

ESPACIALIZAÇÃO DO PH DO SOLO ATRAVÉS DO USO DE TÉCNICAS GEOESTATÍSTICAS

(1) Thybério Luna Freire Cabral de VASCONCELO (2); Eugênio Pacelli Fernandes LEITE

(1) Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento – CEFETPB, Rua dos Ipês, 195, Bancários, CEP: 58052-030, Tel: (83) 3235-2070, e-mail: thyberio@gmail.com

(2) Coordenação de Meio Ambiente – CEFETPB, e-mail: eupaf@cefetpb.edu.br

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo proceder à espacialização do pH do solo à profundidade de 0-20 cm, utilizando técnicas geoestatísticas. A área do estudo é um lote destinado ao plantio de cana-de-açúcar, localizado na Fazenda Imbiribeira, Santa Rita-PB. As etapas do trabalho envolveram a coleta de amostras de solo, análises químicas, análise exploratória dos dados, criação, ajuste e validação do semivariograma experimental, krigagem ordinária e criação do mapa temático do atributo em estudo. Em etapa inicial, foram coletadas amostras de solo em malha espaçada de aproximadamente 74 m x 87 m, perfazendo um total de 56 amostras. As análises exploratórias dos dados procederam-se, inicialmente, como estatísticas descritivas e espaciais, bem como pela identificação de valores atípicos. As análises geoestatísticas corresponderam à modelagem do semivariograma empírico, ao ajuste e validação do semivariograma experimental e à interpolação espacial por krigagem ordinária. Posteriormente, procedeu-se à criação do mapa temático do atributo, estabelecendo-se então faixas de pH do solo. Como resultados, observou-se que a área apresentou teores de acidez baixos, médios e altos, segundo valores de referência considerados, mostrando a existência de considerável variação do pH solo, no lote em estudo, que é aparentemente homogêneo.

Palavras-Chave: geoestatística, agricultura, pH do solo, geoprocessamento.

1. INTRODUÇÃO

Manter-se competitivo no ramo do agronegócio é questão de sobrevivência para a empresa rural, tendo em vista a cada vez mais ampla e livre concorrência de mercados, característica do mundo globalizado. Uma das alternativas, para tanto, é investir em tecnologias que auxiliem o produtor no gerenciamento da empresa rural, com vistas a otimizar os processos produtivos. Neste sentido, o uso de técnicas de interpolação espacial, a exemplo da geoestatística, tem crescido à medida que possibilita o planejamento racional de práticas agrícolas relacionadas, em especial, ao solo, com a melhoria da produção das culturas.

Para a utilização de técnicas geoestatísticas, necessita-se, inicialmente, obter-se informações da área em estudo. Os atributos a serem analisados devem ser conhecidos e localizados através de um processo de amostragem dentro de uma região geográfica definida. Esse procedimento é viabilizado pela implantação de um sistema de coordenadas locais ou geográficas, onde cada característica do solo estudada terá suas informações quantitativas ou qualitativas determinadas. É assim, por exemplo, com o relevo da área, a granulometria, o pH, a salinidade e o teor de matéria orgânica do solo, que são atributos em estudo, sempre associados a uma posição no espaço.

Este trabalho descreve uma metodologia envolvendo as etapas e resultados de análises geoestatísticas para determinação dos valores do pH do solo, como parte de um projeto de geoprocessamento desenvolvido na Fazenda Imbiribeira, no Município de Santa Rita-PB. O trabalho representa uma forma de subsidiar a administração da fazenda, propiciando condições para otimização dos processos produtivos da propriedade agrícola e, ao mesmo tempo, apresenta um estudo da variabilidade espacial do pH do solo, em um lote de cultivo de cana-de-açúcar.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A função Semivariograma

O conhecimento contínuo e local de fatores de produção, na atividade agrícola, possibilita o manejo adequado da cultura, tendo em vista a otimização do processo produtivo. Assim, teores de macro e micronutrientes do solo, por exemplo, podem ser monitorados, através de análises geoestatísticas, de tal forma a orientar a execução de práticas culturais, na propriedade rural.

A teoria fundamental da geoestatística é a esperança de que, na média, as amostras próximas no tempo e espaço sejam mais similares entre si do que as que estiverem distantes (Isaaks e Srivastava, 1989). Os princípios do método advêm da Teoria das Variáveis Regionalizadas proposta por Matheron (1963, 1971).

As análises geoestatísticas, em geral, compreendem as seguintes etapas: análise exploratória dos dados, modelagem do semivariograma experimental, ajuste de um modelo teórico ao semivariograma experimental e interpolação por Krigagem.

As análises exploratórias dos dados, nos procedimentos que envolvem geoestatística, têm o intuito de cumprir com exigências do estudo da continuidade espacial, em especial no tange à simetria da distribuição de frequência, quando a simetria é desejável, porém, a normalidade não é exigida (Cressie, 1991). A partir dessas análises é possível, por exemplo, proceder a transformações dos valores observados e a remoção de tendência, antes das análises geoestatísticas.

O semivariograma é uma função matemática, definida para representar o nível de dependência entre duas variáveis regionalizadas. Ele é usado para modelar valores correlacionados no espaço ou no tempo e é pré-requisito para os métodos de interpolação de Krigagem (Carvalho, 2002).

A dependência espacial entre um atributo Z , de duas variáveis regionalizadas, discretizadas em posições X_i , separadas por uma distância h , (X_i e X_{i+h}), é representado pelo semivariograma, estimado pela seguinte equação:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \quad [\text{Eq. 1}]$$

onde $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x)$, $Z(x+h)$, separado pela distância h , se a variável for escalar. O gráfico de $\hat{\gamma}(h)$ versus valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é uma função do vetor h , e, portanto, depende da magnitude e direção de h (Vieira, 2002). Um gráfico semivariograma está ilustrado na Figura 1.

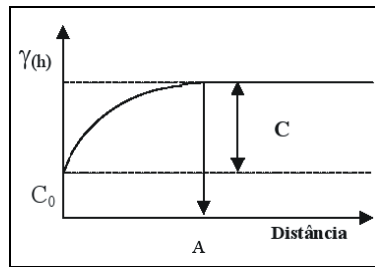


Figura 1 – Semivariograma típico.

Na Figura anterior $\gamma(h)$ é a semivariância, C_0 - efeito pepita, C - patamar (parcial); $C+C_0$ - patamar total e A - Alcance.

Para conhecer maiores detalhes sobre cada componente do semivariograma especificados na figura anterior, o leitor pode recorrer à literatura, a exemplo de Isaaks e Srivastava (1989). É importante, todavia, perceber que tais parâmetros são característicos da dependência espacial existente entre as amostras.

2.2. Modelos teóricos de semivariogramas

Vários tipos de equações de modelos teóricos, com curvas para ajuste ao semivariograma estão disponíveis na literatura, dentre os quais o Esférico, o Exponencial e o Gaussiano. Os modelos teóricos, quando ajustados aos semivariogramas experimentais, permitem visualizar a natureza da variação espacial das variáveis estudadas, além de serem necessários para a interpolação espacial, por Krigagem.

Os modelos supracitados têm equações conforme abaixo (Carvalho et al., 2002):

$$\begin{aligned} \text{a) Esférico} \quad \gamma(h) &= C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right]; & 0 < h < a & \quad e \\ \gamma(h) &= C_0 + C_1; & h &\geq a \end{aligned} \quad [\text{Eq. 2}]$$

$$\text{b) Exponencial} \quad \gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp \left(-3 \frac{h}{a} \right) \right]; \quad 0 < h < d \quad [\text{Eq. 3}]$$

$$\text{c) Gaussiano} \quad \gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp \left(-3 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right) \right]; \quad 0 < h < d \quad [\text{Eq. 4}]$$

onde C_0 é o efeito pepita, $C_0 + C_1$ é o patamar, a é o alcance e d é a máxima distância na qual o semivariograma é definido.

Além dos modelos teóricos apresentados, existem outros com curvas de formas variadas, com que se busca atender a diferentes estruturas do semivariograma experimental. Uma diversidade de modelos teóricos de semivariogramas é apresentada por Ribeiro Júnior e Diggle (2001).

Nos procedimentos de ajuste dos modelos teóricos, há necessidade de se fornecer valores de entrada, correspondentes ao efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (a). Os procedimentos de ajuste das curvas são, em geral, realizados utilizando-se Mínimos Quadrados ou Máxima Verossimilhança.

2.3. Interpolação espacial por Krigagem

A Krigagem constitui-se em técnicas de regressão linear para minimizar uma variância de estimação, a partir de um modelo definido anteriormente, o semivariograma. São métodos de interpolação semelhantes a media móvel ponderada, contudo, os pesos atribuídos dependem do semivariograma (Detusch et al., 1998). Os tipos de krigagens mais utilizadas são a Krigagem simples, a Krigagem ordinária e a Krigagem universal.

A Krigagem ordinária tem como princípio que a média $m(x)$ é constante, porém desconhecida. Contudo, a técnica admite a existência de flutuações locais de $m(Z)$. O estimador de Krigagem ordinária é:

$$\hat{Z}(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad [\text{Eq. 5}]$$

$$\text{em que } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

onde $\hat{Z}(x)$ é o valor do atributo que se deseja estimar para a posição x_i e λ são ponderações positivas que variam de conformidade com a distância e os valores verificados para cada posição x_i , considerada.

A equação ajustada para o semivariograma experimental é então utilizada, na determinação dos valores de λ , em procedimentos não abordados no presente trabalho, mas que podem ser verificados na literatura específica, por exemplo, em Farias et al., (2003). A Krigagem ordinária é um procedimento bastante utilizado e é considerado de grande importância na modelagem de fenômenos naturais (Druck et al., 2004).

2.4. Critérios para seleção de modelos de semivariogramas a serem utilizados na Krigagem

Outra etapa das análises geoestatísticas, consta da seleção do modelo, que se julga satisfatório para proceder à interpolação, após o procedimento de ajuste. Além da apreciação visual do ajuste da curva sobre as semivariâncias, existem índices e procedimentos que se constituem em critérios que possibilitam uma avaliação sem a subjetividade observada na avaliação visual. É o caso do Critério de Informação de Akaike (AIC – *Akaike Information Criterion*) e da Validação Cruzada.

O AIC (Akaike, 1994) foi estabelecido a partir da distância de Kulback e Leibler (1951), que corresponde a uma medida da discrepância entre as curvas de um modelo verdadeiro e de um modelo aproximado. A validação cruzada é uma técnica para avaliação do ajuste de um modelo teórico que possibilita comparar valores estimados com os valores observados. A utilização do procedimento de validação cruzada em análises geoestatísticas é bastante comum. Na forma mais tradicional a validação cruzada consta da retirada de um ponto de dados por vez, cujo valor passa a ser estimado pelo processo de interpolação, utilizando as demais observações.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

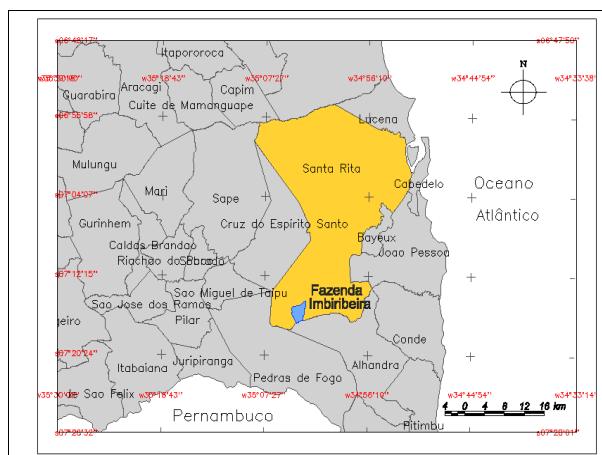
3.1. Área de estudo

A Fazenda Imbiribeira está localizada entre as longitudes 35°02'55" W e 35°04'35" W e latitudes 07°14'45" S e 07°17'10" S, no município de Santa Rita, na Microrregião de João Pessoa, Mesorregião da Zona da Mata paraibana, Estado da Paraíba. O município está inserido na unidade geoambiental denominada Tabuleiros Costeiros, que acompanha o litoral de todo o Nordeste.

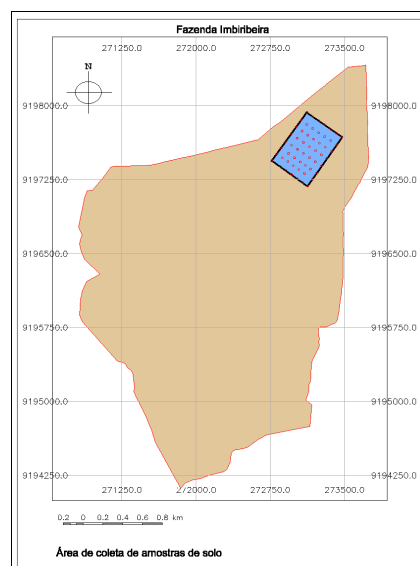
Na área de abrangência dos Baixos Tabuleiros Costeiros, os solos apresentam-se predominantemente dos tipos Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, Argissolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Flúvico e Neossolo Quartzarênico distrófico (Carvalho, 1982; Sassi et al. 1997, apud Leite, 2005).

O município de Santa Rita atualmente é o segundo maior produtor de cana-de-açúcar do estado e o maior produtor de abacaxi, culturas de maior expressão na agricultura local. O cultivo da cana-de-açúcar se dá sob forma extensiva, hora mecanizada, hora semi-mecanizada e, ainda, de forma manual, dependendo das condições de relevo e do poder aquisitivo dos produtores. Grande parte dos canaviais de Santa Rita pertence às usinas instaladas no município e em municípios circunvizinhos.

A área amostral, na Fazenda Imbiribeira, corresponde a um lote de plantio de cana-de-açúcar. A Figura 2 traz ilustradas as áreas da Fazenda Imbiribeira, no município de Santa Rita-PB (Figura 2a) e da área amostral (Figura 2b).



(a)



(b)

Figura 2 – Localização da Fazenda Imbiribeira (a), no município de Santa Rita-PB e área amostral (b).

3.2. Coleta de amostras de solo para espacialização do pH

Foram coletadas 56 amostras de solo de pontos localizados numa área da fazenda com 26,85 ha que se encontrava em pousio (Figura 1 b). As amostras foram georreferenciadas com o GPS GTR-1, com de tempo estação de 30 segundos por ponto.

Como forma de manter um espaçamento uniforme entre pontos de coleta, foi estabelecida uma malha com espaçamento aproximado de 74 m x 87 m. Tendo em vista a utilização do procedimento de amostras irregularmente espaçadas, a manutenção do espaçamento planejado inicialmente para a malha não se tornou imprescindível.

As amostras foram coletadas nas profundidades de 0 a 20 cm, de 20 a 40 cm e de 40 a 60 cm. No presente trabalho estão os resultados da realização das análises geoestatísticas para a profundidade de 0 – 20 cm.

Para a interpretação dos resultados, foram adotados os parâmetros do Laboratório de Análises Agrícolas LTDA – LAGRI, Recife-PE, que utiliza a mesma metodologia da EMBRAPA (Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetros de interpretação dos valores de pH da LAGRI.

Interpretação	pH (ppm)
Alta Acidez	< 5
Média Acidez	5 - 5,7
Baixa Acidez	> 5,8

Fonte: Laboratório de Análises Agrícolas LTDA – LAGRI.

Os pontos de coleta georreferenciados e os valores de pH foram importados para o sistema de informação geográfica SPRING 4.2, onde se processaram as análises geoestatísticas. A interpolação espacial foi realizada utilizando a Krigagem ordinária. Com a matriz de valores, na forma de grade vetorial, foi gerado um mapa temático com faixas de valores de pH, ao longo de todo o lote em estudo, como subsídio à otimização da aplicação de calcário, por ocasião da correção da acidez do solo.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Análises exploratórias dos dados

Os pontos amostrais foram inseridos no SPRING, através da criação de um modelo de dados categoria MNT. Este modelo permitiu que os valores do pH pudessem ser explorados pelas ferramentas de geoestatística constante no SIG em uso, com vistas ao processo de interpolação espacial.

A Figura 3 ilustra a distribuição espacial dos valores do pH do solo nos pontos de coleta, à profundidade de 0 a 20cm.

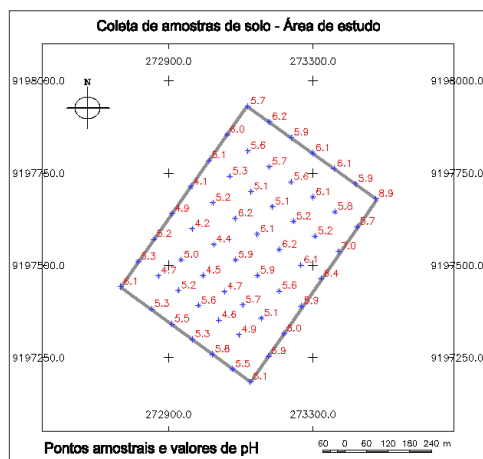


Figura 3 – Valores do pH do solo nos pontos amostrais, à profundidade de 0 – 20 cm.

De acordo com o que se observa na figura anterior, os valores verificados para o pH, no lote em estudo, apresentaram valor máximo e mínimo de 4,10 a 8,90, respectivamente. Este último valor mostrou-se atípico, uma vez que se constituiu em observação fora de padrão (*outlier*), conforme se observa no gráfico boxplot abaixo (Figura 4).

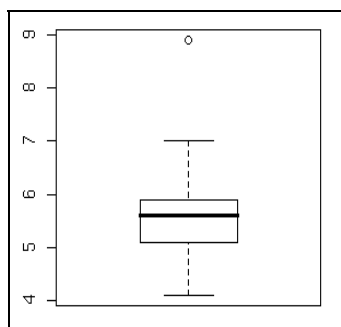


Figura 4 – Gráfico boxplot dos valores do pH com presença de valor fora de padrão, correspondendo a 8,90.

Na Figura 5, observando-se o histograma da distribuição de frequências do pH, percebe-se que o mesmo apresenta-se com simetria. Porém, identifica-se, também, na referida figura, a exemplo do que foi citado anteriormente, a amostra com valor bastante diferenciando das demais, de 8,90. A amostra localiza-se no vértice mais ao leste da área amostral (Figura 2).

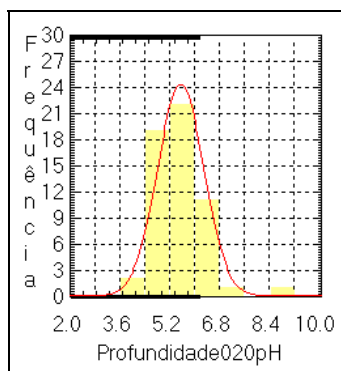


Figura 5 – Histograma de frequência dos valores das amostras de pH.

A existência de dados discrepantes ou *outliers* geralmente é atribuída a erros de mensuração, mas no caso, pode, por exemplo, ter sido resultado da acumulação de calcário em aplicações de corretivos. Um procedimento usual e que foi adotado no presente estudo, quando da ocorrência de *outliers* no conjunto de dados, é a remoção da amostra considerada discrepante, como forma de evitar possíveis dificuldades (Menegatti e Molin, 2004), em especial, nas análises geoestatísticas com semivariogramas.

A Tabela 2 apresenta valores das estatísticas descritivas antes e após a retirada da amostra com valor fora de padrão.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas das amostras após retirada da amostra com valor discrepante.

Estatísticas	Com o valor discrepante	Sem o valor discrepante
Número de pontos	56	55
Média	5,54	5,48
Variância	0,54	0,34
Desvio padrão	0,73	0,59
Coefficiente de variação	0,13	0,11
Coefficiente de assimetria	1,45	-0,19
Coefficiente de curtose	8,92	2,86
Valor mínimo	4,10	4,10
Quartil inferior	5,10	5,10
Mediana	5,60	5,60
Quartil superior	5,90	5,90
Valor máximo	8,90	7,00

Pelo exposto na tabela anterior, como observações mais relevantes tem-se que a variância e o desvio padrão apresentaram, quando removida a amostra com valor atípico, valores baixos, o que representa, no primeiro caso, pequeno afastamento do valor esperado para uma dada observação do valor do pH e, no segundo, pequena dispersão em torno da média aritmética. O coeficiente de variação, que se constitui em medida relativa de dispersão, também apresenta menor valor. Por sua vez, o coeficiente de assimetria, que no primeiro caso era assimétrico para a direita, no segundo caso, passou a assimétrico para a esquerda, porém, com valor mais próximo à simetria. O coeficiente de curtose, que apresentou valor bastante leptocúrtico no primeiro caso, no segundo, apresentou-se flatocúrtico, contudo aproximando-se mais da normalidade.

O próximo passo foi a criação do gráfico de probabilidade normal (Figura 6) de forma que foi possível a verificação de suposição da distribuição normal do conjunto de dados. No gráfico de probabilidade normal (Figura 6), a linha azul representa os dados amostrais e a linha vermelha, a distribuição normal. A partir da referida figura é possível notar que as amostras mostraram tendência à normalidade.

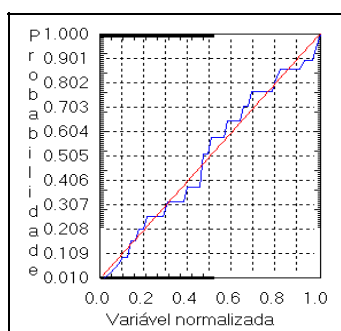


Figura 6 – Gráfico de probabilidade normal.

4.2. Modelagem do semivariograma experimental

Após a avaliação dos dados, foi modelado o gráfico do semivariograma experimental (Eq. 1). Através do gráfico semivariograma, foi avaliada a dependência espacial entre amostras. Os parâmetros de entrada para criação do semivariograma experimental constou de 9 lags, com incremento de 61 m, tolerância 80 m e direção de 0°.

As amostras foram avaliadas em apenas uma direção, uma vez que os dados não apresentavam anisotropia, fenômeno não detectado durante a modelagem do semivariograma experimental. O gráfico gerado, então, na direção de 0°, mostrou uma trajetória curvilínea comum ao gráfico semivariograma.

4.3. Ajuste e validação do modelo teórico de semivariograma

Após a criação do semivariograma experimental, foi realizado o ajuste a um modelo teórico. O SPRING dispõe de quatro modelos de curvas para ajuste (esférico, exponencial, potência e gaussiano). Dentre os modelos, o gaussiano mostrou o melhor ajuste (Eq. 4) quando foram utilizadas, duas estruturas do modelo gaussiano, com ajuste automático (Figura 7).

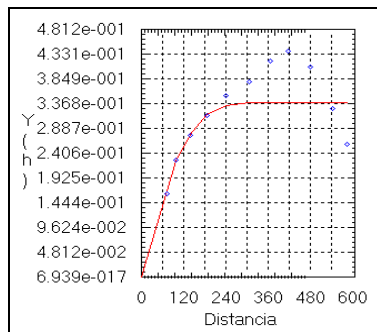


Figura 7 – Ajuste do semivariograma da curva do modelo gaussiano ao semivariograma experimental.

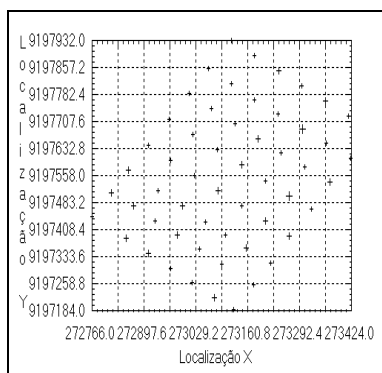
Após o procedimento de ajuste, foram selecionados dois modelos teóricos que apresentaram os seguintes valores de AIC, efeito pepita, contribuição e alcance (Tabela 3):

Tabela 3 – Modelos de semivariogramas teóricos para ajuste.

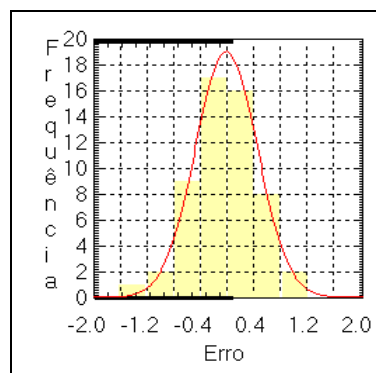
Modelo	Tipo	Efeito pepita (C_0)	Contribuição ($C_0 + C_1$)	Alcance (a)	Akaike
1	gaussiano	0,00	0,17	290,22	-32,86
2	gaussiano	0,01	0,18	189,05	-37,23

Dos dois modelos apresentados, foi escolhido o modelo que apresentou o menor valor de AIC, cujo efeito pepita (C_0), que representa o grau de dependência amostral, foi 0,01. O valor apresentou-se satisfatório, na medida em que seu valor ideal deve aproximar-se de zero.

Em seguida, foi realizada a validação do modelo em ajuste, cujos resultados foram avaliados considerando o diagrama espacial e o histograma dos erros (Figura 9 a e b). Na figura citada, o diagrama espacial dos erros mostra a distribuição dos erros por amostra, onde quanto maior o tamanho do símbolo, em forma de cruz, maior o erro cometido para a estimativa da referida posição, utilizando o modelo de semivariograma selecionado. O diagrama mostrou uma grande quantidade de amostras apresentando pequeno erro, e algumas poucas amostras, apresentando erros de valores mais elevados. O histograma do erro apresentou-se simétrico e com baixa dispersão de valores, apresentando maior concentração de valores próximos a zero.



(a)



(b)

Figura 9 - Diagrama espacial (a) e histograma dos erros (b).

4.4. Krigagem

Após ajuste e validação do semivariograma, foi então executada a Krigagem ordinária, que gerou uma grade com valores estimados e uma imagem com 65 diferentes tons de cinza (Figura 8).

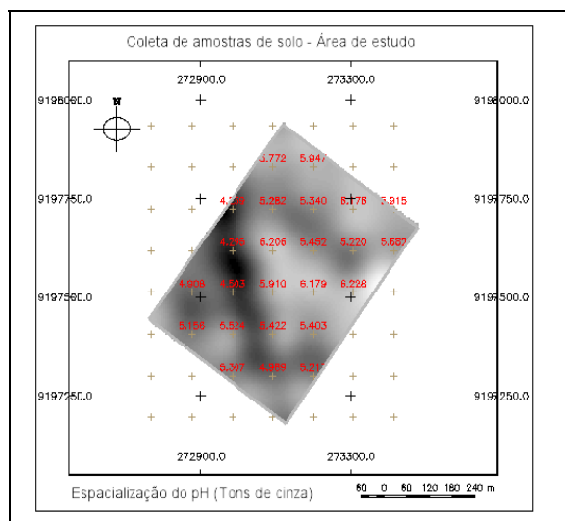


Figura 8 – Grade de valores estimados e imagem em tons de cinza do pH.

4.5. Geração de classes de distribuição do pH

Com base nos valores interpolados, foi realizado o fatiamento das classes (Figura 9), reduzindo-as a apenas três, considerando-se os valores da Tabela 1, para a classificação de teores de acidez no solo. Dessa forma, valores menores que 5 correspondem a alta acidez, valores entre 5 e 5,7 a média acidez e valores maiores que 5,7 a baixa acidez. A figura 11 mostra o fatiamento das classes de pH. A partir da classificação, constatou-se que o terreno, à profundidade de coleta das amostras em estudo (0 – 20 cm) possui 19,98% de sua área com alta acidez, 42,9% com média acidez, e 37,12% com baixa acidez, havendo necessidade de utilização de corretivos, de forma diferenciada.

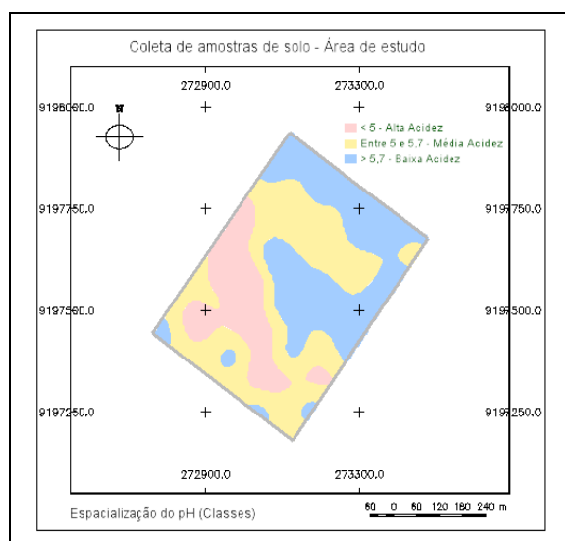


Figura 9 – Fatiamento das classes de pH com base nos teores de acidez.

5. CONCLUSÕES

Os procedimentos adotados no presente trabalho possibilitaram o estudo da dependência espacial do pH do solo, de forma a tornar viável a execução das análises geoestatísticas, envolvendo desde o estabelecimento da função semivariograma até a execução de interpolação espacial, por krigagem.

A espacialização do pH da área de estudo possibilitou, dessa forma, o mapeamento da acidez do solo, de modo a orientar o uso de corretivos. Na área em estudo, o pH do solo apresentou faixas que variaram, de acordo com os critérios de referência utilizados, de acidez elevada a baixa acidez. Como consequência, em consonância com as reais necessidade do solo, é possível utilizar diferentes dosagens de corretivos, de forma a melhorar a produtividade da cultura explorada, no que tange ao manejo da acidez do solo.

A importância do pH do solo na cultura da cana-de-açúcar, bem como para as demais culturas, é, principalmente, a disponibilidade de nutrientes. Faixas adequadas de pH do solo melhoram a disponibilidade dos elementos essenciais às plantas, em função de os mesmos apresentarem-se sob formas prontamente assimiláveis pelas culturas.

6. REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. **Implications of the informational point of view on the development of statistical science.** *In: Engineering and scientific Applications*, vol. 3. 1994.
- CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R., **Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos.** *In: Pesquisa Agropecuária Brasileira* Pesq. agropec. bras. vol.37, no.8, Brasília, Agosto, 2002.
- CRESSIE, N. A. C. **Statistics for Spatial Data.** New York : Wiley. 1991.
- RIBEIRO JR, P. J.; DIGGLE, P. J.; **geoR: a package for geostatistical analysis.** *In: R-NEWS*, 1(2):15-18. June, 2001.
- DETUSCH, C. V., JOURNAL, A. G. **GSLIB – Geostatistical Software Library and User's Guide.** e. 2, Oxford University Press, New York, Oxford. 1998.
- DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CAMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. **Análise espacial de dados geográficos.** Brasília, EMBRAPA, 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.** *Revista Brasileira de Fruticultura.* v.25, n.2, Jaboticabal, ago. 2003.
- KULBACK, S.; LEIBLER, R. A. **On information and sufficiency.** *In:Annals of mathematical statistics*, v.22, 1951.
- LEITE, E. P. F. **Caracterização hidrológica e de atributos físico-hídricos dos solos da bacia hidrográfica do Rio Cabelo, utilizando sistemas computacionais livres.** UFCG. Campina Grande. 2005. (Tese de Doutorado).
- MATHERON, G. **Principles of geostatistics.** *Economic Geology.* El Paso, V. 58, p. 11246-66, 1963.
- MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications.** *Les Cahiers du Centre de Moffologie mathématique.* Fas. 5. C. G. Fontainebleau, 1971.
- MENEGATTI, L. A. A., MOLIN, J. P. **Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, n.1, p.126-134. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG. 2004.
- SASSI, R.; OLIVEIRA, B. R.; ARAÚJO, M. E.; MOURA, G. F.; MELO, J. A.; MELO, G. N. **Estudo integrado das lagunas costeiras do Estado da Paraíba.** João Pessoa. 1997. Relatório Técnico Final.