



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA**



**CENTRO DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**GEOESTATÍSTICA APLICADA AO ESTUDO DA
CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS
DO SOLO QUANTO À SALINIDADE**

**CAMPINA GRANDE
PARAÍBA**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

CURSO DE- PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DISSERTAÇÃO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

GEOESTATISTICA APLICADA AO ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO DE
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO QUANTO À SALINIDADE

JOSÉ DE ASSIS CAROLINO

Campina Grande (PB)
Junho 2005

**GEOESTATISTICA APLICADA AO ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO DE
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO QUANTO Á SALINIDADE**

JOSÉ DE ASSIS CAROLINO
Engenheiro Agrônomo

**Dissertação submetida à Coordenação do Curso
de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da
Universidade Federal de Campina Grande –
Campus I, em cumprimento às exigências para
obtenção do Grau de Mestre (M. Sc.) em
Engenharia Agrícola.**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ORIENTADORES: Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra

Prof. Dr. Tamkur Rajarao Gopinath

Campina Grande (PB)
Junho 2005



C292g Carolino, Jose de Assis
Geoestatística aplicada ao estudo da caracterização de atributos químicos do solo quanto a salinidade / Jose de Assis Carolino. - Campina Grande, 2005.
55 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

1. Irrigação Agrícola 2. Solo - 3. Geoestatística - 4. Dissertação I. Guerra, Hugo Orlando Carvalho, Dr. II. Gopinath, Tamkur Rajarao, Dr. III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 631.67(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

CURSO DE- PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**GEOESTATISTICA APLICADA AO ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO DE
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO QUANTO Á SALINIDADE**

JOSÉ DE ASSIS CAROLINO

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra
Orientador

Prof. Dr. Tamkur Rajarao Gopinath
Orientador

Prof. Dr. Adilson David de Barros
Examinador Interno

Prof. Dr. José Elias da Cunha Metri
Examinador Externo

Parecer

H. O. C. Guerra (Aprovado)

T. R. Gopinath (APROVADO)

Adilson David de Barros (APROVADO)

J. E. C. Metri (APROVADO)

Campina Grande (PB)
Junho 2005

**GEOESTATISTICA APLICADA AO ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO DE
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO QUANTO Á SALINIDADE**

A minha mãe Maria Adélia,
In memoriam

DEDICO

**Confie a Deus o que você faz, e seus projetos se realizarão.
(Provérbios 16,3)**

AGRADECIMENTOS:

- Ao grande arquiteto do Universo, pela luz da verdade.
- A Secretária da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado do Tocantins, pela oportunidade de realização deste trabalho.
- Ao professor Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra pela orientação, compreensão e amizade.
- Ao professor Dr. Tumkur Rajarao Gopinath, pela orientação e pelo apoio oferecido.
- Ao Engenheiro Agrônomo, Dr. Adilson David de Barros pela suas sugestões durante o desenvolvimento dos trabalhos
- Ao Secretário Chefe da Casa Civil do Estado do Tocantins, o Dr. Renan de Arimatéa Pereira, pelo apoio e concessão para conclusão deste trabalho.
- Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e o Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, pelo apoio para a realização deste curso.
- Aos professores Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra, Dr. Pedro Dantas Fernandes, Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima, Dr. Marx Prestes Barbosa e demais professores do Mestrado em Engenharia Agrícola, que contribuíram no meu desenvolvimento técnico e intelectual.
- Ao Engenheiro Agrônomo Frederico Antonio Loureiro Soares pelos esclarecimentos na realização das análises Geoestatísticas.
- A Engenheira Agrícola Vanda Maria Lira pelo carinho e constante incentivo.
- A Secretária de Pós-Graduação Rivanilda S. de Almeida pela atenção dada sempre que necessitei, principalmente nos momentos decisivos deste trabalho.
- Ao meu cunhado Dr. Ricardo Torres Leite a quem eu e minha família devemos profundos agradecimentos pelo acolhimento e incentivo inicial à busca dos nossos objetivos.
- À minha esposa Marta Hele pela magnitude de sua tolerância e compreensão, nos muitos momentos de longa ausência física e psicológica.
- Aos meus filhos Rachel Kellen, Jordane Sávio e Germana Élide, razão da minha vida.
- Aos colegas Ivanildo, Sohad, Monte Alverne, Beranger, Renê, Aureli, Antônio Costa e tantos outros, pelo proveitoso convívio, bem como pelas valiosas ajudas e incentivos constantes.
- Aos funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade: José Wilson, Francisco, Pedro e José Maria, pelos incentivos e amizades.
- Finalmente, a todos aqueles que de alguma forma procuraram contribuir para o êxito desta pesquisa, o autor desta dissertação agradece.

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	- graus Celsius
Dg	- densidade global, em g.cm ⁻³
h	- profundidade do solo, em cm
Na ⁺	- Sódio trocável, em meq/100g de solo
CE	- Condutividade elétrica do extrato de saturação, em dS.m ⁻¹ a 25°C
RAS	- Relação de absorção de sódio, em dS.m ⁻¹
PST	- Percentagem de sódio trocável, em %
CTC	- Capacidade de troca catiônica, em dS.m ⁻¹
Ls	- Limite superior
Li	- Limite inferior
Ai	- Amplitude interquartilica
Qs	- Quartil superior
Qi	- Quartil inferior
CV	- Coeficiente de variação, em %
Co	- Efeito pepita
Co + C ₁	- Patamar, em m
C	- Variação da dispersão, em m
a	- Alcance, em m
T	- Tolerância, em °
I	- Incremento, em m
N	- Solo normal
SOD	- Solo sódico
S	- Solo salino
SS	- Solo salino sódico
F(x)	- Frequência teórica de x
x	- Variável aleatória contínua
M _x	- Média da população
σ	- Desvio padrão da população
PST _i	- Percentagem de sódio trocável inicial

Cs	- Coeficiente de assimetria
Cr	- Coeficiente de curtose
m	- Estimativa da média da população
Mo	- Moda
S	- Estimativa do desvio padrão
M ₄	- Momento de quarta ordem centrado na média
S ⁴	- Quadrado da variância
γ	- Variograma
SAR	- Relação de adsorção de sódio
Na ⁺	- Sódio trocável
Ca ⁺⁺	- Cálcio trocável
Mg ⁺⁺	- Magnésio trocável

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
01 – Representação gráfica da função semivariograma.....	12
02 – Mapa de localização do Estudo.....	18
03 – Localização das amostragens	21
04 – Gráficos de probabilidade normal e histogramas dos dados da Condutividade Elétrica(CE) para as quatro profundidades estudadas	27
05 – Gráficos de probabilidade normal e histogramas dos dados da Relação de Adsorção de Sódio para as quatro profundidades estudadas-.....	28
06 – Gráficos de probabilidade normal e histogramas dos dados da Porcentagem de Sódio Trocável para as quatro profundidades estudadas.....	29
07 – Box-plot parta dados de CE nas quatro profundidades	31
08 – Box-plot parta dados da RAS nas quatro profundidades	31
09 – Box-plot parta dados de PST nas quatro profundidades.....	32
10 – Semivariogramas ajustados para a CE do solo	34
11 – Semivariogramas ajustados para a RAS do solo	35
12 – Semivariogramas ajustados para o PST do solo.....	36

LISTA DE TABELAS:

PÁGINAS

01 – Classificação dos solos afetados por sais.	4
02 – Análise estatística descritiva para as variáveis do solo.	26
03 – Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais: efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$), alcance (a) em metro, índice de dependência espacial $[C_0/(C_0+C_1)100]$ em %, para as quatro profundidades do solo em centímetros.	38

ÍNDICE

PÁGINA

RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Estudo dos Problemas dos sais em solos Irrigados	3
2.2. Solos Afetados por sais	3
2.2.1. Solos salinos	4
2.2.2. Solos salino-sódicos ou salino-alcalinos	5
2.2.3. Solos sódicos ou alcalinos	6
2.3. Causas dos Problemas de salinização.....	7
2.4. Variabilidade Espacial das Propriedades do solo.....	9
2.4.1.- Análises Estatística Clássica	9
2.4.2.- Geoestatística.....	12
2.5.- Variabilidade Espacial das Propriedades químicas do solo	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1. Localização da área experimental	19
3.2. Clima	19
3.3. Solo.....	19
3.4. Coleta de amostras.....	19
3.5. Variáveis estudadas	22
3.5.1. Condutividade elétrica do extrato de saturação (CE).....	22
3.5.2.- Cations totais, soluveis e trocáveis	22
3.5.3.- Capacidade de Troca de Cátions.....	23
3.5.4.- Relação de Absorção de Sódio (RAS)	23
3.5.5.- Percentagem de Sódio Trocável (PST)	23
3.5.6 – pH	23
3.6. Análise estatística	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. Análise descritiva dos dados	25
4.2. Análises geoestatísticas	33
5. CONCLUSÕES	39

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
APÊNDICE.....	47

RESUMO:

O presente trabalho teve por objetivo estudar a variabilidade espacial da Condutividade Elétrica do extrato de saturação, Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e Percentagem de Sódio Trocável (PST), em um solo de origem aluvial afetado por sais. As amostras de solo foram coletadas numa área de 134 há do Projeto do Perímetro Irrigado de Sumé, Estado da Paraíba, nos intervalos de profundidades de 0-15; 15-30; 30-60 e 60-90 cm, obedecendo a um esquema sistemático de amostragem numa malha de 250m, totalizando 51 pontos amostrados. O comportamento dos dados foi avaliado por meio da estatística descritiva e de análises geoestatísticas. Pela análise descritiva constatou-se que os dados de CE apresentaram a maior variação (CV = 185,64%) seguida pelo RAS (CV = 141,49%) e pelo PST (CV = 118,49%). Através da Estatística Clássica encontrou-se que a Condutividade Elétrica (CE), a Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e a Porcentagem de Sódio Trocável (PST) apresentaram altas variações em todas as profundidades estudadas sendo que esta variação foi maior para a CE seguida pela RAS e pelo PST. A Condutividade Elétrica do Solo no intervalo de profundidade de 0-15 cm teria uma moderada dependência espacial. Já para os outros intervalos de profundidade a dependência espacial foi fraca. Para a Relação de Adsorção de Sódio a dependência espacial para todos os intervalos de profundidade foi fraca. A dependência espacial da Percentagem de Sódio Trocável 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). A Condutividade Elétrica, a Relação de Adsorção de Sódio e a Percentagem de Sódio trocável apresentaram alcances de dependência espacial. Os alcances ou áreas de influência obtidas no presente estudo poderão ser utilizados em futuras amostragens com fins de planejar um manejo adequado de solos afetados por sais.

Palavras-chave: Salinidade, Variabilidade, Geoestatística.

ABSTRACT

The objective of this work was to study the spatial variability of the Electrical Conductivity of the saturation extract (EC), Sodium Absorption Relation (SAR) and Exchangeable Sodium Percentage (ESP) in an alluvial soil affected by salts. The soil samples were collected in an area of 134 ha in the Project of the Sumé Irrigated Perimeter, at 0-15; 15-30; 30-60 and 60-90 cm depth intervals in a systematic grid sampling of 250x250 m, with a total of 51 sample points. The data was treated and analyzed by classical and geostatistic procedures. High variability for EC (CV= 185.4%), SAR (CV= 141.49%) and ESP (CV = 118.49%) was observed through the classical statistic. Through the semivariograms, obtained by the geostatistic analyzes, it was found that all the variables studied showed high variability at all depth intervals and also that the variability for the EC was the highest followed by the SAR and ESP. The EC of the 0-15cm depth interval has a moderated spatial dependence. For the other intervals it was weak. For the SAR, the spatial dependence was weak for all the depth intervals studied. The variability of the Exchangeable Sodium Percentage was weak for the two first intervals (0-15 and 15-30cm) and moderated for the last two ones (30-60 and 60-90cm). All the variables showed spatial dependence ranges, which could be used in the future for the management of the salt affected soils.

Key-words: Salinity, soil variability, Geoestatistic.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Nas regiões semi-áridas do Nordeste as condições climáticas e especialmente a intensa evaporação e baixos índices pluviométricos concorrem para a concentração dos sais na superfície do solo, fato este de grande importância sócio-econômica principalmente naquelas áreas irrigadas. A irrigação com águas salinas aumenta ainda mais o problema. Estima-se que uma lâmina de 30 cm das águas de irrigação pode aportar, em média, entre 0,1 a 5 toneladas de sais por hectare. No semi-árido do Nordeste brasileiro, onde uma área correspondente a 52% de sua superfície foi delimitada como polígono das secas (SUDENE, 1977) foram implantados vários perímetros públicos de irrigação, onde se concentravam as terras mais intensamente cultivadas com o uso da irrigação. Estima-se que ao redor de 25% da área total irrigada dos perímetros irrigados estão afetados por problemas de sais e há, ainda, grandes possibilidades de aumentar ainda mais este percentual (GÓES, 1978; CORDEIRO et al., 1988; GHEYI, 1991).

Até recentemente pesquisadores ligados a área agrônômica estudavam a variabilidade das propriedades do solo por meio da estatística clássica que pressupõe que as observações de uma dada propriedade são independentes entre si, desconsiderando-se sua localização na área. Ultimamente tem sido reconhecido que observações adjacentes numa determinada área não são completamente independentes e que essa variabilidade espacial deve ser considerada na análise estatística dos dados.

A variabilidade espacial das propriedades do solo quanto à salinidade pode ocorrer em diferentes níveis, podendo estar relacionadas a vários fatores: variação do material de origem, clima, relevo, organismos e tempo, ou seja, de processos genéticos de formação de solo e/ou efeitos do manejo, decorrentes do seu uso agrícola. Um dos métodos mais antigos de estimar a dependência no espaço de amostras vizinhas é a autocorrelação, utilizada principalmente para medições efetuadas em uma linha reta (transetos). A sua utilização pode auxiliar na localização de divisas entre dois tipos de solos. Porém, quando as amostras forem coletadas nas duas dimensões do campo e a interpolação entre pontos medidos for necessária o método falha e é preciso usar uma ferramenta mais adequada para medir a dependência espacial. Esta ferramenta é a Geoestatística, baseada na Teoria das Variáveis Regionalizadas, entendendo como tal, uma função que varia de um lugar a outro no espaço com certa

aparência de continuidade, isto é, são variáveis cujos valores são relacionados de algum modo com a posição que ocupam (GUERRA, 1998). A análise geoestatística dispõe de distintas metodologias de análises da variação espacial, sendo o semivariograma (CARVALHO, 1991) a função que possibilita quantificar a variabilidade e a dependência espacial entre amostras dentro do campo. O sentido físico do semivariograma pode ser percebido quando se analisa a sua definição: ele mede a variabilidade das diferenças entre as realizações da variável aleatória de interesse, de tal maneira que quanto menor a semivariância, menor a variação dessas diferenças.

O conhecimento prévio da variabilidade espacial dos parâmetros físico-químicos de um solo é de fundamental importância para o manejo de água e irrigação permitindo o zoneamento de áreas em glebas com manejo diferenciado.

O presente trabalho objetivou utilizar a geoestatística, e em especial os semivariogramas, para determinar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo quanto à salinidade no Perímetro Irrigado de Sumé no Estado da Paraíba.

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Estudo dos Problemas dos Sais em Solos Irrigados

Em muitas áreas irrigadas no Nordeste do Brasil em especial nos Perímetros Irrigados sob a responsabilidade do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), devido a falta de um manejo adequado da irrigação e a deficiência ou inexistência dos sistemas de drenagem as áreas irrigadas são afetadas por sais e posteriormente abandonadas. Como este problema é contínuo e com o decorrer do tempo a área irrigável vai se tornando cada vez mais restrita, é necessária a procura de novas áreas para implantação de outros projetos. As terras abandonadas representam perdas consideráveis, pois a implantação de projetos de irrigação requerem grandes inversões de capital (GOMES et al., 1997).

2.2 – Solos afetados por sais

No mundo, atualmente existem grandes extensões de terras já afetadas por sais, causado pela presença do excesso de sais solúveis e/ou sódio trocável, os quais promovem variações nas características físico-químicas e hídricas do solo, principalmente em relação ao pH do solo, disponibilidade de nutrientes e infiltração de água (DAMASCENO, 1993). Durante a interperização química, as rochas liberam sais solúveis em diversas proporções dos cátions sódio, cálcio e magnésio e dos ânions cloreto e sulfato, porém, os ânions carbonato, bicarbonato e nitrato também são encontrados, só que em quantidades menores (RICHARDS, 1954; DAKER, 1988). Estes sais normalmente estão presentes nos solos salinos e/ou sódicos.

Os solos afetados por sais são classificados em função da concentração de sais solúveis na solução do solo, expressa pela condutividade elétrica do extrato de saturação (CE), da percentagem de sódio trocável (PST), do pH da pasta de saturação e a relação de absorção de sódio (RAS), conforme a classificação apresentada por RICHARDS (1954).

A Tabela 01 apresenta a classificação dos solos afetados por sais segundo RICHARDS (1954) e a proposta pela Sociedade Internacional de Ciência do Solo:

Tabela 01. Classificação dos solos afetados por sais

Classe de Solo	Classificação Tradicional (RICHARDS, 1954)	Classificação Proposta (SSSA, 1976)
Salino	CE > 4 dSm ⁻¹	CE > 2 dSm ⁻¹
	PST < 15	PST < 15
	pH < 8,5	pH < 8,5
Sódico	CE < 4 dSm ⁻¹	CE < 2 dSm ⁻¹
	PST > 15	PST > 15
	pH > 8,5	pH > 8,5
Salino-sódico	CE > 4 dSm ⁻¹	CE > 2 dSm ⁻¹
	PST > 15	PST > 15
	pH < 8,5	pH < 8,5

FONTE: BOHN ET AL. (1985)

Existem várias classificações para os solos afetados por sais, sendo as mais importantes a russa, a francesa e a americana, do qual a americana é a classificação mais simples e prática (RICHARDS, 1954), baseada na concentração de sais solúveis (expressa em condutividade elétrica – CE) extraídos da pasta de saturação do solo (CE) e na percentagem de sódio trocável do solo.

De acordo com a classificação Tradicional um solo normal tem uma CE menor de 4 dSm⁻¹, um PST menor de 15 e um pH menor de 8,5.

BOHN et al (1985) citam que tem sido estabelecido o valor da CE de 4 dSm⁻¹ como linha divisória entre solos salinos e não salinos, entretanto, podem-se encontrar plantas sensíveis aos sais que podem ser afetados em solos cujo extrato de saturação apresentem CE entre 2 e 4 dSm⁻¹. Daí o Comitê de Terminologia da Sociedade Americana de Ciências do Solo (SSSA, 1976) tem recomendado baixar o limite entre solos salinos e não salinos para 2dSm⁻¹.

2.2.1 – Solos salinos

PEREIRA et al., (1990) indicam que no Nordeste brasileiro existem mais de 9 milhões de hectares de solos geneticamente salinos.

Normalmente, o pH é menor do que 8,5. Os solos salinos são frequentemente reconhecidos pela presença de uma crosta branca de sal em sua superfície. Por causa do excesso de sais e da ausência de quantidade significativa de sódio trocável, os solos salinos são geralmente flocculados e, conseqüentemente, sua permeabilidade é igual ou superior à dos solos similares não-salinos. Para PIZARRO (1985), o principal efeito da salinidade sobre os solos consiste em sua ação sobre a estrutura. Esta propriedade é função da flocculação dos colóides e da cimentação dos mesmos na forma de agregados, fazendo com que os efeitos da salinidade sejam mais pronunciados quanto mais argiloso for o solo. Elevadas concentrações de íons bicarbonatos tendem a precipitar o cálcio e o magnésio, aumentando a concentração de sódio em relação a estes, afetando assim, a permeabilidade, por ser o sódio um agente muito ativo de dispersão do solo (RHOADES & MIYAMOTO, 1990).

Os solos salinos podem ser recuperados por lavagem e adequada drenagem, de modo que se possam remover os sais solúveis por lixiviação, tornando-os novamente normais.

Segundo PEREIRA et al., (1990) os solos salinos geralmente são encontrados nas regiões de clima árido e semi-árido, que favorecem a concentração de sais em quantidades tais no solo e na água superficial, que reduzem a sua produtividade. Nestes solos, as plantas apresentam crescimento e desenvolvimento desuniformes, folhas com coloração verde-azulada, relativamente grossas, cerosas e com queimaduras nas margens.

De acordo com MILLAR (1989), a falta de drenagem e a irrigação mal aplicada provocam o fenômeno de salinidade em zonas áridas e semi-áridas, com baixa precipitação e alta evaporação, deixando bem clara a estreita relação existente entre os processos de irrigação, drenagem e salinidade. O problema se torna mais grave se, à situação anterior, se adiciona à presença de lençóis freáticos altos, devido ao transporte de sais através do fluxo capilar.

2.2.2 – Solos salino-sódicos

Segundo a classificação proposta pela SSSA, solos salino-sódicos são solos cuja condutividade elétrica do extrato de saturação é maior que 2 dSm^{-1} e a percentagem de sódio trocável é maior do que 15. Estes solos se formam em razão do processo de acumulação de sais solúveis e de sódio. Sempre que houver excesso de sais, a aparência e a propriedade desses solos serão similares as do solo salino. Nessas condições, o pH raramente ultrapassa a 8,5, e as partículas do solo permanecem flocculadas. Caso o excesso de sais solúveis seja lixiviado, as propriedades desses solos mudam significativamente, tornando-se solos sódicos.

com pH acima de 8,5 e as partículas do solo se dispersam, tornando-se solos com baixa permeabilidade, pesados e difíceis de serem trabalhados. O manejo para recuperação desses solos é a aplicação de corretivos associados à lavagem.

Um solo salino-sódico resulta da combinação dos processos de salinização e sodificação, caracterizando-se pela presença de altas concentrações de sais solúveis e do cátion sódio trocável na profundidade do sistema radicular, implicando em uma elevação do pH proporcionado pelos íons carbonato e bicarbonato, que são de baixa solubilidade, reduzindo o crescimento da maioria das espécies vegetais (SANTOS e MURAOKA, 1997).

As propriedades químicas do solo dependem, basicamente, dos colóides eletronegativos constituído de argilas e de ácidos húmicos. Os colóides eletronegativos estão rodeados de capas de cargas. A primeira corresponde ao próprio colóide, carregada negativamente, e a segunda composta de cátions que se encontram retidos devido à sua carga positiva. Os mais importantes cátions adsorvidos são os íons de hidrogênio, cálcio, magnésio, potássio, sódio e alumínio (PIZARRO, 1985). O mesmo autor indica que ocorre um equilíbrio entre os cátions da solução do solo e os cátions adsorvidos, que se reflete na relação de absorção de sódio (RAS) e na percentagem de sódio trocável (PST) do solo, existindo, assim, uma relação entre ambos, o que permite estimar facilmente a PST a partir dos valores do RAS.

2.2.3 – Solos sódicos ou alcalinos

Segundo a classificação proposta pela SSSA solos sódicos são solos cuja condutividade elétrica do extrato da saturação é menor que 2 dSm^{-1} e cuja percentagem de sódio trocável é maior do que 15. O pH comumente, varia de 8,5 a 10. Esses solos, de modo geral, são encontrados em regiões áridas e semi-áridas. Em razão da saturação parcial de sódio nesse tipo de solo, a argila é bastante dispersa, ela pode ser transportada, através do perfil do solo, e acumulada em camadas abaixo da superfície do solo, desenvolvendo-se aí uma camada densa e de baixa permeabilidade, com estrutura prismática ou columnar, enquanto a camada superficial do solo pode apresentar textura grossa, dando a impressão de um perfil de boa drenagem. Sempre que o material originário do solo ou da água para irrigação não contém gesso, a lavagem dos solos salino-sódicos por meio da lixiviação dos sais solúveis conduz à formação de solos sódicos. Para recuperar esses solos, aplicam-se corretivos.

PIZARRO (1985) explica que, como todas as águas de irrigação tem um conteúdo maior ou menor de sais solúveis, existem numerosos exemplos, antigos e atuais, de regiões ricas que se tornaram totalmente improdutivas em consequência de uma irrigação inadequada. A água da irrigação sempre contém sais que podem ser depositados no solo quando a água evapora ou é utilizada pelas plantas.

Nos solos sódicos há predominância de sódio trocável no complexo de troca devido a precipitação dos compostos de cálcio e magnésio, imprimindo uma forte influência sobre suas propriedades físico-químicas. Após a evaporação da água, parte da matéria orgânica destes solos poderá ser oxidada em função do pH alcalino, formando manchas escuras, quando recebem então o termo álcali negro ou solonetz. Os solos sódicos, com altas percentagens de sódio intercambiável (PSI), apresentam como principal problema a baixa permeabilidade (PIZARRO, 1985). Normalmente, apresentam um horizonte sub-superficial de baixa permeabilidade, condutividade hidráulica e estabilidade dos agregados. As plantas neles cultivadas apresentam sistemas radiculares restritos e pouco desenvolvidos.

2.3. Causas dos problemas de salinização

RICHARDS (1954) e DAKER (1988) indicam que os sais solúveis do solo consistem em grande parte e proporções variadas, dos cátions sódio, cálcio e magnésio e dos ânions cloretos e sulfato, sendo que, em quantidades menores, se encontram os ânions bicarbonato, carbonato e nitrato. As fontes originais, dos quais provém esse sal, são os minerais primários que se encontram no solo e nas rochas expostas ao intemperização. Durante o processo de intemperização química das rochas que implica em hidrólise, hidratação, solução, oxidação e carbonação, os constituintes são liberados gradualmente e se tornam mais solúveis. Os íons bicarbonato se formam como consequência da solução de CO_2 em água. O CO_2 é um ativo agente intemperizante que libera quantidades apreciáveis de cátions em forma de bicarbonato.

As acumulações de sal solúveis nos solos salinos são originadas em princípios pela intemperização dos minerais, porém, essa acumulação raras vezes se dá em níveis nocivos. Para o desenvolvimento de solos salinos, os sais têm que ser transportados e concentrados. A água é geralmente o principal agente de transporte e a concentração ocorre na superfície do solo pelo processo da evapotranspiração da água. Por conseguinte, os sais de solos salinos se originam principalmente das águas subterrâneas, da água de irrigação, da água do mar, e do transporte eólico de sais terra adentro (RICHARDS, 1954; COELHO, 1983).

A migração e deposição desse sais solúveis dependem da intensidade e da distribuição das precipitações, da porosidade dos solos e de outras condições ambientais, tais como intensidade de evaporação, condições de drenagem do solo e tipo de cultura explorada. As águas, como agente solvente e transportador de sais, desempenham importante papel na salinização e alcalinização dos solos.

Segundo a FAO (1986), as causas da alcalinização de um solo são as dessalinizações na presença de poucos cátions bivalentes no solo, a água subterrânea rica em Na_2CO_3 e NaHCO_3 , a redução de sulfato sob condições anaeróbicas e a interperização de silicatos alumino - sódicos.

RICHARDS (1954) e a UNESCO/FAO (1973), afirmam que as áreas irrigadas situadas em regiões desérticas e semidesérticas em lugares de pouca drenagem natural, deltas costeiros, áreas periféricas de deltas continentais secos, depressões montanhosas internas e vales de precipitações pluviais retardadas, terras baixas de zonas lacustres e costeiras, cedo ou tarde experimentam uma elevação do lençol freático ficando seus solos expostos a salinidade.

Segundo AYERS & WESTCOT (1999), freqüentemente os problemas de salinidade na agricultura devem-se ao nível freático alto e não controlado, situado entre os dois primeiros metros de solo. Nestes perfis, a água ascende por capilaridade na zona radicular e se o lençol freático contiver sais, estes se acumulam na zona radicular à medida que a água é evapotranspirada. Esta forma de salinização é um processo rápido em zonas de irrigação com clima quente, principalmente quando o solo permanece em repouso por períodos longos. A rapidez deste processo depende do manejo da irrigação, da concentração de sais, da profundidade do lençol freático, do tipo de solo e do clima. O controle adequado do lençol freático requer um eficiente sistema de drenagem sub-superficial, que assegure a eliminação da água salina e seu deslocamento a lugares apropriados.

A origem dos problemas de salinidade está na própria formação do solo, uma vez que o mesmo é produto da interperização da rocha matriz, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos, mediante a ação de vários fatores, tais como clima, relevo, organismos vivos e tempo (BRADY, 1983).

Para BOHN et al, (1985), as três principais fontes naturais de sais do solo são o interperismo mineral, a precipitação atmosférica e os sais fósseis (aqueles remanescentes de ambientes marinhos ou lacustres), sendo que, os sais também podem ser adicionados ao solo através de atividades humanas, incluindo o uso de águas de irrigação e salmouras altamente salinas ou resíduos industriais.

Sódio, magnésio, potássio, cloro, enxofre, carbonato e outros sais, embora estejam presentes nas rochas, possuem menores coeficientes de energia, apresentando alta solubilidade e mobilidade em relação ao silício, alumínio e ferro, conseqüentemente, os diferentes compostos solúveis daqueles elementos, quando liberados da rocha matriz, poderão ser acumulados no solo em determinadas condições, sobretudo em regiões áridas e semi-áridas (UNESCO / FAO, 1973).

2.4. Variabilidade espacial das propriedades do solo

A rocha está submetida a contínuas transformações devido à ação combinada dos agentes do intemperização e formação originando os mais diversos tipos de solos. Os processos de adição, remoção, transformação e translocação de elementos químicos que ocorrem durante a formação dos solos também concorrem para aumentar essa diversificação, o que implica dizer que as propriedades químicas e físicas do solo, tais como a salinidade, variam continuamente no espaço e no tempo, por mais homogêneo que o mesmo aparentar (Oliveira, 1998).

As técnicas utilizadas no processo de caracterização do processo de variabilidade espacial de propriedades de solo obtidas no campo são basicamente duas: Análises estatística clássica e Geoestatística

2.4.1. Análises estatística clássica

Para representar uma dada variável de solo por meio de valores em torno dos quais tende a haver uma maior concentração dos dados observados, são utilizadas medidas estatísticas conhecidas como medidas de posição ou de tendência central. As três medidas de posição mais utilizadas para determinar a tendência central de um conjunto de dados são a média aritmética, moda e a mediana. Os quartis são considerados também como medidas de posição, os quais dividem o conjunto de dados em quatro partes iguais (COSTA NETO, 1997).

TRANGMAR et al. (1985) relatam que o valor esperado de uma propriedade de solo Z para uma determinada posição x da área é dado por:

$$Z(x) = \mu + e(x) \quad (1)$$

Onde μ é a medida populacional; $e(x)$ são os desvios dos dados em torno da média, considerados como independentes e com distribuição normal de média zero e variância α^2 .

Considerando tais hipóteses e a propriedade Z apresentando uma distribuição de frequência normal, a média aritmética é tida como estimador da tendência central da população em locais não amostrados para um dado nível de precisão. Neste caso, a dispersão dos dados em torno dessa média pode ser medida pela variância, coeficiente de variação ou pelos limites da confiança.

A informação fornecida pelas medidas de posição necessita, em geral, ser complementada por medidas de dispersão, os quais servem para indicar o quanto os dados se apresentam dispersos em torno da região central (COSTA NETO, 1997). Os principais parâmetros da estatística utilizados nos estudo de dispersão ou variabilidade de dados são: a variância, o desvio-padrão e o coeficiente de variação. Outros parâmetros, de uso menos freqüente, são a amplitude total, o desvio médio e a amplitude interquartilica.

Segundo Gomes, citado por OLIVEIRA (1994), o coeficiente de variação dá uma idéia da precisão de um experimento quando se consideram condições semelhantes, como por exemplo, a igualdade do número de repetições.

O coeficiente de variação é uma medida adimensional que tem sido utilizado para caracterizar a variabilidade de um conjunto de dados. Segundo Warrick e Nielsen (citado por QUEIROZ, 1995) para algumas variáveis do solo, o coeficiente de variação pode ser superior a 10%, enquanto para outro pode ser superior a 1000%. Os autores afirmam ainda, que um coeficiente de variação acima de 52% representa elevada variabilidade da variável analisada.

Dentre os diversos tipos de distribuição teórica de probabilidade, o modelo de distribuição normal tem sido bastante utilizado, devido ao fato de que vários fenômenos, expressos por meio de variáveis aleatórias contínuas, ajustaram-se a este tipo de distribuição. Esta modalidade de distribuição se caracteriza pela simetria dos dados em torno de um valor central, sendo a média, moda e mediana coincidentes, podendo ser a média tomada como medida representativa da população amostral (GUERRA, 1998; QUEIROZ, 1995). A função que descreve a forma de curva teórica dessa distribuição, ou seja, a função densidade de probabilidade, é dada pela expressão:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x - M_x}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2)$$

- $F(x)$ - frequência teórica de x ;
 x - variável aleatória contínua;
 M_x - média da população;
 σ - desvio padrão da população.

Para verificar se um conjunto de dados se ajusta à distribuição normal, faz-se uso de testes de aderência como o qui-quadrado (χ^2) ou Kolmogorov-Smirnov (KS) ou através de índices de medidas baseados nos coeficientes de assimetria (C_s) e de Curtose (C_r), conforme COSTA NETO (1997). O C_s indica a simetria da distribuição enquanto que o C_r indica o grande achatamento da curva teórica. Estes coeficientes são expressos por:

$$C_s = \frac{m - M_o}{S} \quad (3)$$

$$C_r = \frac{M_4}{S^4} \quad (4)$$

Onde:

- m - estimativa da média da população;
 M_o - moda;
 S - estimativa do desvio padrão;
 M_4 - momento de quarta ordem centrado na média;
 S^4 - quadrado da variância

Uma distribuição de probabilidade normal apresenta valores de $C_s = 0$ e $C_r = 3$, sendo que para testar os valores medidos para um conjunto de dados são estatisticamente iguais a 0 e 3, respectivamente, utiliza-se a teoria estatística da decisão, isto é, testes de hipóteses, afirmam QUEIROZ et al. (1997).

Embora o coeficiente de variação seja amplamente utilizado para expressar a magnitude de variabilidade de um conjunto de dados, ele nada informa quanto ao comportamento espacial da variável indicada, o que demonstra a necessidade de utilização de técnicas descritivas espaciais. Alguns recursos gráficos utilizados na análise descritiva espacial de um conjunto de dados são: gráficos box-plot ou gráfico de caixa, "datapost" "postplot", gráfico por linhas e gráficos por colunas (RIBEIRO JÚNIOR, 1995). A utilização desses recursos gráficos é de grande utilidade para auxiliar na tomada de decisões quanto à eliminação ou não de dados, bem como a remoção de tendências.

2.4.2.- Geoestatística

A geoestatística é uma técnica baseada na Teoria das Variáveis Regionalizadas, entendendo como tal, uma função que varia de um lugar a outro no espaço com certa aparência de continuidade, isto é, são variáveis cujos valores são relacionados de algum modo com a posição que ocupam (GUERRA, 1998).

A geoestatística, que originalmente foi utilizada no campo da mineração, se desenvolveu na Escola de Paris em torno dos trabalhos de Matheron (CARVALHO, 1991). Sua aplicação tem sido estendida a outras áreas de aplicação, destacando-se, entre elas, a ciência do solo, onde muitos estudos, envolvendo as variáveis físicas, químicas e biológicas do solo, têm sido desenvolvidos, além de trabalhos envolvendo classificação e levantamento de solos.

A análise geoestatística dispõe de distintas metodologias de análises da variação espacial, sendo uma delas o semivariograma (CARVALHO, 1991). O semivariograma é uma função que possibilita quantificar a variabilidade e a dependência espacial entre amostras dentro do campo. O sentido físico do semivariograma $\gamma(h)$ pode ser percebido quando se analisa a sua definição: ele mede a variabilidade das diferenças entre as realizações da variável aleatória de interesse, de tal maneira que quanto menor a semivariância, menor a variação dessas diferenças. A compreensão deste fato pode ser melhorada quando se considera um conjunto de processos estocásticos que satisfazem à hipótese intrínseca: o conjunto dos processos estacionários de ordem 2 ou estacionário com respeito à covariância.

No estudo da geoestatística, dois elementos principais podem ser discernidos:

- i) a necessidade de considerar explicitamente as relações de dependência entre os valores de uma variável em pontos vizinhos;
- ii) a construção de estimadores, utilizando a dependência acima e a informação fornecida por dados amostrais.

Na análise de um semivariograma o efeito pepita representa a descontinuidade atribuída a erros de amostragens ou variações locais, não explicados para variabilidade dos dados para as distâncias amostradas. Este parâmetro permite comparar o grau de dependência espacial de variáveis estudadas. O efeito pepita expresso em percentagem do patamar, permite comparar o grau de dependência espacial da variável em estudo. Para tanto com base na classificação proposta por CAMBARDELLA et al. (1994), na qual semivariogramas, com

efeito pepita, expresso em percentagem do patamar < 25%, entre 25 e 75 % e > 75%, são considerados como forte, moderada e fraca dependência espacial, respectivamente.

O semivariograma é definido como:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E \{ Z(x_i) - Z(x_i + h) \}^2 \quad (5)$$

e pode ser estimado por:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{ Z(x_i) - Z(x_i + h) \}^2 \quad (6)$$

Onde $\gamma^*(h)$ é o semivariograma experimental, $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$ são os pares de valores experimentais nos pontos amostrados; $N(h)$ é o número de pares de pontos separados por uma distância (h) (CARVALHO, 1991).

Graficamente, o semivariograma consiste na representação dos valores da função semivariância (às vezes denominada como função gama G) em ordenadas frente aos valores de distância entre os pontos experimentais (h) na abscissa (SAA, 1992).

Em que: $N(h)$ é o número de pares de observações, " $Z(x_i)$ " e " $Z(x_i+h)$ ", separados por um vetor " h ". O semivariograma experimental é construído graficamente, plotando-se os valores da semivariância em relação aos diferentes valores de " h ".

A Figura 1 apresenta um semivariograma

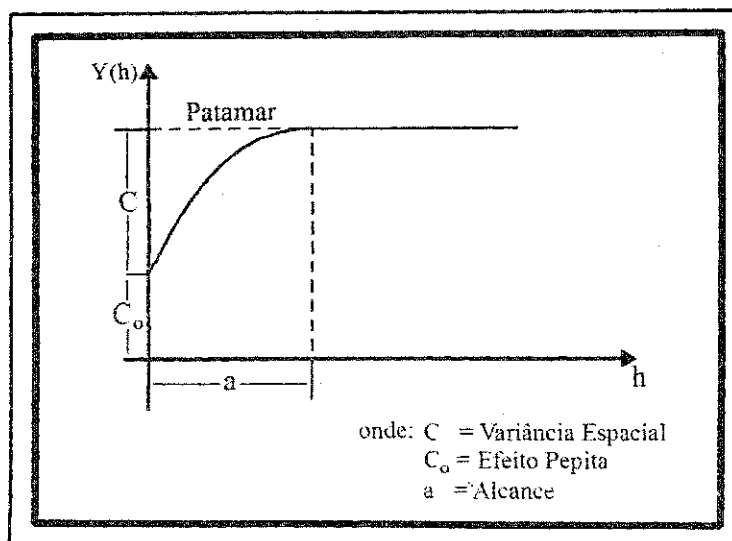


Figura 1. Representação gráfica da função semivariograma.

Neste deve-se identificar três parâmetros fundamentais que permitem uma análise adequada da distribuição espacial: o alcance (a), o patamar (C) e o efeito pepita (Co). O alcance representa a distância máxima até onde o valor de uma variável possui relação de dependência espacial com o seu próximo. Assim o valor do alcance garante que todos os pontos vizinhos, situados dentro de um círculo com esse raio, são tão semelhantes que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (VIEIRA E LOMBARDI NETO, 1995). O patamar é atingido quando a variância dos dados torna-se constante e revela o ponto onde toda a semivariância da amostra é de influência aleatória. O efeito pepita revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Reflete o erro analítico, indicando uma variabilidade não explicada de um ponto para outro, que pode ser devida tanto a erros de medidas ou microvariação não detectada.

O semivariograma é uma função da distância (h) que é estimado apenas em um conjunto discreto de distâncias ("lags"). A partir destas estimativas, ajusta-se um modelo que depende de diversos parâmetros (RIBEIRO JÚNIOR, 1995). Este ajuste de modelo de semivariograma, chamado também de semivariograma teórico ou ajustado, é um procedimento de grande importância, principalmente quando se deseja realizar interpolações na área em estudo (OLIVEIRA et al, 1997).

Os modelos básicos de semivariograma usados em geoestatística, com suas respectivas expressões matemáticas, são:

i) Modelo esférico

$$Y(h) = Co + C [(3h / 2a - h^3 / 2a^3)], \quad 0 < h \leq a \quad (7)$$

$$Y(h) = Co + C \quad h \geq a \quad (8)$$

ii) Modelo exponencial

$$Y(h) = Co + C [1 - \exp(-3h / a)] \quad h \geq 0 \quad (9)$$

iii) Modelo Gaussiano

$$Y(h) = Co + C [1 - \exp(-3(h^2 / a^2))] \quad h \geq 0 \quad (10)$$

iv) Modelo potencial

$$Y(h) = Co + bh^\lambda \quad h \geq 0; Co \geq 0; b \geq 0 \text{ e } 0 \leq \lambda < 2 \quad (11)$$

Onde os parâmetros C_0 , $C + C_0$ e a são denominados: efeito pepita, patamar e alcance da dependência espacial, respectivamente.

2.5 – Variabilidade Espacial das Propriedades Químicas do Solo

Os solos agrícolas por serem afetados pela ação de vários fatores, apresentam uma grande variabilidade nas suas propriedades físicas e químicas, tanto durante um intervalo qualquer de tempo quanto como em um determinado espaço analisado. Além dos fatores e processos, práticas de manejo do solo e da cultura são causas adicionais de variabilidade (CORÁ, 1997). Áreas pedologicamente idênticas podem apresentar variabilidade distinta em atributos, quando submetidas às diferentes práticas de manejo. Da mesma forma, áreas pedologicamente diferentes, quando submetidas ao mesmo manejo, podem apresentar-se semelhantes em seus atributos. O manejo pode alterar atributos químicos, físicos, mineralógicos e biológicos, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (BLEVINS et al., 1983; SETA et al., 1983; CORÁ, 1997).

Os processos e os atributos do solo que determinam o desempenho e a produção das culturas, bem como o impacto da agricultura ao meio ambiente, variam no espaço e no tempo. Por isso, o conhecimento da variabilidade espacial e temporal dos fatores de produção da cultura é o primeiro passo para adoção, com êxito, do sistema de agricultura de precisão (HILLEL, 1980). CAMBARDELLA et al., (1994), afirmam que o conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo em determinada área é importante para o refinamento das práticas de manejo e qualidade ambiental, assim como é importante para a definição da intensidade de amostragem do solo para sua caracterização, possibilitando, dessa forma, reduzir o erro-padrão da média, aumentando a eficiência da amostragem e reduzindo os custos e mão-de-obra do trabalho.

Para QUEIROZ et al (1997), é de se esperar que os valores de uma dada propriedade do solo obtidos de locais próximos sejam mais parecidos do que aqueles tomados à maiores distâncias, implicando na existência de uma estrutura de dependência espacial entre as observações. No entanto, segundo BECKETT & WEBSTER (1971), mesmo a curtas distâncias pode-se detectar grandes variações na composição do solo que necessitam ser quantificadas.

BALL & WILLIAMS (1968), em estudos sobre a variabilidade espacial de diversas propriedades químicas em solos não cultivados, encontraram coeficientes de variação em torno de 33% para a CTC e concluíram que, para qualquer estudo pedológico e ecológico, é

imprescindível considerar a variabilidade espacial para facilitar a interpretação de observações realizadas. GOMES et al (2000), estudando a salinidade do solo no Perímetro Irrigado de Itans, Rio Grande do Norte, coletando amostras nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, nos terços inferior, médio e superior da margem direita do Rio Barra Novo, em sete lotes irrigados, encontraram valores de coeficientes de variação de 6% para pH 1:1 e de 200% e 203% para condutividade elétrica nas duas profundidades estudadas, respectivamente.

BERG & KLANT (1997), estudando a variabilidade espacial das características do solo no Rio Grande do Sul, verificaram uma maior variância do pH à curtas distancia que a distancias maiores: isto foi relacionado a distribuição homogênea de calcário nas áreas estudadas. SALVIANO et al., (1998) estudando a variabilidade espacial de propriedades químicas em áreas severamente degradadas observaram que todos os atributos estudados apresentaram dependência espacial com exceção do fósforo (0-20cm) e potássio nas camadas 0-20 e 20-40cm.

SILVA et al. (2000) estudando a aplicação de um estimador clássico e um estimador forte para interpolação na análise da variabilidade espacial do fósforo, em um latossolo roxo, constataram um efeito pepita de 1,22 ppm e um alcance de 26,7 metros, com um modelo exponencial para o semivariograma de Matheron. Verificaram também um modelo exponencial para o semivariograma de Casarie & Hawkins com um efeito pepita de 0,60 ppm e um alcance de 60 metros, aos 15 cm de profundidade.

Quando SOUSA et al (1999) estudaram a variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área experimental no sul do país, encontraram um modelo esférico para o potássio com uma porcentagem efeito pepita patamar de 21%. Constataram também, que a matéria orgânica obteve uma correlação espacial média, com uma porcentagem da relação efeito pepita patamar de 39%, e com um modelo ajustado ao semivariograma do tipo linear. Verificaram ainda, que os teores de matéria orgânica a enquadravam-se nas faixas consideradas alta ou muito altas, teores adequados para o cultivo de plantas.

OLIVEIRA (1998) estudando a variabilidade espacial do cálcio, potássio e magnésio num solo salino-sódico no Nordeste do Brasil, ajustou para tal variável um modelo teórico de semivariograma esférico, com um efeito pepita de 0,20 patamar em torno de 1,35 e uma alcance de 27 metros: a porcentagem do efeito pepita com relação ao patamar obteve um valor próximo a 15%. Os valores de cálcio obtidos pela interpolação através da krigagem dos dados, no mesmo trabalho, variaram de 0,00 a 4,80 cmol/kg. Da mesma forma foi ajustado um modelo esférico aos valores de potássio, apresentando os valores de 0,003, 0,015 e 25 para o efeito pepita, patamar e alcance, respectivamente. Já para variável magnésio, o modelo

ajustado foi o linear com os valores do efeito pepita e patamar de 0,30 e 0,90 respectivamente, medidos em cmol/kg e um alcance de 23 metros.

COELHO (1983), estudando a variabilidade espacial das propriedades químicas de um solo salino-sódico, encontrou valores de coeficiente de variação para o pH, CE, PST, de 4,80%; 35,6% e 30% em amostras coletadas a uma profundidade de 0-30 cm, enquanto que para a profundidade de 30-60 cm, os coeficientes de variação foi de 5,6%; 42,8% e 41,1%, respectivamente. Já COELHO & FERREYRA (1986), em pesquisa realizada no Perímetro Irrigado de Morada Nova (CE), observaram um CV de 30% para a Condutividade Elétrica e 41% para a percentagem de Sódio Trocável a uma profundidade de 0-30 cm.

GUIMARÃES et al., (1993), estudando a variabilidade espacial do pH de solo Latossolo roxo, numa área de 57.600 m², demarcando para tanto 169 pontos de observações, numa malha de 20 m, a uma profundidade de 0-20 cm, concluíram que o melhor modelo de ajuste para o semivariograma foi o esférico, permitindo o mesmo delimitar a região de dependência espacial em aproximadamente 180 metros.

SOUSA et al. (2000), estudando a variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano, numa área não salinizada e outra salinizada, em três profundidades, encontraram forte dependência espacial para a variável pH, nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm, na área afetada. Na área não afetada o pH apresentou estrutura de dependência moderada para a camada de 40-60 cm. Nos outros intervalos de profundidades, esta variável não apresentou estrutura de dependência espacial. Já para a variável CE na área não salinizada apenas a camada 40-60 cm, constatou-se moderada dependência espacial, enquanto que as camadas 0-20 cm e 20-40 cm não apresentaram estrutura de dependência. Na área afetada esta variável apresentou moderada dependência na camada 0-20 cm e fortes nas demais camadas. Para o PST, devido ao elevado efeito pepita para a camada 20-40 cm, na área normal, observou-se fraca dependência espacial, enquanto na profundidade 40-60 cm a dependência espacial se apresentou moderada; nos demais casos esta variável não apresentou dependência espacial. Os semivariogramas experimentais que apresentam estrutura de dependência espacial de dados foram ajustados aos modelos esférico e gaussiano.

SOUZA et al. (2004), estudando a variabilidade espacial do pH do solo, entre outras variáveis químicas, em um Latossolo Vermelho eutrófico, sob cultivo de cana-de-açúcar, no município de São Paulo, concluíram que todas as variáveis possuem moderada dependência espacial. O modelo que se ajustou melhor ao pH do solo, com base na menor

SQR (soma do quadrado do resíduo) e o maior R2 (coeficiente de determinação) foi o modelo exponencial.

O gráfico “box-plot” representa o resumo de cinco números de um conjunto de dados (limite inferior, limite superior, quartil inferior, quartil superior e mediana), podendo também apresentar os valores acima dos limites considerados “críticos”, isto é, os valores discrepantes ou “outliers”. Constitui um gráfico especialmente útil para comparação de vários grupos de dados.

CAPÍTULO III

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Localização da Área Experimental

O estudo foi conduzido no Perímetro Irrigado de Sumé pertencente ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) no município de Sumé - PB a 7° 39' latitude sul e a 36° 56' longitude oeste de GREENWICH, com altitude média de 510m, localizado na zona fisiográfica dos "Cariris Velho" (Fig. 02).

3.2 – Clima

Segundo a classificação de Köppen, o clima do município de Sumé-PB é definido com Bsh, semi-árido, quente e seco, com precipitação média anual de 500mm., sendo o período de março a junho o mais chuvoso. A temperatura média anual é de 24°C, variando entre 22°C e 27°C. A evapotranspiração potencial anual atinge 1714mm e a umidade relativa média anual para a região é em torno de 68% (HARGREAVES, 1974).

3.3 – Solo

O solo da área experimental classificado como Aluvial eutrófico A moderado, textura média, imperfeitamente drenado, ausente de pedregosidade e rochiosidade, relevo local plano, formação geológica quaternária, erosão acumulada sedimentar, com vegetação primária de caatinga hiperxerófila arbórea arbustiva.

3.4 – Coleta das amostras de solo

Para estudar a variabilidade espacial das características químicas com relação a salinidade, foi feita uma amostragem sistemática irregular da em forma de quadriculas de 250m nos intervalos de profundidade de 0-15; 15-30; 30-60 e 60-90 cm de profundidade, totalizando 204 amostras de solo. A Figura 3 apresenta a malha de amostragem.

A escolha do formato quadricular para as áreas teve como propósito aumentar o comprimento da área estudada, evitando uma possível falha no ajuste do modelo do semi variograma, quando os mesmos, para alguns atributos estudados, poderiam não atingir o patamar, fato esse evidenciado por CARVALHO (1991) E MACHADO (1994), entre outros.

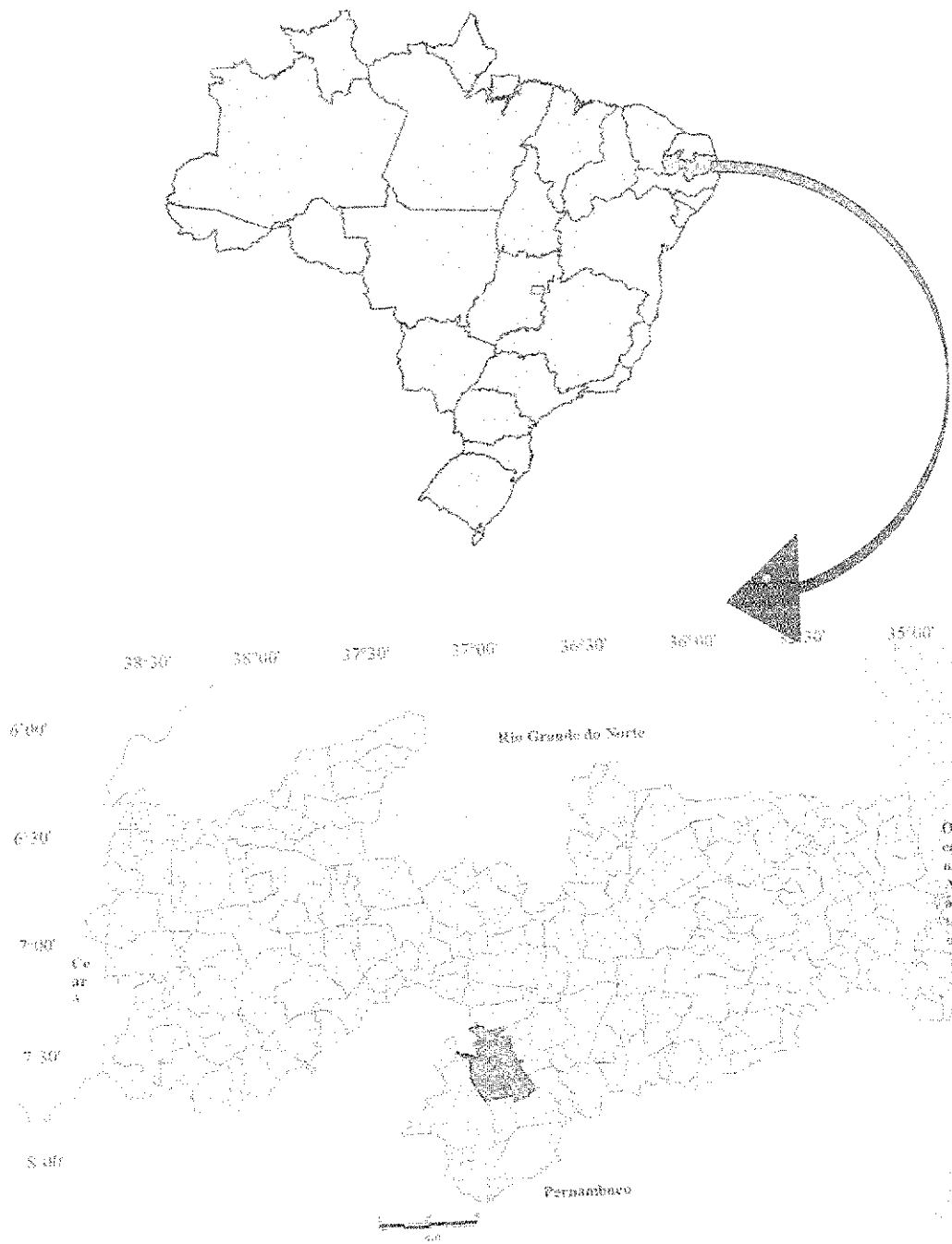
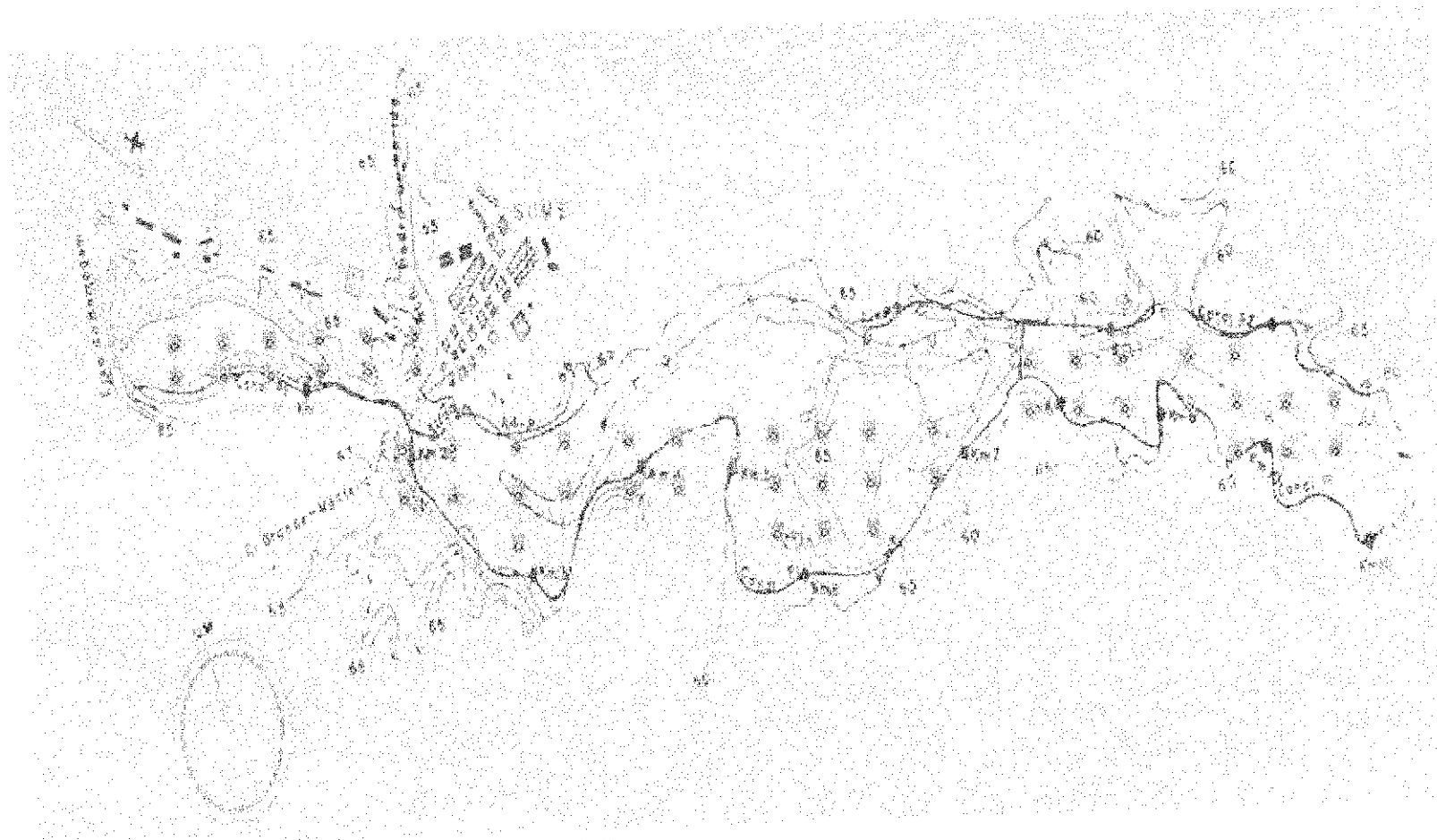


Figura 02 : Mapa de localização do estudo



D. M. O. C. S.
 3º D. R.
 PROJETO SUMÉ
 Planta do loteamento

• Posição dos pontos de amostragem

Figura 03 - Localização das amostragens

3.5. Variáveis determinadas

As amostras de solo, depois de obtidas foram levadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola - CCT/UFPB em Campina Grande - PB, destorroadas, passadas através de peneiras de 2mm e submetidas às seguintes análises químicas: condutividade elétrica, cátions solúveis Ca, Mg, Na e K, pH do solo, e cátions totais (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ e K^+).

3.5.1. Condutividade elétrica do extrato de saturação (CE)

A Condutividade Elétrica foi medida no extrato de saturação por meio do método da ponte de resistência elétrica, usando-se uma alíquota do extrato de saturação em condutivímetro, convertendo-se as leituras para dS m^{-1} a 25°C (EMBRAPA, 1997).

3.5.2. Cátions totais, solúveis e trocáveis

Para os cátions totais, usou-se KCl a 1N para extrair Ca e Mg, enquanto que o Na e o K foram extraídos por acetato de amônia ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) a pH 7,0. Após extração, determinou-se por fotometria de chama o Na e o K e por titulação volumétrica o Ca e Mg (EDTA a 0,025N). O H e o Al totais foram por extração com acetato de cálcio [$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O}$]. Os cátions Na e K foram determinados utilizando-se soluções de HCl 0,05 N e H_2SO_4 0,025N. KCl no pH 7,00 foi utilizado para extrair o Ca e o Mg, conforme metodologias recomendadas pela EMBRAPA (1997). Depois de extraídos, os cátions foram determinados por titulação volumétrica, exceto o Na e K os quais foram determinados por fotometria de chama.

Os íons solúveis do extrato de saturação (Ca e Ca + Mg por titulação com solução de EDTA a 0,025N; Na e K por fotometria de chama; Cloreto por titulação com AgNO_3 , a 0,05N; CO_3 e HCO_3 por titulação com H_2SO_4 a 0,02N).

Os cátions trocáveis foram obtidos pela diferença entre totais e solúveis.

3.5.3. Capacidade de Troca de Cátions

A capacidade de troca de cátions (CTC) foi obtida através da soma de bases trocáveis (EMBRAPA, 1997).

3.5.4. Relação de absorção de sódio (RAS)

A relação de absorção de sódio (RAS) expressa a proporção relativa de sódio, em relação a outros sais. Pode ser assim calculada:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

com as concentrações de Na, Ca e Mg em meq/litro

3.5.5. Porcentagem de sódio trocável (PST)

No estudo de solos com problemas de sais é de muita importância a porcentagem com que o cátion sódio se encontra no complexo de troca do solo em relação aos demais. Esta porcentagem é denominada porcentagem de sódio trocável (PIZARRO, 1986). Segundo PEREIRA (1981), a PST indica a saturação do complexo sorptivo do solo com o íon sódio. A PST foi obtida pela relação:

$$PST = [100(-0,0126 + 0,01475 RAS)] / [1 + (-0,0126 + 0,01475 RAS)]$$

3.5.6. pH

O pH de uma solução aquosa é o logaritmo negativo da atividade do íon hidrogênio (RICHARDS, 1954). Esta reação do solo ou pH apresenta uma forte influência nas condições físicas, químicas e biológicas dos solos expressando o grau de acidez ou alcalinidade em que se encontram neste trabalho o pH da pasta de saturação foi medido em pHmetro previamente

calibrado em soluções em água na relação 1:2,5 (solo: água) e determinado com um potenciômetro marca ORION.

3.6 – Análises Estatísticas.

Os dados obtidos foram inicialmente analisados através de métodos de estatística descritiva, calculando-se a média, desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo, máximo, amplitude total, coeficiente de assimetria e curtose. Também foi realizada uma análise da distribuição de frequência dos dados, no caso, verificando-se se elas seguiam a distribuição normal e ou lognormal.

Para as propriedades estudadas que apresentaram "OUTLIER", isto é, valores discrepantes, optou-se o critério de HOAGLIN (1985), ou seja, eliminou-se os valores "OUTLIERS" $> L_s + 1,5 A_i$ e "OUTLIERS" $< L_i - 1,5 A_i$. Em seguida, através da análise descritiva, avaliou-se, novamente o comportamento dos dados sem os "OUTLIERS".

Para avaliar a dependência espacial das variáveis químicas estudadas utilizou-se a geoestatística realizando análises dos semivariogramas, onde se considerou a análise do conjunto de dados de cada variável química do solo e, no caso da existência de valores discrepantes, estes foram descartados para a construção dos semivariogramas. A construção dos semivariogramas foi realizada através do processo iterativo. Para cada semivariograma que apresentou estrutura de dependência espacial, ajustou-se um modelo matemático para a estimativa do efeito pepita (C_0), patamar ($C_1 + C_0$) e alcance (a), onde C_1 é a diferença entre o patamar e o efeito pepita.

O aplicativo GEOEAS (Geostatistical Environmental Assessment Software), versão 1.2.1, foi escolhido para efetuar o tratamento dos dados. Este aplicativo é um software interativo contendo ferramentas que executam análises geoestatísticas nos dados disponíveis. O GEOEAS é distribuído livremente e foi desenvolvido pela U.S. Environmental Protection Agency, the Environmental Monitoring Systems Laboratory, situado em Las Vegas, e Computer Sciences Corporation, em cooperação com o Departamento de Ciências Aplicadas da Terra, da Universidade de Stanford. O GEOEAS realiza as operações: Datapress, Prevar, Correc, Travas, Vario, Xygraph, Postplot, stok 1, Xvalid, Hpplot, Scatter, Krige, View. Além deste software, utilizou-se também, o SURFER 6.0 e o Excel 7.0, para checar a presença de anisotropia. Os ajustes dos semivariogramas experimentais foram checados aos modelos exponencial, gaussiano e esférico.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Análise descritiva dos dados:

A análise exploratória de dados espacialmente distribuídos, através do uso da técnica descritiva clássica, constitui um ponto de partida para observações de características e comportamento das variáveis em estudo. Estas análises são importantes na identificação geral do comportamento dos dados de cada variável em estudo, para posterior tomada de decisões para a definição de estratégia do manejo adequada da irrigação e drenagem, conservação do solo e recuperação do solo.

A partir dos valores da condutividade elétrica do extrato de saturação (CE), da relação de absorção de sódio (RAS) e do percentagem de sódio trocável (PST) obtidas a partir dos resultados das análises químicas em laboratório de amostras extraídas em campo em quatro profundidades 0-15, 15-30, 30-60 e 60-90 cm, foram realizadas as estatísticas apresentadas na Tabela 2, as quais resumem o comportamento geral dos dados.

Analisando-se as estatísticas referentes às variáveis químicas CE, RAS e PST (Tabela 2) foi observada uma ampla variação destas nas quatro profundidades onde as amostras foram extraídas. Para a CE os resultados variam 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} com valores médios de 4,37; 3,34; 3,23 e 3,61 dS m^{-1} com amplitude total de 63,25; 30,58, 18,35 e 28,43 dS m^{-1} , respectivamente, para os intervalos 0-15, 15-30, 30-60 e 60-90 cm. Para a RAS e PST, foi verificado o mesmo comportamento de variação, com os resultados da amplitude total de 58,18; 40,45; 16,36 e 29,58 % e 76,66; 73,13; 71,80 e 52,54 %, respectivamente, para as quatro profundidades estudadas. Vale ressaltar, no entanto, que a amplitude total (diferença entre os extremos), por ser uma medida estatística de dispersão influenciada por valores perturbadores, não é a medida mais apropriada para representar a dispersão dos dados.

Tabela 02 – Análise estatística descritiva para as variáveis do solo

Parâmetros Estatísticos	Variáveis Químicas do Solo											
	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	0,60	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

Observa-se que os valores da mediana e da média aritmética não são semelhantes indicando a não normalidade dos dados de CE, RAS e PST, em todas as profundidades analisadas, de acordo com os critérios apresentados por COSTA NETO (1997).

Os gráficos de probabilidade apresentados nas Figuras 4, 5 e 6, são uma forma de visualização do comportamento dos dados de CE, RAS e PST. 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 de tendência adequada para representação dos dados das propriedades químicas do solo estudadas.

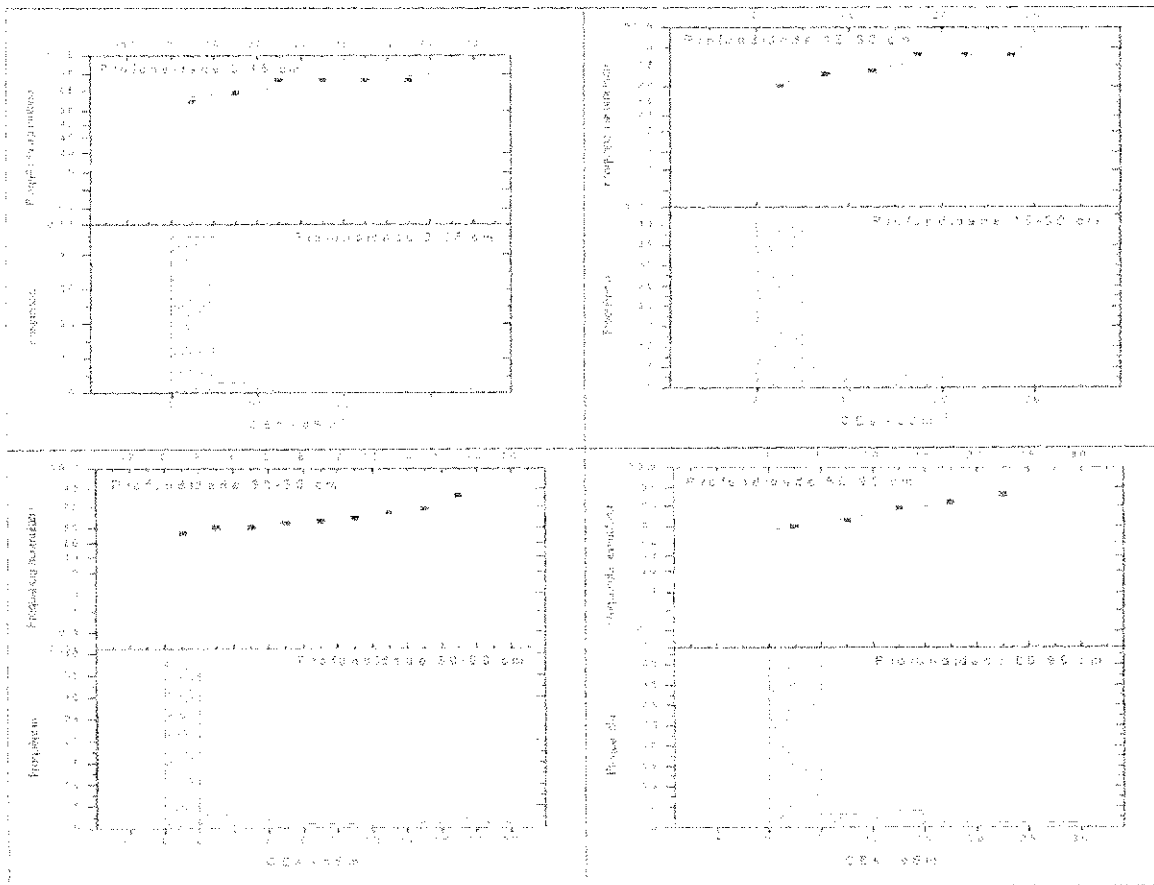


Figura 4. Gráfico de probabilidade normal e histogramas dos dados da Condutividade Elétrica (CE) para as quatro profundidades estudadas.



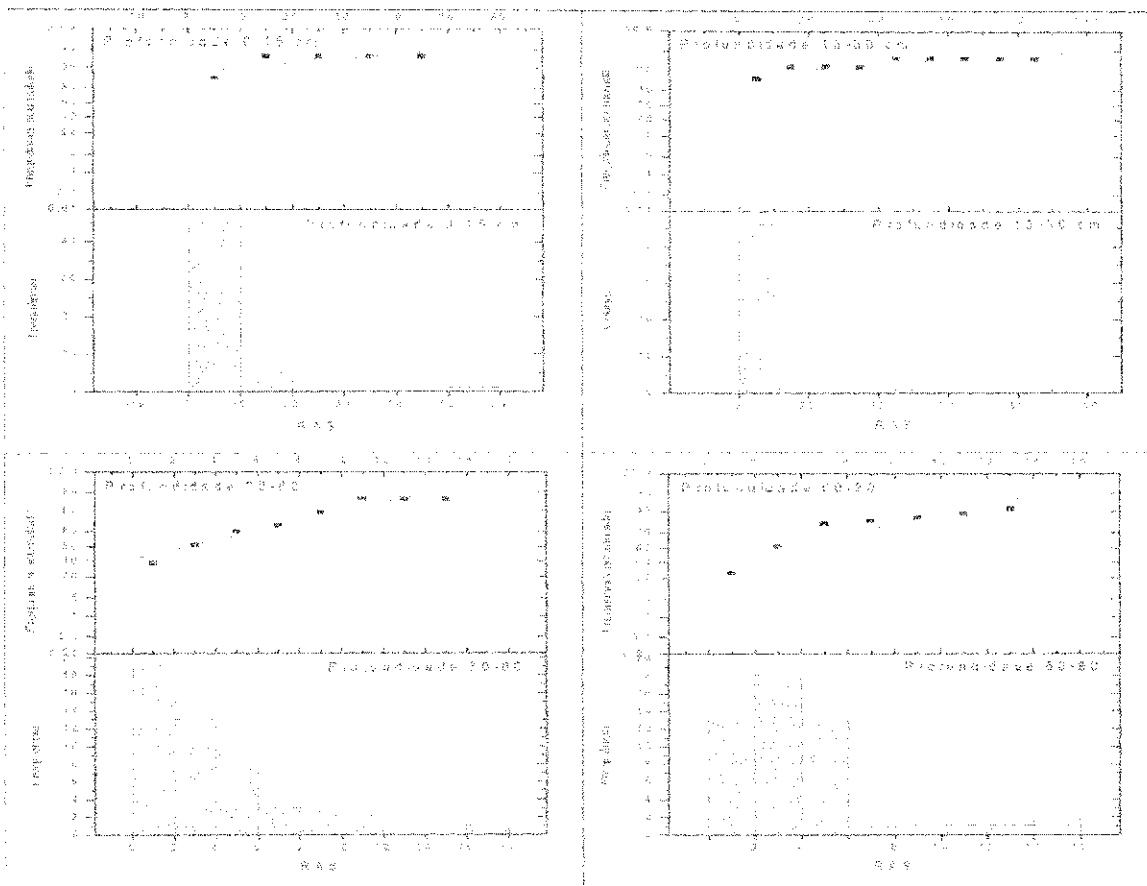


Figura 5. Gráfico de probabilidade normal e histogramas dos dados da Relação de Adsorção de Sódio (RAS) para as quatro profundidades estudadas

Analisando-se a Figura 04, identifica-se uma tendência de distribuição não normal. O histograma da condutividade elétrica mostrou um comportamento fortemente assimétrico à esquerda, onde se concentram um maior número de valores abaixo da média e poucos valores acima dela. O coeficiente de assimetria sendo maior que 1, vem confirmar tal comportamento. Da mesma forma, comportamento semelhante pode ser visualizado para PST em todas as profundidades. Observa-se em todas as figuras da CE, RAS e PST apresentou um histograma do tipo bimodal e multimodal, respectivamente, sendo nas frequências máxima em torno de 39%, 28% e 21%, respectivamente.

Os desvios padrões para as três propriedades químicas do em estudo indicam maior magnitude de variabilidade dos dados da PST (14,89; 14,65; 14,05 e 13,67 %), respectivamente, para os intervalos de profundidades de 0-15, 15-30, 30-60 e 60-90 cm e menor variabilidade para a CE (10,41; 6,11; 5,06 e 5,95 %), respectivamente, para os

intervalos de profundidades de 0-15, 15-30, 30-60 e 60-90 cm e valores intermediários para a RAS (8,62; 6,34; 3,36 e 4,91 para os intervalos de profundidades de 0-15, 15-30, 30-60 e 60-90 cm, respectivamente). Observa-se também uma leve tendência a diminuição da variabilidade com aumento da profundidade para ambas as propriedades química do solo.

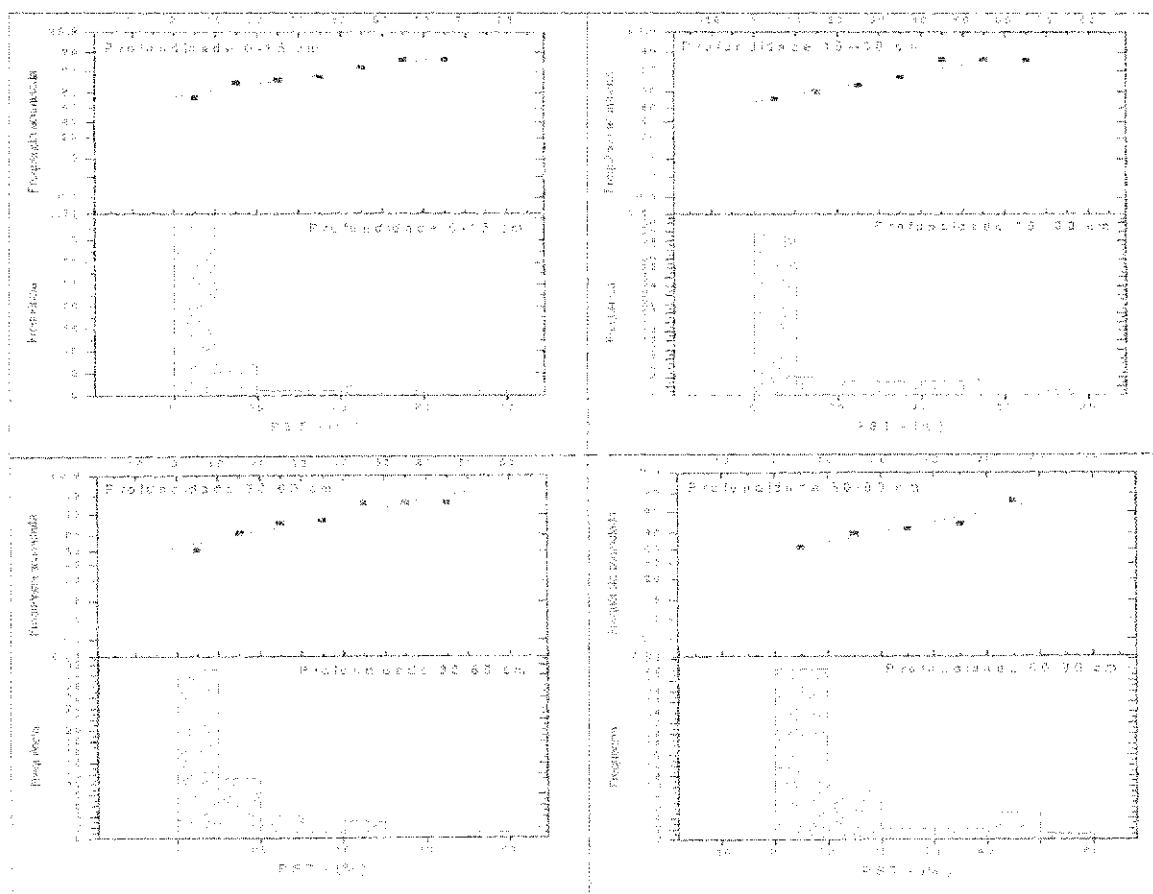


Figura 6. Gráfico de probabilidade normal e histogramas dos dados da Porcentagem de Sódio Trocável (PST) para as quatro profundidades estudadas.

Considerando o coeficiente de variação (CV), entre 238,22 e 156,61 para a CE; entre 212,78 e 88,72 para a RAS e entre 143,16 e 100,54% para o PST, por tratar-se de uma medida relativa, pode-se constatar a seguinte ordem de variabilidade: $CE > RAS > PST$. Os valores de CV indicam elevadas variabilidades da propriedade química do solo analisado.

Com base na classificação de WARRICK & NIELSEN (1980) verifica-se elevada variação para CE, 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). Além

disso, a variabilidade pode dever-se a possíveis erros cometidos durante a realização dos testes; embora em pequena escala, podem ter contribuído para o aumento da variação nos resultados. A heterogeneidade pode ser atribuída aos desuniformes e sucessivos processos de depósito de materiais oriundos de outros lugares, originados pela posição topográfica que ocupa além do manejo a que são submetidos entre outros (SOUSA, 2000). OLIVEIRA et al. (1999) avaliando as propriedades químicas do solo, constataram, também, elevada variabilidade entre essas propriedades, caracterizando a heterogeneidade da área, fato comum em solos aluviais, sobretudo naqueles afetados por sais.

Através dos valores dos coeficientes de assimetria (Cs) e de curtose (Cr) não próximos a 0 e 3, respectivamente, pode-se confirmar, para um dado nível de significância, a hipótese de não normalidade dos dados. O comportamento assimétrico dos dados pode ser observado claramente através dos histogramas apresentados nas Figuras 4, 5 e 6 onde a presença de algumas lacunas nos histogramas indicam a existência de valores discrepantes em relação ao conjunto de dados.

A partir dos gráficos “Box-plot” dos dados de CE, RAS e PST (Figuras 7, 8 e 9) foram identificados e eliminados os valores discrepantes com base no critério que considera dados “atípicos” aqueles dados abaixo do limite inferior (Li) ou acima do limite superior (Ls) denominados intervalos interquartílicos, respectivamente (BUSSAD, 2000) estimados por:

$$Li = Qi - 1,5Ai$$

$$Ls = Qs + 1,5Ai,$$

onde Qi e Qs os quartis inferior e superior, respectivamente, e Ai a amplitude interquartilica. Também pelas Figuras 7, 8 e 9 verificou-se elevada assimetria para as propriedades químicas do solo estudadas em todas as profundidades. Todo estudo de dependência espacial para valores de CE, RAS e PST para as quatro profundidades foram realizados com a eliminação dos dados considerados “atípicos”, no sentido de que esses valores não pudessem afetar a distribuição.

A análise dos quartis, intervalos que contém mais ou menos 50% dos dados centrais, revela dispersões inferiores às dispersões totais dos dados para todas as variáveis químicas analisadas com suas respectivas profundidades. Segundo QUEIROZ (1995), a amplitude interquartilica pode ser considerada como uma medida apropriada da dispersão dos dados, por serem medidas não influenciadas por valores externos, possivelmente atípicos.

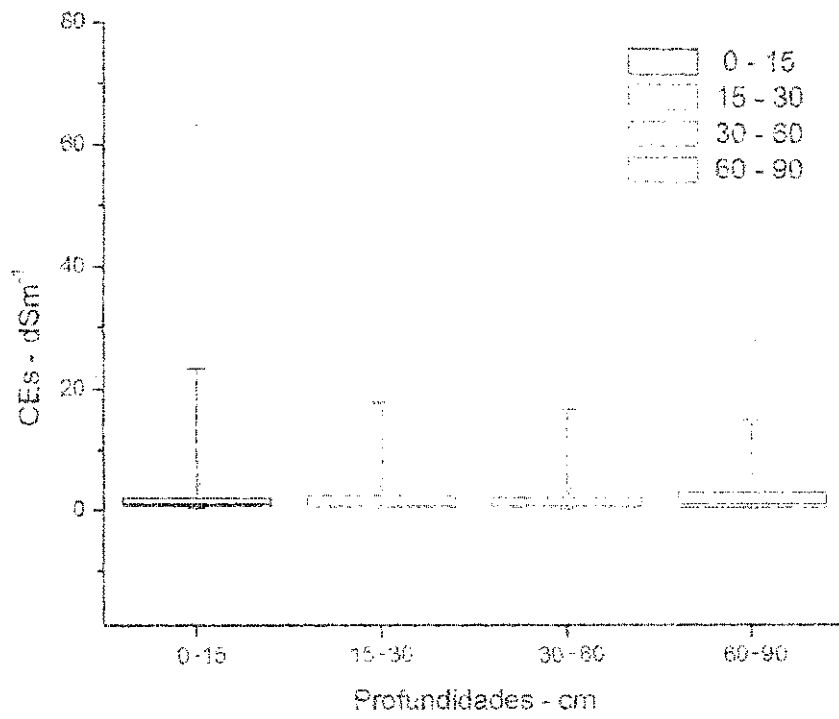


Figura 7. Box-plot para dados de CE nas quatro profundidades.

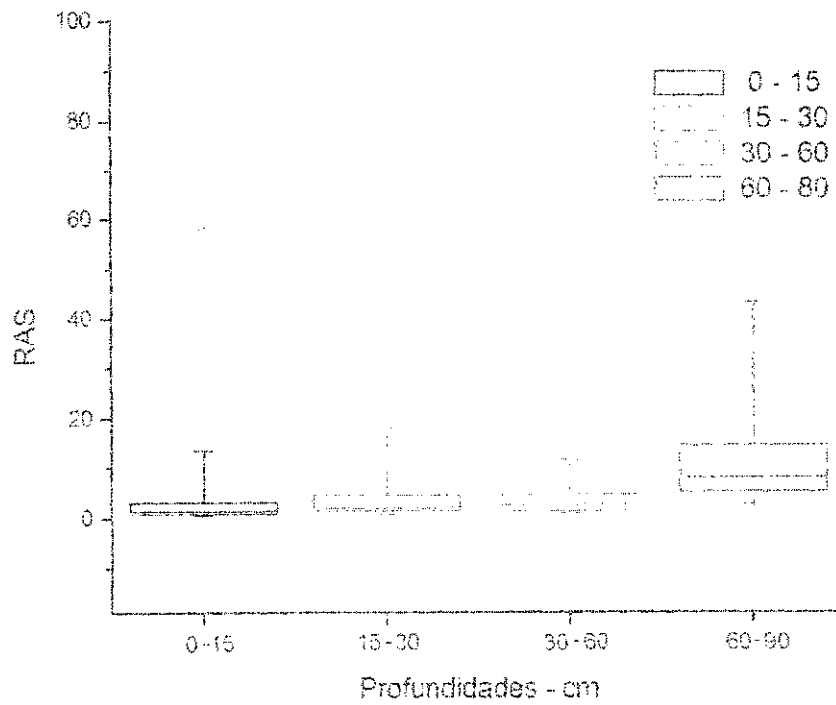


Figura 8. Box-plot para dados da RAS nas quatro profundidades

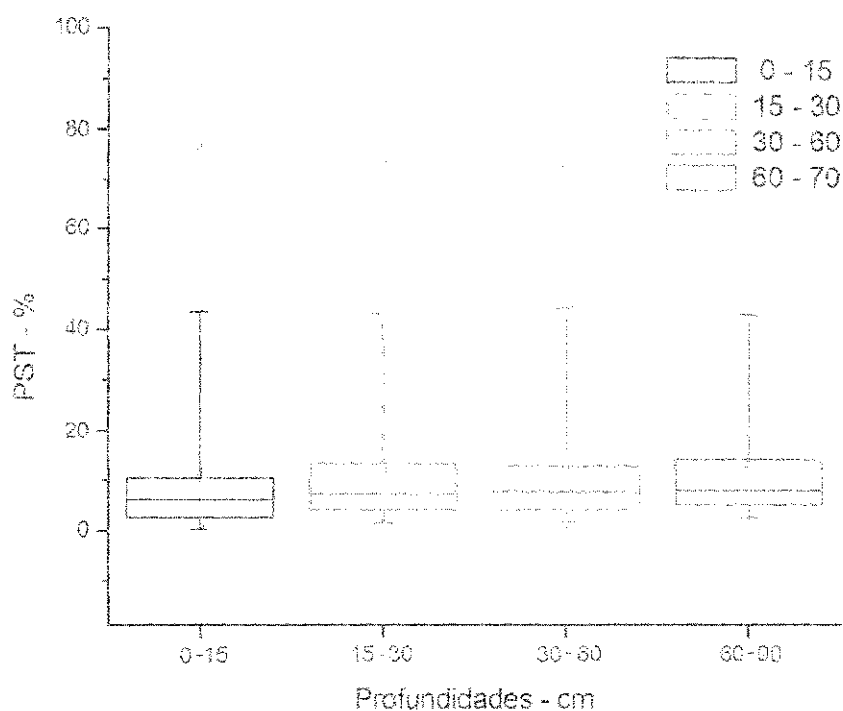


Figura 9. Box-plot para dados do PST nas quatro profundidades.

Na distribuição não normal (Figura 4) observam-se lacunas evidenciando a existência de valores discrepantes ou "outliers". Os dados que se diferenciam da maioria foram eliminados utilizando-se o critério de HOAGLIN et al. (1983), que considera como dados discrepantes aqueles abaixo do limite inferior (Li) ou acima do limite superior (Ls), respectivamente, estimados por: $Li = Qi - 1,5Ai$ e $Ls = Qs + 1,5Ai$. Foram eliminados 4 valores para CE na profundidade 0-15cm e 3 e 2 valores nas camadas 15-30; 30-60 e 60-90cm, respectivamente. Em seguida o comportamento da CE sem a presença de dados discrepantes, foi novamente analisado através da estatística descritiva, onde se verificou que a retirada de tais valores não afetou medidas resistentes tais como mediana e amplitude interquartilica (Ai).

De acordo com o critério de HOAGLIN et al (1983), observa-se ainda que a menor variação, dada pela amplitude interquartilica (Ai), foi constatada para a CE. Em ordem crescente de valores, a amplitude de variação observada foi a seguinte: CE < RAS < PST. Pela relação entre os valores dos limites superior e inferior, observa-se que a menor variação foi obtida para a CE (variação média de 235,4 vezes), seguida da RAS (variação média de 76,29 vezes) e da PST (variação média de 215,16 vezes). Este comportamento que a amplitude não é uma medida apropriada para se observar a dispersão de dados. QUEIROZ (1995) ressalta sobre a influência de valores possivelmente atípicos exercem sobre a

amplitude total da variação, por ser uma medida obtida de apenas dois valores extremos. Ao contrário, as relações entre os valores do quartil inferior (25%) e superior (75%) observados apresentam variações muito inferiores para as variáveis químicas, em todas as profundidades analisadas, com valores em média: 1,05; 1,10 e 1,16 vezes para CE, RAS e PST, respectivamente. Tal comportamento evidencia que a amplitude interquartilica é uma medida mais apropriada para caracterizar a dispersão dos dados, principalmente para RAS e PST.

Observando-se os valores dos coeficientes de assimetria e de curtose, os quais em uma distribuição normal, devem ser 0 e 3, respectivamente (SNEDECOR & COCHRAN, 1967), pode-se dizer apenas os valores de CE se ajustam a este tipo de distribuição o que não foi confirmado para as demais variáveis estudadas. Uma explicação prática para isto poderia estar relacionada ao fato de que, os valores encontrados nas profundidades estudadas não terem dados valores > 3 com exceção para a profundidade de 0-15 cm, tendo isto compensados os dados, que acabaram apresentando uma distribuição normal.

4.2. Análises Geoestatísticas.

As Figuras 10, 11 e 12 apresentam os semivariogramas teóricos ajustados da CE, RAS e PST, respectivamente, para os intervalos de profundidades estudados. Durante a construção dos semivariogramas a melhor estrutura foi obtida variando os parâmetros, direção, tolerância e distância entre pares de amostras.

Após varias tentativas de ajuste dos modelos de semivariogramas teóricos aos semivariogramas experimentais, o modelo teórico isotrópico esférico "SPh" foi o que permitiu o melhor ajuste para os dados CE, RAS e PST nos intervalos de profundidade de 0-15, 15-30, 30-60 e 60-90 cm, com seus respectivos parâmetros característicos de cada modelo ajustados: efeito pepita (Co), patamar (Co + Ci), alcance da dependência espacial (a) e a relação efeito pepita/ patamar, expressa em percentagem, isto é, $[Co/(Co+Ci)] 100$.

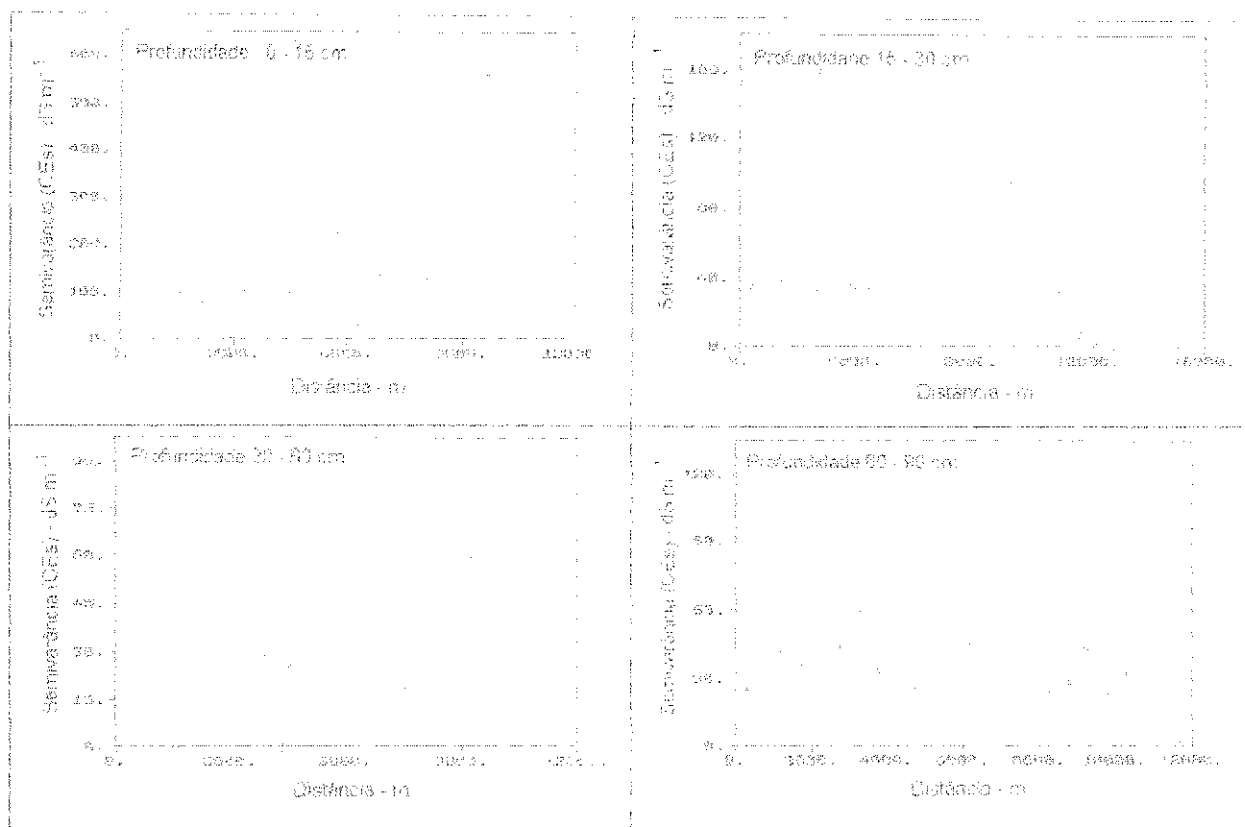


Figura 10. Semivariogramas ajustados para a CE_s do solo

A escolha do modelo foi confirmada depois de testar os ajustes exponencial e gaussiano. Os semivariogramas teóricos ajustados (Figuras 10, 11, 12) consideram o efeito pepita, patamar e alcance (Tabela 03). As variáveis investigadas apresentam efeito pepita relativo menor do que 0,40 significando que a componente aleatório é pequena com relação à variação espacial.

Utilizando as médias dos quatro intervalos de profundidade do solo encontrou-se para a Condutividade Elétrica um efeito pepita, patamar e alcance de 23, 31 e 1125m, respectivamente. De acordo com os critérios apresentados por CAMBARDELA et al. (1994) a Condutividade Elétrica do Solo no intervalo de profundidade de 0-15 teria uma moderada dependência espacial. Já para as outras profundidades a dependência espacial foi fraca. Quanto menor a proporção do efeito pepita para o patamar, maior será a semelhança entre valores vizinhos de condutividade elétrica e menor a variância da estimativa e, portanto, maior a confiança que se pode ter nas estimativas (Vieira, 1998)

O alcance (α) estabelece o limite de dependência espacial entre as amostras, isto é, para distâncias iguais ou menores que o alcance, pode-se dizer que os valores vizinhos de uma

variável estão espacialmente correlacionados e podem ser utilizados para estimar valores em qualquer ponto entre eles (ANDRADE, 2002). Na Tabela 3 encontra-se os valores dos alcances para as propriedades químicas do solo e suas respectivas profundidades.

Para a CE o alcance médio variou entre 800 a 1.500 m. A Tabela 3 e as Figuras 10, 11 e 12 mostram a amplitude da correlação espacial do CE, que representa a distância onde a utilização das técnicas geoestatísticas conduz a estimativas com maior precisão. As observações separadas por distâncias acima destes valores (800 e 1.500m), não são dependentes entre si, indicando que a hipótese de independência entre as dados pode ser aceita apenas para distâncias acima desse valor.

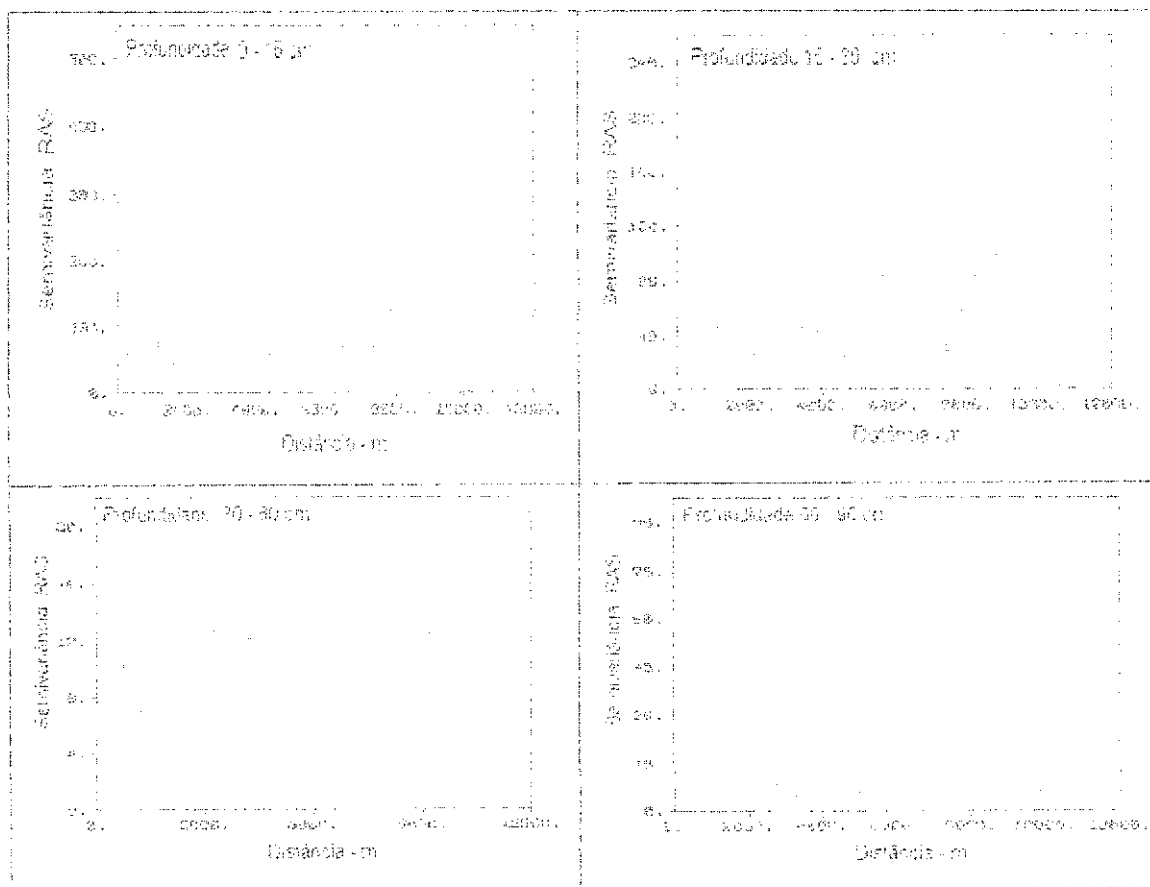


Figura 11. Semivariogramas ajustados para a RAS do solo

Para a Relação de Adsorção de Sódio encontrou-se um efeito pepita, patamar e alcance de 20, 20 e 2300m, respectivamente. Considerando o critério de dependência espacial proposta por CAMBARDELA et al. (1994), a dependência espacial da RAS seria fraca. Para a RAS o alcance variou entre 1.000 a 5.000 m, uma variação bem maior quando

comparado com a CE. Até essas distâncias (1.000 a 5.000m) um dado qualquer da RAS é correlacionado com seu vizinho, exibindo uma estrutura espacial. Assim, quanto menor a proporção do efeito pepita para o patamar, maior será a semelhança entre os valores vizinhos de RAS e menor a variância da estimativa e, portanto, maior a confiança que se pode ter nas estimativas (Vieira, 1998)

A Figura 12 apresenta os semivariogramas do PST para os intervalos de profundidade estudados. Para esta variável, diversas tentativas e avaliações foram realizadas na construção dos semivariogramas experimentais para a área estudada (com e sem a eliminação dos dados considerados discrepantes na análise descritiva). Observa-se nestes semivariogramas uma dependência espacial entre os dados amostrais para a área em estudo, definindo um efeito pepita, patamar e alcance de 134, 94 e 2075m, respectivamente. De acordo com o critério apresentado por CAMBARDELLA et al (1994) a dependência espacial do PST foi fraca para os dois primeiros intervalos de profundidade (0-15 e 15-30cm) e moderada para os dois últimos intervalos (30-60 e 60-90cm).

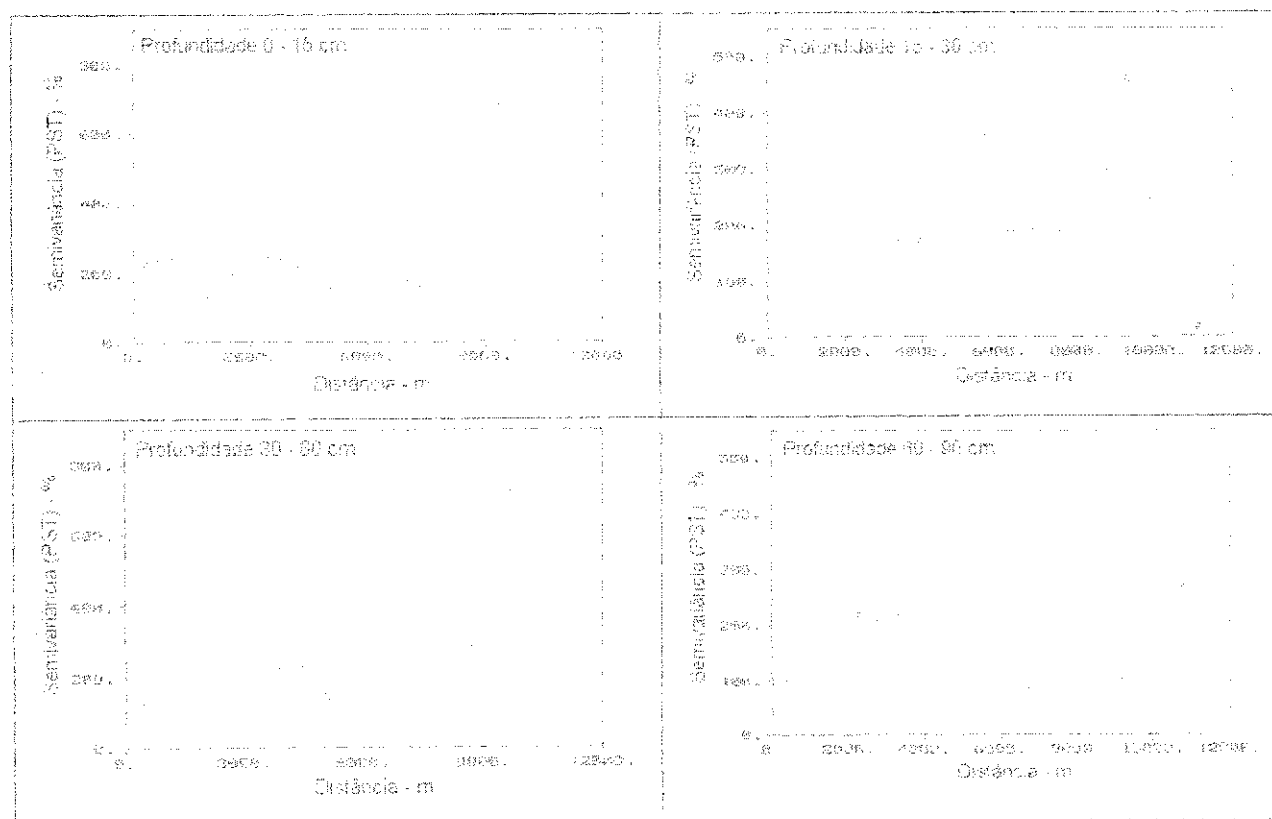


Figura 12. Semivariogramas ajustados para o PST do solo

Para o PST os valores de alcance variaram de 1.100 a 4.200 m. Estas distâncias são indicativos importantes para o planejamento de futuras amostragens para determinação da CE, RAS e PST e para tomada de ações quanto a recuperação de solos salinos, uma vez que tal técnica é capaz de detecta até onde uma propriedade do solo apresenta dependência espacial. Para o PST os intervalos de profundidades de 0-15 e 15-30 cm não apresentam nenhuma estrutura de dependência espacial devido ao elevado efeito pepita (C_0) 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 (CE, RAS e PST) foi observada para as duas primeiras profundidades. O efeito pepita (C_0) aumenta devido, provavelmente, à maior influência de fatores como: compactação do solo nas camadas superficiais devido ao uso de máquinas, e aos processos de formação do solo (solos aluviais com recebimento de materiais por ocasião das inundações). A menor aleatoriedade dos valores das propriedades químicas do solo, foi observada na profundidade de 30-60cm ($C_0 = 17; 5$ e $75m$ para CE, RAS e PST, respectivamente), devendo-se provavelmente, a menor influencia dos fatores anteriormente mencionados.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos parâmetros dos semivariogramas ajustados: efeito pepita (C_0), patamar (C_1+C_0), alcance (a) em metros, índice de dependência espacial $[C_0/(C_1+C_0)]$ em %, para a CEes, RAS e PST nos quatro intervalos de profundidade do solo estudados..

Tabela 3. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais: efeito pepita (Co), patamar (C1+Co), alcance (a) em metro, índice de dependência espacial [Co/(C1+Co)] em %, para as quatro profundidades do solo em centímetros

Parâmetros Geostatísticos	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 (%)	40,00	166,67	130,77	100,00	100,00	100,00	100,00	115,38	400,00	377,78	55,56	62,07

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES:

1. A Condutividade Elétrica (CE), a Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e a Percentagem de Sódio Trocável (PST) apresentaram alta variabilidade em todas as profundidades estudadas sendo que esta variação foi maior para a CE seguida pela RAS e pelo PST.
2. Todas as variáveis mostraram distribuição estatística não normal de forma bimodal e/ou multimodal com alto grau de assimetria positiva e curtose.
3. A Condutividade Elétrica no intervalo de profundidade de 0-15cm tem uma moderada dependência espacial. Já para as outras profundidades a dependência espacial é fraca. Quanto maior a proporção do efeito pepita para o patamar (dependência fraca) menor será a semelhança entre valores vizinhos de condutividade elétrica e menor a confiança que se pode ter nas estimativas.
4. A dependência espacial da Relação de Adsorção de Sódio em todos os intervalos de profundidade do solo foi fraca. Assim, menor é a semelhança entre valores vizinhos de RAS e menor a confiança que se pode ter nas estimativas.
5. A dependência espacial da Percentagem de Sódio Trocável foi fraca para os intervalos de profundidade 0-15 e 15-30cm. Para os dois últimos intervalos a dependência espacial dos dados foi moderada.
6. A Condutividade Elétrica, a Relação de Adsorção de Sódio e a Percentagem de Sódio trocável apresentaram estruturas variográficas aceitáveis e alcances de dependência espacial. Os alcances ou áreas de influência obtidas no presente estudo poderão ser utilizados em futuras amostragens com fins de planejar um manejo racional dos solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. R. S. de. **Aplicação da teoria fractal e da geoestatística na estimativa da condutividade hidráulica e do espaçamento entre drenos.** Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Agrônomicas. UNESP. Campus de Botucatu. São Paulo. 198p. 2002

AYRES, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** 2^{ed.} Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p.

BALL, D. F.& WILLIAMS, W. M. **Variability of soil chemical properties in two incultivated brown earths.** Journal of Science Solil. v.19. p.398-391,1968.

BECKETT,P.H.T.; WEBSTER,R. **Soil variability: a review.** Soil Fertility, Toronto, v.34, n.1. p 1-15, 1971.

BERG, M.V.D. & KLAMTE, E. **Variabilidade espacial de características de solos na região do planalto médio, R.S.H. Análise de semivariância e da variância.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.21, n.3. p 401 – 408, 1997.

BLEVINS,R.L.; SMITH,M.S. & FRYE, W.W. **Changes in soil properties after 10 years of non-tillage and conservation tilled on corn.** Soil Till. Res, 3: 135 – 146, 1983.

BOHN, H. L.; McNELL, B.L.; O'CONNOR, G. A. **Soil chemistry.** 2^{ed.} New York: John Wiley & Sons, 341 p. 1985.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos.** 6^a Ed.. Rio de Janeiro. Editora Freitas Bastos. 647p. 1983.

BUSSAD, W.O. ; MARETTIN, P. A. **Estatística Básica.** 5^a Ed. São Paulo. Editora Saraiva, 123p. 2000.

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, T. M. **Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de um latossolo vermelho amarelo através da geoestatística.** Lavras: ESAL, p. 84 (Dissertação – Mestrado em solos e nutrição de plantas). 1991.

COELHO, M. G. **Variabilidade espacial de características físicas e químicas num solo salino-sódico.** *Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v. 14. m. 1. p. 149-156, 1983.

COELHO, M.A. & FERREYRA, F.F. **Characterization of salt-affected soils in the semi-arid region of Northeastern Brazil.** *Turnialba*, v.36, n.2, p.171-178. 1986.

COELHO FILHO M.A. **Variabilidade espacial aplicada ao manejo da irrigação por microaspersão em lima ácida “tahiti” (*Citrus latifolia* Tamaka).** Dissertação de Mestrado. – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 152p. 1998.

CORÁ, J.E. **The potencial for site-specific management of soil and yield variability induced by tillage.** East Lansing Michigan State University. Teses de Doutorado. 104p. 1997.

CORDEIRO, G.G. **Aspectos gerais sobre salinidade em áreas irrigadas: origem diagnostico e recuperação.** EMBRAPA/CPATSA. Boletim Informativo, 50.pp. 1-6. Petrolina – PE. 1988

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística.** 15 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997. 246 p.

DAKER, A. **Irrigação e drenagem; A água na Agricultura.** 6 ed. Rio de Janeiro: Freitas Batos, v. 3, 1988. 543p.

DAMASCENO, J. H. **Efeitos de diferentes níveis de salinidade e temperatura na germinação e vigor do gergelim (*Sesomum indicum* L).** Campina Grande – PB: Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, 1993 (Dissertação de Mestrado).

DNOCS/MINTER/IICA. **Plano de Operação e Manutenção de Projetos de Irrigação de São Gonçalo-PB.** 1985.

EMPRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de Métodos de Análise de solo.** 2 ed. Ver. Rio de Janeiro: EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de métodos de análise de solos.** Rio de Janeiro, 1979.

FAO. **Drainage design factors: Twenty eight questions and answers.** Rome. FAO. 1986. 52p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper N° 38).

GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; BATISTA, M. A. F. **Prevenção, Manejo e Recuperação de Solos Salinos e Sódicos.** Documento elaborado para Escola Superior de Agronomia de Mossoró/RN, 1991. 70p.

GOES, E.S. de. **O problema de salinidade e drenagem em projetos de irrigação do Nordeste a ação da pesquisa com vistas ao seu equacionamento.** In: Reunião sobre salinidade em áreas irrigadas. Fortaleza, SUDENE/DNOCS, p. 4-24. 1978

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística Operacional.** Brasília. Ministério das Minas e Energia. Departamento de Produção Mineral, 1998. 145p.

GUIMARÃES, E.C. **Variabilidade da umidade e densidade do solo em um Latossolo Roxo.** Campinas, 1993, 138p (Dissertação de Mestrado)-Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas.

HARGREAVES, G. H. **Precipitation dependability and potential for agricultural production in Northeast Brazil.** Utah State University Logan. Utah, september, 1974.

HILLEL, D. **Applications of soil physics.** New York. Academic Press, 1980.

HOAGLIN, D. C.; MOSTELER, F.; TYREY, J. W. **Análise exploratória de dados: técnicas robustas, um guia.** Lisboa: Salamandra, 1983, 446p.

KRIGE, D. G.A. **A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the witwatersrand.** J. Chem. Metall. Min. Soc. S. Afri., Johannesburg, v.52, p.119-139,1951.

MACHADO, R. V. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em uma hidrosequência de solos bem à muito mal drenados.** 1994. p.88. Dissertação(Mestrado). Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras-MG.

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas: Bases Agronômicas.** São Paulo: Editerra. 1989. 306p.

OLIVEIRA, J.J. de; CHJAVES, L.H.J.; QUEIROZ, J.E.;LUNA, J.G. de . **Variabilidade e características químicas de um solo salino-sódico.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG. , v.23, p. 783-789. 1999

OLIVEIRA, M. de. **Gênese, Classificação e Extensão de Solos Afetados por Sais.** XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada. p5. 383p. Campina Grande, 1997.

OLIVEIRA, J. J. de. **Variabilidade de características químicas de um solo salino-sódico.** Campina Grande: Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. 1998. 101p. (Tese de Mestrado).

OLIVEIRA, J. M. S. **Resistência ao escoamento uniforme em canais triangulares lisos.** João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 66 p.

PEREIRA, J. & COBRE, R. V. **Fertilização, correção de acidez e da salinidade dos solos.** Recomendação para os perímetros irrigados do alto e médio São Francisco. FAO/CODEVASF. Brasília, 1990. Bt. 1. 1990. 25p.

PEREIRA, F.A.M. **Metodologias de análises químicas para os solos afetados por sais no Nordeste. Areia.** Universidade Federal da Paraíba. 1981. 71p (Dissertação de Mestrado).

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. 2 ed. Madrid: Editorial Española, S.A. 1985. 542p.

QUEIROZ, J. E. **Parâmetros hidrodinâmicos para o solo de Várzea para fins de drenagem subterrânea**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz" da Universidade de São Paulo. 1995. 167p. (Tese de Doutorado).

QUEIROZ, J. F.; Gonçalves, A. C.; SOUTO, J. S.; FOREGATTI, M. V. **Avaliação e monitoramento da salinidade do solo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26. 1997. Campina Grande-PB. ANAIS... Campina Grande: UFPB, 1997. p. 69-108.

RHOADES, J. D.; MIYAMOTO, S. **Testing soils por salinity and sodicity**. In: WESTERMAN, R.L. (ed) Soil testing and plant analysis. Madison: SSSA, Cap. 12, p. 299-336. (SSSA. Book Series, 3). 1990.

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

RIBEIRO, JUNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. 1995. p.99. (Dissertação de Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica).

SAA, A.R. **Modelo de distribución espacial y frecuencia de la precipitación de la Península Ibérica**. Teses Doctoral. Madrid : Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid. 188p.1992.

SALVIANO, A. A. C. et al. **Variabilidade Espacial de atributos de solo e de Crotalaria Juncea (L) em área severamente erodida**. Ver. Brás. Cienc. Solo, campinas, v.22, n.1, p115-122, 1998.

SANTOS, R. V.; MURAOKA, T. **Interação Salinidade e Fertilidade do Solo**. XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada. p. 291-295. 383p. Campina Grande, 1997.

SETA, A.K.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W& BARFIELD, B.J. **Reducing soil erosion and agricultural chemical losses with conservation tillage**. J. Environ. Qual, 22: 661-665, 1983.

SILVA, E.F.de. **Efeitos de diferentes produtos na recuperação de solos salino-sódicos na cultura do arroz**. Campina Grande – PB: UFPB. Dissertação de Mestrado. 70p. 1997

SILVA, M. L. N. **Conservação e Planejamento de Uso do Solo**. In: MARQUES, S. J.; FERNANDES, L. A.; SILVA, M. L. N.; DIAS JR, M. S.; CURIH; FAQUIN, V. Solo no Contexto Ambiental, Lavras: UFLA/FAEPE, p. 111-115, 2001.

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 análises de variabilidade espacial do fósforo, num Latossolo roxo**. In: Congresso e Mostra de Agroinformática. Ponta Grossa – PR. 2000.

SNEDECOR, G. & COCHRAN, W. G. **Statistical methods**. 6 ed. Ames: IOWA. State University Press, 1967. 593p.

SOUSA, J. R. de. **Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido paraibano**. 1998. 65 p. (Dissertação de Mestrado). Campina Grande. UFPB-CCT.

SOUSA, J.R., QUEIROZ, J.L.,GHEYI, H.R. **Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido Paraibano**. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v.4, n.2, p.140-144, 1999.

SOUSA, J.R., QUEIROZ, J.L., GHEYI, H.R. **Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido Paraibano**. Rev. Bras. Eng. Agric. Ambiental, Campina Grande, v.4, n.1, p.35-40, 2000.

SOUZA, Z.M.; J.M.JÚNIOR; GENER, TADEU PEREIRA; LUIS FERNANDES MOREIRA. **Variabilidade espacial do pH, cálcio, magnésio, e V (%) do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar**. Ciência Rural. Santa Maria, v.34, n.6, p.1763-1771 nov/dez, 2004

SSSA . Soil Science Society of América. **Glossary of soil science Terms**. Madison, USA, 1976. 677p.

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Ministério do Interior. Departamento de Agricultura e Abastecimento. **Relatório Anual**. Recife 82p. 1977.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G. **Application of geostatistic to spacial studies of soil properties**. *Advance in agronomy*. New York, v. 38, p. 45-94, 1985.

UNESCO/FAO. **Irrigation drainage and salinity**. In: International sourcebook. Paris: UNESCO, LONDON: HUTCHINSON, 1973. 501 p.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. **Variabilidade espacial de potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo**. Bragantina. Campinas. V.54, n.2. p405-412, 1995.

VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial**. Campinas. IAC. 1998.

WARRICK, A. W. AND NIELSEN, D.R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: Hillel, D. ed. *Applications of soil physics*, New York: Academic Press, 319-344. 1980

APENDICE

I - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO

Amostra	Profundidade (cm)	CE	RAS	PST	Classificação Salinidade
1	0-15	0,46	0,51	2,61	Normal
	15-30	0,42	0,76	2,48	Normal
	30-60	0,38	1,29	2,89	Normal
	60-90	1,47	2,45	6,97	Normal
2	0-15	0,86	0,92	3,26	Normal
	15-30	0,49	2,02	5,79	Normal
	30-60	1,86	4,10	5,05	Normal
	60-90	0,41	4,19	8,15	Normal
3	0-15	0,81	1,34	4,02	Normal
	15-30	0,49	1,48	4,43	Normal
	30-60	0,48	1,57	8,93	Normal
	60-90	1,29	1,61	7,32	Normal
4	0-15	0,89	1,69	5,11	Normal
	15-30	0,53	1,02	8,31	Normal
	30-60	0,61	1,35	6,69	Normal
	60-90	1,33	2,62	8,56	Normal
5	0-15	0,52	0,88	8,74	Normal
	15-30	0,51	1,48	48,176	Sódico
	30-60	2,19	2,67	6,10	Salino
	60-90	1,19	1,63	10,95	Salino
6	0-15	0,71	0,74	5,46	Normal
	15-30	0,64	1,68	7,07	Normal
	30-60	0,32	4,67	26,22	Sódico
	60-90	0,86	2,10	6,53	Normal
7	0-15	1,12	3,10	9,31	Salino
	15-30	3,34	5,48	20,54	Salino Sódico
	30-60	10,52	1,72	18,41	Salino sódico
	60-90	10,34	14,85	40,02	Salino Sódico

Amostra	Profundidade (cm)	CE	RAS	PST	Classificação Salinidade
8	0-15	0,49	1,30	2,53	Normal
	15-30	5,15	0,59	9,26	Salino
	30-60	10,52	0,38	14,65	Salino
	60-90	5,44	2,75	4,89	Salino
9	0-15	0,81	0,48	1,20	Normal
	15-30	0,60	0,91	9,09	Normal
	30-60	0,72	0,36	14,65	Normal
	60-90	0,67	3,32	12,56	Normal
10	0-15	17,01	11,70	43,66	Salino sódico
	15-30	17,14	7,21	1,54	Salino
	30-60	16,83	8,57	49,38	Salino sódico
	60-90	15,02	12,52	52,88	SS
11	0-15	11,07	4,38	12,47	Salino
	15-30	2,02	1,70	15,92	Salino sódico
	30-60	1,95	7,10	28,55	Sódico
	60-90	1,16	4,56	25,91	Sódico
12	0-15	2,90	1,67	15,02	Salino sódico
	15-30	2,49	10,04	28,41	Salino sódico
	30-60	2,85	7,42	34,12	Salino sódico
	60-90	3,00	3,34	41,28	Salino sódico
13	0-15	0,93	0,62	3,21	Normal
	15-30	0,46	2,02	7,53	Salino sódico
	30-60	0,51	1,30	8,88	Salino sódico
	60-90	0,37	2,22	8,05	Salino sódico
14	0-15	0,93	0,80	2,48	Salino sódico
	15-30	0,56	3,51	9,67	Salino sódico
	30-60	1,08	1,24	12,73	Salino sódico
	60-90	2,19	0,98	3,54	Salino
15	0-15	1,86	0,86	6,34	Normal
	15-30	0,60	0,68	4,24	Normal
	30-60	0,63	2,64	7,31	Normal

Amostra	Profundidade (cm)	CE	RAS	PST	Classificação Salinidade
	60-90	0,59	0,99	7,45	Normal
16	0-15	1,14	1,21	10,92	Normal
	15-30	1,55	4,27	9,16	Normal
	30-60	1,35	2,39	12,71	Normal
	60-90	1,21	1,27	13,54	Normal
17	0-15	1,08	1,22	3,17	Normal
	15-30	0,92	2,36	9,67	Normal
	30-60	0,92	1,76	13,16	Normal
	60-90	0,85	1,43	18,96	Sódico
18	0-15	1,50	1,50	10,79	Normal
	15-30	5,47	2,76	9,01	Salino
	30-60	7,56	9,23	0,22	Salino
	60-90	28,64	8,27	38,65	Salino-sódico
19	0-15	17,72	13,65	40,25	Salino-sódico
	15-30	17,84	15,34	43,37	Salino-sódico
	30-60	15,13	4,05	2,66	Salino
	60-90	14,76	14,80	44,71	Salino-sódico
20	0-15	2,81	3,58	9,71	Salino
	15-30	2,06	1,28	13,67	Salino
	30-60	11,65	4,53	11,45	Salino
	60-90	2,27	3,58	9,09	Salino
21	0-15	0,72	2,09	8,87	Normal
	15-30	0,76	1,46	4,33	Normal
	30-60	0,70	9,98	10,27	Normal
	60-90	0,81	30,19	7,45	Normal
22	0-15	17,14	13,59	23,99	Salino-sódico
	15-30	9,13	8,86	30,93	Salino-sódico
	30-60	6,64	2,82	22,22	Salino-sódico
	60-90	3,04	1,38	14,54	Salino sódico

Amostra	Profundidade (cm)	CE	RAS	PST	Classificação Salinidade
23	0-15	0,49	0,91	6,67	Normal
	15-30	0,50	0,47	8,50	Normal
	30-60	0,59	1,57	6,54	Normal
	60-90	2,25	1,24	9,00	Salino
24	0-15	1,11	0,90	1,39	Normal
	15-30	0,77	1,76	3,71	Normal
	30-60	0,56	0,96	8,23	Normal
	60-90	0,55	1,62	8,08	Normal
25	0-15	0,82	3,37	8,83	Normal
	15-30	0,58	1,36	15,79	Sódico
	30-60	1,44	1,92	27,01	Sódico
	60-90	6,62	2,68	28,09	Salino-sódico
26	0-15	0,61	1,61	10,72	Normal
	15-30	0,48	1,98	11,75	Normal
	30-60	0,46	2,69	10,18	Normal
	60-90	0,66	2,56	12,36	Normal
27	0-15	0,66	1,47	6,56	Normal
	15-30	1,21	2,03	9,22	Normal
	30-60	1,45	2,51	8,49	Normal
	60-90	1,83	1,18	8,84	Normal
28	0-15	0,99	0,82	3,91	Normal
	15-30	0,86	1,39	6,34	Normal
	30-60	0,61	2,34	6,49	Normal
	60-90	0,82	2,00	8,03	Normal
29	0-15	1,66	3,00	7,72	Normal
	15-30	1,76	1,22	1,93	Normal
	30-60	1,71	1,30	4,91	Normal
	60-90	1,81	4,11	7,40	Normal

Amostras	Profundidade (cm)	CE	RAS	PST	Classificação
30	0-15	0,61	3,01	8,19	Normal
	15-30	0,44	1,08	8,06	Normal
	30-60	0,88	1,22	4,33	Normal
	60-90	3,71	1,18	11,35	Salino
31	0-15	0,66	1,22	7,87	Normal
	15-30	1,14	4,16	8,94	Normal
	30-60	2,63	3,38	14,38	Salino
	60-90	6,42	4,37	16,96	Salino-sódico
32	0-15	0,42	1,17	2,05	Normal
	15-30	0,49	1,98	6,72	Normal
	30-60	0,65	2,38	7,83	Normal
	60-90	0,60	2,02	6,91	Normal
33	0-15	0,60	1,25	5,62	Normal
	15-30	0,61	2,91	6,63	Normal
	30-60	0,62	2,27	6,59	Normal
	60-90	0,73	3,43	6,91	Normal
34	0-15	28,96	10,15	55,45	Salino-sódico
	15-30	14,11	9,72	42,42	Salino-sódico
	30-60	12,55	16,60	44,67	Salino sódico
	60-90	14,58	7,24	43,18	Salino-sódico
35	0-15	1,35	1,70	8,28	Normal
	15-30	6,96	2,41	28,79	Salino-sódico
	30-60	1,34	1,41	4,29	Normal
	60-90	2,26	5,38	2,73	Salino
36	0-15	0,59	0,68	2,24	Normal
	15-30	0,53	1,08	4,17	Normal
	30-60	0,83	1,16	12,17	Normal
	60-90	1,18	5,40	11,45	Normal

Amostras	Profundidade (cm)	CE	RAS	PST	Classificação
37	0-15	63,35	58,66	76,79	Salino-sódico
	15-30	30,77	40,92	73,72	Salino-sódico
	30-60	18,46	11,51	72,02	Salino-sódico
	60-90	0,85	2,36	5,23	Normal
38	0-15	23,34	1,07	37,95	Salino sódico
	15-30	19,75	4,13	32,01	Salino sódico
	30-60	17,89	4,03	10,19	Salino
	60-90	20,81	4,05	32,22	Salino-sódico
39	0-15	3,32	9,67	12,40	Salino-sódico
	15-30	6,87	17,98	31,19	Salino-sódico
	30-60	12,09	4,50	43,05	Salino-sódico
	60-90	14,97	10,76	43,38	Salino-sódico
40	0-15	0,30	0,88	1,54	Normal
	15-30	0,19	0,81	1,00	Normal
	30-60	0,11	1,27	2,40	Normal
	60-90	0,66	4,01	3,07	Normal
41	0-15	0,77	4,05	2,13	Normal
	15-30	0,54	3,64	3,42	Normal
	30-60	0,65	6,09	2,76	Normal
	60-90	0,47	3,54	5,78	Normal
42	0-15	3,25	1,01	0,13	Salino
	15-30	0,63	3,23	2,37	Normal
	30-60	0,36	0,34	4,48	Normal
	60-90	1,30	1,41	0,34	Normal
43	0-15	1,99	1,81	7,89	Normal
	15-30	0,70	6,96	3,33	Normal
	30-60	0,62	8,07	3,20	Normal
	60-90	0,60	4,00	3,62	Normal

Amostra	Profundidade (cm)	CE	RAS	PST	Classificação
44	0-15	4,19	15,55	1,26	Salino
	15-30	0,66	5,63	4,38	Normal
	30-60	0,63	8,46	4,34	Normal
	60-90	0,47	4,01	3,24	Normal
45	0-15	0,85	3,06	3,18	Normal
	15-30	0,79	4,57	4,79	Normal
	30-60	0,60	5,44	3,86	Normal
	60-90	0,37	5,00	2,97	Normal
46	0-15	3,14	0,87	0,13	Salino
	15-30	0,93	1,07	0,59	Normal
	30-60	0,47	0,67	1,93	Normal
	60-90	0,39	2,08	2,39	Normal
47	0-15	1,46	3,14	0,20	Normal
	15-30	1,03	2,41	1,49	Normal
	30-60	0,65	4,00	1,74	Normal
	60-90	0,61	5,52	2,68	Normal
48	0-15	1,63	1,23	4,18	Normal
	15-30	2,80	2,81	3,50	Salino
	30-60	0,59	3,70	5,03	Normal
	60-90	0,40	2,60	5,62	Normal
49	0-15	1,10	3,74	0,32	Normal
	15-30	0,44	1,43	0,74	Normal
	30-60	0,39	2,91	0,52	Normal
	60-90	0,64	2,38	2,90	Normal
50	0-15	0,10	1,39	10,61	Normal
	15-30	0,32	1,66	1,93	Normal
	30-60	0,25	2,30	2,83	Normal
	60-90	0,21	0,61	2,43	Normal

Amostra	Profundidade (cm)	CE	RAS	PST	Classificação
51	0-15	1,66	1,53	2,88	Normal
	15-30	0,41	5,00	6,10	Normal
	30-60	0,89	4,45	2,80	Normal
	60-90	0,43	4,51	4,88	Normal