



Geoestatística aplicada ao estudo da salinidade do solo, Sumé - Paraíba

José de Assis Carolino¹, Hugo Orlando Carvalho Guerra¹, Whellyson Pereira Araújo¹, Jana Yres Barbosa de Sousa^{1*}, Érica Samara Araújo Barbosa de Almeida¹, Hayssa Thyara Silva Barreto¹

RESUMO: O conhecimento da variação espacial da salinidade do solo pode contribuir para o planejamento de uma agricultura comercial de precisão. O presente trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade espacial dos parâmetros de salinidade do solo em um solo de origem aluvial, afetado por sais, no Perímetro Irrigado de Sumé, Estado da Paraíba. As amostras foram coletadas em 51 pontos em intervalos irregulares, em uma malha de 250 m nas camadas de 0 - 15; 15 - 30; 30 - 60 e 60 - 90 cm de profundidade. Os dados foram analisados através de estatística descritiva e por análises geoestatística, com base no ajuste de semivariogramas. Observou-se alto coeficiente de variação para a CEes, RAS e PST em todas as profundidades estudadas. Foram ajustados os modelos exponencial, Gaussiano e esférico para a CEes, RAS e PST, respectivamente, verificando-se uma ampla variação das variáveis nas quatro profundidades. Para a CEes os resultados variaram de 0,1 a 63,35; 0,19 a 30,77; 0,11 a 18,46 e 0,21 a 28,64 ds m⁻¹; para as profundidades, de 0 - 15; 15 - 30; 30 - 60 e 60 - 90 cm. Para a RAS e PST verificou-se o mesmo comportamento de variação, com amplitude total de 58,18; 40,45; 16,36 e 29,58% para a RAS e 76,66; 73,13; 71,80 e 52,54% para a PST, respectivamente, para as quatro profundidades estudadas.

Palavra-chave: solos salinos, variabilidade, condutividade.

Geostatistics applied to the study of soil salinity, Sumé- Paraíba

ABSTRACT: The knowledge of the spatial variation of the soil salinity may contribute to a commercial precision agriculture planning. The present work had as objective to study the spatial variability of the electrical conductivity (EC) sodium adsorption rate (SAR) and sodium exchangeable percentage (SEP) of a salt affected alluvial soil in the Sumé Irrigated Perimeter, Paraíba, Brazil. Soil samples were collected in 51 locations on an irregular grid with 250 m spacing at the 0-15, 15-30, 30-60 and 60-90 cm depth intervals. The data was analyzed with descriptive statistics and geostatistics based on the semivariograms adjustment. It was observed high coefficients of variation for all the depths for the three studied variables. The exponential, Gaussian and spherical models were adjusted to the EC, SAR and SEP, respectively, being observed a large variability in all the four depth intervals. The EC varied from 0.1 to 63.35; 0.19 to 30.77; 0.11 to 18.46 and 0.21 to 28.64 ds m⁻¹ for the 0 - 15; 15 - 30; 30 - 60 and 60 - 90 cm depth intervals, respectively. For the SAR and SEP the same behavior was observed with total amplitude of 58.18; 40.45; 16.36 e 29.58% for the RAS and 76.66; 73.13; 71.80 and 52.54% for the PST, respectively for all the four depth intervals studied.

Keywords: salinity, variability, conductivity

INTRODUÇÃO

Em áreas irrigadas, principalmente nas regiões semiáridas, quando o fornecimento de água, a drenagem e o controle da salinidade do solo são mal conduzidos, podem causar degradação dos solos e a deterioração de suas propriedades físicas, químicas e biológicas (CHAVES et al., 2005). Segundo Ribeiro et al. (2003), as condições climáticas nessas regiões favorecem o enriquecimento químico dos recursos hídricos, pois as águas contêm sais dissolvidos passíveis de comprometer a qualidade do solo, a médio e longo prazo.

Os sais, quando em excesso, prejudicam o crescimento das plantas, em virtude dos efeitos diretos sobre o potencial osmótico e dos íons potencialmente tóxicos presentes em elevadas

concentrações na solução do solo. Além disso, restringem a absorção de nutrientes pelas plantas, interferindo no desenvolvimento das mesmas podendo, assim, reduzir a produção agrícola a níveis antieconômicos (FREIRE et al., 2003). Por outro lado, o aumento do teor do elemento sódio nos solos em relação aos demais cátions, no complexo de troca, pode promover a dispersão e migração dos colóides no perfil do solo, com obstrução de poros e redução na movimentação de ar e água, também dificultando o crescimento das plantas (CHAVES et al., 2005).

As propriedades inerentes à salinidade e/ou sodicidade do solo condutividade elétrica (CEes), pH e a percentagem de sódio trocável (PST), tal

Recebido em 27/07/2015, Aceito para publicação em 09/08/2017

¹ Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

*e-mail: yresveloso@hotmail.com

como outras propriedades físicas e químicas do solo, apresentam variabilidade espacial, tanto vertical como horizontal (BECKETT; WEBSTER, 1971) e variabilidade temporal natural. Isso ocorre em função das práticas de manejo utilizadas, da profundidade do lençol freático, da permeabilidade do solo, da taxa de evapotranspiração, das chuvas, da salinidade das águas subterrâneas e de outros tantos fatores hidrológicos (SILVA FILHO et al., 2000; D'ALMEIDA et al., 2005).

Segundo Prevedello (1987), as propriedades químicas dos solos se comportavam, após sofrerem sucessivas alterações provocadas por atividades agrícolas, de forma bastante diferenciada ao longo da paisagem, tornando a amostragem aleatória incapaz de representar o solo em sua extensão. Com o desenvolvimento da agricultura de precisão, o conhecimento da distribuição espacial de variáveis de solo e planta tornou-se indispensável para o planejamento e otimização da agricultura, de forma geral. Assim sendo, a determinação da variabilidade espacial dessas propriedades é fundamental na tomada de decisões sobre o manejo e recuperação de áreas com problemas de sais.

Neste contexto, a geoestatística, por levar em consideração as distribuições espaciais das amostras, apresenta-se como ferramenta de análise que permite definir o raio de correlação espacial entre elas. Esta dependência na correlação espacial entre amostras pode ser verificada através das semivariâncias (ZIMBACK, 2001; CARVALHO et al., 2003) e através dos resultados dos parâmetros dos semivariogramas (efeito Pepita, Patamar e Alcance) possibilitando o mapeamento da propriedade através da krigagem.

Objetivou-se, com este trabalho, caracterizar os atributos condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), relação de adsorção de sódio (RAS) e porcentagem de sódio trocável (PST) em um solo de origem aluvial afetado por sais no Perímetro Irrigado de Sumé, PB. Além disso, analisar a variabilidade espacial dos mesmos, utilizando-se procedimentos estatísticos (clássica e geoestatística) com a finalidade de contribuir com informações adicionais para o manejo e recuperação do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Perímetro Irrigado de Sumé, PB, pertencente ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), com coordenadas geográficas de 7° 39' de Latitude Sul e de 36° 56' Longitude Oeste e altitude média de 510 m, localizado na zona fisiográfica dos "cariris velhos". Na área experimental (134 ha) o solo predominante é o Neossolo. Amostras de solo foram

coletadas em 51 pontos, espaçados 250 m entre si, nas profundidades de 0 – 15; 15 – 30; 30 – 60 e 60 – 90 cm, totalizando 204 amostras de solo. Essas amostras, após serem secadas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm de abertura foram caracterizadas quimicamente de acordo com metodologia da EMBRAPA (1997), os cátions solúveis, CEes, RAS e PST, conforme procedimentos descritos por Richards (1954), enquanto os cátions trocáveis foram obtidos pela diferença entre os totais e os solúveis.

A capacidade de troca de cátions (CTC) foi obtida através da soma dos cátions trocáveis e utilizada no cálculo da PST, obtida da relação $(Na_{\text{trocável}} \times 100)/CTC$. Os dados de CEes, RAS e PST foram analisados através da estatística descritiva calculando-se as medidas de posição (média, mediana e moda), de dispersão (valor máximo, mínimo e coeficiente de variação e desvio padrão) e da forma da distribuição dos dados (coeficiente de assimetria e de curtose). Os dados discrepantes, ou seja, foram eliminados por meio de gráficos Box-Plot nos quais são considerados valores discrepantes, aqueles abaixo do limite inferior ou acima do limite superior.

Utilizando os Coeficientes de variação (CV), a variabilidade dos dados foi classificada segundo Warrick & Nielsen (1980), conforme a seguinte ordem de variabilidade $CE > RAS > PST$.

A variação espacial das amostras de solo foi determinada pela análise geoestatística tendo-se como base a obtenção de semivariogramas experimentais (Andrade, 2002) em que a dependência espacial foi avaliada com base nas pressuposições de estacionalidade da hipótese intrínseca, pela análise dos semivariogramas. Aos semivariogramas experimentais que apresentaram estrutura de dependência espacial foram ajustados os modelos matemáticos esféricos, exponenciais e Gaussianos (Zimback, 2001).

Após o ajuste dos valores calculados de $y^*(h)$ a um modelo matemático, foram definidos os coeficientes o Efeito Pepita (C_0), o Patamar ($C_0 + C$) e o Alcance de Dependência Espacial (a) (Couto et al., 2000). Para se analisar o grau de dependência espacial da variável em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), em que são considerados a dependência espacial (forte, moderada ou fraca), os semivariogramas que têm efeito Pepita $\leq 25\%$ do Patamar, entre 25 e 75% do Patamar e $> 75\%$ do Patamar, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os valores das médias e medianas dos atributos CEes, RAS e PST (Tabela 1) observou-se uma ampla variação nas quatro profundidades em

que as amostras foram extraídas. Ressalta-se, no entanto, que a amplitude total (diferença entre os extremos), por ser uma medida estatística de dispersão influenciada por valores atípicos, não é a medida mais apropriada para representar a dispersão dos dados. Constata-se que os valores das medianas

e da média aritmética não são semelhantes indicando a não normalidade dos dados de CEes, RAS e PST, em todas as profundidades analisadas, de acordo com os critérios apresentados por Costa Neto (1997).

Tabela 1. Análise estatística descritiva para as variáveis do solo

Parâmetro Estatístico	Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)				Relação de adsorção de sódio				Sódio trocável (%)			
	0-15m	15-30m	30-60m	60-90m	0-15m	15-30m	30-60m	60-90m	0-15m	15-30m	30-60m	60-90m
Amostras	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
Limite inferior	0,1	0,19	0,11	0,21	0,48	0,47	0,34	0,61	0,13	0,59	0,22	0,34
Limite superior	63,35	30,77	18,46	28,64	58,66	40,92	16,7	30,19	76,79	73,72	72,02	52,88
Média	4,37	3,34	3,23	3,61	4,05	4,18	3,79	4,36	10,4	12,48	12,44	13,59
Mediana	1,07	0,76	0,84	1,18	1,47	2,02	2,64	2,75	6,34	7,53	7,83	8,05
Quartil Inferior (25%)	0,66	0,51	0,59	0,6	0,91	1,34	1,34	1,63	2,52	3,68	4,18	4,89
Quartil superior (75%)	1,89	2,17	2,01	2,45	3,11	4,29	4,51	4,41	9,94	12,23	12,94	13,79
Variância	108,46	37,36	25,58	35,42	74,41	40,24	11,29	24,07	221,69	214,55	197,28	186,91
Desvio Padrão	10,41	6,11	5,06	5,95	8,62	6,34	3,36	4,91	14,89	14,65	14,05	13,67
Coef. de variação (%)	238,22	182,88	156,61	164,86	212,78	151,94	88,72	112,54	143,16	117,41	112,87	100,54
Grau de Assimetria	4,14	2,9	1,94	2,49	5,23	4,23	1,77	3,41	2,19	2,19	2,28	1,49
Curtose	21,99	10,76	5,41	8,91	32,92	23,68	6,26	16,8	10,91	8,03	8,53	3,93

As Figuras de 1 a 3 apresentam a probabilidade normal e histogramas da Condutividade Elétrica (CE), Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e Percentagem de Sódio Trocável (PST) para as quatro profundidades estudadas.

O comportamento não linear confirma a hipótese de que os dados não se ajustam a uma distribuição normal, indicando que a média aritmética, por ser uma medida bastante influenciada pelos valores extremos, não é uma medida e tendência adequada

para representação dos dados das propriedades químicas do solo estudadas. Para que um conjunto de dados seja considerado aderente à normalidade, é necessário que os valores dos coeficientes de assimetria e curtose estejam próximos de 0 e 3, respectivamente, o que não ocorreu na Tabela 1, indicando tendência de distribuição não normal.

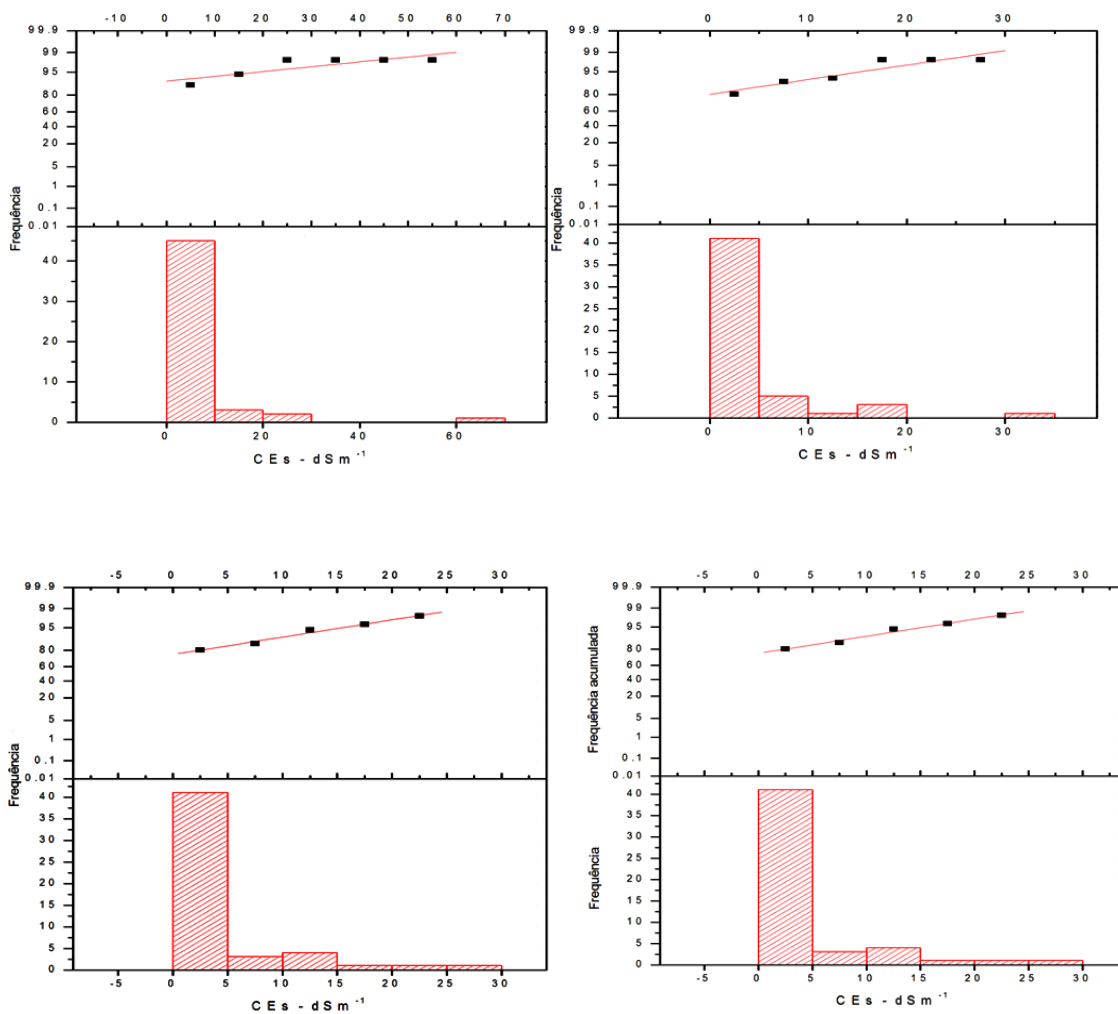


Figura 1. Gráfico de probabilidade normal e histogramas dos dados da condutividade elétrica (CE) para as quatro profundidades estudadas

Histograma da CEes mostrou comportamento fortemente assimétrico à esquerda, onde se concentra um número maior de valores abaixo da média e poucos valores acima dela. O coeficiente de assimetria, sendo maior que 1, vem confirmar tal comportamento. Comportamento semelhante pode ser visualizado para PST que apresentou um histograma do tipo bimodal e multimodal, respectivamente, sendo nas frequências máxima em torno de 39, 28 e 21%, respectivamente. O desvio padrão indica o afastamento dos valores observados em relação à média aritmética da amostra

estudada, sinalizando uma possível existência de variabilidade dos dados; o desvio padrão dos valores da PST foi maior em relação àqueles correspondentes aos valores obtidos para CE, que indicam menor variabilidade para os intervalos de profundidade de 0-15; 15-30; 30-60 e 60-90 cm e valores intermediários para a RAS para os mesmos intervalos de profundidade. Observaram-se, também, leve tendência e diminuição da variabilidade com aumento da profundidade para ambas as propriedades químicas do solo.

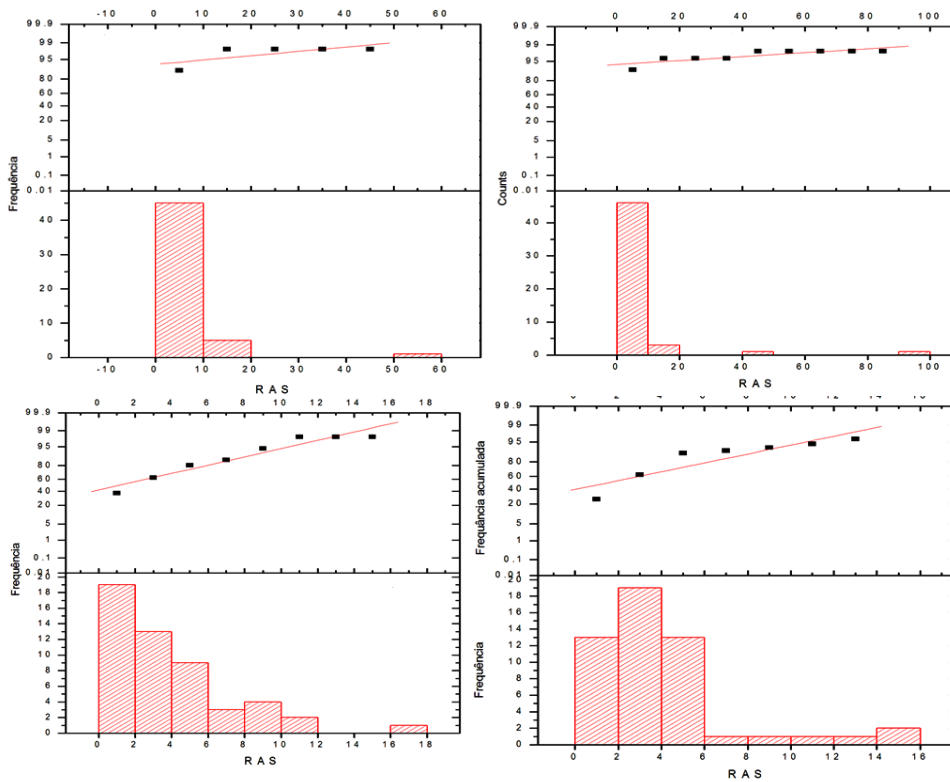


Figura 2. Gráfico de probabilidade normal e histogramas dos dados da relação de adsorção de sódio (RAS) para as quatro profundidades estudadas

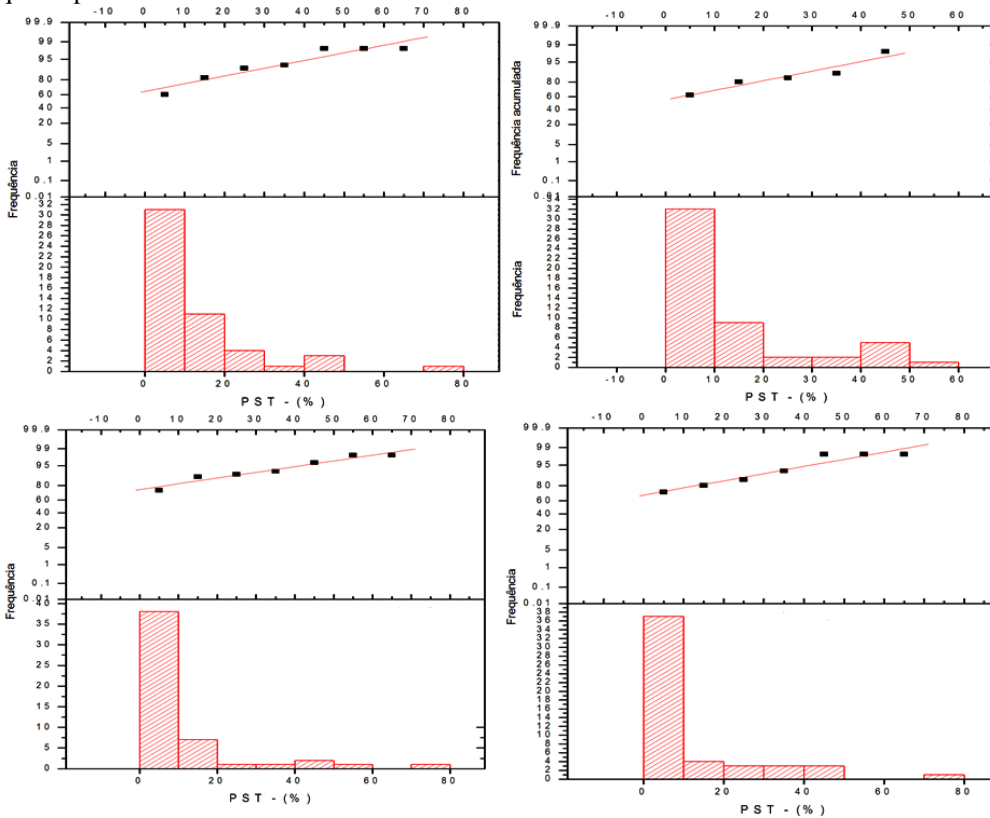


Figura 3. Probabilidade normal e histogramas da porcentagem de sódio trocável (PST) para as quatro profundidades

Com relação à classificação de Warrick & Nielsen (1980) para o coeficiente de variação, verificou-se alta variação para CE_es, RAS e PST em todas as profundidades, atribuindo caráter heterogêneo ao solo da área, o que é próprio de solos aluviais, concordando com

Oliveira (1998) e Souza et al. (2000). A heterogeneidade é característica inerente aos solos aluvial eutrófico, devido principalmente ao seu processo de formação que ocorre pela acumulação e distribuição desuniformes de

sucessivos depósitos de materiais oriundos de outros locais.

A Figura 4 apresenta os Box-plots para os dados de CE, RAS e PST nas quatro profundidades, os quais

permitiram eliminar dados considerados atípicos, no sentido de que esses valores não pudessem afetar a distribuição.

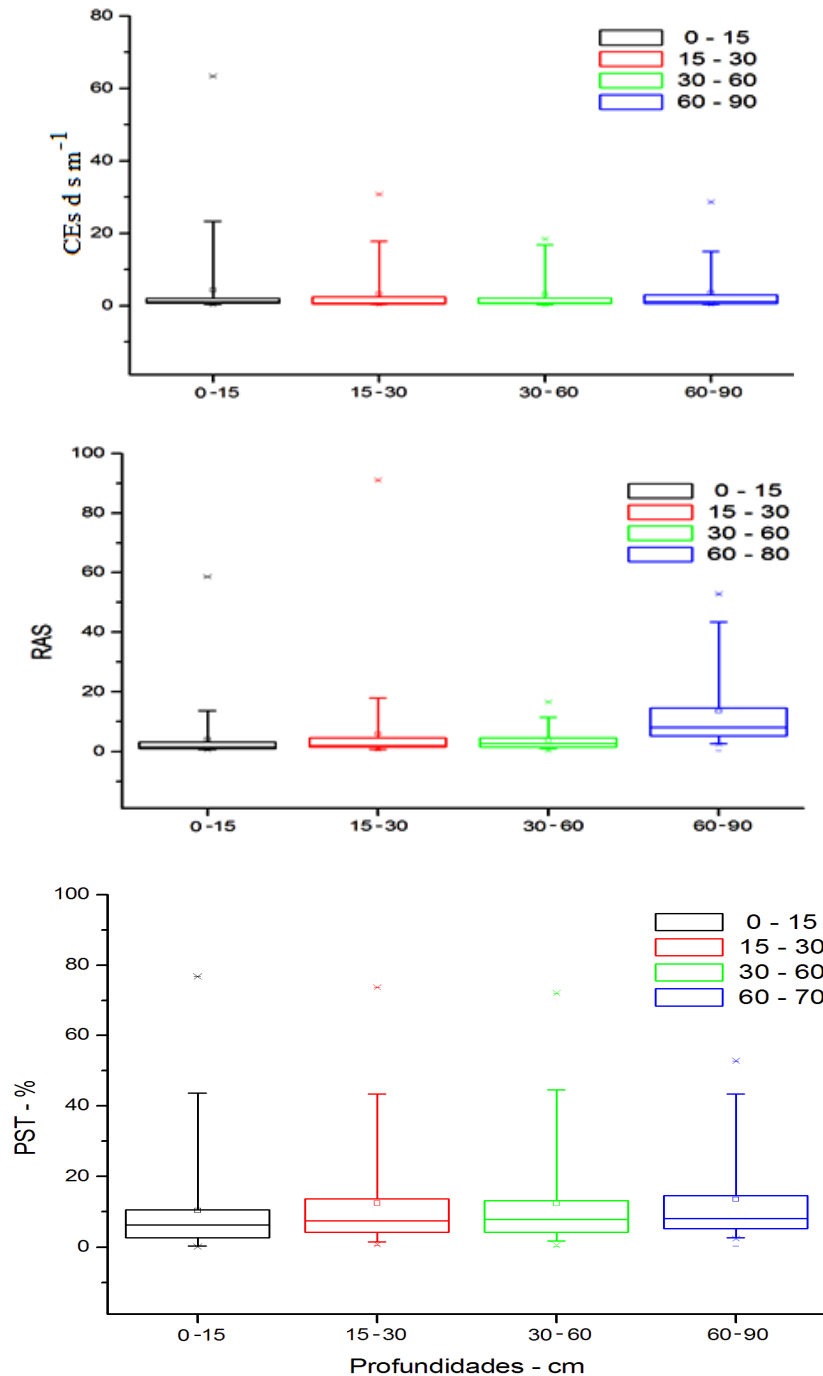


Figura 4. Box-plots para os dados de CE, RAS e PST nas quatro profundidades

A análise geoestatística mostrou que os atributos analisados apresentaram estrutura de dependência espacial para as profundidades estudadas, conforme observado por meio dos semivariogramas e seus respectivos modelos teóricos ajustados (Figuras 5, 6 e 7), juntamente com os parâmetros efeito Pepita, Patamar, variância estrutural e o alcance da dependência espacial (Tabela 2). Através da técnica de validação cruzada foram definidos os melhores ajustes nos semivariogramas teóricos, conforme o melhor coeficiente de correlação

entre os dados originais e os dados estimados pelo semivariograma escolhido. O modelo de semivariograma teórico isotrópico esférico "Sph" foi o que permitiu o melhor ajuste para os dados CEes, RAS e PST nos intervalos de profundidade de 0-15; 15-30; 30-60 e 60-90 cm seus respectivos parâmetros característicos de cada modelo ajustado. As variáveis investigadas apresentam efeito Pepita relativo menor que 0,40 significando que a componente aleatória é pequena com relação à variação espacial.

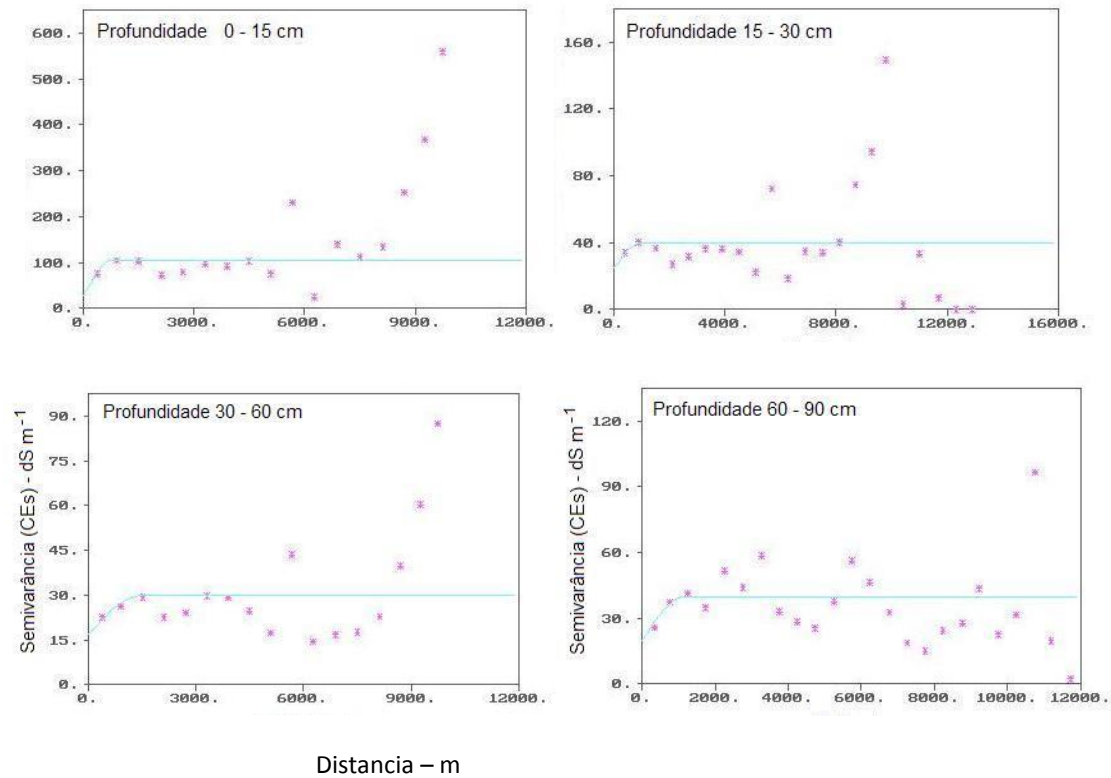


Figura 5. Semivariogramas ajustados para as CEs do solo

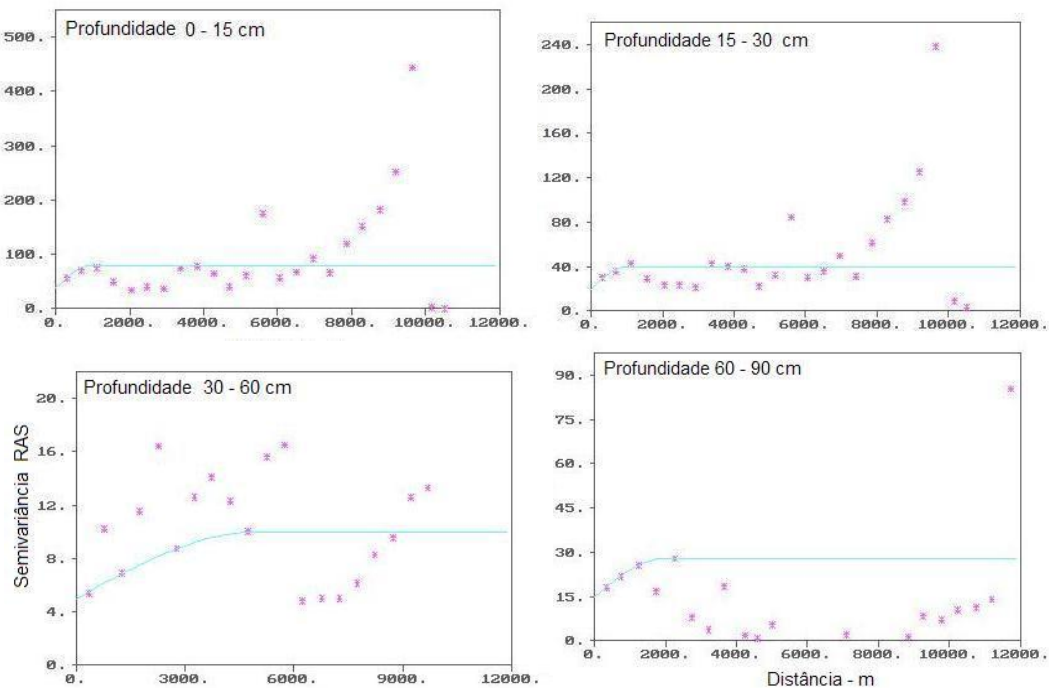


Figura 6. Semivariogramas ajustados para a RAS do solo

A Figura 7 apresenta os semivariogramas da PST para os intervalos de profundidade estudados. Observa-se, nesses semivariogramas, uma dependência espacial entre os dados amostrais para a área em estudo, definindo um efeito Pepita, Patamar e Alcance de 134, 94 e 2075 m, respectivamente. Segundo Cambardella et al. (1994) a dependência espacial do PST foi fraca para os dois primeiros intervalos de profundidade (0-15 e 15-30 cm) e

moderada para os dois últimos intervalos (30-60 e 60-90 cm). Para o PST, os valores de alcance variaram de 1100 a 4200 m. Essas distâncias são indicativos importantes para o planejamento de futuras amostragens para determinação da CEs, RAS e PST e para tomada de ações quanto à recuperação de solos salinos, uma vez que tal técnica é capaz de detectar até onde uma propriedade do solo apresenta dependência espacial. Para o PST os

intervalos de profundidade de 0-15 e 15-30 cm não apresentam nenhuma estrutura de dependência espacial devido ao elevado efeito Pepita (Co) com índices de dependência de 400 e 377% respectivamente, enquanto os intervalos de 30-60 e 60-90 cm apresentam moderada estrutura de dependência espacial de 55, 56 e 62,07%, respectivamente. Verifica-se, ainda, que a maior

aleatoriedade dos valores das três propriedades químicas do solo em estudo (CEes, RAS e PST) foi observada para as duas primeiras propriedades. O efeito Pepita aumenta devido, provavelmente, à maior influência de fatores, como a compactação do solo nas camadas

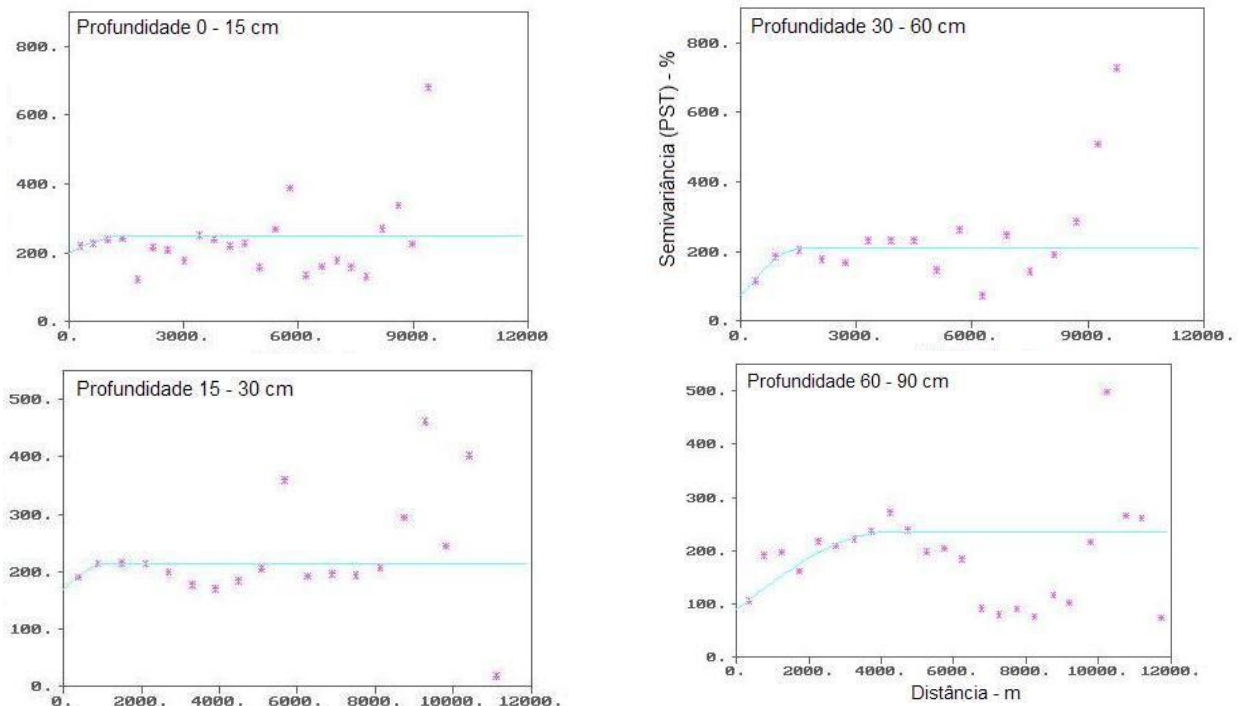


Figura 7. Semivariogramas ajustados para o PST

Os solos superficiais em virtude do uso de máquinas e aos processos de formação do solo (solos aluviais que recebem materiais ocasionados provenientes de inundações). A menor aleatoriedade dos valores das propriedades químicas do solo foi observada na profundidade de 30 – 60 cm (Co=17, 5 e 75 para CEes, RAS e PST, respectivamente), devendo-se

provavelmente, à menor influência dos fatores anteriormente mencionados na Tabela 1.

A Tabela 2 apresenta o resumo dos parâmetros dos semivariogramas ajustados Co; $C_1 + Co$ e α , em metros, índice de dependência espacial $[Co/(C_1 + Co)]$ em %, para a CEes, RAS e PST nos quatro intervalos de profundidade do solo estudado.

Tabela 2. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais: efeito pepita (Co), patamar (C1+Co), alcance (a) em metro, índice de dependência espacial $[Co/(C_1+Co)]$ em %, para as quatro profundidades do solo em centímetros

Parâmetros Geoestatísticos	Variáveis Químicas do Solo											
	CE				RAS				PST			
	0-15m	15-30m	30-60m	60-90m	0-15m	15-30m	30-60m	60-90m	0-15m	15-30m	30-60m	60-90m
Nº. de Pares	1028	1171	1026	1087	1140	1140	1028	405	1138	1182	1026	1216
Espaçamento Máx. (m)	10000	13000	13000	13000	13000	13000	12000	13000	13000	13000	1300	13000
Efeito Pepita (Co)	30	25	17	20	40	20	5	15	200	170	75	90
Patamar (Co + C)	75	15	13	20	40	20	5	13	50	45	135	145
R-Alcance (m)	800	1000	1500	1200	1000	1200	5000	2000	1400	1100	1600	4200
Dependência Espacial (%)	40	166,67	130,77	100	100	100	100	115,38	400	377,78	55,56	62,07

A relação em porcentagem entre o efeito Pepita e o Patamar do semivariograma pode indicar o grau de dependência espacial (Trangmar et al., 1985). Neste estudo se observou que na CEes o alcance médio variou entre 800 a 1500 m. A Tabela 03 e as Figuras 5 a 7 mostram a amplitude da correlação espacial da CEes, que representa a distância em que a utilização das técnicas geoestatísticas conduz a estimativas com maior precisão. As observações separadas por distâncias acima desses valores (800 e 1500 m) não são dependentes entre si, indicando que a hipótese de independência entre os dados pode ser aceita apenas para distâncias acima deste valor. Segundo Camberdella et al. (1994), os atributos que apresentaram forte dependência espacial são mais influenciados por propriedades intrínsecas do solo, enquanto os que apresentaram fraca dependência são os mais influenciados por fatores externos. Para a RAS, o alcance variou entre 1000 a 5000 m, uma variação bem maior quando comparado com a CEes. Até essas distâncias (1000 a 5000 m) um dado da RAS é correlacionado com seu vizinho, exibindo uma estrutura espacial. Assim, quanto maior a proporção do efeito Pepita para o Patamar, maior será a semelhança entre os vizinhos de RAS e menor a variação da estimativa e, portanto, maior a confiança que se pode ter nas estimativas (Vieira, 1998).

CONCLUSÕES

As variáveis estudadas (CE, RAS e PST) apresentaram alta variabilidade em todas as profundidades estudadas, sendo que esta variação foi maior para a CE seguida da RAS e PST.

Todas as variáveis mostraram distribuição estatística não normal de forma bimodal e/ou multimodal com alto grau de assimetria positiva e curtose.

A dependência espacial da CEes no intervalo de profundidade de 0 a 15 cm foi moderada; já para as outras profundidades a dependência espacial foi fraca; para a RAS em todos os intervalos de profundidade do solo foi fraca, assim, menor é a semelhança entre os valores vizinhos de RAS e menor a confiança que se pode ter nas estimativas. A dependência espacial da PST foi fraca para os intervalos de profundidade 0 – 15 e 15 – 30 cm, enquanto para os dois últimos intervalos a dependência espacial dos dados foi moderada

As variáveis CE, RAS e PST apresentaram estruturas variográficas satisfatórias e alcances de dependência espacial. Os alcances ou áreas de

influência obtidos no presente estudo poderão ser utilizados em futuras amostragens com fins de planejar um manejo racional dos solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ANDRADE, A. R. S. **Aplicação da teoria fractal e da geoestatística na estimativa da condutividade hidráulica e do espaçamento entre drenos.** FCA/UNESP. 2002. 198p. Tese Doutorado.

BECKETTI, P. H. T.; WEBSTER, R. Soil variability: A review. **Soil Fertility**, v.34, p.1-15, 1971.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, I. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58. p.1501-1511, 1994.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.695-703, 2003.

CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; VASCONCELOS, A. C. F.; LEÃO, A. B. Avaliação da salinidade dos Neossolos dos perímetros irrigados de São Gonçalo e Engenheiro Arcoverde, PB. **Agropecuária Técnica**, Areia, v.26, n.1, p.15-21, 2005.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. 15.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997. 468p.

COUTO, E. G.; KLAMT, E.; STEIN, A. Estimativa do teor de argila e de potássio trocável em solo esparsamente amostrado no sul do Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.129-140, 2000.

D'ALMEIDA, D. B. A.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; NESS, R. L. L. Importância relativa dos íons na salinidade de um cambissolo na chapada do Apodi, Ceará. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.615-621, 2005.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 1979. INFORMAR NÚMERO DE PÁGINAS.

FREIRE, M. B. G. S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. H.; FREIRE, F. J. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.45-52, 2003.

OLIVEIRA, J. J. **Variabilidade de características químicas de um solo salino-sódico**. 101p.. 101p. Dissertação (Mestrado). Campina Grande, UFPB, 1998.

PREVEDELLO, B. M. S. **Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta**. 166p. Tese (Doutorado). Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1987.

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J; MONTENEGRO, A. A. A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, v.3, 2003. 430p.

RICHARDS, L. A. **Diagnostics and improvement of salinity and alkali soil**. United States Department of Agriculture. Washington: United States Salinity Laboratory. 1954. 160p. Handbook 60.

SILVA, A. A. E.; OPAZO, M. A. U.; SOUZA, O. J.; ROCHA, J. V. Comparativo na aplicação de um

estimador clássico e um estimador robusto na análise de variabilidade espacial do fósforo, num Latossolo roxo. **Anais...** Congresso e Mostra de Agroinformática. Ponta Grossa – PR. 2000.

SOUZA, J. R.; QUEIROZ, J. L.; GHEY, H. R. Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.1, p.35-40, 2000.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solo para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 114p. Tese Livre Docência. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, NESP, 2001.

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 Press, 1980. p.319–344.