

# ANÁLISE DA VARIABILIDADE DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE EM UM NEOSSOLO FLÚVICO- PESQUEIRA-PE

Daniel M. Blackburn<sup>1</sup>; Abelardo A. Montenegro<sup>2</sup>; Suzana Maria Gico Lima Montenegro<sup>3</sup>

**Resumo** - Este trabalho teve por objetivo caracterizar a Condutividade Elétrica Aparente de uma área situada em um Neossolo Flúvico pelo uso do Medidor de Condutividade Elétrica GEONICS EM-38 que usa a Técnica da Indução Eletromagnética. Para tanto se fez uso da análise geoestatística e do mapeamento por krigagem. Os dados apresentaram estrutura de dependência espacial. Os parâmetros estimados através do ajuste do modelo gaussiano ao semivariograma, foram respectivamente de 0; 540; e 9,5 para o efeito pepita (Co), patamar(Co+C1) e alcance(a). A Condutividade Elétrica Aparente mapeada através do método de Krigagem foi menor nas áreas mais próximas ao cacimbão, resultado do efeito da drenagem vertical em longo prazo exercida por bombeamentos freqüentes.

**Abstract** - This work deals with Terrain Apparent Electrical Conductivity measured by inductive electromagnetic techniques in an alluvial deposit, applying GEONICS EM-38 equipment. In order to evaluate espacial variability characteristics, geostatistical techniques have been employed in conjunction Kriging methodology. Gaussian model has been fitted to the experimental semivariogram, with nugget effect, sill and range equal to 0; 540; and 9,5; respectively. The kriged Apparent Electrical Conductivity maps reveal lower values nearby abstractions of a pumping well, highlighting the importance of vertical drainage on salinity levels in unconfined aquifers.

**Palavras-chave** - Salinidade; Condutividade Elétrica; Geoestatística.

---

<sup>1</sup> Bolsista de Mestrado em Ciências do Solo, UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO. [dmbblackburn77@hotmail.com](mailto:dmbblackburn77@hotmail.com)

<sup>2</sup> Prof. Adjunto, DTR/ UFRPE- Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Recife-PE, CEP 52171-900 [monte@hotlink.com](mailto:monte@hotlink.com)  
fone/ fax 81 34454418

<sup>3</sup> Prof. Adjunto, DEC/ UFPE- Av. Hélio Ramos, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP 50000-000 [smglm@npd.ufpe.br](mailto:smglm@npd.ufpe.br),  
fone/ fax 81 34454418

## **INTRODUÇÃO**

Para obtenção de um manejo adequado dos solos cultivados, cada vez mais se faz necessário implementar monitoramentos freqüentes de movimentação de contaminantes na zona não saturada. Atualmente os métodos invasivos de amostragem são os mais comumente usados para estes tipos de programas de monitoramento. Contudo, os altos custos e as limitações de escala de aplicação destas técnicas tem levantado questionamentos sobre seus usos (Borchers et al, 1997). Técnicas Geoestatísticas permitem a interpolação não linear para quaisquer pontos em uma área a partir de pontos amostrais, porém, são necessários muitos pontos amostrais para garantir a confiabilidade do método o que encarece o uso destas técnicas e torna o processo excessivamente laborioso. Diante disto, o uso de técnicas não invasivas tem ganhado atenção por sua rapidez e praticidade.

Técnicas Geofísicas não invasivas tem sido utilizadas com sucesso durante décadas por geofísicos para estudos da crosta terrestre e por hidrogeologistas para exploração de aquíferos. A aplicação destas técnicas para pequenas profundidades em zonas não saturadas é bastante recente. Isto se deve a avanços em eletrônica que resultaram no desenvolvimento de práticos instrumentos geofísicos para monitoramento da condutividade elétrica destas camadas de solo. Estas técnicas têm aplicações na localização de diversos materiais enterrados, mapeamento e monitoramento de plumas de contaminantes, salinidade dos solos e diversos resíduos industriais(Borchers et al, 1997; Cook & Walker, 1992).

O objetivo deste trabalho foi o de caracterizar a condutividade elétrica aparente de uma área drenada e outra não drenada situadas lado a lado após 2 anos de instalação dos drenos, pelo uso do equipamento de Medidor de Condutividade Elétrica GEONICS EM 38 que faz uso da Técnica da Indução Eletromagnética.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **A Indução Eletromagnética**

A Condutividade Elétrica do Solo ( $E_c$ ) para solos indeformados é função de diversos parâmetros que interferem no fluxo de elétrons em meios porosos, tais como estrutura, umidade, teor de argila, tipo de argila e sobretudo o teor de sais contido neste meio condutor (Rhoads et al, 1989a; Rhoads et al, 1989b).

Segundo Sauer et al (1955) citado por Rhoades (1989a), os elétrons ao atravessarem um meio poroso podem tomar 3 caminhos preferenciais:

Componente sólido-líquido- Fluxo através de séries de poros preenchidos por água e acoplados por partículas sólidas;

Componente sólido – fluxo via partículas sólidas e

Componente líquido – Fluxo de elétrons através de séries de poros preenchidos por água e conectados entre si.

Considerando as componentes propostas por Sauer pode-se evidenciar a influência do arranjo poroso e da umidade dos solos na Condutividade Elétrica do Solo. Porém, o conteúdo de sais contribui grandemente para as três componentes propostas, sólido-líquida, sólida e líquida, empregando todo o sistema.

As leituras de condutividade elétrica do solo são feitas por indução de pequenos “redemoinhos” de correntes elétricas e leitura do campo magnético que estas correntes geram. Uma pequena bobina transmissora colocada na extremidade do EM38 é usada para gerar um campo magnético primário oscilante que induz correntes em movimentos circulares no solo, indução é feita através da combinação de uma corrente alternada com uma frequência de áudio (McNeill, 1980; GEONICS, 1999). Uma pequena bobina receptora, colocada na extremidade dianteira mede aos campos magnéticos primário e secundário, sendo o segundo muito menor que o primeiro. A principal tarefa da bobina receptora é a de medir o pequeno sinal que ascende das correntes induzidas na presença de um sinal muito maior oriundo do campo magnético primário. Para tanto se faz necessário zerar o instrumento antes que se comece o levantamento segundo GEONICS (1999).

O medidor de condutividade elétrica EM38 opera com a frequência de 13200 Hz, e um espaço fixo de 1m entre as bobinas (GEONICS, 1999).

McNeill (1980) descreve que a resposta obtida pelo equipamento de indução eletromagnética sofre diferentes contribuições de diferentes profundidades. A CEa lida no aparelho é a integral da multiplicação da resposta relativa  $PHI(z)$  pela  $CE(z)$  como se segue:

$$ECa = \int_0^{\infty} PHI(z).EC(z).dz \quad (1)$$

Onde  $EC(z)$  é função da CE pela profundidade e  $PHI(z)$  é a função de ponderação para o instrumento, sendo igual a 1 a integral da resposta relativa de 0 a infinito.

Para a aproximação sob baixa indução, o sistema é linear. A curva de resposta relativa ilustrada na Figura 1, nos mostra que a maior contribuição para a leitura está na camada situada a 0,4 vezes o espaçamento entre bobinas para o modo vertical e de 0 para o modo horizontal.

## Domínio em Estudo

A área em estudo compõe um trecho de um NEOSSOLO FLÚVICO situado na Fazenda Nossa Senhora do Rosário no município de Pesqueira, região Agreste do Estado de Pernambuco. Parte desta área compõe o trecho com drenagem subterrânea e a outra parte não sofreu drenagem.

A coleta dos dados de CE foi feita em 24 pontos em uma malha de espaçamento regular de 12x9 m, de forma a permitir o mapeamento da área em 2 sub-áreas: área drenada e área não drenada.

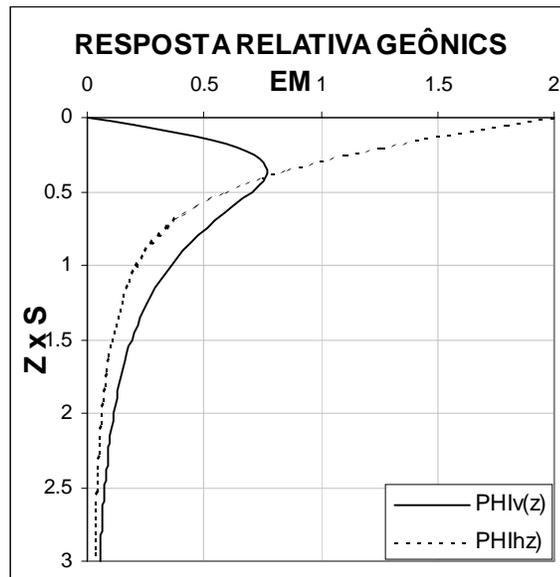


Figura 1. Resposta relativa para o EM38.

## Análise Geoestatística

Foi feita uma pré-amostragem das CE com distâncias entre amostras de 1m, o que permitiu a construção do semivariograma da leitura na vertical e na horizontal de forma a determinar os parâmetros necessários ao mapeamento da área por Krigagem, ilustrando a estrutura de dependência espacial dos dados como descrito a seguir:

Os resultados foram submetidos à análise geoestatística de forma a detalhar a estrutura de dependência espacial dos parâmetros supracitados. Para tanto se usou a função de semivariância expressa pela seguinte equação:

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

$\gamma(h)$  -é a estimativa da semivariância de  $h$ ;

$N(h)$  -é o número de pares de observações ;

$h$  - é o vetor que separa os pares de informações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_{i+h})$  (Vieira, 1999).

A partir dos valores de semivariância construiu-se o semivariograma experimental . Aos semivariogramas experimentais foi ajustado o modelo teórico Gaussiano, segundo a equação 3:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ 1 - \exp\left(-3\frac{h}{a}\right)^2 \right] \quad \text{Para } 0 < h < a \quad (3)$$

onde

$C_0$  é a interseção da curva no eixo  $\gamma(h)$

$C_1 = \text{patamar} - C_0$

$a$  é o alcance, valor de  $h$  para o cruzamento da curva inicial com o patamar (Vieira, 1999).

Conhecido o semivariograma e havendo dependência espacial entre as amostras, pode-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo sem tendência e com variância mínima. O método de interpolação usado é a Krigagem.

O processo de krigagem consiste em estimar qualquer valor de  $z$  para qualquer local que não se tenham valores medidos, sendo a sua estimativa uma combinação linear dos valores medidos dentro do raio de alcance espacial ( $a$ ).

$$Z(X_0) = \sum \lambda_i \cdot Z(X_i) \quad (4)$$

Onde  $Z(X_i)$  são os valores medidos e  $\lambda_i$  seus respectivos pesos (Vieira, 1999).

Para cada estimativa ou interpolação efetuada será adotado um sistema de equações de krigagem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O semivariograma obtido para os dados de leitura no modo horizontal foi quase idêntico aos obtidos com modo vertical de leitura. Assim fez-se um só ajuste para ambos os semivariogramas, o qual está ilustrado na Figura 2.

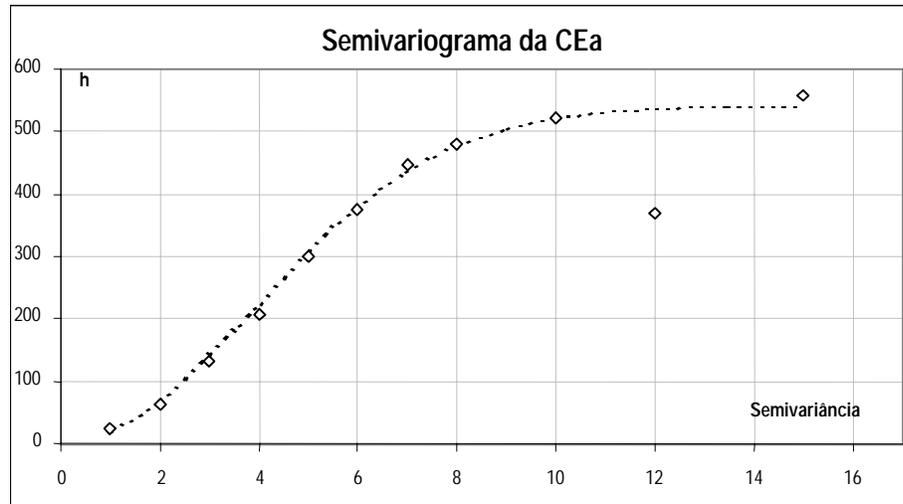


Figura 2 – Semivariograma experimental da CEa

Os dados apresentaram alta estrutura de dependência espacial e seus parâmetros, estimados através do ajuste do modelo gaussiano ao semivariograma, de efeito pepita ( $C_0$ ), patamar( $C_0+C_1$ ) e alcance( $a$ ) foram respectivamente de 0, 540 e 9,5.

A qualidade do ajuste do modelo ao Semivariograma experimental, medida através do percentual do patamar representado pelo efeito pepita foi muito bom, uma vez este foi 0.

O alcance obtido foi menor que parte do espaçamento amostral. Este fato não impossibilita o uso dos dados para a construção do mapa por krigagem, porém sugere que novas amostragens devem ser obtidas com menor espaçamento que o praticado para esta primeira caracterização.

Os mapas obtidos por krigagem estão ilustrados a seguir:

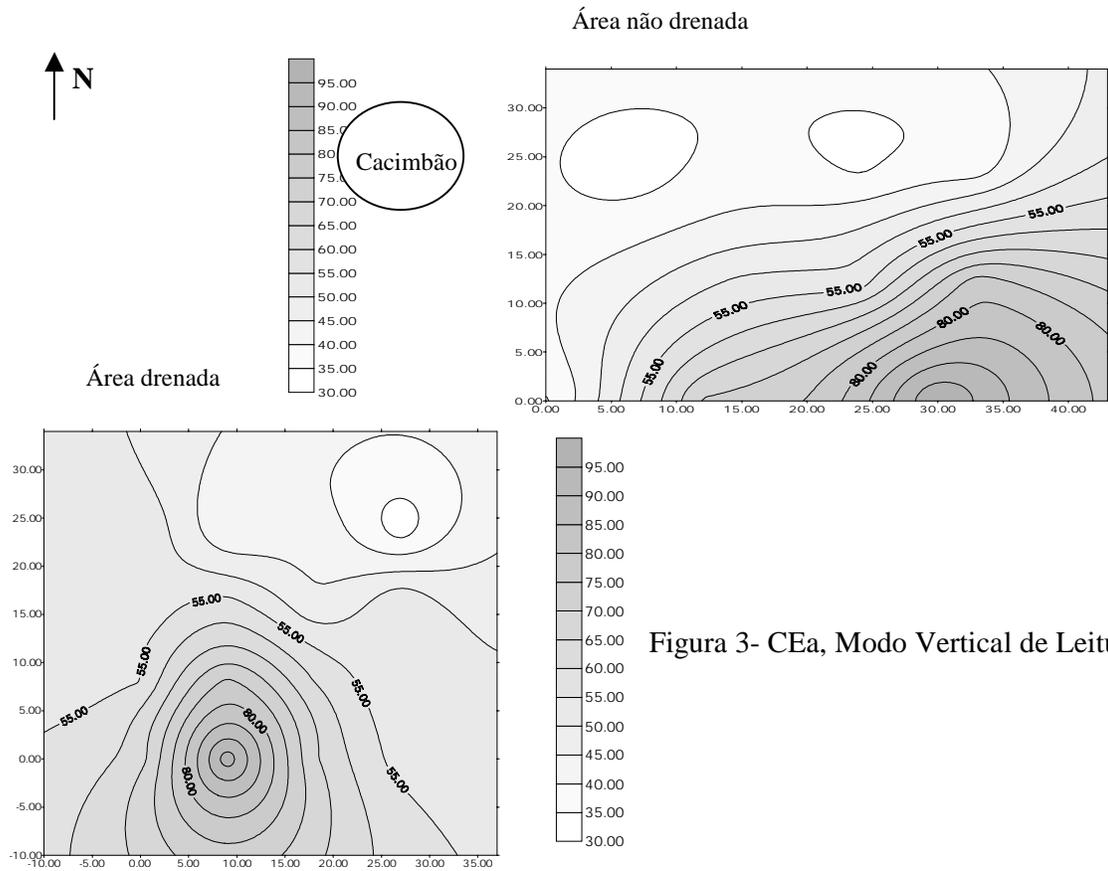


Figura 3- CEa, Modo Vertical de Leitura

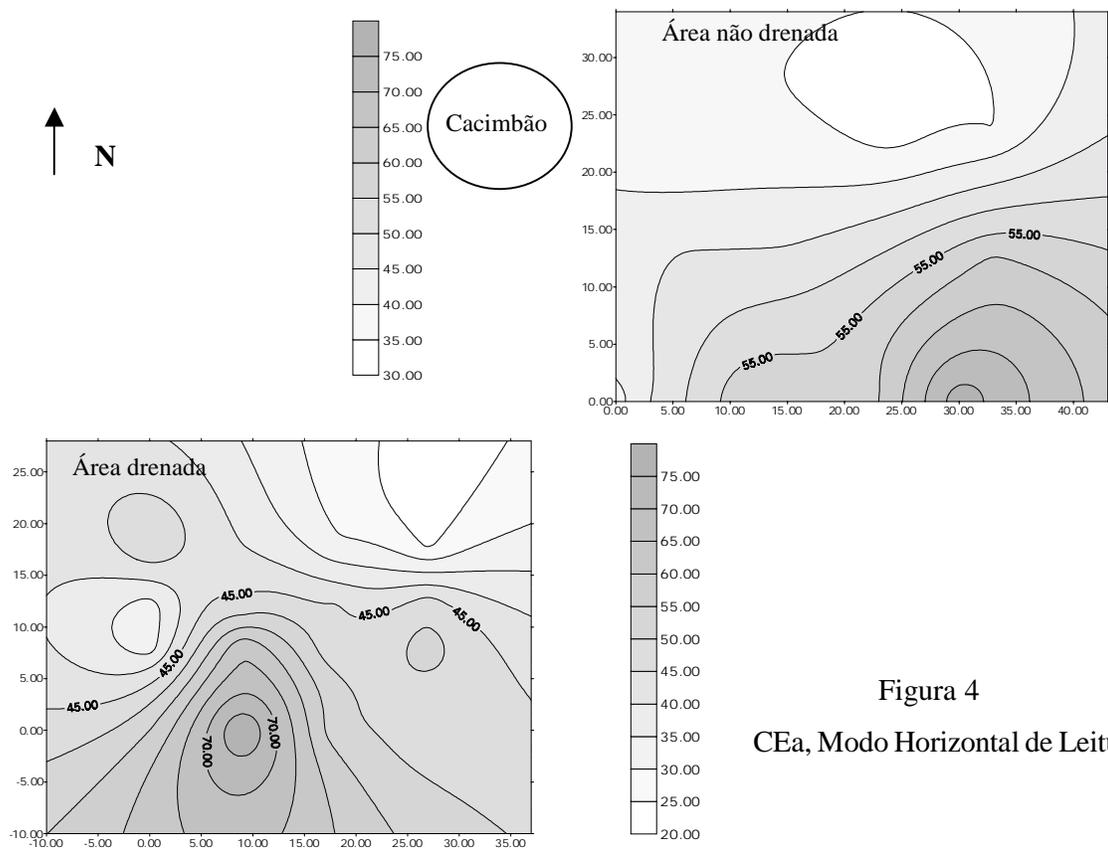


Figura 4  
CEa, Modo Horizontal de Leitura

A observação dos mapas construídos por krigagem apresenta uma diminuição da CEa do solo em função da distância do cacimbão. A mesma observação não pode ser feita com tanta veemência para comparação de área drenada com não drenada. Estes fatos podem ser justificados por várias hipóteses.

Os mapas obtidos sugerem então que o poço de bombeamento tipo “cacimbão” está funcionando com um dreno vertical e sua prolongada atuação se fez refletir na remoção dos sais das áreas circunvizinhas ao mesmo. Como a área Drenada possui o sistema a apenas dois anos, e não vem sendo cultivada com grande intensidade o lençol freático se situou abaixo dos drenos subterrâneos a maior parte do tempo, o que anulou seu efeito de “dreno”, não evidenciando a remoção de sais por este sistema.

Outras investigações devem ser feitas para comprovar a ação tão intensa na remoção de sais por este dreno vertical que é o cacimbão, como por exemplo deve-se fazer sondagens para investigar se esta oscilação não é devida a variações na granulometria.

A umidade não deve ter sido de grande relevância para explicar a diferença entre as áreas, uma vez que as leituras foram obtidas após duas semanas bastante chuvosas, o que deve ter umedecido todo o perfil amostrado pelo equipamento.

Os mapas obtidos com a leitura no modo Vertical quando comparados com os obtidos com a leitura no modo Horizontal esboçaram o mesmo comportamento em termos gerais de distribuição da CEa, porém, os dados obtidos através do modo Vertical se mostraram superiores aos do modo Horizontal. Sabe-se que a maior resposta relativa do equipamento para o modo vertical é de 40 cm e para o modo horizontal é de 0 cm, o que indica que os sais (ou uma outra causa do incremento da CEa) estão menos concentrados na superfície do solo que em a 40 cm de profundidade para toda a área estudada. Esta possível acumulação de sais imediatamente abaixo das camadas superficiais pode ter sido decorrente da lixiviação promovida pelas chuvas que antecederam este período.

Ao investigar sobre as possíveis causas do aumento da CEa foi constatado que a mancha de alta condutividade situada ao leste da área deve estar relacionada à existência um Curral nesta mesma localização, desativado aproximadamente um ano antes do levantamento. Os dejetos bovinos devem ter concorrido para o acréscimo da Cea neste local.

## **CONCLUSÕES**

1 - Os dados de Condutividade Elétrica Aparente lidos através de Equipamento de Indução eletromagnética EM38 apresentaram estrutura de dependência espacial com patamar de 540, alcance de 9,5m e efeito pepita zero.

2 - A Condutividade Elétrica Aparente mapeada através do método de Krigagem foi menor nas áreas mais próximas ao cacimbão, resultado do efeito da drenagem vertical de longo prazo exercida por bombeamentos freqüentes.

#### **AGRADECIMENTOS:**

Os autores agradecem o apoio financeiro do Banco do Nordeste do Brasil- ETENE, do CNPq (Programa Nordeste de Pesquisa e Pós-Graduação), FACEPE e da Universidade Federal Rural de Pernambuco, que possibilitaram a realização deste trabalho.

#### **BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

- COOK,P.G.; WALKER,G.R. Deph Profiles of Eletrical Conductivity From Linear Combinations of Eletromagnetics Induction Mesurements. **Soil Science Society American Journal**, V56. 1992.
- GEONICS, **EM38 GROUND CONDUCTIVITY METER- OPERATION MANUAL**, Ontário, Canadá. 1999.
- McNEILL, J.D. Eletrical Terrain Conductivity Mesurements at Low Induction Numbers. **Teccnical Notes TN-6**, GEONICS Ltd., 1980.
- MONTENEGRO, A. A. de A. **Stochastic Hydrologeological Modelling of Aquifer Salinization from Small- Scale Agriculture in Noretheast Brazil**. Ph. D. Thesis. Department of Civil Engineering. University of Newcastle. UK. 1997.
- RHOADS,J.D.; MANTEGUI,N.A.; SHOUSE,P.J.; ALVES,W.J. Soil Eletric Conductivity and Soil Salinity: New Formulations and Calibrations. **Soil Science Society American Journal**, V53. 1989a.
- RHOADS,J.D.; WAGGONER,B.L.; SHOUSE,P.J.; ALVES,W.J. Determining Soil Salinity fromSoil and Soil-Paste Eletric Conductivity: Sensitivity Analisis of Models. **Soil Science Society American Journal**, V53. 1989b.
- RHOADS,J.D.; CORWIN, D.L. Determining Soil Eletric Conductivity – Deph Relations Using an Inductivity Eletromagnetic Soil Conductivity Meter. **Soil Science Society American Journal**, V45. 1981.