

MAPEAMENTO FUZZY DA SB, CTC E V% EM SOLO CULTIVADO COM CAFÉ ARÁBICA

Samuel de Assis Silva¹, Gustavo Soares de Souza¹, Moisés Zucolloto¹, Julião Soares de Souza Lima²

¹Mestrando Produção Vegetal/UFES, Alegre – ES, e-mail: samuel-assis@hotmail.com

²Prof. Associado/UFES/Departamento de Engenharia Rural, Alegre - ES, e-mail: limajss@yahoo.com.br

Resumo- O objetivo desse experimento foi utilizar a lógica fuzzy no mapeamento da soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e da saturação por bases (V%) em uma área cultivada com café arábica variedade catucaí, considerando a variabilidade espacial. As coletas de solo foram realizadas em uma malha com 50 pontos amostrais na projeção da copa das plantas. Os dados foram submetidos a uma análise descritiva e exploratória. Utilizou-se um sistema de classificação fuzzy na integração dos valores dos atributos. Em seguida procedeu-se a análise geoestatística, para quantificar o grau de dependência espacial das possibilidades dos atributos. Com base nos atributos avaliados, a área apresenta baixa possibilidade de desenvolvimento e rendimento das culturas, uma vez que esses atributos apresentaram baixa possibilidade de disponibilidade.

Palavras-chave: Geoestatística; lógica fuzzy, fertilidade do solo

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias

Introdução

Através dos avanços tecnológicos na agropecuária, especialista tem notado, cada vez mais, que os diversos setores da agricultura não podem ser tratados de maneira homogênea no que diz respeito à medição de variáveis nas áreas agrícolas. Neste sentido, as avaliações devem ser diferenciadas elevando a eficiência na aplicação e aproveitamento de insumos, podendo assim melhorar a produtividade, reduzir o custo de produção e o impacto ambiental causado pelo excesso utilizado (FARIAS, 2003).

A lógica fuzzy tem por objetivo modelar, de modo aproximado, o raciocínio humano, visando manipular informações em um ambiente de incerteza e imprecisão, fornecendo uma resposta aproximada para uma questão baseada em um conhecimento inexato, incompleto ou não totalmente confiável. Um elemento pode pertencer, com certo grau, denominado grau de pertinência a um determinado conjunto *fuzzy*. O elemento de um conjunto fuzzy é representado por $MF_A(z)_i/z_i$, que denota que o elemento z_i pertence ao conjunto fuzzy com grau $MF_A(z)_i$ (BÖNISCH et al. 2004).

A modelagem fuzzy tem sido extensamente utilizada, por basear-se na caracterização de classes que não possuem, ou não podem definir, limites rígidos entre si (BURROUGH & McDONNELL, 1998), sendo indicada para lidar

com ambigüidades, abstrações e ambivalências em modelos matemáticos complexos que representam limites difusos comuns em processos naturais (BÖNISCH et al. 2004).

O objetivo desse experimento foi utilizar a lógica fuzzy no mapeamento da soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e da saturação por bases (V%) em uma área cultivada com café arábica variedade catucaí, considerando a variabilidade espacial.

Metodologia

O estudo foi realizado no município de Reduto - MG, em uma área cultivada com *Coffea arabica* L. variedade catucaí, no espaçamento de 2,0 x 0,60m, localizada a 20° 45' 45,4" de latitude S e 41° 32' 9,75" de longitude W. O solo é um Latossolo Vermelho Amarelo húmico conforme classificação apresentada pela Embrapa (1999).

O solo foi amostrado na profundidade de 0 – 0,2 m e na projeção das copas de três plantas, totalizando 50 pontos georreferenciados.

Os atributos avaliados foram a soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por bases (V%).

Os valores encontrados foram analisados por meio das medidas de posição e dispersão na análise da estatística descritiva e exploratória. Para a verificação da presença de candidatos a

valores discrepantes “outliers” foram analisados os quartis superiores e inferiores e a normalidade testada pelo teste Shapiro-Wilk’s ($p < 0,05$) utilizando o software Statistica.

Os dados foram submetidos a uma transformação, através da lógica fuzzy. Antes expressou-se cada atributo de acordo com as classes de fertilidade.

Tabela 1. Critérios para determinação das classes de acidez⁽¹⁾ do solo.

Atributo	Classes de Fertilidade		
	Baixo	Médio	Alto
SB	< 1,80	1,81 – 3,60	> 3,61
CTC	< 4,30	4,31 – 8,60	> 8,61
V (%)	< 40,0	40,10 - 60,00	> 60,10

⁽¹⁾ Classes definidas segundo Ribeiro et al. (1999); SB e CTC em $\text{cmol}^c \text{dm}^{-3}$

Utilizou-se, na representações desses atributos utilizando o mapeamento fuzzy, a função de linear, conforme:

$$\begin{aligned} MF_A(Z) &= 0 && \text{se } z < p \\ MF_A(Z) &= (1/\alpha)/z-p && \text{se } p < z < q \\ MF_A(Z) &= 1 && \text{se } z = q \end{aligned}$$

em que: $\alpha = q-p$ e p, q e r são valores dos limites de classe de dois conjuntos fuzzy pertencentes a um conjunto A.

A geoestatística foi utilizada para verificar a existência e, neste caso, quantificar o grau de dependência espacial, a partir do ajuste de funções teóricas aos modelos de semivariogramas experimentais, com base na pressuposição de estacionaridade da hipótese intrínseca (Vieira, 1983) e conforme equação:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

em que: $N(h)$ é o número de pares experimentais de observações $Z(x_i), Z(x_i+h)$, separados por um vetor h .

A estimativa de valores de pertinência de SB, CTC e V% em locais não amostrados foi realizada através da krigagem ordinária.

A análise geoestatística, bem como as interpolações, foi realizada no software GS⁺, sendo os mapas confeccionados no software Surfer.

Resultados

Na Tabela 2, estão apresentados os resultados da análise descritiva da SB, CTC e V% após a retirada dos valores discrepantes (“outliers”).

Tabela 2. Estatística descritiva da SB, CTC e V% em área sob cultivo de café arábica.

Estatísticas	Atributos		
	SB	CTC	V%
Média	1.42	6.60	20.69
Mediana	1.31	6.49	20.40
Mínimo	0.67	5.17	9.90
Máximo	2.72	7.83	31.60
CV%	35.61	10.20	26.93
s	0.50	0.67	5.57
C _s	0.73	0.15	0.11
C _k	-0.07	-0.36	-0.85
w	*	ns	ns

SB e CTC ($\text{cmol}^c \text{dm}^{-3}$); s - desvio-padrão; CV - coeficiente de variação; C_s - Coeficiente de assimetria; C_k - coeficiente de curtose; ns distribuição normal pelo teste Shapiro-Wilk’s (w) a 5% de probabilidade; * distribuição não normal pelo teste Shapiro-Wilk’s (w) a 5% de probabilidade.

Na Tabela 3, encontram-se os resultados da análise geoestatística apresentando os modelos e parâmetros dos semivariogramas médios dos atributos SB, CTC e V%.

Tabela 3. Modelos e parâmetros dos semivariogramas médios escalonados das variáveis SB, CTC e V%.

Parâmetros	Atributos		
	SB	CTC	V%
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico
C ₀	0.353	0.074	0.289
C ₀ +C	1.030	0.778	1.000
IDE	66	90	72
A ₀	9	16	16
R ²	47	74	40

IDE – índice de dependência espacial

Na Figura 1 é apresentado a distribuição espacial das possibilidades para o atributo SB na área em estudo.

Discussão

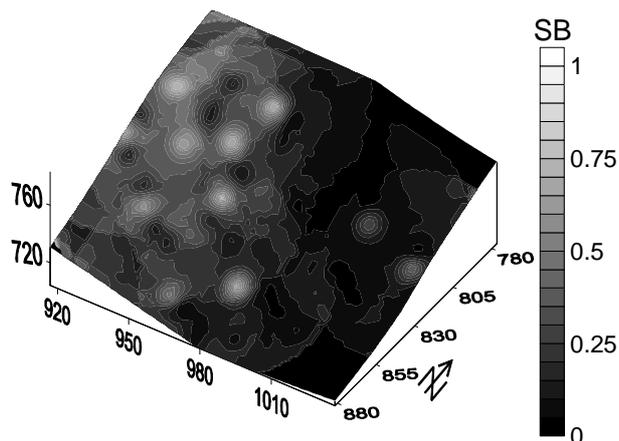


Figura 1 – Mapa de possibilidades para a SB.

Na Figura 2 é apresentada a distribuição espacial das possibilidades para o atributo CTC na área em estudo.

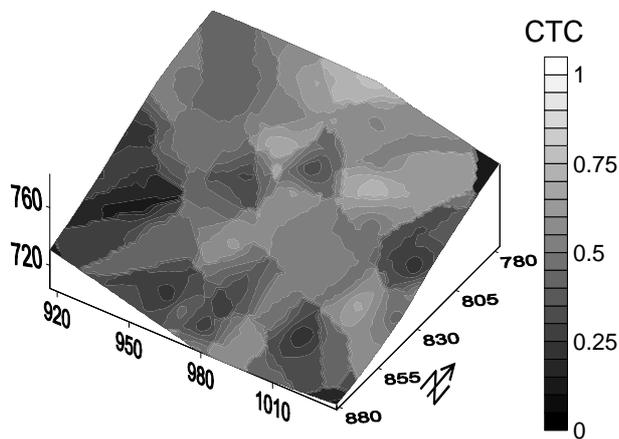


Figura 2 – Mapa de possibilidades para a CTC.

Na Figura 3 é apresentada a distribuição espacial das possibilidades para o atributo V% na área em estudo.

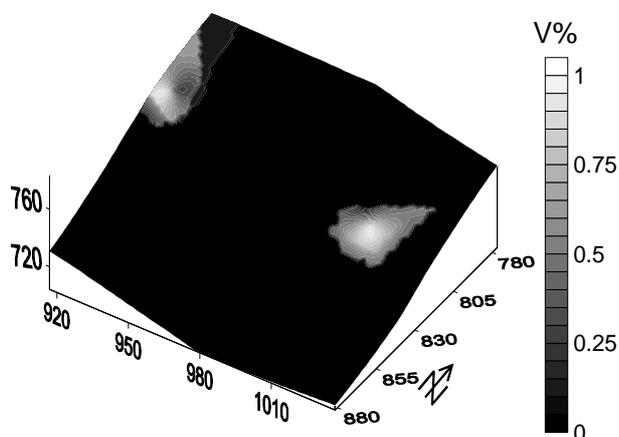


Figura 2 – Mapa de possibilidades para a V%.

Os atributos apresentaram distribuição de frequência com média e mediana semelhantes (Tabela 2), portanto, considerados como simétrica, com exceção da SB onde o coeficiente de assimetria foi distante de zero o que contribui para uma distribuição não normal analisada pelo teste de Shapiro-Wilk's a 5% de probabilidade. Os demais atributos seguem a distribuição normal.

Em relação à variabilidade dos dados, medida pelo CV (%), os maiores valores de coeficientes foram encontrados para SB e V% e, em geral, foram classificados como médios para todas as variáveis, com base nos limites do CV propostos por Warrick & Nielsen (1980), para classificação de variáveis do solo ($CV < 12\%$), ($12\% < CV < 60\%$) e ($CV > 60\%$) para baixa, média e alta variabilidade, respectivamente. Segundo Landim (2003), o coeficiente de variação fornece uma medida relativa da precisão do experimento, sendo bastante útil na avaliação da dispersão dos dados.

Após aplicação da função de classificação fuzzy, os dados foram submetidos à análise geoestatística (Tabela 3), onde se observa que as funções pertinência para todos os atributos apresentaram de dependência espacial com ajuste do modelo esférico para todos. O modelo esférico é o mais encontrado nas pesquisas que envolvem atributos de solo e de planta (SOUZA et al., 2004; GREGO & VIEIRA, 2005).

Os atributos SB e V% apresentaram moderada dependência espacial, enquanto que a CTC apresentou dependência forte de acordo com os limites propostos por Zimback (2001), em que a dependência espacial para valores $\leq 25\%$ é considerada fraca; entre 25% e 75%, moderada e $\geq 75\%$ dependência forte.

Através dos mapas de possibilidade para os atributos avaliados (Figuras 1, 2 e 3), é possível constatar baixa fertilidade da área em estudo.

A possibilidade de disponibilidade de SB cresce no sentido leste-oeste na área em estudo, no entanto seus valores são próximos de zero, o que indica baixa disponibilidade de bases na área.

Valores de possibilidade de CTC se concentram entre 0,25 e 0,75 na área, caracterizando possibilidades medianas de fertilidade quando analisada apenas por esse atributo. No entanto se analisarmos a saturação do solo por bases, a fertilidade é baixa, uma vez que a quase totalidade da área apresenta valores de pertinência iguais a zero. Isso indica que a maior parte da CTC está sendo ocupada por H+Al, o que é um impedimento ao bom desenvolvimento e rendimento das culturas.

Esses resultados sugerem que as práticas de manejo devem considerar essa distribuição para que a correção das deficiências não seja falha, uma vez que, por exemplo, apesar de a quase

totalidade da área apresentar valores de possibilidade para a V%, existem duas micro-regiões com possibilidades elevadas, onde a necessidade de reposição seria menor.

Conclusão

As possibilidades dos atributos avaliados apresentaram dependência espacial na profundidade estudada, com IDE variando de mediano a forte.

Com base nos atributos avaliados, a área apresenta baixa possibilidade de desenvolvimento e rendimento das culturas, uma vez que esses atributos apresentaram baixa possibilidade de disponibilidade.

Referências

- BURROUGH, P.A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographic information systems**. New York, Oxford University Press, 1998. 333p.

- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, Rio de Janeiro, 1999, 412p.

- GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.2, p.169-177, 2005.

- LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. ed. São Paulo. UNESP, 2003. 253 p.

- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria – RS, v.34, n.6, nov-dez, 2004.

- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Application of soil physics**. New York. Academic Press, 1980. 385 p.

- ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

- BÖNISCH, S.; LOPES ASSAD, M. L.; CÂMARA, G. MONTEIRO, A. M. V. Representação e propagação de incertezas em dados de solos, 1-Atributos categóricos, **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa-MG, v,28, p,21-32, 2004.

- FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J.C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão: Mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal,SP, v. 25, n. 2, 2003.