionados à acidez variaram na área estudada de 0,6 ha. Essa variação foi espacialmente estruturada possibilitando a confecção de mapas geoestatísticos da distribuição dos nutrientes na área. Pequenas variações nas formas de relevo condicionam variabilidade espacial de indicadores de acidez do solo e de forma geral em maiores altitudes e menores declividades os valores de

pH e de Ca são maiores e em, contrapartida, os teores de Al são mais baixos indicando que nesses locais o carreamento de Ca e Mg aplicados via calagem é menor.

AGRADECIMENTOS

CAPES, pelo auxílio financeiro junto ao Programa Nacional de Pós Doutorado/ PNPd.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. **Os domínios morfoclimáticos na América do Sul**: primeira aproximação. *Geomorfologia*, v.52, p. 17-28, 1977.

BALDOTTO, M. A.; BRAUN, L. V.; PARTELLI, F. L.; AMARAL, J. A. T.; CATEN, A.; AMARAL, J. F. T. Avaliação Nutricional do Cafeeiro Conilon em Alegre pelo Método DRIS. In: **Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, 1999, MARÍLIA-SP. 26 ° Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras - Trabalhos Apresentados. Marília - SP: Consórcio Brasileiro do Café, 2000. p. 226-227.

BLASZCZYNSKI, J. S. Landform characterization with geographic information Systems. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.63, p.183-191, 1997.

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 soils properties in central Iowa soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* v.58, p.1501-1511, 1994.

BURAK, D.L.; PASSOS, R.R.; SARNAGLIA, S.A. Utilização de análise multivariada na avaliação de parâmetros geomorfológicos e atributos físicos do solo. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, p.1-8, 2010.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

ESRI. ArcGIS, GIS for Windows. **Environmental Systems Research Institute**. v 9.0. Redlands, CA., USA. 2001.

GOOVAERTS, P., **Geostatistics for Natural Resources Evaluation**. Oxford Univ. Press, New York, NY. 1997. 483p.

MATIELLO, J. B. **Café conilon: como plantar, tratar, colher, preparar e vender**. Rio de Janeiro: MM Produções Gráficas, 1998. 162 p.

MELLO, G.; BUENO, C.L.B.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.294–305, 2006.

PREZOTTI, L.C; GOMES, J.A.; DADALTO, G.G.; OLIVEIRA, J.A. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5a aproximação. Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

SOUZA, L.S.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.3, p.367-372, 1997.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.937-944, 2004.

WALTON, R.S.; VOLKER, R.E.; BRISTOW, K.L.; SMETTEM, K.R.J. Experimental examination of solute transport by surface runoff from low-angle slopes. **Journal of Hydrology, Amsterdam**, v.233, p.19-36, 2000.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York : Academic, 1980.

WEBSTER, R., OLIVER M.A. **Geostatistics for Environmental Scientists**. Second Edition. Wiley, Chichester, 325p. 2007.