

VARIABILIDADE ESPACIAL DA SALINIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DE VALE ALUVIAL NO SEMI-ÁRIDO PERNAMBUCANO

Tafnes da Silva Andrade¹; Suzana Maria Gico Lima Montenegro²; Abelardo Antônio Assunção Montenegro³; Cleber G. Albuquerque⁴

RESUMO --- A análise da salinidade da água subterrânea utilizada na irrigação é de extrema importância para elaboração de propostas de manejo e proteção desses recursos, especialmente em regiões semi-áridas, cujas condições naturais de clima e solo potencializam o processo de salinização. Este trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade espacial da condutividade elétrica (CE) da água subterrânea utilizada na irrigação de quatro meses (janeiro, abril, julho e outubro) ao longo ano de 2008, em vale aluvial no semi-árido pernambucano. Para esse fim foram aplicadas técnicas estatísticas e geoestatísticas visando a identificação dos padrões de variabilidade e dependência espacial da CE. A dependência espacial foi verificada nos quatro meses analisados sendo classificada como média, nos meses de janeiro, julho e outubro, e como forte no mês de abril, os dados apresentaram estrutura de dependência espacial, ajustados ao modelo exponencial, com alcances que variaram entre 60 e 171 m. Observa-se a influência da precipitação na dependência espacial. Também foi possível observar que o padrão da distribuição da condutividade elétrica não se altera ao longo do ano na área estudada.

ABSTRACT --- The analysis of groundwater salinity used in irrigation is highly important for development of management proposals and protection of such resources, especially in semiarid regions, where natural conditions of climate and soil, might result in salinisation. This work aimed to study the spatial variability of electrical conductivity (EC) of groundwater used for irrigation in four months (January, April, July and October) over the year 2008, in an alluvial valley in Pernambuco semiarid. Statistics and geostatistical techniques were applied for the identification of patterns of spatial variability and spatial dependence of the EC. The spatial dependence was observed for the four months, being classified as medium, in January, July and October, and as strong in April. Data showed spatial dependence structure, fitted to the exponential model, with ranges spanning from 60 to 171 m. The influence of monthly rainfall on the spatial dependence structure has been observed. It was also noted that the distribution pattern of electrical conductivity does not change throughout the year in the studied area.

Palavras-chave: geoestatística, condutividade elétrica.

1) Mestranda da UFRPE, bolsista CNPq, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-900 Recife. E-mail: tafnesandrade@yahoo.com.br

2) Professor Associado da UFPE. DECV/CTG. Av. Prof. Moraes Rego, 1235, 50670-901 Recife. E-mail: suzanam@ufpe.br

3) Professor Associado da UFRPE. DTR. Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-900 Recife. E-mail: abelardo.montenegro@yahoo.com.br

4) Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental da UFRPE. Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-900 Recife. E-mail: cle.ber@live.com

INTRODUÇÃO

A atividade agrícola nas regiões semi-áridas, que se caracterizam pela irregularidade da distribuição temporal e espacial das chuvas e elevadas taxas de evaporação, torna-se muito vulnerável quando praticada sem o apoio da irrigação. No entanto, quando mal conduzida, a irrigação pode causar a degradação dos solos e, quando conduzida em vales aluviais, do aquífero subjacente, por potencializar o risco de salinização desses sistemas.

Montenegro e Montenegro (2006) comentam que os vales aluviais do semi-árido apresentam elevado potencial para a pequena agricultura irrigada, embora sejam susceptíveis ao acúmulo de sais, tanto na zona não-saturada quanto na saturada, a depender, dentre outros fatores, da distribuição espacial de suas características hidráulicas.

O conhecimento da qualidade da água subterrânea relativo à concentração salina e de como ela está espacialmente distribuída, torna-se uma ferramenta necessária ao planejamento da exploração desse recurso e ao manejo empregado, a fim de que este seja sustentável e se evite a degradação contínua dos recursos hídricos. Por isso, há necessidade de pesquisas que aprofundem a avaliação da variabilidade espacial de suas características, visando à adoção de técnicas adequadas de manejo e uso racional.

Este trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade espacial da condutividade elétrica da água subterrânea utilizada na irrigação em vale aluvial no semi-árido pernambucano. Para esse fim, foram aplicadas técnicas estatísticas descritivas e geoestatísticas para identificação dos padrões de variabilidade e dependência espacial da condutividade elétrica, visando o mapeamento da salinidade da água na área analisada.

REVISÃO DA LITERATURA

Salinidade da água subterrânea

Nunes Filho *et al.* (2000) citam em ordem decrescente, os principais fatores que contribuem para a salinização das águas subterrâneas no Nordeste: a) clima; b) modo de ocorrência das águas (aquíferos livres ou confinados); c) condições de circulação (zoneamentos verticais) e, d) natureza geológica (influência litológica).

A retirada da água do subsolo para irrigação expõe os sais dissolvidos às demandas atmosféricas e da cultura, proporcionando o aumento da concentração de sais, na água e no solo. Dependendo das características hidráulicas do solo, pode ocorrer significativo transporte de sais por ascensão capilar para a zona não-saturada, contribuindo para o aumento da concentração de sais, que em forma cíclica, podem retornar à água subterrânea por lixiviação (Bernardo *et al.* 2006; Montenegro *et al.* 2001).

Ribeiro *et al.* (2005) afirmam que a condutividade elétrica é a variável mais empregada para se avaliar o nível de salinidade, ou a concentração de sais solúveis na água de irrigação e no solo. Nunes Filho *et al.* (2000), citando Thorne e Rickeenback (1972), relatam que a condutividade elétrica (CE), que representa uma medida indireta da concentração total de sais solúveis, e a relação de adsorção de sódio (RAS), constituem os principais parâmetros de classificação e qualidade das águas para irrigação.

A qualidade das águas subterrâneas pode variar no tempo e no espaço, e se sabe que na época de estiagem seus níveis de sais são mais elevados, quando também são mais altas as temperaturas e a evapotranspiração na região, com as culturas exigindo maior suprimento de água (Medeiros, 1992; e Silva Júnior *et al.* 1999).

Alguns autores têm-se dedicado a estudar a qualidade das águas subterrâneas destinadas a uso agrícola no semi-árido nordestino. Dentre esses trabalhos, podem ser citados Andrade Júnior *et al.* (2006) que abordaram a questão da qualidade e usos dados a água subterrânea destinada a irrigação no semi-árido piauiense; Silva *et al.* (2003) que avaliaram as características físico-químicas das águas subterrâneas também no Piauí; Costa *et al.* (2006) que avaliaram os aspectos da salinização das águas de aquífero cristalino no Rio Grande do Norte; Fernandes *et al.* (2009) que estudaram os aspectos de qualidade físico-química das águas subterrâneas utilizadas na irrigação em Serra Talhada – PE. Por fim, cabe mencionar Souza *et al.* (2006) e Montenegro *et al.* (2002), que analisaram a estrutura de dependência espacial da salinidade no mesmo aluvião em que o presente trabalho foi desenvolvido.

Análise geoestatística

Trabalhos que enfocam a variabilidade espacial de propriedades físicas, químicas e hidráulicas de solos têm grande relevância na literatura, principalmente como subsídio para o manejo racional de água e solo em perímetros irrigados (Souza *et al.* 2008).

De acordo com Siqueira *et al.* (2006) citado por Silva *et al.* (2007) os fenômenos naturais apresenta frequentemente uma certa estruturação nas variações entre vizinhos, e também uma observação realizada em um determinado tempo guarda semelhança com realizações observadas em tempos futuros. Desta forma, pode-se dizer que as variações não são aleatórias e, portanto, apresentam algum grau de dependência espacial e/ou temporal. Para Montenegro *et al.* (2001a), a análise da variabilidade espacial é possível através de metodologia geoestatística, baseada na estrutura de correlação espacial da variável em estudo.

A técnica geoestatística faz uso do semivariograma, que mostra a medida do grau de dependência espacial entre as amostras usando as diferenças ao quadrado dos valores obtidos para o

caso do semi-variograma clássico, conforme Journel e Huijbregts (1978). De posse do semivariograma experimental é necessário proceder seu ajuste a um modelo teórico. O ajuste do semivariograma experimental é um passo fundamental na análise do semivariograma, pois pode influenciar nos resultados posteriores. Este procedimento envolve várias tentativas e experiência (Landim, 2003).

Ribeiro Junior (1995) ressalta que a geoestatística é um conjunto de métodos que se destacam por permitir que cada observação possa ser descrita não apenas pelo seu valor, mas também por informações de sua posição, expressas em um sistema de coordenadas cartesianas. Considera assim, que observações geograficamente mais próximas tendem a apresentar valores mais similares, e que tal fato pode ser avaliado por medidas de associação.

Segundo Pessoa (2006), a utilização de ferramentas geoestatísticas, além de identificar a possível existência de dependência espacial entre as observações, pode ser aplicada em mapeamento, orientação de futuras amostragens e modelagem. Quando verificada a existência de dependência, a krigagem pode ser usada para estimar valores em lugares não medidos usando informações a partir do semivariograma para encontrar pesos ótimos a serem associados às amostras que irão estimar o ponto não amostrado (Journel e Huijbregts, 1978).

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da área

A pesquisa vem sendo desenvolvida na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, localizada em uma área de assentamento do Governo do Estado de Pernambuco na Região Agreste, próximo ao Município de Pesqueira, a 220 km do Recife, localizada na bacia hidrográfica do Rio Ipanema e situada entre as coordenadas geográficas 8° 15' e 8° 30' de Latitude Sul, 31° 45' e 37° 00' de Longitude Oeste de Greenwich e 650 m de altitude (Figura 1). Segundo a classificação de KÖPPEN, o clima da região é semi-árido quente tipo estepe, com uma precipitação média anual de 730 mm (Hargreaves, 1974). A precipitação média anual na região é de 607 mm, a temperatura média é de 23°C e a evapotranspiração é de cerca de 2000 mm.

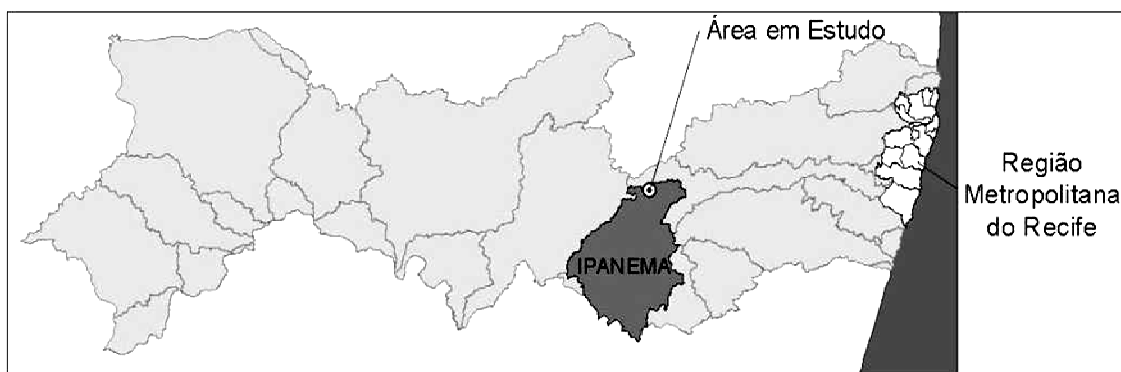


Figura 1: Localização a nível de bacia hidrográfica da área de estudo. Fonte: Montenegro *et al.* (2003)

De acordo com Montenegro *et al.* (2002) a agricultura em pequena escala (familiar), é a principal fonte de renda da área e vem sendo desenvolvida desde 1991, utilizando a água do aquífero aluvial formado pelos riachos temporários Mimoso, Jatobá e Ipaneminha. Os autores ressaltam que a elevada concentração dos sais na área vem diminuindo o rendimento das culturas em determinadas áreas

A área possui uma malha de poços e piezômetros que foram cadastrados e georreferenciados com o objetivo de investigar a dinâmica hidro-salina e definir propostas de manejo da irrigação. Existem instalados, na área, cerca de 88 piezômetros, e 17 cacimbões (Silva Júnior, 2006).

Análise da Variabilidade Espacial

Foram tomadas amostras de água dos poços e piezômetros instalados na área para a determinação da condutividade elétrica em laboratório. Os dados são referente aos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2008, a fim de caracterizar a variabilidade espacial da condutividade elétrica ao longo do ano.

Com o objetivo de verificar o comportamento dos dados, foi realizada análise estatística descritiva. Foram calculados também os valores de máximo e mínimo, o desvio padrão e coeficiente de variação (CV). De acordo com os valores de CV a variabilidade foi classificada segundo Warrick e Nielsen (1980), em baixa ($CV < 12\%$); média ($12 < CV < 60\%$), e alta variabilidade ($CV > 60\%$). Verificou-se também a aderência à distribuição Normal, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de significância.

Os dados discrepantes foram eliminados com base no critério de Hoaglin *et al.* (1983), que consideram discrepantes aqueles dados abaixo do limite inferior ou acima do limite superior respectivamente, estimados por:

sendo Q_i e Q_s os quartis inferior e superior e A_i a amplitude interquartilica.

Esses dados foram filtrados para a estimativa do semivariograma médio da área em estudo. Para a krigagem, esses pontos foram recolocados, pois embora sejam muito discrepantes em relação média, eles são reais e para que o mapeamento fosse o mais fiel possível às condições de campo esses valores não poderiam ser ignorados.

Para análise geoestatística, utilizou-se a ferramenta geoestatística GEO-EAS (Englund e Sparks, 1991). A dependência espacial foi avaliada utilizando-se o semivariograma construído a partir da estimativa das semivariâncias pela expressão:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (3)$$

em que $\hat{\gamma}(h)$ é o valor estimado da semivariância dos dados experimentais, $Z(X_i)$ e $Z(X_i + h)$ são os valores observados da variável regionalizada e $N(h)$ o número de pares de valores medidos, separados por uma distância h (Landim, 2003).

De posse do semivariograma experimental, procedeu-se o ajuste dos dados a um modelo teórico, foram testados os modelos exponencial, gaussiano e esférico. O ajuste matemático possibilitou definir os seguintes parâmetros: efeito pepita (C_0), que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras; alcance da dependência espacial (A) distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente; patamar (C_0+C_1), que é o valor do semivariograma correspondente a seu alcance (A), corresponde à máxima variância da amostra.

Modelo Exponencial:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1 - e^{-(h/A)} \right] \quad h \neq 0 \quad (4)$$

Modelo Gaussiano

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1 - e^{-(h^2/A^2)} \right] \quad h \neq 0 \quad (5)$$

Modelo Esférico

$$\begin{aligned} \hat{\gamma}(h) &= C_0 + C_1 \left[1,5 \frac{h}{A} - 0,5 \left(\frac{h}{A} \right)^3 \right] & 0 < h < A & \quad e \\ \hat{\gamma}(h) &= C_0 + C_1 & h > A & \end{aligned} \quad (6)$$

Após o ajuste foi realizada a chamada “validação cruzada”. Nessa análise, depois de obtido o semivariograma, cada valor original é removido do domínio espacial e, usando-se os demais, um novo valor é estimado para esse ponto. Desse modo é possível compara a relação entre os valores

reais e os estimados. O procedimento foi executado utilizando o GEO-EAS (Englund e Sparks, 1991).

No tocante ao grau de dependência espacial, utilizou-se a classificação proposta por Cambardella *et al.* (1994), na qual um determinado atributo pode ser considerado como exibindo forte, moderada ou fraca dependência espacial, em função da relação entre o efeito pepita e o patamar de seu semivariograma ajustado. Valores inferiores a 25% caracterizam forte dependência espacial, entre 25% e 75% moderada, enquanto que acima de 75%, fraca dependência. Os mapas de distribuição espacial foram obtidos por meio de interpolação dos dados (krigagem ordinária) através do programa Surfer for Windows versão 8.0 (Golden Software, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

De posse dos resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov, a hipótese de normalidade dos dados foi rejeitada para uma significância de 5%, apenas nos meses de Janeiro e outubro. Como alternativa para se alcançar a normalidade dos dados, estes foram submetidos à transformação logarítmica e verificada sua log-normalidade. A não normalidade para a condutividade elétrica também foi observada por Montenegro *et al.* (2001b), nos mesmos piezômetros utilizando com dados de CE no mês de maio de 2000. Os resultados das medidas descritivas calculadas para as variáveis, juntamente com os valores do teste de Kolmogorov-Smirnov, são apresentados na Tabela 1.

A proximidade de valores entre média e mediana sugerem que os dados obedecem a distribuição normal para os meses de abril e julho e log-normais para os meses de janeiro e outubro, fato confirmado pelo teste de teste de Kolmogorv-Smirnov (KS) a nível de 5% de significância. Porém, os coeficientes de assimetria indicam uma assimetria positiva nos quatro meses avaliados e os coeficientes de excesso de curtose menores que zero indicam que a distribuição é leptocúrtica. Com base no coeficiente de variação, verifica-se média variabilidade nos meses de Abril e Julho e alta variabilidade nos meses de Janeiro e Outubro.

Tabela 1: Resumo da estatística descritiva para as condutividades elétricas (dS.m⁻¹)

	<i>Ln (jan-08)</i>	<i>Abr 08</i>	<i>Jul 08</i>	<i>Ln (Out-08)</i>
N variáveis	71	74	77	76
Média	0,84	0,81	1,20	0,91
Mediana	0,77	0,73	1,00	0,83
Moda	0,73	0,65	0,74	0,75
Desvio Padrão	1,32	0,29	0,57	1,36
Variância	1,08	0,08	0,32	1,09
C. V %	157,97	35,94	47,37	148,94
Coef. Assimetria	0,62	0,79	0,99	0,46
Coef. excesso de Curtose	-3,48	-2,45	-2,19	-3,71
D (KS)*	0,14	0,13	0,14	0,15

*D (KS) = máx [F(X) – G(X)], em que F(X) = P(X < x) e G(X) são as freqüências relativas acumuladas dos valores observados. Valores críticos do teste KS para n = 71 e $\alpha = 5\%$: d = 0,161; n = 74 e $\alpha = 5\%$: d = 0,158; n = 77 e $\alpha = 5\%$: d = 0,155; n = 76 e $\alpha = 5\%$: d = 0,156. Naghettini e Pinto (2007); ** Distribuição normal pelo teste de KS a nível de 5% de probabilidade.

Para avaliação da estrutura espacial da condutividade elétrica, utilizou-se a técnica do escalonamento, dividindo-se cada semi-variância pela variância total dos dados, conforme sugerido por Vieira *et al.* (1991). As semi-variâncias experimentais foram estimadas utilizando a Equação 3. O modelo exponencial foi o que melhor se ajustou aos dados, indicados na Figura 2. Em todas as figuras C_0 representa o efeito pepita, C_1 a soleira e A o alcance, onde a variável estudada se correlaciona espacialmente. A estrutura exponencial para condutividade elétrica, também foi obtida por Souza *et al.* (2007), analisando a condutividade elétrica do solo, no mesmo domínio de estudo. Os semivariogramas ajustados, após a validação cruzada, produziram resíduos com médias e desvios respectivamente de -0,041, e 0,94 em janeiro; 0,16 e 0,99 em abril; 0,001 e 0,97 em julho; e -0,008 e 0,97 em outubro.

Os valores referentes ao critério de Cambardella *et al.* (1994), que exprimem a dependência espacial dos semivariogramas para o mês de janeiro, abril, julho e outubro de 2008 foram respectivamente, 38,94%, 16,49%, 52,06% e 45,86%. Portanto, apenas no mês de abril a dependência espacial é caracterizada como forte, e nos outros meses como moderada. Souza *et al.* (2006) analisaram a estrutura de dependência espacial da condutividade elétrica no período de dezembro de 2004 a novembro de 2005, no mesmo aluvião utilizando médias agrupadas da CE cuja dependência espacial também foi classificada como moderada. Observando-se os coeficientes de determinação (R^2) apresentado na Figura 2 nota-se que o modelo exponencial se ajustou satisfatoriamente em todos os períodos. Os valores de alcance oscilaram entre 60 a 171 metros.

É possível verificar que o menor coeficiente de variação foi para o mês de abril, quando se encontrou também a maior relação de dependência espacial. Souza *et al.* 2006 sugerem, como provável explicação para esse fato, que a recarga do lençol freático pode estar ocasionando uma possível uniformização da condutividade elétrica no mesmo. As precipitações no mês de abril somaram 131,50 mm, enquanto que para janeiro ocorrem 3,00 mm, para julho 95 mm e para outubro 57,50 mm. Estudos de Andrade *et al.* (2007) no mesmo domínio, sugerem que respostas de

recarga no aquífero ocorrem apenas para precipitações acima de 100 mm. Outro fato é que o mês em que ocorreu a menor precipitação foi o mesmo em que ocorreu o maior coeficiente de variação. Ou seja, a menor precipitação está associada a uma maior variação na CE dos piezômetros fato também observado no trabalho de Souza *et al.* (2006).

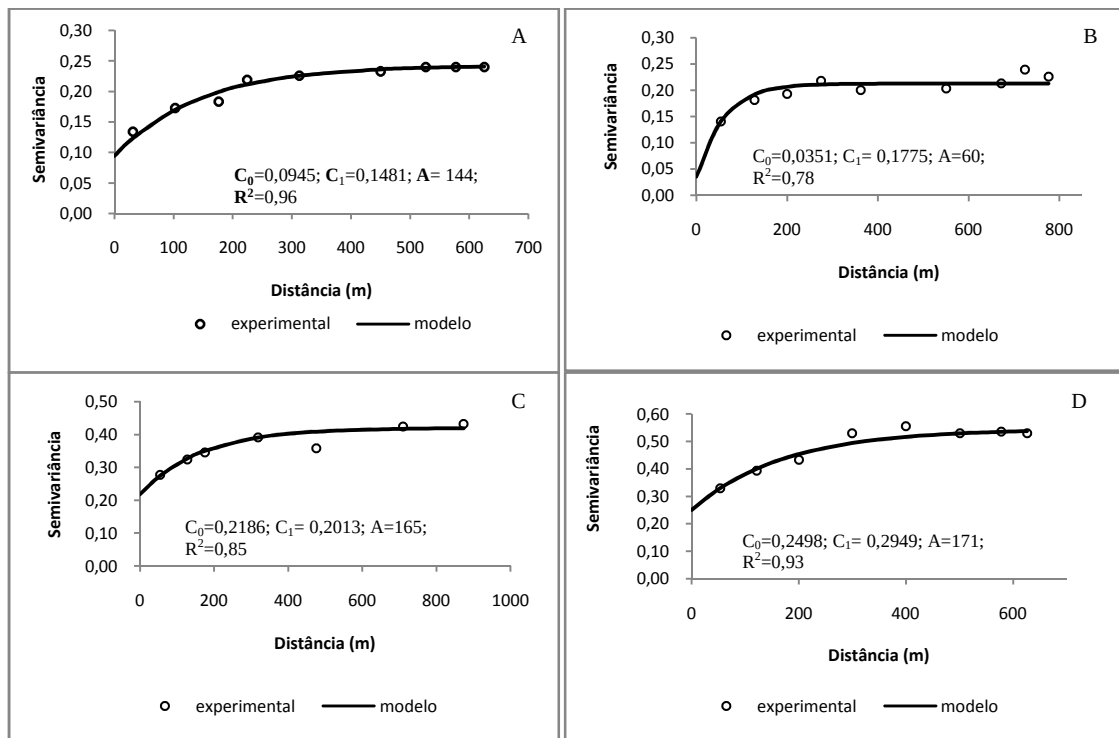


Figura 2: Semi-variâncias escalonadas da condutividade elétrica (CE), (A) logaritmo da CE mês de janeiro; (B) mês de abril; (C) mês de julho; (D) logaritmo da CE mês de outubro.

Os mapas de isolinhas da condutividade elétrica, confeccionados através da técnica de Krigagem são mostrados na Figura 3. Pela figura, observa-se que as linhas mais próximas indicam regiões de maior variabilidade. Os cenários de distribuição espacial demonstram que, mesmo em meses de regime de precipitação diferenciados, a condutividade elétrica mantém um padrão de distribuição, ou seja, as zonas de maior ou menor concentração de sais não se alteram. Este fato também foi observado por Montenegro *et al.* (2002), analisando o padrão de dependência espacial para mês seco e chuvoso no mesmo aluvião.

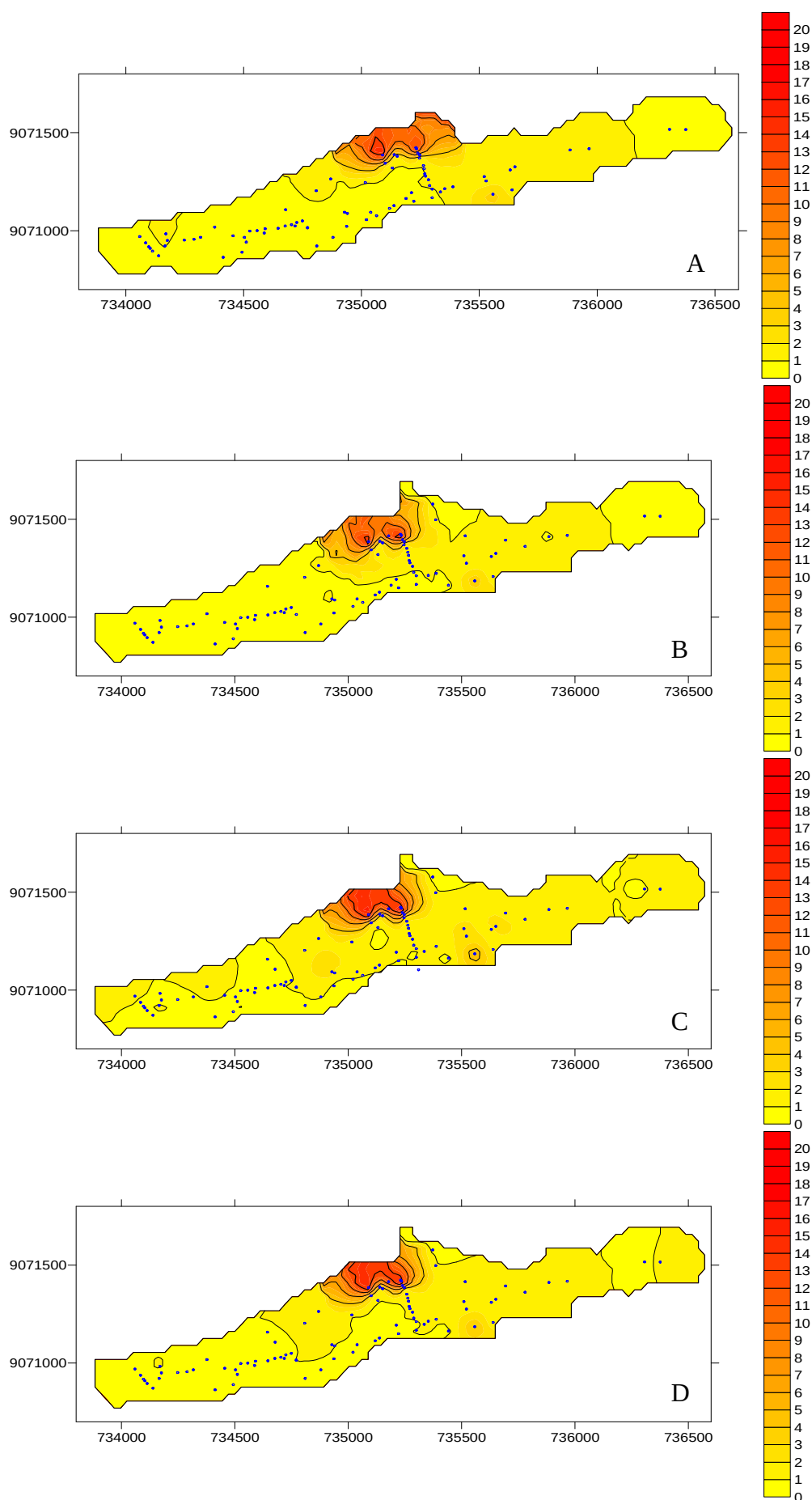


Figura 3: Mapa de isolinhas da condutividade elétrica (CE) da água subterrânea em dS.m⁻¹, (A) mês de janeiro; (B) mês de abril; (C) mês de julho; (D) mês de outubro de 2008

CONCLUSÕES

Analisando-se meses de distintas pluviosidade, em aquífero aluvial no semi-árido, verifica-se que a condutividade elétrica possui variabilidade média a alta, com dependência espacial média, exceto para o mês de abril que apresentou forte dependência, provavelmente devido a recarga ocorrida do aluvião. Observa-se que tanto a variabilidade quando a dependência espacial da CE sofrem a influência direta das precipitações. Os mapas de isolinhas permitiram verificar que o padrão distribuição da condutividade elétrica não se altera ao longo do ano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CT-HIDRO/FINEP por financiamento a projeto de pesquisa, ao CT-HIDRO/CNPq por concessão de bolsa de mestrado e ao CNPq por concessão de bolsa IC.

BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SILVA, E.F.F.; BASTOS, E.A.; MELO, F.B.; LEAL, C.M. (2006). “Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-Árido piauiense”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. (10-4), pp. 873-880.
- ANDRADE, T.S.; SANTOS, E.S.; SILVA, J.R.L.; MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L. (2007). “Análise da recarga e da condutividade elétrica em aluvião do semi-árido pernambucano” in Anais do XVII Simpósio brasileiro de recursos hídricos e 8º simpósio de hidráulica e recursos dos países de língua oficial portuguesa, São Paulo, Nov 2007, CD - ROM.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. (2006). *Manual de Irrigação*. UFV Viçosa-MG, 625p.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KORNOPKA, A.E. (1994). “Field scale variability of soils properties in central Iowa Soils”. Soil Science Society American Journal, (58), pp. 1501-1511.
- ENGLUND, E.; SPARKS, A. (1991). *GeoEAS (Geostatistical Environmental Assessment Software)*. Las Vegas: U.S. Environmental Protection Agency. (EPA/600/4- 88/033a).
- FERNANDES, J.G.; FREIRE, M.B.G.S.; CUNHA, J.C.; GALVÍNCIO, J.D.; CORREIA, M.M.; SANTOS, P.R. (2009). “Qualidade físico-química das águas utilizadas no Perímetro Irrigado Cachoeira II, Serra Talhada, Pernambuco”. Revista Brasileira de Ciências Agrárias (4-1), pp. 27-34.
- HARGREAVES, G. H. (1974). *Climatic zoning for agricultural production in northeast Brazil*. Logan: Utah State University. 6 p.
- HOAGLIN, D.C.; MOSTELLER, F.; TYKEY, J.W. (1983). *Análisis exploratória de datos: Técnicas robustas, un guia*. Lisboa: Salamandra. 446p.
- JOURNEL, A. G. e Ch. J. HUIJBREGTS. (1978). *Mining Geostatistics*. Academic Press. 599p. England.
- LANDIM, P.M.B.(2003). *Análise Estatística de Dados Geológicos*. São Paulo - SP. 253p.
- MEDEIROS, J.F. (1992). *Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados do RN, PB e CE*. Dissertação (Mestrado). Campina Grande, 173p. Universidade Federal da Paraíba.
- MONTENEGRO, A.A.A & MONTENEGRO, S.M.G.L. (2006). “Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, (10-1), pp. 30–37.

- MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. de A.; MACKAY, R.; OLIVEIRA, A. S. C. (2003). “*Dinâmica hidro-salina em aquífero aluvial utilizado para agricultura irrigada familiar em região semi-árida*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, (8-2), pp. 85-92.
- MONTENEGRO, S.M.G.L. ; MONTENEGRO, A.A.A.; OLIVEIRA, O.F. (2002). “*Salinidade da água de aquífero aluvial sob uso agrícola no agreste do estado de Pernambuco: variabilidade espacial e sazonal*” in Anais do VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió. (1), pp. 1-14.
- MONTENEGRO, S.M.G.L.; MONTENEGRO, A.A.A.; RIBEIRO, M.R.; CORREA, M.M.; ALMEIDA, T.A; LINS, F.V. (2001a). “*Análise da variabilidade espacial da salinidade em área irrigada e do nível d'água em aluvião sob uso agrícola na região semi-árida do Nordeste Brasileiro*” in Anais do XIV Simpósio brasileiro de recursos hídricos, Aracaju. CD - ROM.
- MONTENEGRO, S. M G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; ALMEIDA, T. A.; Maia, F. M V. L. (2001b). “*Análise da variabilidade espacial da salinidade em área irrigada e do nível d'água em aluvião sob uso agrícola na região semi- árida do nordeste brasileiro*” in Anais do XIV Simpósio brasileiro de recursos hídricos, Aracaju. CD - ROM.
- NAGHETTINI, M; PINTO, E.J.A.(2007). *Hidrologia Estatística*. CPRM. Belo Horizonte - MG. 552p.
- NUNES FILHO, J.; SOUSA, A.R.; SÁ, V.A.L.; LIMA, B.P. (2000). “*Relações entre a concentração de íons e a salinidade de águas subterrâneas e superficiais, visando à irrigação, no sertão de Pernambuco*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, (4-2), pp. 189-193.
- Pessoa, A.L. (2006). *Uma abordagem bayesiana para estudo estatístico e geoestatístico de estimativas de salinidade do solo utilizando sensor de indução eletromagnética*. Recife, 103p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- RIBEIRO JR, P.J. *Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial dos parâmetros do solo*. (1995). Piracicaba. 99p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- RIBEIRO, G.M.; MAIA, C.E.; MEDEIROS, J.F. (2005). “*Uso da regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, (9-1), pp.15-22.
- SILVA JÚNIOR, A.N. (2006). *Uso da Krigagem para caracterização da variabilidade espacial da condutividade hidráulica no semi-árido nordestino com enfoque bayesiano*. Recife, 74f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- SILVA JÚNIOR, L.G.A.; GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F. (1999). “*Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, (3-1), pp. 11-17.
- SILVA, E.F.F.; SILVA, A.S.; ANDRADE JÚNIOR, A.; HERMES, L.C.; BASTOS, E.A.; RUFINO, M.S.M. (2003). “*Características físico-químicas das águas subterrâneas do aquífero serra grande na mesorregião sudeste piauiense*” in Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Goiânia, Jul 2003, CD - ROM.
- SILVA, J.R.L.; ANDRADE, T.S.; SOUZA, E.R.; MONTENEGRO, A.A.A. (2007). “*Variabilidade temporal da precipitação pluviométrica no agreste de Pernambuco – Pesqueira*” in Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Bonito. CD – ROM.
- SOUZA, E.R.S.; MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SANTOS, T.E.M.; ANDRADE, T.S.; PEDROSA, E.R.(2008). “*Variabilidade espacial das frações granulométricas e de salinidade em um neossolo flúvico do semi-árido*”. Revista Ciência Rural, Santa Maria, (38-3), pp. 698-704.
- SOUZA, E.R.; MONTENEGRO, A.A.A.; SANTOS, F.X.; COSTA NETO, M.L. (2007). “*Dinâmica da condutividade elétrica em Neossolo Flúvico no semi-árido*”. Revista de biologia e ciências da terra. (7-2).
- SOUZA, E.R.; MONTENEGRO, A.A.A.; ANDRADE, T.S, MONTENEGRO, S.M.G.L.(2006). “*Análise temporal da estrutura de dependência espacial da salinidade em aluvião no semi-árido*” in Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. João Pessoa, CD - ROM.
- SURFER. (2002). *Surfer 8.0: Contouring and 3d surface mapping for scientists and engineers*. User's Guide. New York: Golden Software. 619p.

- VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F.; BURROWS, I.T. (1991). "*Mapeamento da chuva máxima provável para o estado de São Paulo*". Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, (15-1), pp. 93-98.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. (1980). "*Spatial variability of soil physical properties in the field*". In: HILLEL, D. (Ed.). Applications of soil physics. New York: Academic. pp. 319-344.