



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CAMPUS II**  
**COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA**



**CENTRO DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA**

# **PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CAMPINA GRANDE  
PARAÍBA**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**MESTRADO**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA SALINIDADE DE  
UM SOLO ALUVIAL NO SEMI-ÁRIDO PARAIBANO**

**DISSERTAÇÃO**

**LÁZARO COSTA DE SOUZA**

Campina Grande – Paraíba  
Fevereiro – 1999

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA SALINIDADE DE UM SOLO ALUVIAL NO  
SUMI-ÁRIDO PARAIBANO**

**LÁZARO COSTA DE SOUZA  
ENGENHEIRO AGRÔNOMO**

**Dissertação apresentada ao curso de pós-  
graduação em Engenharia Agrícola da  
Universidade Federal da Paraíba, em  
cumprimento às exigências para  
obtenção do Grau de Mestre em Ciências  
(M.Sc.).**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**ORIENTADORES: Prof. Dr. José Elenildo Queiroz  
Prof. Dr. Hans Raj Gheyi**

**CAMPINA GRANDE – PB  
Fevereiro - 1999**



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

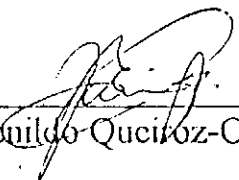
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

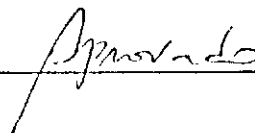
LÁZARO COSTA DE SOUZA

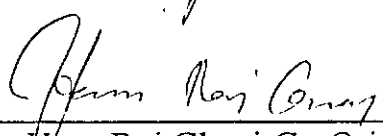
Título: "Variabilidade Espacial da Salinidade de um Solo Aluvial no Semi-Árido Paraibano".

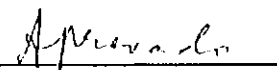
COMISSÃO EXAMINADORA

PARECER

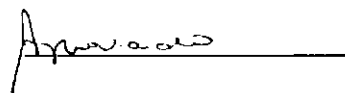
  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Elcildo Queiroz-Orientador

  
\_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Hans Raj Ghyci-Co-Orientador

  
\_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Lúcia Helena Garofalo Chaves-Examinadora

  
\_\_\_\_\_

Campina Grande, 05 de fevereiro de 1999

**Aos meus pais: Ivandí Melquíades de Souza e Hilda de Souza e meus irmãos (ãs): Ivanilda, Ivandí Filho, Maria Bernadete, Francisco das Chagas, Cícero Antônio, Roberto, Sebastião Marcos, Wilson Paulo, Teresinha de Fátima e João Bosco; pelos incentivos e apoios constantes.**

## **OFEREÇO**

**À minha esposa Sandra e meus filhos Lucas e Gabriel, pelo carinho, amor e compreensão.**

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, porque Nele "... se encontram a sabedoria, o conhecimento e a ciência da lei..." (Eco. 11, 15) e por sempre me conceder espírito de perseverança e coragem para enfrentar os desafios da vida.

Ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, pelo apoio para a realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

A Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba (EMEPA - PB), pelo apoio e concessão para conclusão deste trabalho.

Aos Professores Drs. José Elenildo Queiroz e Hans Raj Gheyi, pelos ensinamentos, compreensão, críticas e sugestões prestadas durante a realização deste trabalho e por suas amizades como pessoas e professores.

Aos professores Anselmo Rodrigues de Oliveira e Márcia Roscane Targino de Oliveira, pelo apoio, confiança e amizades sempre presentes.

Aos professores do Laboratório de Irrigação e Salinidade, pelos incentivos e amizades. Aos funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade: Francisco Alves, Pedro, Francisco de Assis, Wilson, José Maria, Rejane e José.

Aos amigos e colegas, João Rodrigues, Fábio Agra, João Jácome, Jonildo, Assis Júnior, Adílson, Alek Sandro, Gutemberg, Róbson, Joaquim, Paulo Pina, Albanise, Patrícia, Mércia, Marinévea e Avani, pelos momentos compartilhados dentro e fora do curso. Enfim, a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

## LISTAS DE TABELAS

<b>TABELA</b>	<b>Página</b>
1 - Medidas estatísticas das variáveis pH, CEcs e PST (Profundidades 0-20; 20-40 e 40-60 cm).	28
2 - Estimativas dos parâmetros do modelo teórico ajustado aos semivariogramas experimentais e a relação efeito pepita/patamar para o pH nas áreas afetada (sem e com a eliminação de dados discrepantes) e normal, nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm.	46
3 - Estimativas dos parâmetros do modelo teórico ajustado aos semivariogramas experimentais e a relação efeito pepita/patamar para a CEcs, nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm.	47
4 - Estimativas dos parâmetros do modelo teórico ajustado aos semivariogramas experimentais e a relação efeito pepita/patamar para a PST, nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm.	48
5 - Equações ajustadas aos semivariogramas experimentais através dos modelos esférico e gaussiano, obtidos para o pH, CEcs e PST, nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm.	49

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Mapa da localização do projeto Capoeira, com detalhes hidrográficos e principais vias de acesso.	20
2	Esquema experimental com a localização dos pontos de amostragem (a) e mapa da superfície da área estudada (b), sem escalas.	23
3	Área estudada, onde destaca-se uma mancha de sais denotada pela coloração esverdeada. São José do Bonfim – PB.	24
4	Histogramas (a, c, e) e gráficos de probabilidade normal (b, d, f) para o pH nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm.	31
5	Histogramas (a, c, e) e gráficos de probabilidade normal (b, d, f) para a CEes nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm.	32
6	Histogramas (a, c, e) e gráficos de probabilidade normal (b, d, f) para a PST nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm.	33
7	Gráficos de caixa ou “box-plot” para as variáveis pH (a) CEes (b) e PST (c) nas profundidades 0-20; 20-40 e 40-60 cm.	35
8	Gráficos “box-plot” por colunas (a, c, e) e por linhas (b, d, f) para o pH nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm.	38
9	Gráficos “box-plot” por colunas (a, c, e) e por linhas (b, d, f) para a CEes nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm.	39
10	Gráficos “box-plot” por colunas (a, c, e) e por linhas (b, d, f) para a PST nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm.	40
11	Semivariogramas experimentais e modelos ajustados para o pH nas áreas: afetada sem e com eliminação de dados discrepantes (a, d, g, b, e, h) e normal (c, f, i), nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm.	43
12	Semivariogramas experimentais e modelos ajustados da variável CEes para as áreas normal (a, c e e) e afetada (b, d e f), nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm.	44
13	Semivariogramas experimentais e modelos ajustados da variável PST para as áreas normal (a, c e e) e afetada (b, d e f), nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm.	45



- 14 Mapas de isolinhas do pH para as camadas de 0-20 cm (a), 20-40 cm (b) e 40-60 cm (c). 52
- 15 Mapas de isolinhas da CEes para as camadas de 0-20 cm (a), 20-40 cm (b) e 40-60 cm (c). 53
- 16 Mapas de isolinhas da CEes para as camadas de 0-20 cm (a), 20-40 cm (b) e 40-60 cm (c). 54
- 17 Mapas de classes de solos salinizados para as amostragens de 0-20 em (a), 20-40 cm (b) e 40-60 cm (c), evidenciando as sub-áreas afetada (A) e normal (N). 57

## SUMÁRIO

	página
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 - Aspectos gerais de solos afetados por sais	4
2.2 - Variabilidade espacial de algumas propriedades do solo	5
2.3 - Aspectos estatísticos	9
2.3.1 - Distribuição de probabilidade normal	9
2.3.2 - Formas de amostragem	11
2.4 - Análise exploratória dos dados	13
2.5 - Alguns fundamentos de geoestatística	14
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1 - Localização do experimento	19
3.2 - Solos e relevo	19
3.3 - Vegetação e clima	21
3.4 - Amostragem e esquema amostral	21
3.5 - Variáveis estudadas	22
3.5.1 - pH	22
3.5.2 - Condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes)	22
3.5.3 - Porcentagem de sódio de trocável (PST)	24
3.6 - Análise de laboratório	25
3.7 - Análise dos resultados	25
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 - Análise descritiva dos dados	27
4.2 - Análises geoestatísticas	41
4.2.1 - Semivariogramas	41
4.2.2 - Confecção dos mapas de isolinhas	50

5 - CONCLUSÕES	58
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
APÊNDICES	68

## RESUMO

O problema da salinidade na região semi-árida do nordeste brasileiro requer a realização de estudos quanto à sua caracterização espacial, visando propor alternativas de recuperação e manejo das áreas afetadas. Para tanto, uma análise criteriosa dos dados referentes às variáveis que caracterizam a salinidade constitui um aspecto de fundamental importância. Neste contexto, este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a variabilidade espacial do pH da pasta de saturação, condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e porcentagem de sódio trocável (PST), em um solo de origem aluvial afetado por sais, visando mapear e definir estratégias de manejo para a área estudada. O experimento foi realizado numa área de 14.700 m<sup>2</sup> do Projeto de Irrigação Capocira, localizado no município de São José do Bonfim – PB. Foram coletadas amostras de solo às profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm, obedecendo um esquema sistemático de amostragem numa malha de 10 x 15 m, totalizando 120 pontos amostrais. As análises químicas foram realizadas conforme recomendações da EMBRAPA. O comportamento dos dados foi avaliado por meio da estatística descritiva (geral e espacial) e de análises geoestatísticas. Foi observado baixa variabilidade para o pH (CV<12%) e elevada para a CEes e a PST (CV>60%), o que normalmente é encontrado para variáveis químicas do solo. A análise descritiva espacial dos dados permitiu a sub-divisão da área em duas sub-áreas: uma normal e outra afetada. Modelos esférico e gaussiano foram ajustados aos semivariogramas experimentais que apresentaram estrutura de dependência espacial nas duas sub-áreas e profundidades estudadas, tendo o exame dos semivariogramas revelado de fraca a moderada estrutura de dependência espacial dos dados analisados, com alcances variando de 20 a 40 m. Os mapas de isolinhas das variáveis estudadas, obtidos através dos

métodos de interpolação por krigagem e inverso do quadrado da distância, permitiram visualizar a variabilidade das propriedades estudadas, constituindo-se em uma importante ferramenta para a definição de estratégias de manejo edáfico, racionalizando custos e possibilitando melhor interpretação de dados experimentais. Com base nos mapas de isolinhas da combinação da CEes e PST, verificou-se que os problemas de salinidade e sodicidade agravaram-se com o aumento da profundidade.

## ABSTRACT

The problem of salinity in the semi-arid area of the Brazilian northeast requires the accomplishment of studies with relationship to its space characterization, seeking to propose reclamation alternatives and management forms of the affected areas. Therefore, a critical analysis of the data referring to the variables that characterize the salinity constitutes an aspect of fundamental importance. In this context, this work was conducted with the objective to study the variability of the pH of the saturation paste, electrical conductivity of saturation extract (ECe) and exchangeable sodium percentage (ESP), in an alluvial salt affected soil, seeking to get map and to define management strategies for the studied area. The study was conducted in an area of 14.700 m<sup>2</sup> of Irrigation Project Capocira, located in the São José do Bonfim - PB. Soil samples were collected at depths of 0-20; 20-40 and 40-60 cm, following a systematic outline of sampling in 10 x 15 m mesh, obtaining 120 points of observation. The chemical analyses were made according to recommendations of EMBRAPA. The behavior of the data was evaluated by measures of the descriptive statistics and of geostatistical analysis through the semivariograms making and of isolines maps obtained by interpolação methods. Low variability was observed for the pH (CV <12%) and elevated for ECe and ESP (CV>60%), what is usually found for chemical variables of the soil. The spatial descriptive analysis provided the sub-division of the area in two subareas: one normal and other affected. Spherical and gaussian models were adjusted to the experimental semivariograms that presented structure of spatial dependence in the sub-areas and studied depths, and the study of the semivariograms revealed of weak the moderate structure of spatial dependence of the analyzed data, with reaches varying of 20 to 40 m. The maps of isolines of the studied

variables, obtained through by kriging and inverse of the square of the distance, allowed to visualize the variability of the properties studied, constituting an important tool for the definition of management strategies, rationalizing costs and facilitating better interpretation of experimental data. On the basis of isolines map of the combination of the variables ECe and ESP, an increase of the salinity levels and sodicity was found with the depth.

## 1 – INTRODUÇÃO

A salinidade do solo é um importante fator que afeta o rendimento dos cultivos, constituindo-se em um sério problema nas áreas irrigadas, principalmente quando sua intensidade interfere no desenvolvimento das plantas nativas de uma área ou daquelas cultivadas pelo homem, reduzindo a produção e produtividade das culturas à níveis antieconômicos (Oliveira, 1997).

A salinização é um processo de acumulação de sais, geralmente de metais alcalinos, nas partes do solo próximas à superfície, com efeitos sobre o rendimento das plantas não tolerantes ao excesso de sais. Esse problema é mais freqüente em regiões tropicais de clima quente e seco, caracterizados por elevadas taxas de evapotranspiração e baixos índices pluviométricos, a exemplo do semi-árido do nordeste brasileiro, onde uma área correspondente a 52% de sua superfície foi delimitada como polígono das secas (Sudene, 1977). Com a implantação de vários perímetros públicos de irrigação nesta região, onde atualmente se concentram as terras mais intensamente cultivadas com o uso da irrigação, o risco de tornar os solos salinizados ou alcalinizados são mais sérios ainda. Diversos trabalhos (Goes, 1978; Cordeiro et al., 1988; Ghely, 1993) têm mostrado que cerca de 25% de suas áreas já se encontram com problemas de sais e há, ainda, grandes possibilidades de aumentar ainda mais este percentual. Vários fatores contribuem para o processo, destacando-se os aspectos edafoclimáticos, presença de lençóis freáticos



elevados, irrigação inadequada e drenagem insuficiente, entre outros; os quais proporcionam um certo acúmulo de sais ao longo do tempo (Richards, 1954; Fao/Unesco, 1973). O conjunto destes fatores e a ação do homem, sob diferentes níveis, imprimem uma grande variabilidade aos solos, particularmente aos salinos e/ou salino-sódicos (Coelho, 1983; Albuquerque et al., 1996).

O estudo da variabilidade espacial dos solos consiste na análise da variação das suas propriedades e características, sendo seu conhecimento de grande importância para a avaliação da fertilidade, levantamento, mapeamento e classificação de solos; desenvolvimento de esquemas mais adequados de amostragens, entre outros, visando a melhoria das condições de manejo e o incremento de produtividade das culturas (Souza, 1992; Albuquerque et al., 1996; Queiroz et al., 1997).

Durante anos, a heterogeneidade dos solos foi estudada e tratada como produto do acaso pela pesquisa agrícola, utilizando-se de ferramentas da estatística clássica, baseada na aleatoriedade, repetição e independência das amostras. No entanto, vários trabalhos (Coelho & Ferreyra, 1986; Prevedello, 1987; Oliveira, 1998) têm evidenciado a existência de correlação espacial para as variáveis físicas e químicas do solo, indicando que estas variáveis são espacialmente dependentes. Desse modo, a conveniência do uso da análise clássica de variância é então reduzida principalmente quando a variabilidade do solo é grande. Tal situação requer o uso de técnicas apropriadas de avaliação e análise dos dados para a estimativa de variáveis do solo, bem como a definição de um sistema de amostragem adequado que permita classificar os resultados conforme a magnitude dos dados. Estes recursos podem ser obtidos por meio da geoestatística (Reichardt, 1985; Souza et al., 1997; Queiroz et al., 1997). Para Reichardt (1985), as técnicas casuais e espaciais se complementam, sendo que perguntas respondidas por uma, muitas vezes não podem ser

respondidas pela outra.

Em estudos de salinidade, as variáveis pH, condutividade elétrica do extrato de saturação (CEs) e porcentagem de sódio trocável (PST) são indispensáveis para a identificação do problema e a definição de técnicas de manejo a serem adotadas (Raij, 1991). Ocorre, porém, que tais variáveis podem apresentar padrões diferenciados de variabilidade espacial que podem dificultar a adoção de um tratamento uniforme para toda a área de interesse. Através de uma análise adequada dos dados que considere a posição no espaço dos valores amostrais e a estrutura de dependência espacial de cada variável é possível a caracterização de sub-áreas a serem tratadas de forma individualizada. Para tanto, procedimentos gráficos que permitam visualizar o comportamento espacial dos dados e as ferramentas geoestatísticas são indispensáveis. Neste contexto, este trabalho teve os seguintes objetivos:

- descrever estatisticamente e identificar a distribuição espacial dos valores de pH, CEs e PST, indispensáveis à caracterização da salinidade, em um solo de origem aluvial no semi-árido paraibano;
- verificar a existência de dependência espacial das variáveis estudadas, para utilização do processo de krigagem;
- fazer o mapeamento das variáveis que caracterizam a salinidade, visando obter subsídios para decisões sobre estratégias de manejo e recuperação da área estudada.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 – Aspectos gerais de 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 hidricas do solo, principalmente com relação ao pH do solo, disponibilidade de nutrientes e infiltração de água (Damasceno, 1993). Durante a intemperização 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 (CEes); da porcentagem de sódio trocável (PST) e do pH da pasta de saturação, conforme a classificação apresentada por Richards (1954). Segundo este autor, os solos salinos geralmente são encontrados nas regiões de clima árido e semi-árido, que favorece a concentração de sais em quantidades tais no solo e na água superficial, que reduzem a sua produtividade. Normalmente apresentam uma crosta branca em sua superfície, floculados

devido à presença de excesso de sais solúveis e sem problemas de permeabilidade. Nestes solos, as plantas apresentam crescimento e desenvolvimento desuniformes; folhas com coloração verde-azulada, relativamente grossas, cerosas e com queimaduras nas margens.

Nos solos sódicos há predominância do 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 por Hilgard e solonetz pelos russos (Pereira & Cobbe, 1990). Normalmente, apresentam um horizonte sub-superficial com estrutura colunar ou prismática, de baixas permeabilidade, condutividade hidráulica e estabilidade dos agregados. As plantas neles cultivadas apresentam sistema radicular restrito e pouco desenvolvido.

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 & Muraoka, 1997).

## **2.2 – Variabilidade espacial de algumas propriedades do solo**

A rocha está submetida a contínuas transformações devido a ação combinada dos agentes de intemperismo, 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 possa aparentar. Segundo Beckett & Webster (1971), mesmo à curtas distâncias pode-se detectar grandes variações na composição do solo que necessitam ser quantificadas. 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.

Salviano (1996) relata que muitos trabalhos de pesquisas de campo até então realizados poderiam estar violando os fundamentos da análise de variância, por não considerar a interdependência entre as observações, o que provavelmente resultaria em erros na interpretação das análises. Este autor ressalta ainda que em muitos casos a análise estatística clássica deve ser complementada por novos delineamentos experimentais ou por meio da geoestatística, a qual permite avaliar a estrutura espacial das variáveis analisadas. O desvio padrão e o coeficiente de variação dão idéia da magnitude de variabilidade de propriedades químicas e físicas dos solos, porém nada informam quando a estrutura de dependência espacial dessas propriedades, o que só é possível através de técnicas geoestatísticas.

Ball & Williams (1968), em estudos sobre a variabilidade espacial de diversas propriedades químicas em solos não cultivados, realizados em três programas de amostragens, 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.

Barreto et al. (1974), estudando a variabilidade espacial em duas áreas - uma em um solo classificado como Podzólico-Vermelho-Amarelo câmbico e outra em uma

encosta de um solo Podzólico-Vermelho-Amarelo Latossólico – coletando amostras à profundidade de 0-20 cm, encontraram coeficientes de variação para pH de 4,73% e 3,94%, respectivamente.

Coelho (1983), ao estudar a variabilidade espacial das variáveis químicas e físicas em um solo Aluvial eutrófico, classificado como salino-sódico e vertic torrifluents, encontrou valores de coeficientes de variação para as variáveis pH, cálcio, magnésio e sódio de 4,8, 38,7, 34,3 e 39,6% e 5,6, 38,8, 37,9 e 41,3% em amostras coletadas às profundidades de 0-30 e 30-60 cm, respectivamente.

Bhatti et al. (1991), encontraram importantes correlações entre produção de trigo, teor de matéria orgânica (MO), retenção de água e fósforo (P) em solos erodidos. A correlação entre MO determinada em laboratório e por sensoriamento remoto foi altamente positiva. A semivariância cruzada entre MO e as demais variáveis como P, produção de trigo e umidade do solo demonstrou-se positiva, o que levou estes autores a tirar conclusões sobre estas variáveis a partir da determinação de MO por sensoriamento remoto. Segundo afirmaram, este fato poderia implicar em economia de tempo e esforço nas amostragens e análises do solo em trabalhos posteriores que visassem recomendações de manejo.

Guimarães et al. (1992), em estudos sobre a variabilidade espacial do pH em água, num solo Latossolo Roxo do município de Lavras - MG, na qual foram demarcados 169 pontos de observações numa malha de 20 x 20m, coletando amostras à profundidade de 20cm, observaram que o modelo esférico foi o que melhor se ajustou ao semivariograma experimental, com um alcance de dependência espacial em torno de 180 m e efeito pepita de 22% em relação a variância total.

Gomes et al. (1994), estudando a salinidade do solo no perímetro irrigado de

Itans, coletando amostras nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, nos terços inferior, médio e superior da margem direita do rio Barra Nova, em sete lotes irrigados, encontraram valores de coeficientes de variação de 6% para pH 1:1 e de 200% e 203% para a condutividade elétrica nas duas profundidades estudadas, respectivamente.

Carvalho (1996) em estudo sobre a variabilidade espacial e temporal em um solo *typic xerochluvent*, em amostras de solo obtidas à profundidade de 20cm espaçadas de 1m ao longo de duas transeções perpendiculares, cultivado sob três sistemas de cultivo (cevada - I, aveia - II e prado - III), obteve valores de coeficientes de variação de CE iguais a 21,9; 13,4 e 17,2% e de pH iguais a 1,4; 1,0 e 1,3%, para os três sistemas de cultivo, respectivamente. Este autor verificou existência de um efeito pepita puro para o pH nesses sistemas de cultivo, mostrando que para a determinação da dependência espacial para esta variável, seria imprescindível coletar amostras de solo em escalas menores que a realizada no trabalho (1,0m).

Mapa & Kumaragamage (1996) em estudo sobre a variabilidade espacial de parâmetros físicos e químicos em uma malha de 132 pontos espaçados em 5 m, verificaram que o pH e o fósforo do solo ajustaram-se a uma distribuição log-normal, sendo que o pH não apresentou um semivariograma estruturado. A condutividade elétrica, argila, carbono orgânico e fósforo apresentaram domínios de 30; 8,6; 8 e 14 m, respectivamente.

Souza et al. (1997) estudando várias propriedades físicas e químicas em Latossolo-Amarelo distrófico, textura média, relevo plano, encontraram distribuição normal apenas para fósforo e unidade gravimétrica. Estes autores conduziram pesquisas sobre a variabilidade de nutrientes em folhas de citros na mesma área. O semivariograma cruzado entre matéria orgânica no solo e nitrogênio nas folhas apresentou correlação espacial positiva. Para os demais nutrientes não foi constatado correlação.

Oliveira (1998), em estudo sobre a variabilidade espacial em um solo Aluvial salino-sódico, localizado no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, no semi-árido paraibano, em amostras coletadas na profundidade de 0-30 cm, verificou alcance de dependência espacial de 21; 15 e 12 m para as variáveis químicas pH, PST e CE, respectivamente. Para a PST, obteve um modelo esférico de semivariograma, enquanto que para as variáveis pH e CEs os modelos que melhor se ajustaram foram o gaussiano e o esférico, após eliminação de dados discrepantes ou “outliers”.

## 2.3 – Aspectos estatísticos

### 2.3.1 - Distribuição de probabilidade normal

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, ajustam-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, 1988; Queiroz, 1995). A função que descreve a forma da curva teórica dessa distribuição, ou seja, a função densidade de probabilidade, é dada pela expressão:

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

onde,



$f(x)$  - frequência teórica de  $x$ ;

$x$  - variável aleatória contínua;

$\mu_x$  - média da população;

$\sigma$  - desvio padrão da população.

Para verificar se um conjunto de dados se ajustam à distribuição normal, faz-se uso de testes de aderência como o qui-quadrado ( $X^2$ ) 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 grau de achatamento da curva teórica. Estes coeficientes são expressos por:

$$C_s = \frac{m - M_o}{S} \quad (2)$$

$$C_r = \frac{M_4}{S^4} \quad (3)$$

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 os valores de  $C_s = 0$  e  $C_r = 3$ , sendo que para testar se 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).

### 2.3.2 – Formas de amostragem

O solo está sujeito à constantes modificações devido aos fatores de formação. Dessa forma, suas propriedades são variáveis contínuas integrantes de uma população infinita em uma dada área, que podem ser analisadas estatisticamente através dos parâmetros que estimam a sua distribuição. Trangmar et al. (1985) relatam que o valor esperado de uma propriedade  $Z$  para uma determinada posição  $x$  da área é dado por:

$$Z(x) = \mu + e(x) \quad (4)$$

em que  $\mu$  é a média populacional;  $e(x)$  são os desvios dos dados em torno da média, considerados como independentes e com distribuição normal de média zero e variância  $\sigma^2$ .

Considerando tais hipóteses e a propriedade  $Z$  apresentando uma distribuição de frequências 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 de confiança.

Para se fazer deduções estatísticas de uma propriedade qualquer do solo, é imprescindível que as amostras coletadas possam representar confiavelmente a região de interesse. A precisão e exatidão com que estas amostras possam caracterizar uma determinada população dependem de suas variabilidades no solo e, principalmente, do método de amostragem utilizado (Reichardt et al., 1986; Saraiva et al., 1992; Gonçalves, 1997). No entanto, o solo, por mais uniforme que seja em sua aparência, pode apresentar grandes variações em suas propriedades devido a fatores diversos que podem dificultar uma amostragem adequada de dados da propriedade de interesse (Alvarez & Carrasco, 1976).

Como é impossível medir o valor de uma propriedade qualquer do solo em todos os locais, deve-se adotar uma metodologia padronizada de coleta de dados que possa quantificá-la em alguns locais na região selecionada para a amostragem.

Existem vários métodos de amostragem no estudo da variabilidade espacial de um solo, cada um com suas vantagens e desvantagens segundo o delineamento experimental escolhido e os objetivos do experimento. No entanto, deve-se assegurar que a amostragem não seja tendenciosa e contenha um número suficiente de amostras para representar seguramente uma população a um dado nível de confiança (Reichardt et al., 1986; Gonçalves, 1997). Para estes autores, basicamente utilizam-se duas formas de amostragem:

- a) Aleatória simples – Típica da estatística clássica, utiliza os critérios de casualização, repetição e independência entre as amostras. Não leva em conta a posição relativa de cada amostragem. Caso não seja tendenciosa, os valores da média e da variância podem ser usados para estimar os parâmetros populacionais. Neste caso, a variabilidade das observações são dados pela estimativa da variância e do coeficiente de variação.
- b) Sistemática – Neste tipo, também usada na geoestatística, os pontos de amostragem são localizados em um plano espacial determinado, segundo uma transeção em uma dada direção  $x$  ou uma malha nas direções  $x$  e  $y$ . Tem-se dessa maneira, uma cobertura total da área onde pode-se facilmente identificar os pontos e demarcá-los na área. Nestes casos, os intervalos entre os pontos podem ser equidistantes ou não, desde que se conheçam suas coordenadas. A variabilidade espacial dos dados, neste caso, pode ser obtida por correlogramas e/ou semivariogramas, os quais definem o grau de dependência da propriedade medida.

## 2.4 – Análise exploratória dos dados

A análise exploratória dos dados por meio de técnicas estatísticas gerais e espaciais é feita para se adquirir familiaridade com os dados da propriedade estudada. A partir dessa análise pode-se considerar algum tipo de estacionariedade ou observar existência de tendência dos dados. Na análise descritiva geral assume-se que valores medidos de cada variável são aleatórios e não têm dependência espacial. Dela obtém-se as medidas de posição e dispersão mais usadas, quais sejam: média aritmética, moda, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, mínimo, máximo, amplitude total, primeiro e terceiro quartis, amplitude interquartilica. A análise descritiva espacial dos dados permite identificar a presença de valores atípicos, tendências e sub-unidades de variabilidades diferentes, através de recursos gráficos, considerando-se a dependência espacial entre os mesmos (Queiroz et al., 1997).

Dentre os recursos gráficos utilizados na análise exploratória da variabilidade espacial de um conjunto de dados podemos destacar: gráficos de caixa, gráficos por linhas e por colunas (Ribeiro Júnior, 1995; Queiroz et al., 1997), os quais podem auxiliar na interpretação dos dados obtidos e na tomada de decisões com relação a retirada ou não de valores de dados ou na remoção de tendências. A dispersão dos dados pode ser observada pelos gráficos de caixa ou “box-plot”, através da representação visual de um conjunto de cinco números: limites inferior e superior; quartis inferior e superior e média ou mediana, podendo ainda apresentar valores discrepantes. Já os gráficos por linhas permite-nos identificar possíveis erros com relação à localização dos dados, facilitando a identificação de valores possivelmente errôneos ou associados à algum fenômeno localizado que necessita ser investigado. Os gráficos por colunas são gerados pelo programa GeoEAS (Englund &

Sparks, 1991), nos quais as amostras são divididas em classes representadas por símbolos. A partir destes gráficos pode-se identificar se existe uma continuidade nos valores calculados, bem como as possíveis regiões de diferentes concentrações de amostras identificadas pela concentração de símbolos iguais, o que pode sugerir a divisão da área estudada em sub-regiões. Caso o gráfico tenha uma concentração gradativa em alguma direção, implica na existência de tendência, o que é incompatível com a hipótese da estacionariedade, considerada imprescindível nas análises geoestatísticas (Ribeiro Júnior, 1995; Queiroz, 1995).

## 2.5 – Alguns fundamentos de geoestatística

Matheron (1971) *apud* Carvalho (1996) conceitua a geoestatística como a aplicação do formalismo das funções aleatórias para o reconhecimento e estimativa de fenômenos naturais, aplicada inicialmente por Krige em 1966 em mineração e hoje estendida à outras áreas da ciência do solo, a exemplo da agronomia, envolvendo as mais diversas variáveis, sejam físicas, químicas e/ou biológicas do solo. A geoestatística baseia-se na teoria das variáveis regionalizadas,  $Z(x)$ , a qual pode ser definida como uma variável aleatória que assume diferentes valores  $z$  em função da posição  $x$  dentro de uma certa região  $S$ , uni, bi ou tridimensional, com certa aparência de continuidade. O conjunto de variáveis  $z(x)$  medidas em toda a área pode ser considerado uma função aleatória  $Z(x)$ , uma vez que são variáveis aleatórias, regionalizadas e considera-se que a dependência entre elas é regida por algum mecanismo probabilístico, afirmam Isaaks & Srivastava (1989).

Burgess & Webster (1980) consideram que uma propriedade do solo em uma dada posição é uma variável contínua de valor dependente da direção e da distância de

separação em relação a seus vizinhos. Considerando que valores próximos apresentam dependência espacial, deve-se fazer uso de ferramentas geoestatísticas, as quais permitem quantificar essa correlação espacial. No entanto, antes de seu uso na análise de um dado fenômeno, torna necessário o conhecimento das hipóteses que o envolvem, denominadas hipóteses de estacionariedade de primeira e segunda ordens e a hipótese intrínseca.

Trangmar et al. (1985) definem a hipótese de estacionariedade de primeira ordem como sendo a hipótese de que o valor esperado da função aleatória  $Z(x)$  é o mesmo para toda a área, independentemente da posição que ocupa ou da distância de separação ( $h$ ), ou seja:

$$E[Z(x)] = E[Z(x + h)] = m, \quad \forall x \in S \quad (5)$$

onde  $m$  é a média dos valores amostrais e  $h$  é a distância ou vetor de separação entre duas posições no espaço. Este autor afirma ainda que a estacionariedade de segunda ordem se verifica quando a função aleatória atende a estacionariedade de primeira ordem e a covariância espacial  $[C(h)]$ , para cada par de valores  $\{Z(x), Z(x + h)\}$  separados por uma distância  $h$ , é igual em toda a área estudada e depende apenas de  $h$ , o que implica na ocorrência de variância finita (Prevedello, 1987).

$$C(h) = E[Z(x + h) - m][Z(x) - m] = E[Z(x + h) \cdot Z(x)] - m^2, \quad \forall x \in S \quad (6)$$

Neste caso, a geoestatística lança mão de uma hipótese menos restrita denominada intrínseca, a qual considera apenas que a média dos valores  $Z(x)$  e a variância dos incrementos  $Z(x) - Z(x + h)$  ocorrem independentemente da localização na região, sendo função apenas do valor de  $h$ , ou seja:

$$\text{Var} [Z(x) - Z(x + h)] = E [Z(x) - Z(x + h)]^2 = 2\gamma(h) \quad (7)$$

Quando se verifica a estacionariedade de segunda ordem, ou seja, a estacionariedade da variância, a covariância e a semivariância são instrumentos equivalentes para caracterizar a correlação entre duas variáveis  $Z(x)$  e  $Z(x + h)$ , separadas pela distância  $h$ , sendo que a primeira expressa a similaridade dos valores e a segunda o seu afastamento relativo. Caso a hipótese intrínseca seja aceita, faz-se uso apenas da função semivariância (Prevedello, 1987).

Nos estudos sobre o efeito da variabilidade espacial dos solos, utiliza-se a função semivariância para estimar valores de uma dada propriedade. Para um determinado par de valores  $Z(x)$  e  $Z(x + h)$  de uma variável qualquer do solo, a semivariância  $\gamma(h)$  é obtida pela metade da esperança matemática do quadrado da diferença dos pares de pontos, separados por uma distância  $h$ , representada pela expressão:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2, \quad \forall x \in S \quad (8)$$

Caso ocorram  $n$  pares de pontos separados pela mesma distância  $h$ , pode-se expressar a média das semivariâncias por:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2, \quad \forall x \in S \quad (9)$$

em que  $\gamma^*(h)$  é uma estimativa da semivariância e  $N(h)$  é o número de pares de observações,  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i+h)$  separadas pelo vector  $h$ .

O gráfico obtido do cálculo das semivariâncias para diferentes combinações de pares de pontos versus  $h$ , chamado semivariograma, permite analisar o grau de

dependência espacial da variável estudada e definir os parâmetros necessários para a estimativa de suas características em locais não amostrados. Os semivariogramas são funções contínuas que podem ser ajustadas à funções simples, segundo um modelo matemático, contendo três parâmetros: um intercepto ou efeito pepita (nugget effect), o qual representa uma descontinuidade do semivariograma próxima à origem, sendo atribuída a erros de amostragens ou variações locais; um patamar (sill) atingido após uma distância correspondente ao domínio (range) ou alcance (Guerra, 1988). Os modelos básicos de semivariograma usados para ajuste são:

#### Modelo esférico

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right], \quad \text{para } 0 < h < a \quad (10)$$

$$\gamma = C_0 + C_1, \quad h \geq a$$

#### Modelo exponencial

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ 1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right) \right], \quad \text{para } 0 < h < d \quad (11)$$

#### Modelo Gaussiano

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ 1 - \exp\left(\frac{-3h^2}{a^2}\right) \right], \quad \text{para } h \geq 0 \quad (12)$$

#### Modelo potência

$$\gamma(h) = C_0 + bh^\lambda, \quad \text{para } h \geq 0; C_0 \geq 0; b \geq 0 \text{ e } 0 \leq \lambda < 2 \quad (13)$$

onde  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_0 + C_1$ ,  $a$  e  $d$  são denominados efeito pepita, variância espacial, patamar e alcance da dependência espacial e distância máxima na qual o semivariograma é definido,



respectivamente.

O alcance ( $\alpha$ ) estabelece o limite de dependência espacial entre as amostras, isto é, pode-se empregar a estatística clássica para distâncias maiores que o alcance, considerando-se apenas a hipótese de independência entre amostras analisadas. O patamar é atingido quando a variância dos dados torna-se constante com o aumento da distância entre as amostras. Este parâmetro permite identificar a distância limite entre a dependência e a independência entre as amostras e expressa a variância da população estudada (Reichardt, 1985).

Ao modelo de semivariograma teórico selecionado, faz-se um ajustamento ao experimental, de forma que a curva melhor se ajuste aos pontos na região de crescimento da função, ou seja, para  $h$  entre zero e o alcance (Trangmar et al., 1985; Guerra, 1988). Na geoestatística esse ajustamento é feito visualmente aos pontos experimentais. Uma vez verificada a estrutura de dependência espacial entre as observações, definida pelo modelo teórico ajustado a um semivariograma experimental, pode-se fazer uso da técnica de krigagem para interpolação em locais não amostrados. Esta técnica utiliza-se de um interpolador linear não tendencioso e de variância mínima que assegura a melhor estimativa dos valores da variável analisada, permitindo a confecção de mapas de isolinhas e tridimensionais da área de solo estudada, que poderão ser de grande importância no manejo da salinidade.

Maiores detalhes de alguns elementos que fazem parte da análise geoestatística, bem como sua metodologia e/ou aplicabilidade podem ser encontrados em diversos textos e trabalhos aplicados (Reichardt, 1985; Guerra, 1988; Queiroz, 1995; Ribeiro Júnior, 1995; Gonçalves, 1997).

### **3 – MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 - Localização do experimento**

A pesquisa foi realizada no setor XV, do Perímetro Irrigado do Projeto Capocira, localizado no município de São José do Bonfim, distante 10 Km da cidade de Patos, estado da Paraíba. O município encontra-se entre as coordenadas geográficas de 7°00' e 7°30' de Latitude Sul e 37°00' e 37°30' de Longitude Oeste de Greenwich, na micro-região da depressão do Alto Piranhas do estado da Paraíba (Figura 1).

#### **3.2 - Solos e relevo**

De acordo com Brasil/Sudene (1972), os solos normalmente encontrados em maior parte do município são classificados em Bruno-Não-Cálcico vértico (NCv) e Bruno-Não-Cálcico, em associação com Litólicos (Re) e Solonetz Solodizado (SS), com fase pedregosa ou rochosa, textura argilosa, arenosa e/ou média, com relevo plano e suave ondulado. Em levantamento de solos para a viabilidade do projeto de irrigação do açude Capocira, os solos encontrados dentro da bacia sedimentar do Rio da Cruz, são do tipo Aluvial representados pelas unidades de solos Ac1, Ac2, Ac3, e Ac4 (Paraíba, 1989).

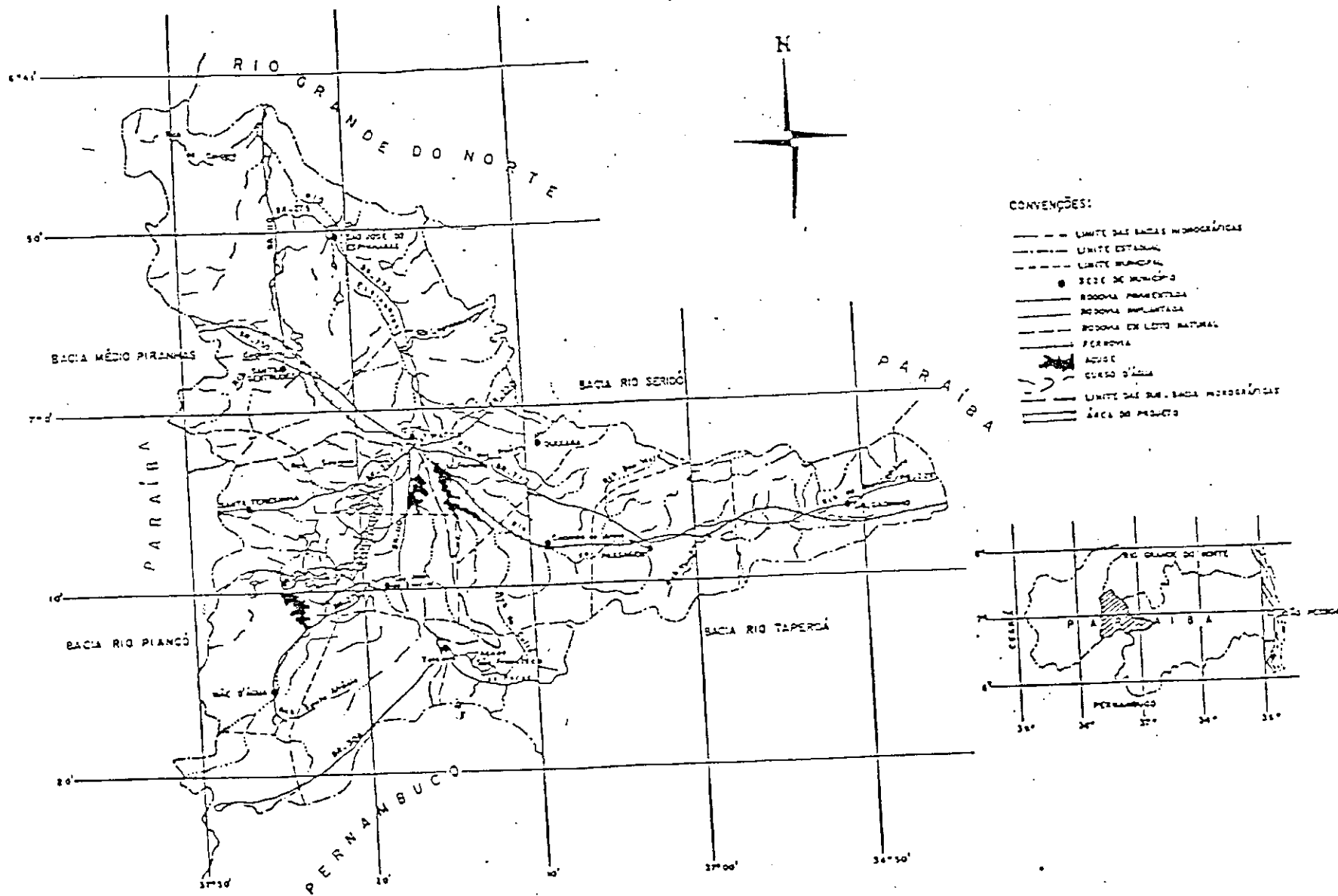


Figura 1 - Mapa com a localização da área do projeto Capoeira, detalhes hidrográficos e principais vias de acesso

### 3.3 - Vegetação e clima

De acordo com Amaro (1982), a vegetação predominante na região é a caatinga hiper-xerófila, apresentando-se às vezes, arbustiva e pouco densa, tendo como as espécies mais representativas a jurema preta (*Mimosa nigra* Hub); a imburana (*Bursera leptophlocos* Engl); o marmelciro (*Croton hemiargyreus* Muell); o pereiro (*Aspidasperma pirifolium* Mart) e o favelciro (*Coidoscolus phyllacanthus* Pax & K. Holl).

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSh - semi-árido quente e seco - sendo as precipitações pluviométricas muito baixas e irregulares, com uma média de 400 mm anual e uma estação seca bem definida, influenciadas pelas massas de ar que vêm do litoral (MEA) e do Oeste ( MEC), segundo Brasil/Sudene (1972). A maior ou menor intensidade dessas massas de ar provoca um aumento ou diminuição das chuvas na região. As temperaturas médias anuais nunca são inferiores a 24 °C e de amplitude térmica de 5 °C. Como consequência das temperaturas elevadas, tem-se elevadas taxas de evaporação, escassez hídrica e um extenso período de estiagem, sendo os meses mais quentes correspondentes ao período de setembro a janeiro.

### 3.4 - Amostragem e esquema amostral

Neste trabalho foi utilizado um esquema de amostragem sistemática em uma área retangular, com 70 m de largura (direção Y) e 210 m na direção de comprimento (direção X), onde definiu-se uma malha de 10 x 15 m, conforme Figura 2a. A Figura 2b representa o mapa tridimensional da área estudada. Na Figura 3 tem-se uma imagem da área estudada (Setor XV do Projeto de Irrigação Capoeira). As amostras foram coletadas com

trado às profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente, na interseção das linhas e colunas, totalizando 120 pontos amostrais. Depois de destorroadas, secas ao ar e passadas em peneiras de malha de 2 mm, foram submetidas à análises químicas no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. O esquema de amostragem sistemática foi escolhido por proporcionar informações sobre as variáveis medidas em cada ponto da malha experimental e permitir o uso de técnicas geostatísticas na análise dos dados.

### **3.5 – Variáveis estudadas**

#### **3.5.1 - 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 padrões de pH = 4,0 e 7,0.

#### **3.5.2 - Condutividade elétrica do extrato de saturação (CEs)**

A condutividade elétrica (CE) expressa a habilidade que um meio apresenta em conduzir uma corrente elétrica. A determinação da CE geralmente envolve a medição de resistência elétrica da solução, a qual é inversamente proporcional à sua área seccional e diretamente proporcional ao seu comprimento (Ferreira, 1997).

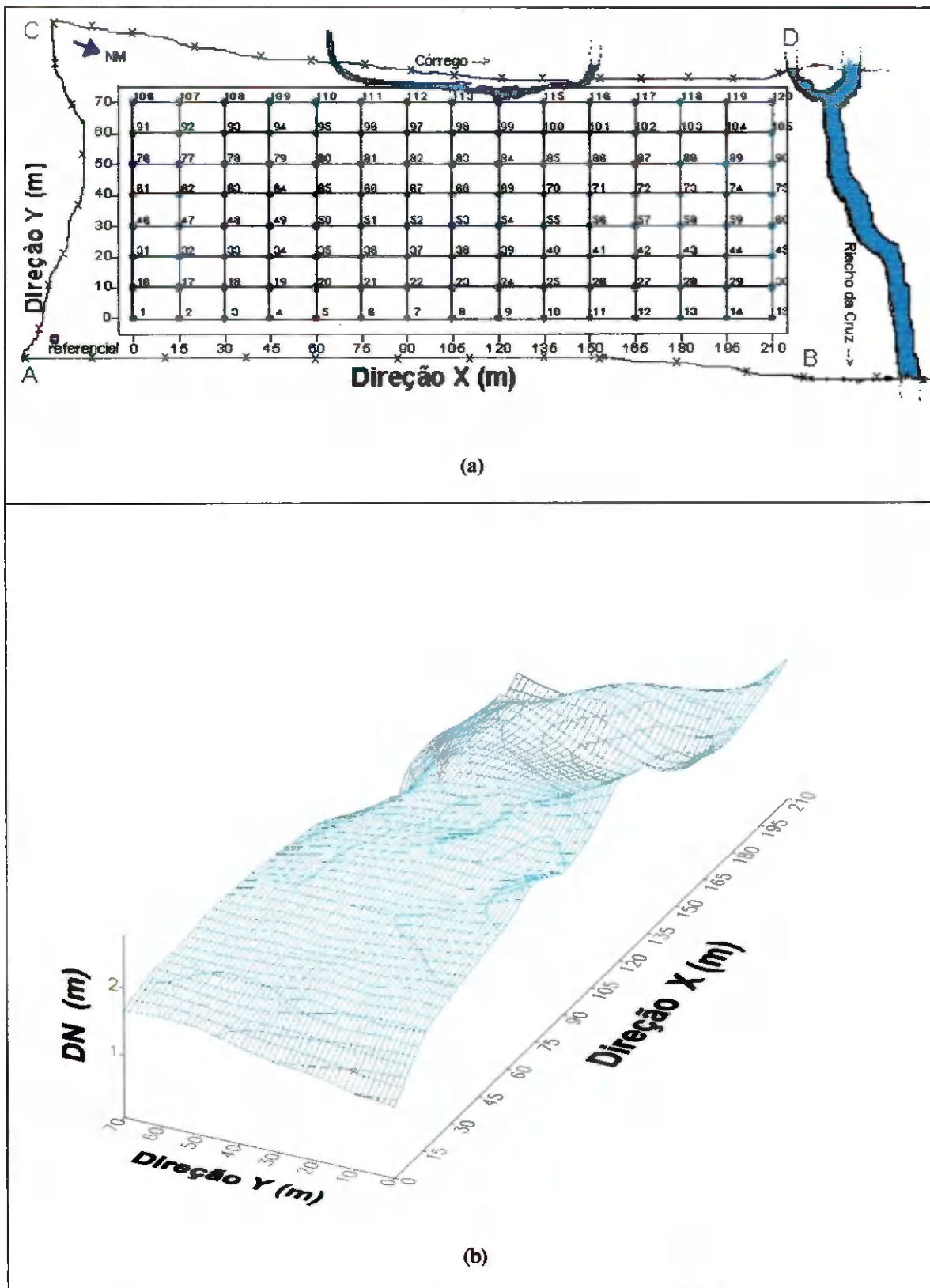


Figura 2 – Esquema experimental com a localização dos pontos de amostragem (a) e mapa da superfície da área estudada (b), sem escalas.



Figura 3 – Fotografia da área estudada (Setor XV do Projeto de Irrigação Capoeira - São José do Bonfim – PB).

A CE foi medida por meio do método da ponte de resistência elétrica, usando-se uma alíquota do extrato de saturação em condutivímetro, convertendo-se as leituras para  $\text{dS m}^{-1}$  a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Embrapa, 1997).

### 3.5.3 - Porcentagem de sódio de 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, porcentagem esta denominada porcentagem de sódio de trocável (Pizarro, 1978). A PST foi obtida da relação:

$$PST = \frac{\text{sódio trocável}}{CTC} 100 \quad (14)$$

### 3.6 - Análise de laboratório

No laboratório foram feitas as seguintes determinações: pH, CEes e íons solúveis do extrato de saturação (Ca e Ca+Mg por titulação com solução de EDTA 0,025N e Mg por diferença; Na e K por fotometria de chama; cloreto por titulação com  $\text{AgNO}_3$  0,05N;  $\text{CO}_3$  e  $\text{HCO}_3$  por titulação com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,02N). 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 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 trocáveis foram obtidos pela diferença entre totais e solúveis. A capacidade de troca de cátions (CTC) foi obtida através da soma de bases trocáveis e utilizada no cálculo da PST (Embrapa, 1997).

### 3.7 - Análise dos resultados

Os resultados foram inicialmente analisados por meio de recursos da estatística descritiva com o objetivo de verificar o comportamento geral dos dados. Estas análises permitem identificar a posição central e a dispersão dos dados, bem como expressar a forma de distribuição, por meio dos coeficientes de assimetria e curtose. Além destes coeficientes, histogramas, gráficos de probabilidade e o teste de Kolmogorov-Smirnov foram usados para verificar o ajuste dos dados à distribuição de probabilidade normal (Costa Neto, 1997). Para caracterizar o comportamento espacial dos dados, identificando possíveis tendências, continuidade, dispersão e valores extremos, foram usados gráficos de caixa ou "box-plot". Na comprovação da existência de dependência espacial entre os



valores obtidos das variáveis estudadas, utilizaram-se técnicas geoestatísticas, por meio da confecção de semivariogramas, sendo ajustados modelos matemáticos para aqueles que apresentaram estrutura de dependência espacial, permitindo assim, a estimativa de valores em locais não amostrados através do processo de interpolação por krigagem.

Foram usados programas computacionais (EXCEL, Geo-EAS, SURFER e PLOTITW) para obtenção dos gráficos e das análises estatísticas e geoestatísticas.

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 – Análise descritiva dos dados

Na Tabela 1 observam-se as estimativas das principais medidas estatísticas associadas às variáveis pH da pasta de saturação (pH), condutividade elétrica do extrato de saturação (CEEs) e porcentagem de sódio trocável (PST) referentes às profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente, obtidos a partir dos resultados constantes nos Apêndices 1, 2 e 3. Pode-se observar que as medidas de tendência central, média e mediana, são similares apenas para a variável pH em todas as profundidades, enquanto que para as variáveis CEEs e PST verificam-se elevadas diferenças entre essas medidas em todas as profundidades estudadas. Os valores aproximadamente iguais das médias e medianas do pH são indicativos de possíveis ajustes dos dados à distribuição normal (Costa Neto, 1997), o que não se verifica para os dados da CEEs e PST, cujos valores medianos são bastante inferiores às médias.

Pelos valores observados dos coeficientes de assimetria e curtose (Tabela 1), que em uma distribuição normal devem ser estatisticamente iguais a 0 e 3, respectivamente (Snedecor & Cochran, 1967), observam-se que apenas os dados do pH nas profundidades estudadas apresentam uma maior aproximação da distribuição normal. A aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) a 1 % de probabilidade confirma a hipótese de normalidade

TABELA 1 – Medidas estatísticas das variáveis pH, CEcs e PST (Profundidades 0-20; 20-40 e 40-60 cm)

Medida estatística	pH	CEcs (dS m <sup>-1</sup> a 25 °C)	PST
Profundidade (0-20 cm)			
Média	6,335	2,710	4,284
Mediana	6,400	0,540	1,150
Desvio padrão	0,523	4,692	7,395
Variância	0,273	22,017	54,690
Cocf. de variação (CV)	8,251	173,151	172,612
Cocf. de assimetria	1,450	2,763	2,668
Cocf. de curtose	10,681	8,979	7,115
Mínimo	5,200	0,100	0,120
Máximo	9,520	28,080	34,930
Amplitude total (At)	4,320	27,980	34,810
1° Quartil (Qi)	6,123	0,300	0,415
3° Quartil (Qs)	6,603	3,153	3,670
Amp. interquartilica (Ai)	0,480	2,853	3,255
D (KS)*	0,136**	0,314	0,311
Profundidade (20-40 cm)			
Média	6,463	2,963	4,962
Mediana	6,400	0,550	1,495
Desvio padrão	0,668	4,598	8,420
Variância	0,446	21,146	70,896
Cocf. de variação (CV)	10,337	155,205	169,686
Cocf. de assimetria	1,258	2,271	2,375
Cocf. de curtose	4,402	5,178	5,269
Mínimo	4,980	0,140	0,160
Máximo	9,550	23,120	43,020
Amplitude total (At)	4,570	22,980	42,860
1° Quartil (Qi)	6,065	0,298	0,670
3° Quartil (Qs)	6,773	4,260	3,163
Amp. interquartilica (Ai)	0,708	3,963	2,493
D (KS)*	0,077**	0,270	0,346
Profundidade (40-60 cm)			
Média	6,588	3,285	6,828
Mediana	6,455	1,085	1,720
Desvio padrão	0,719	4,462	10,786
Variância	0,516	19,909	116,332
Cocf. de variação (CV)	10,908	135,845	157,954
Cocf. de assimetria	1,073	1,927	1,911
Cocf. de curtose	2,083	3,862	2,709
Mínimo	5,130	0,100	0,160
Máximo	9,290	23,390	46,110
Amplitude total (At)	4,160	23,290	45,950
1° Quartil (Qi)	6,135	0,328	0,948
3° Quartil (Qs)	6,938	4,653	4,435
Amp. interquartilica (Ai)	0,803	4,325	3,488
D (KS)*	0,114**	0,238	0,356

\*D (KS) = máx [F(X) - G(X)], onde F(X) = P(X ≤ x) e G(X) são as frequências relativas acumuladas dos valores observados. Valor crítico do teste KS para n = 120 e α = 1%: d = 0,1486 (COSTA NETO, 1997).

\*\* Distribuição normal pelo teste de KS ao nível de 1% de probabilidade.

dos dados desta variável, indicando que podem ser considerados oriundos de uma população com distribuição normal, o que é reforçado através do comportamento linear observado nas Figuras 4b, 4d e 4f, com coeficientes  $R^2$  iguais a 0,74, 0,83 e 0,86, respectivamente, para as camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Neste caso, média aritmética pode ser tomada como representativa do conjunto de dados do pII. A análise conjunta dos coeficientes de assimetria e curtose e dos valores das médias e medianas, evidencia a não normalidade para as variáveis PST e CLes em todas as profundidades analisadas, o que é confirmado pelo teste KS.

O comportamento dos dados de pII também pode ser visualizado através dos histogramas (Figura 4). Observa-se uma maior simetria na distribuição dos dados sobretudo na camada 40-60 cm (Figura 4c). Em todas as profundidades observa-se uma maior frequência de valores em torno da média, merecendo destaque os dados de 0-20 cm com alto valor de curtose (Figura 4a). Pelas Figuras 4a, 4c e 4e observam-se ainda algumas 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 dos limite inferior (Li) ou acima do limite superior (Ls), respectivamente, estimados por:  $Li = Qi - 1,5Ai$  e  $Ls = Qs + 1,5Ai$ . Foram eliminados 5 valores para o pII na profundidade 0-20 cm e 4 e 3 valores nas camadas 20-40 e 40-60 cm, respectivamente. Em seguida, o comportamento do pII sem a presença de dados discrepantes, foi novamente analisado através da estatística descritiva, onde verificou-se que a retirada de tais valores não afetou medidas resistentes tais como mediana e amplitude interquartilica (Ai), porém melhorou o comportamento linear dos gráficos de probabilidades desta variável, resultando valores de  $R^2$  iguais a 0,90, 0,96 e 0,93, referentes às camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente.

Uma acentuada assimetria à direita pode ser verificada para as variáveis CEes (Figuras 5a, 5c e 5e) e PST (Figuras 6a, 6c e 6e) nas profundidades estudadas, indicando que há uma elevada frequência de valores abaixo da média. Os coeficientes de assimetria positivos verificados para estas variáveis, em todas as profundidades estudadas, caracterizam este comportamento. A assimetria dos dados da CEes e PST, é também observada pelo comportamento não linear dos gráficos de probabilidade. As Figuras 5b, 5d, 5f, 6b, 6d e 6f confirmam a hipótese de que os valores destas variáveis não se ajustam à uma distribuição normal, evidenciando que a média aritmética não pode ser tomada como representativa do conjunto de dados.

Observando-se os valores dos coeficientes de variação (Tabela 1) e com base na classificação de propriedades do solo proposta por Warrick & Nielsen (1980), verificam-se que aqueles obtidos para a variável pH são considerados de baixa variação ( $CV < 12\%$ ), enquanto que para a CEes e PST, são considerados de alta variação ( $CV > 60\%$ ) em todas as profundidades, atribuindo um caráter heterogêneo ao solo da área, que é próprio de solos aluvionais. Os processos de formação desses solos, através de sucessivos depósitos de diferentes tipos de materiais; a acumulação e distribuição desuniformes destes materiais oriundos de outros lugares propiciados pela posição topográfica que ocupam e os processos de lixiviação inerentes a estes solos, além do manejo a que são submetidos, entre outros; são alguns dos fatores que contribuem para sua heterogeneidade.

Na Tabela 1 observa-se ainda que a menor variação, dada pela amplitude total ( $At$ ), foi constatada para o pH. Em ordem crescente de valores, a amplitude de variação observada foi a seguinte:  $pH < CEes < PST$ . Pela relação entre os valores máximos e mínimos observa-se que a menor variação foi obtida para o pH (variação média de apenas 1,85 vezes), seguida da CEes (variação média de 226,61 vezes) e da PST

(variação média de 282,69 vezes). Este comportamento demonstra que a Al não é uma medida apropriada para se observar a dispersão do conjunto de dados. Queiroz (1995) ressalta sobre a influência que valores possivelmente atípicos exercem sobre a amplitude

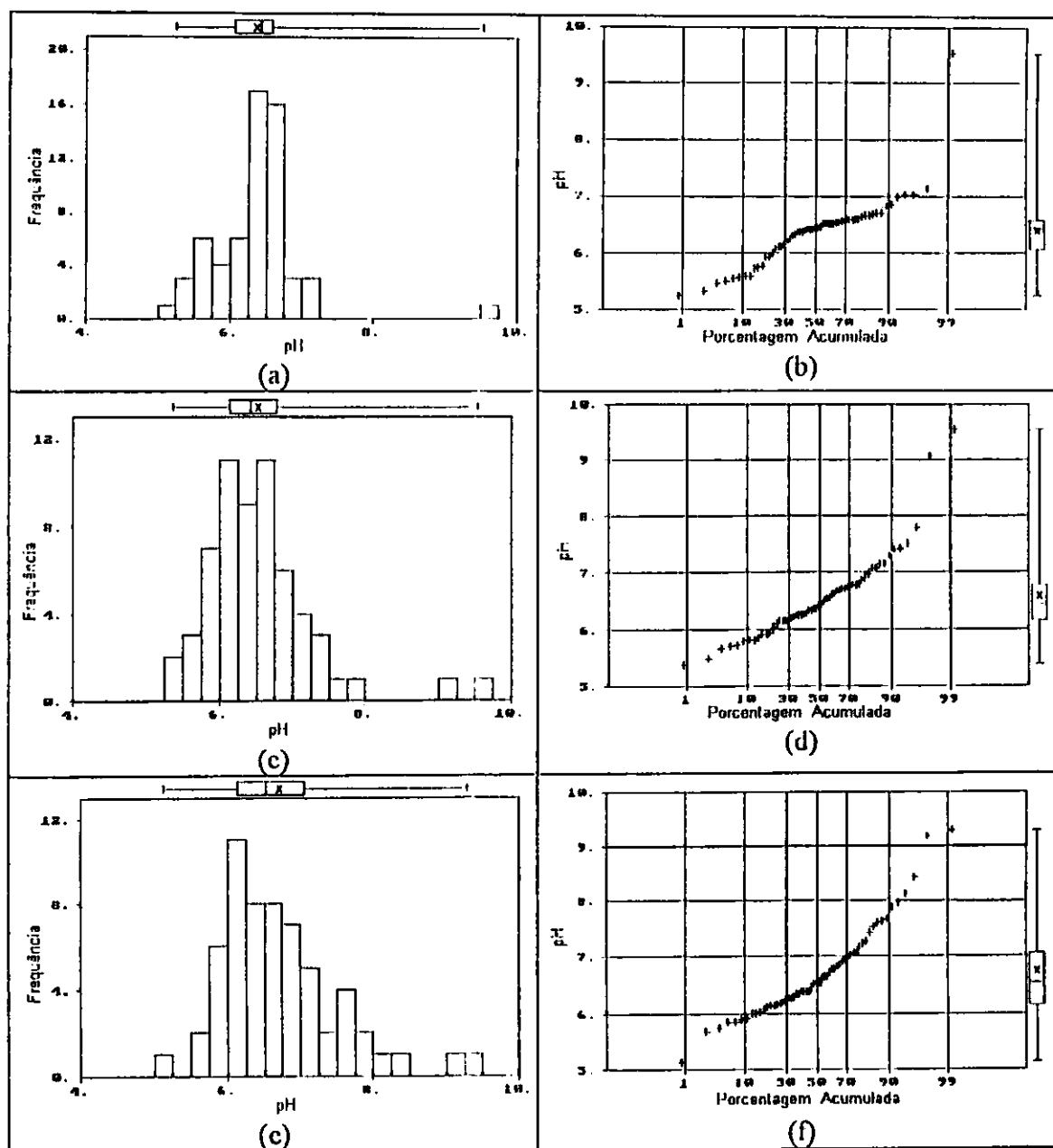


Figura 4 - Histogramas (a, c, e) e gráficos de probabilidade normal (b, d, f) para o pH nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm.

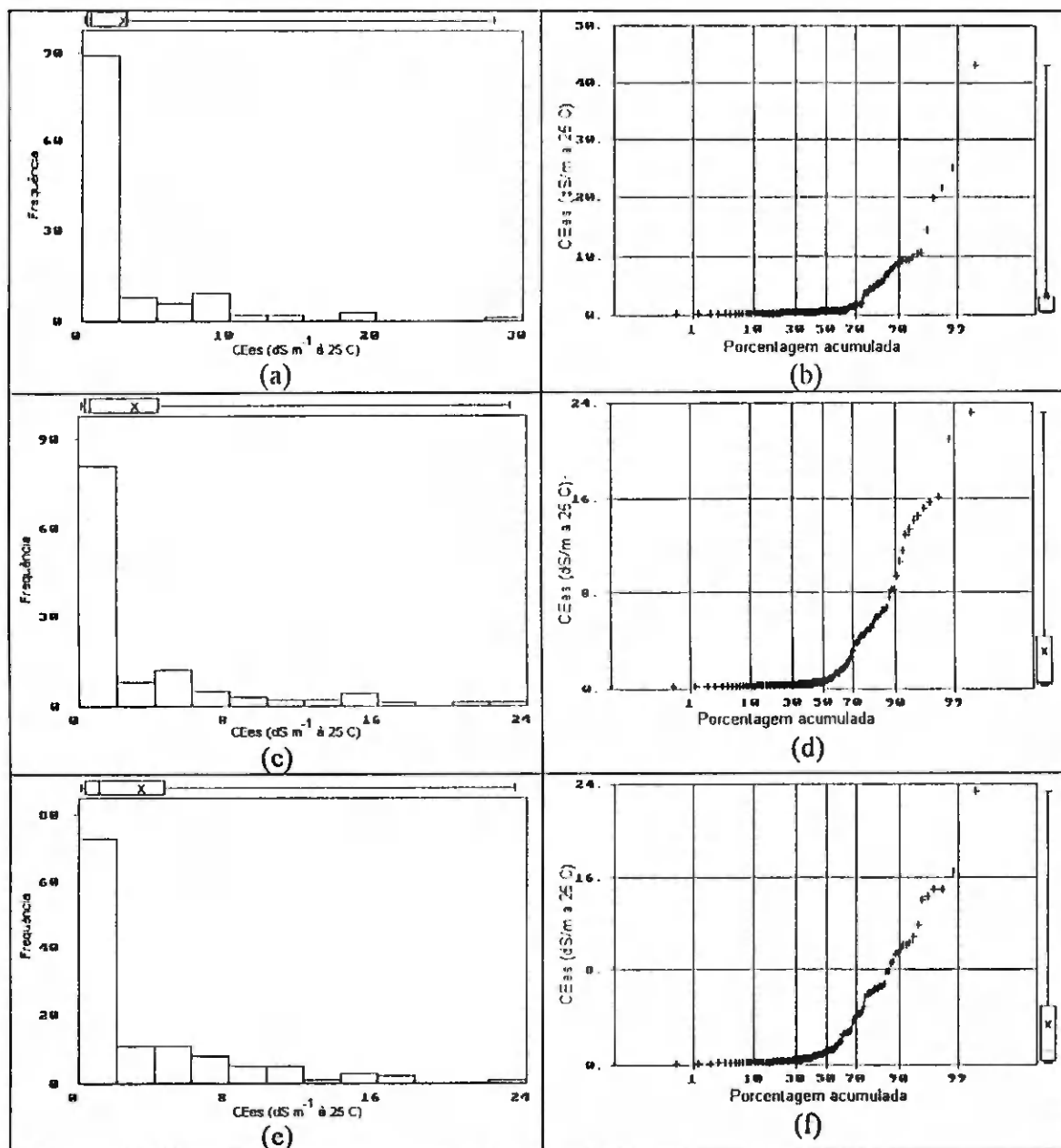


Figura 5 - Histogramas (a, c, e) e gráficos de probabilidade normal (b, d, f) para a CEs nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm.

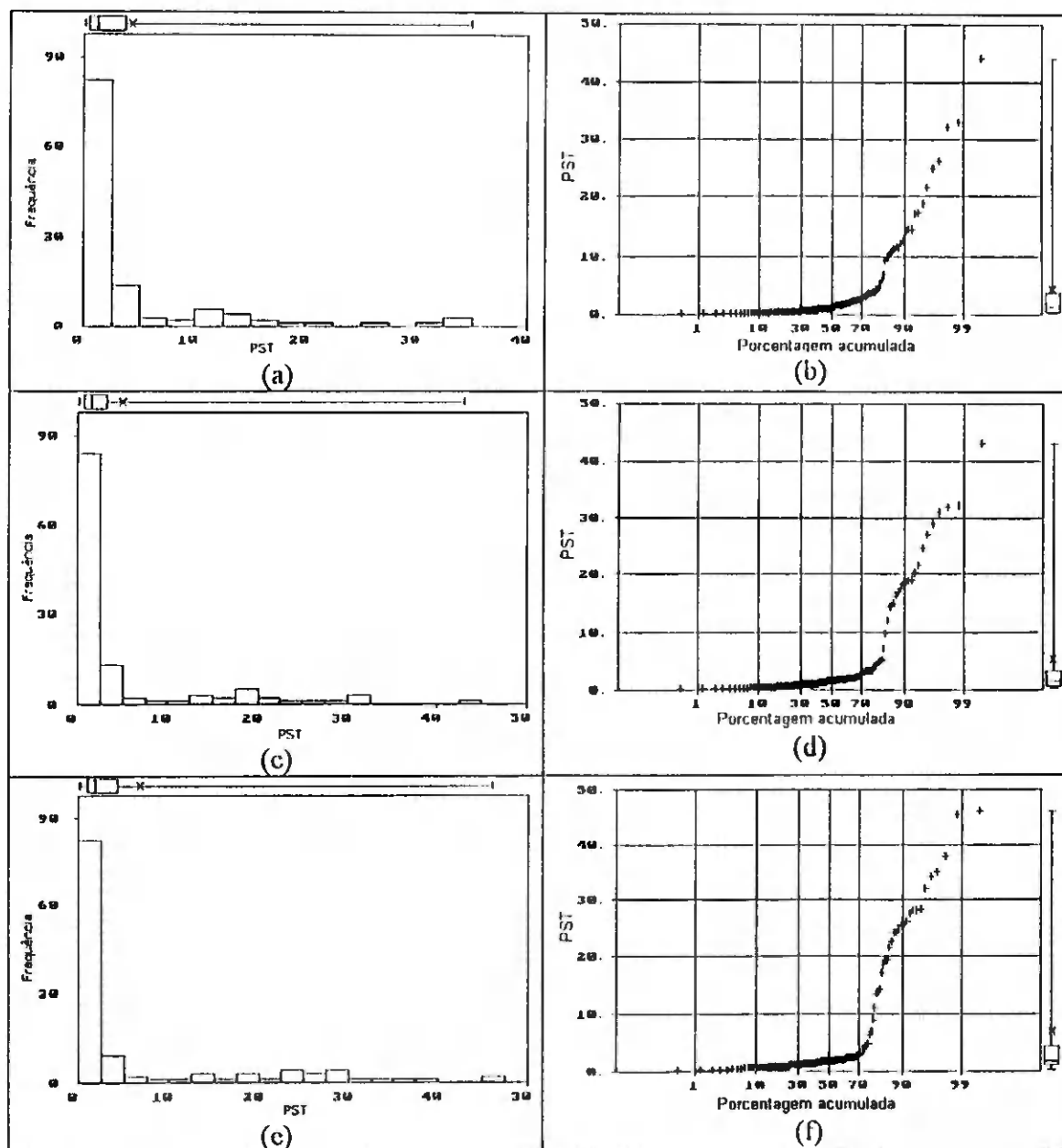


Figura 6 - Histogramas (a, c, e) e gráficos de probabilidade normal (b, d, f) para a PST nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm.



total de variação, por ser uma medida obtida de apenas dois valores extremos. Ao contrário, as relações entre os valores dos 1º e 3º quartis observadas apresentam variações muito inferiores para as variáveis químicas, em todas as profundidades analisadas, com valores em média: 1,1, 13,0 e 6,1 vezes para o pH, CEes e PST, respectivamente. Tal comportamento evidencia que a amplitude interquartilica é uma medida mais apropriada para caracterizar a dispersão dos dados, principalmente para a CEes e PST.

A Figura 7 permite visualizar o comportamento dos dados das variáveis nas profundidades estudadas. Cada "box-plot" comporta os seguintes valores: mínimo, máximo, quartis inferior e superior e mediana. Verifica-se através da Figura 7a que a dispersão total dos dados e a medida de tendência central (mediana) para o pH são semelhantes ao longo do perfil, exibindo uma certa simetria. Um comportamento semelhante em termos de variabilidade de dados de pH foi observado por Oliveira (1998). A maior dispersão total dos dados de CEes é observada na camada 0-20 cm, havendo uma menor dispersão nas camadas de 20-40 e 40-60 cm (Figura 7b). Verifica-se por esta figura uma tendência crescente dos valores das medianas ao longo do perfil (ver Tabela 1), indicando níveis mais altos de salinidade com o aumento da profundidade.

Para a PST (Figura 7c), verifica-se que os valores das medianas aumentam ao longo do perfil, indicando níveis crescentes de sodicidade com a profundidade. Observa-se nesta figura que a dispersão total dos dados é menor na camada de 0-20 cm, elevando-se com o aumento da profundidade. De um modo geral constata-se uma elevada variabilidade da PST na três profundidades estudadas.

O comportamento espacial dos dados das variáveis à uma dada direção da malha, foi verificado através de "box-plot" ou gráficos de caixa por linhas e colunas. Os gráficos de caixa por colunas permitem analisar os dados na direção das linhas (direção Y

da malha experimental) conforme Figuras 8a, 8c, 8e, 9a, 9c, 9e, 10a, 10c e 10e; enquanto

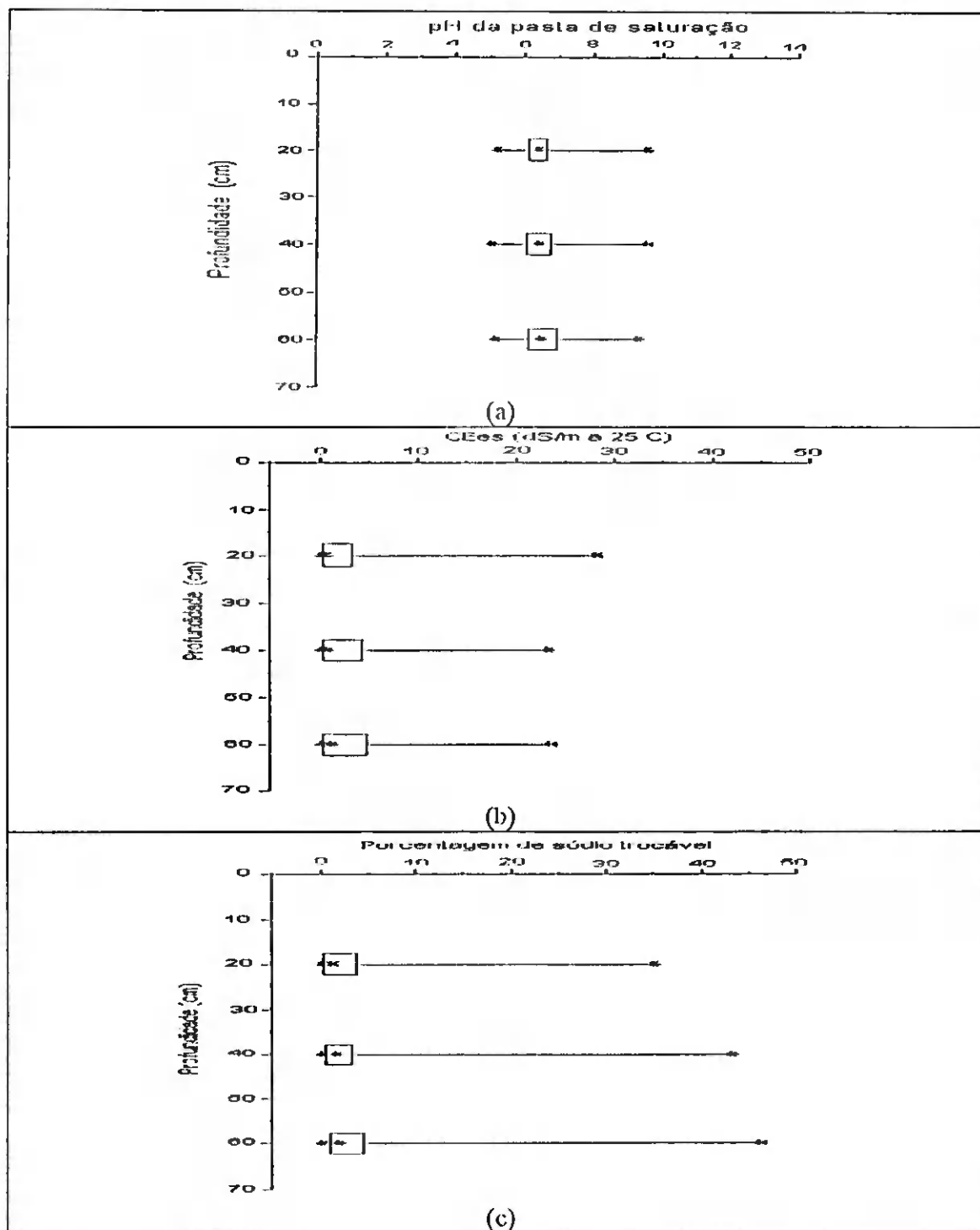


Figura 7 - Gráficos de caixa ou "box-plot" para as variáveis pH (a) CEs (b) e PST (c) nas profundidades 0-20; 20-40 e 40-60 cm.

que os gráficos de caixa por linhas permitem analisar os dados na direção das colunas (direção X da malha), de acordo com as Figuras 8b, 8d, 8f, 9b, 9d, 9f, 10b, 10d e 10f. Na Figura 8 constam os gráficos por linhas e colunas para os dados de pH, referentes às camadas estudadas (0-20; 20-40 e 40-60 cm). Observam-se nos gráficos por colunas (Figuras 8a, 8c e 8e), obtidos para um conjunto de 8 medidas, que os valores das medianas tendem a crescer da esquerda para a direita até cerca de um terço da área, mantendo-se próximos no restante da área. Nos gráficos de caixa por linhas (Figuras 8b, 8d e 8f), obtidos a partir de 15 medidas, observam-se que as medianas mantêm-se quase que estáveis no sentido da largura da área, indicando que se pode assumir estacionariedade dos dados de pH na direção Y da malha experimental.

Para a CEEs (Figuras 9a, 9c e 9e), observam-se nos gráficos por colunas que na parte esquerda da área ocorrem os maiores valores e dispersões até cerca de um terço da área (5ª coluna), representando uma sub-área onde se supõe que os efeitos danosos da salinidade às culturas sejam maiores, merecendo especial atenção de manejo, uma vez que a concentração elevada de sais na solução do solo diminui a energia livre da água, podendo ainda aumentar o potencial osmótico da solução e dificultar a absorção de água pelas culturas (Santos & Muraoka, 1997). Pelos gráficos de caixa por linhas (Figuras 9b, 9d e 9f) observam-se que os maiores valores da CEEs ocorrem das linhas de 4 a 7, destacando-se a linha 6 nas camadas 0-20 e 20-40 cm, e a 5 na camada 40-60 cm. No entanto, observa-se uma relativa estabilidade das medianas considerando-se todas as linhas, podendo-se supor que não existe uma tendência na direção Y da malha experimental a ponto de comprometer a hipótese de estacionariedade dos dados desta variável.

Para a variável PST (Figuras 10a, 10c e 10e) observa-se um comportamento

semelhante ao da CEcs, isto é, no lado esquerdo da área observam-se dispersões relativamente altas, evidenciando maiores riscos de sodicidade do solo até cerca de um terço (5ª coluna) da área estudada, pressupondo-se que o movimento da água no solo é afetado nesta sub-área. Através dos gráficos por linhas (Figuras 10b, 10d e 10f) observam-se valores mais altos de PST a partir da 3ª linha, principalmente nas camadas 20-40 e 40-60 cm, enquanto que na camada 0-20 cm sobressaem-se as linhas 4, 5 e 6. Contudo, semelhante à CEcs, as medianas apresentam uma relativa estabilidade na direção da largura da área, onde provavelmente não há comprometimento da hipótese de estacionariedade dos dados da PST na direção Y da malha experimental. O comportamento desta variável pode ser atribuído à irrigação inadequada e drenagem insuficientes, aliadas à excessiva evaporação da água superficial do solo observadas nesta sub-área, as quais favorecem a ascensão e concentração de sódio trocável e de outros elementos químicos próximo à superfície do solo. Para Santos & Muraoka (1997), o sódio trocável em maiores concentrações causa redução da estabilidade dos agregados, reduzindo a porosidade, a capacidade de retenção e infiltração de água no solo, podendo ainda ocorrer toxidez direta causada pelo sódio ou indisponibilidade de nutrientes às culturas.

Pela análise descritiva espacial dos dados verifica-se a existência de uma concentração de valores mais elevados para as variáveis CEcs e PST no lado esquerdo da área, até a 5ª coluna, caracterizando uma sub-área. Esta situação provavelmente terá algum tipo de influência na construção de semivariogramas, os quais requerem estacionariedade dos dados. Dessa maneira, para fins de análises dos dados à luz da geostatística, a área estudada foi dividida em duas: uma afetada por sais, medindo 70 x 90 m (da 1ª até a 6ª coluna); e outra normal, medindo 70 x 120 m (da 6ª até a 15ª coluna).

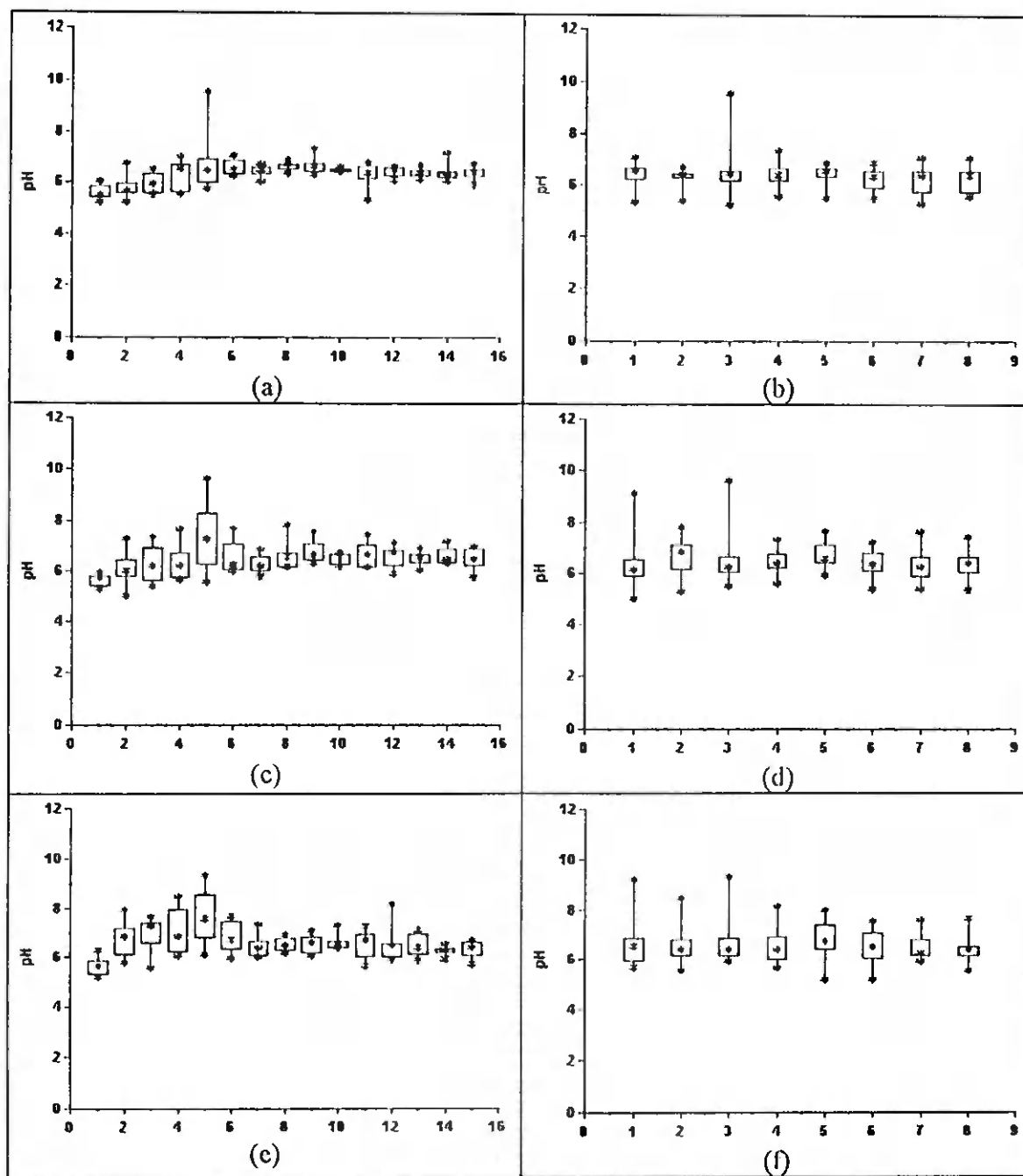


Figura 8 - Gráficos "box-plot" por colunas (a, c, e) e por linhas (b, d, f) para o pH nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm.

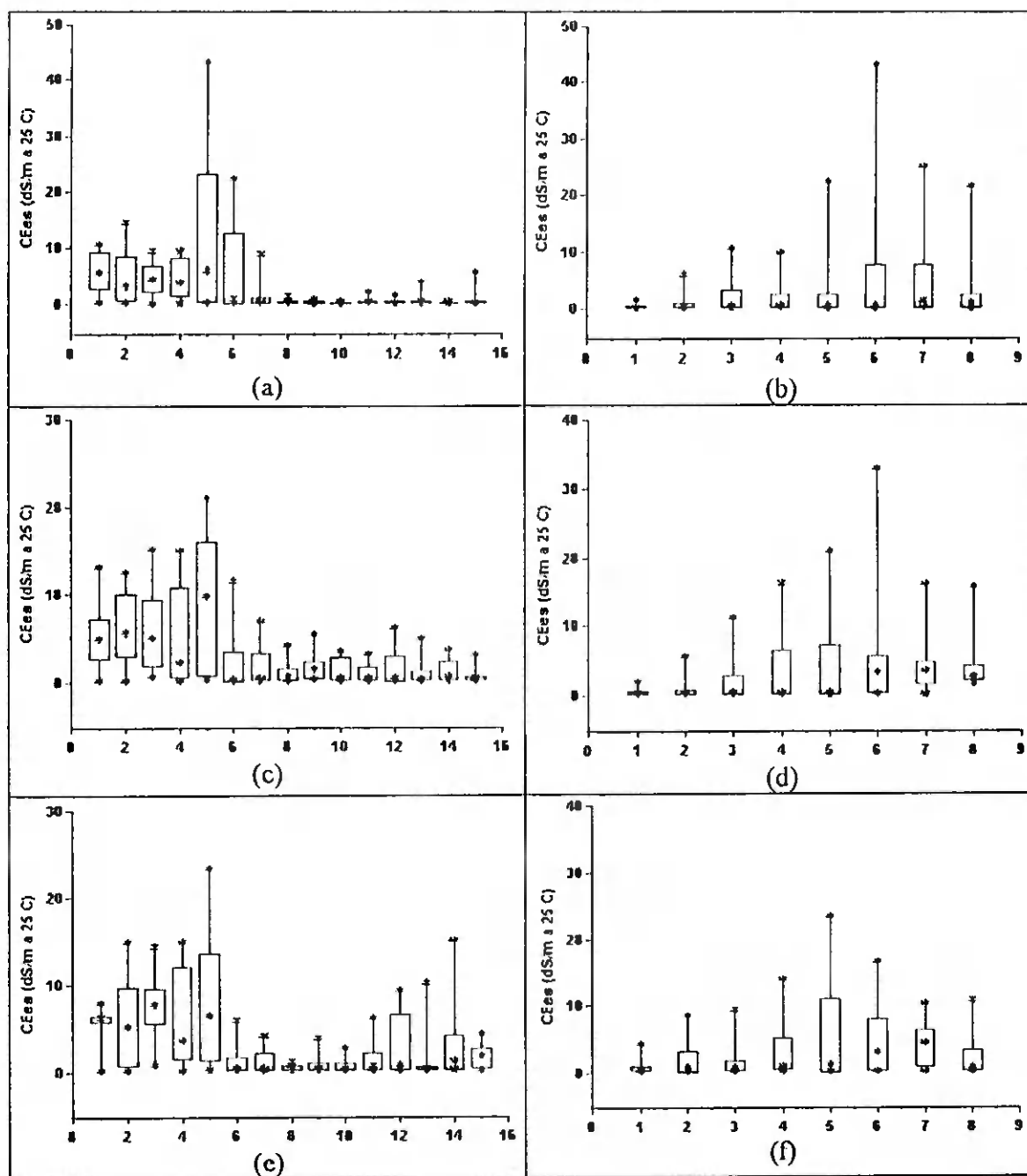


Figura 9 - Gráficos "box-plot" por colunas (a, c, e) e por linhas (b, d, f) para a CEEs nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm.

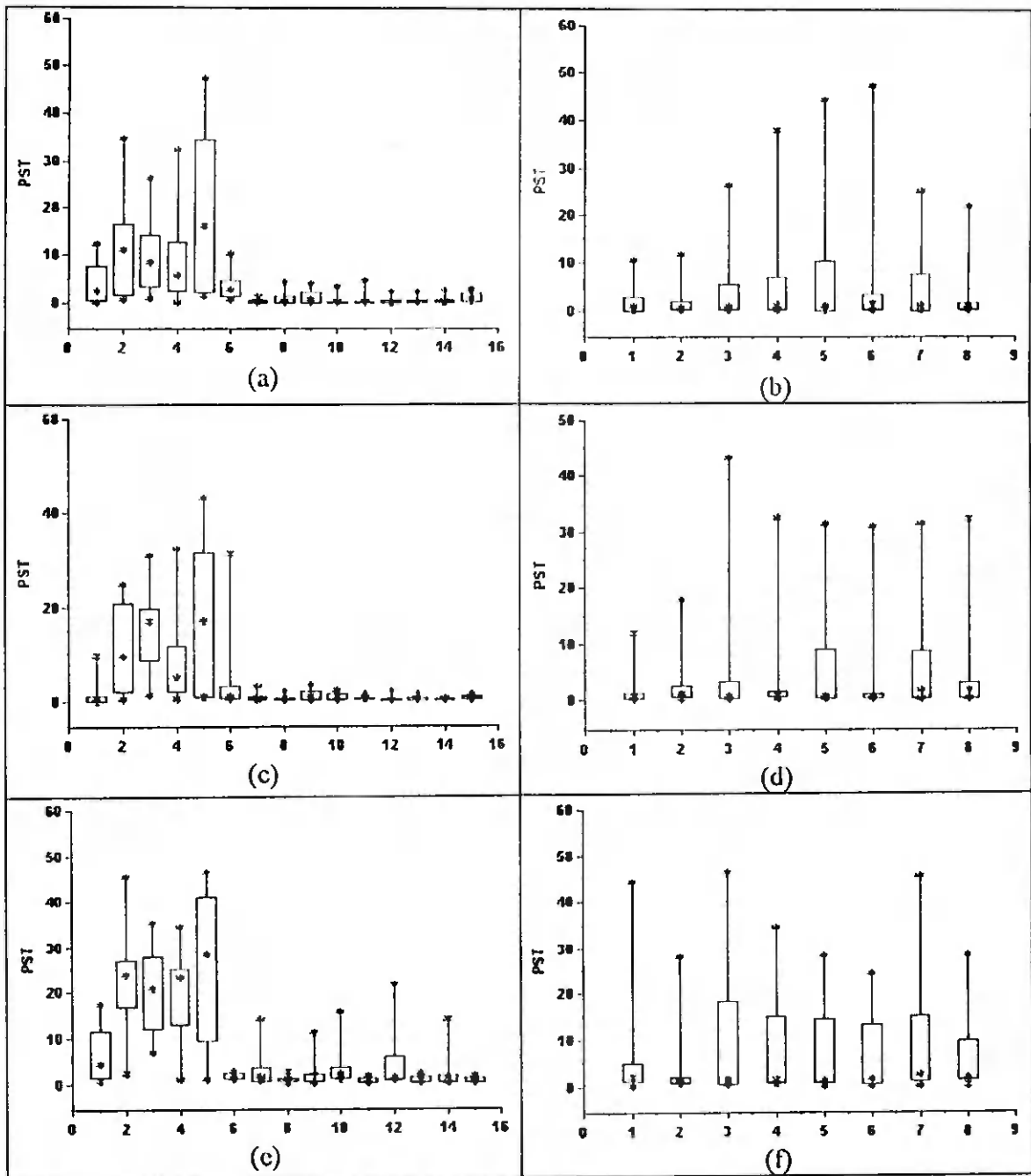


Figura 10 - Gráficos "box-plot" por colunas (a, c, e) e por linhas (b, d, f) para a PST nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm.

## 4.2 – Análises geoestatísticas

### 4.2.1 – Semivariogramas

Foram construídos semivariogramas para analisar o grau de dependência espacial das variáveis estudadas. Estas análises assumem algum tipo de estacionariedade dos dados. Os semivariogramas permitem identificar a estrutura de dependência espacial entre as observações, fornecendo informações básicas para estimativa de valores em lugares não amostrados através do processo de krigagem, as quais servirão para a construção de mapas de isolinhas e gráficos tridimensionais. Recomendações de manejo das áreas assim estudadas podem ser orientadas por meio destes mapas. Os semivariogramas experimentais e alguns modelos ajustados para as variáveis analisadas estão representados pelas Figuras 11 a 13. Os ajustes dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais das variáveis estudadas foram feitos visualmente e por tentativas, tomando-se os pontos de melhor ajuste na região de crescimento da curva, onde as semivariâncias são melhor representadas.

Para a variável pH, diversas tentativas e avaliações foram realizadas na construção dos semivariogramas experimentais para as sub-áreas normal e afetada (com e sem a eliminação dos dados considerados discrepantes na análise descritiva). Pelos semivariogramas, construídos sem a eliminação de dados discrepantes (Figuras 11a, 11d e 11g), observam-se efeitos pepita puro nas três camadas da sub-área afetada por sais. Contudo, após a eliminação de dados discrepantes, ajustaram-se modelos esférico e gaussiano nesta sub-área para as camadas 0-20 e 40-60 cm (Figuras 11b e 11h), com domínios de 28,0 e 24,5 m, respectivamente, evidenciando que a retirada de valores discrepantes influenciou na análise das semivariâncias dos dados desta variável na sub-área



afetada. Observa-se ainda que, mesmo com a retirada de valores discrepantes, um efeito pepita puro se faz presente na camada de 20-40 cm (Figura 11c), caracterizando uma aleatoriedade dos dados, provavelmente devido à microvariabilidades não detectadas à distâncias menores que a utilizada (10 m). Na sub-área normal, observa-se que esta variável não apresenta estrutura de dependência espacial nas camadas 0-20 e 20-40 cm, respectivamente (Figuras 11e e 11f), enquanto que na camada 40-60 cm foi ajustado um modelo esférico, com domínio de 20 m (Figura 11i). Para distâncias acima do alcance, as observações podem ser tomadas de forma aleatória, considerando-se as amostras como independentes espacialmente.

Para CEes da sub-área normal, apenas na profundidade 40-60 cm foi ajustado o modelo gaussiano, com alcance de 40 m (Figura 12e), enquanto que as demais camadas não apresentaram estrutura de dependência espacial (Figuras 12a e 12c). No entanto, na sub-área afetada por sais foram obtidos modelos esféricos desta variável nas camadas 0-20 e 20-40 cm e gaussiano na profundidade 40-60 cm, com domínios de 25, 25 e 40 m, respectivamente (Figuras 12b, 12d e 12f). Com relação aos dados da PST, não se observam estruturas de dependência espacial em nenhuma das profundidades estudadas na sub-área afetada por sais (Figuras 13b, 13d e 13f), enquanto que na sub-área normal observa-se o ajuste de modelos esféricos nas camadas 20-40 e 40-60 cm, com alcances de 20 e 35 m, respectivamente (Figuras 13c e 13e), sendo que na profundidade 0-20 cm não foi verificada estrutura de dependência espacial (Figura 13a), caracterizando aleatoriedade de dados da PST nesta camada. A existência de baixos valores de CEes e PST dentro da sub-área de 70 x 90 m, considerada como afetada, pode ter exercido influência nas semivariâncias dos dados destas variáveis e contribuído para a não obtenção de estrutura espacial para alguns dos casos aqui analisados.

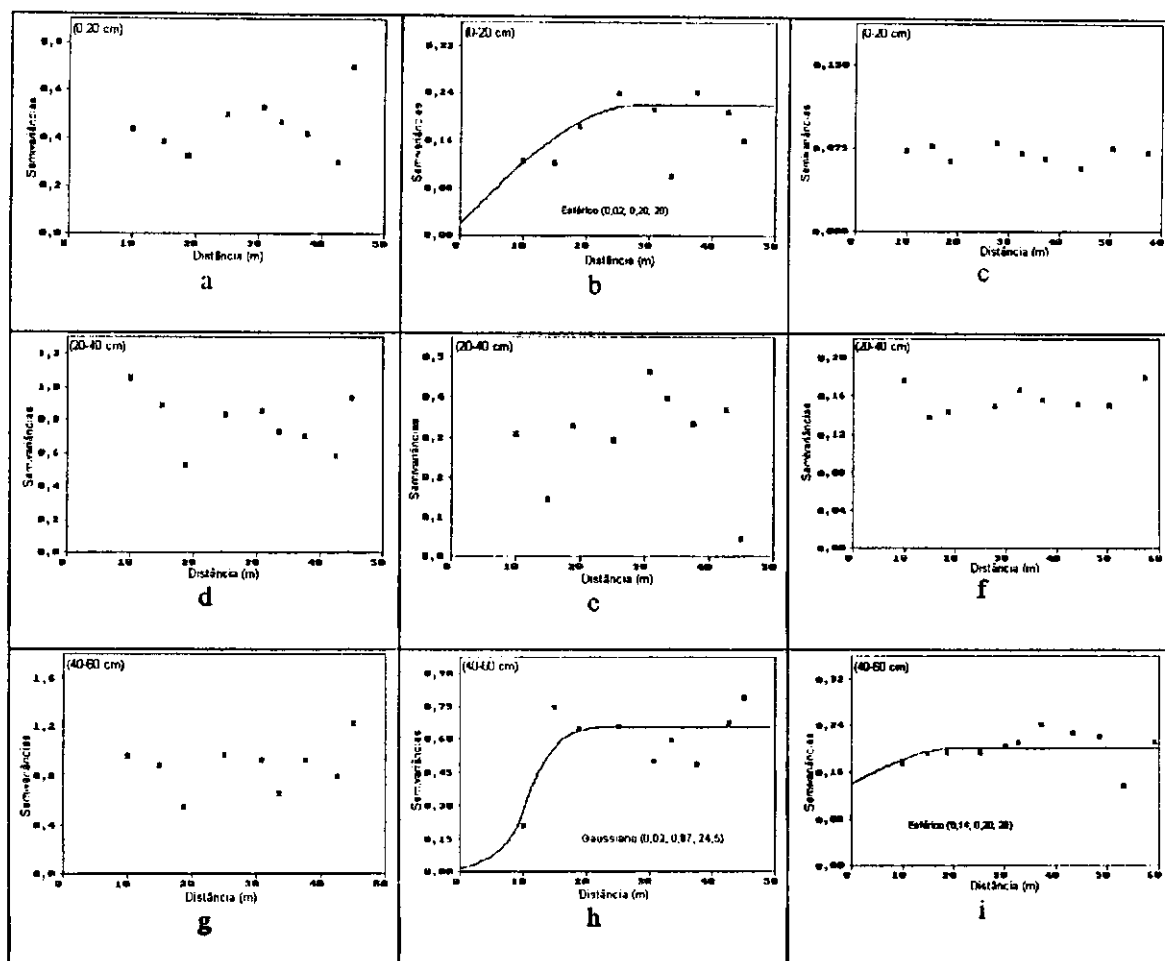


Figura 11 - Semivariogramas experimentais e modelos ajustados para o pH nas áreas afetada sem (a, d, g) e com eliminação de dados discrepantes (b, e, h) e normal (c, f, i), nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

Modelos esféricos de semivariogramas, com alcances de 22 e 18 m nas camadas 0-20 e 20-40 cm, respectivamente, foram obtidos por Salviano (1996) em estudos sobre a variabilidade espacial do pH. Oliveira (1998) ajustou um modelo esférico de semivariograma para a PST, e os modelos gaussiano e esférico para o pH e CEEs, respectivamente, após a retirada de valores discrepantes.

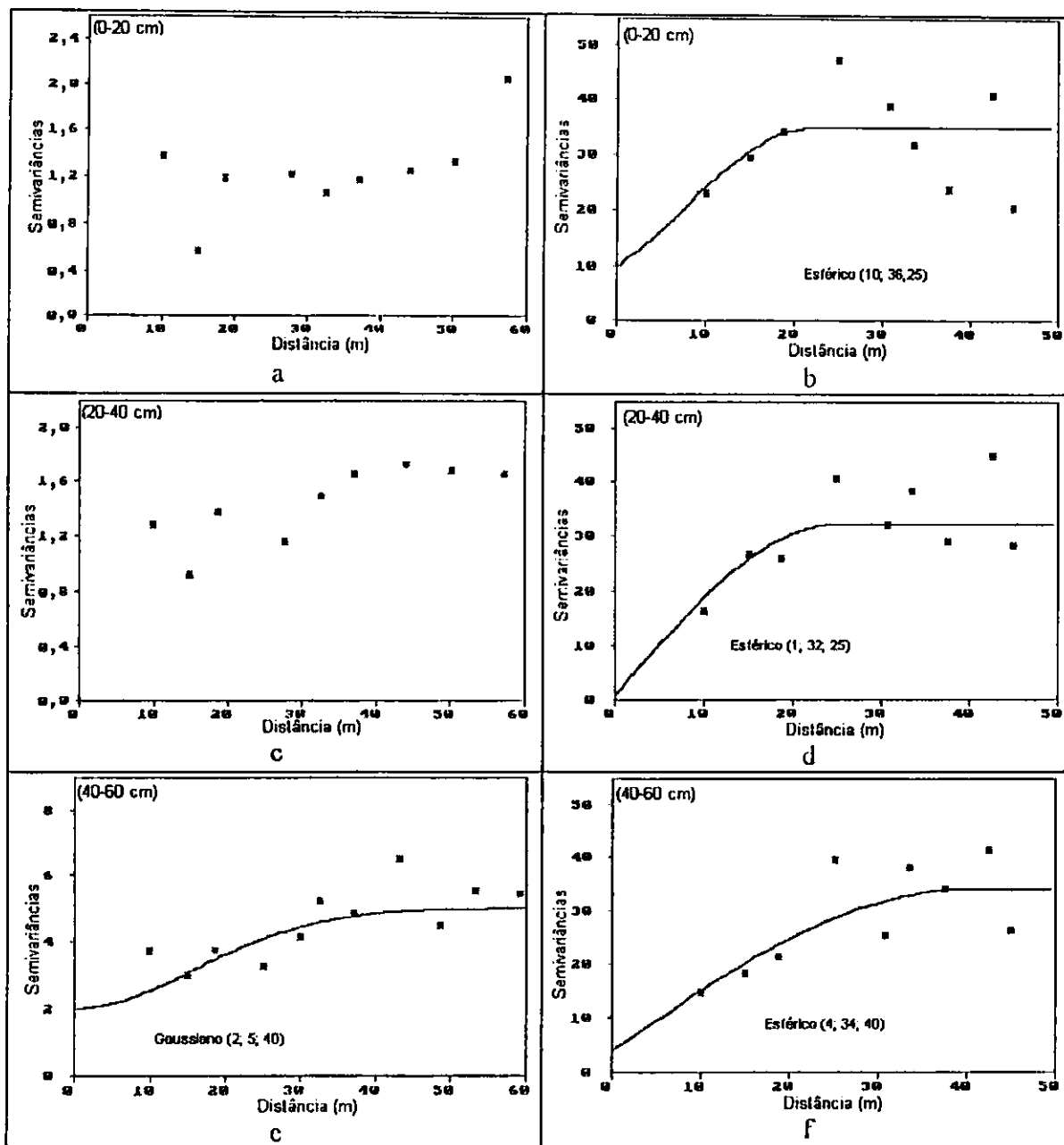


Figura 12 - Semivariogramas experimentais e modelos ajustados da variável CEes para as áreas normal (a, c, e) e afetada (b, d, f), nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

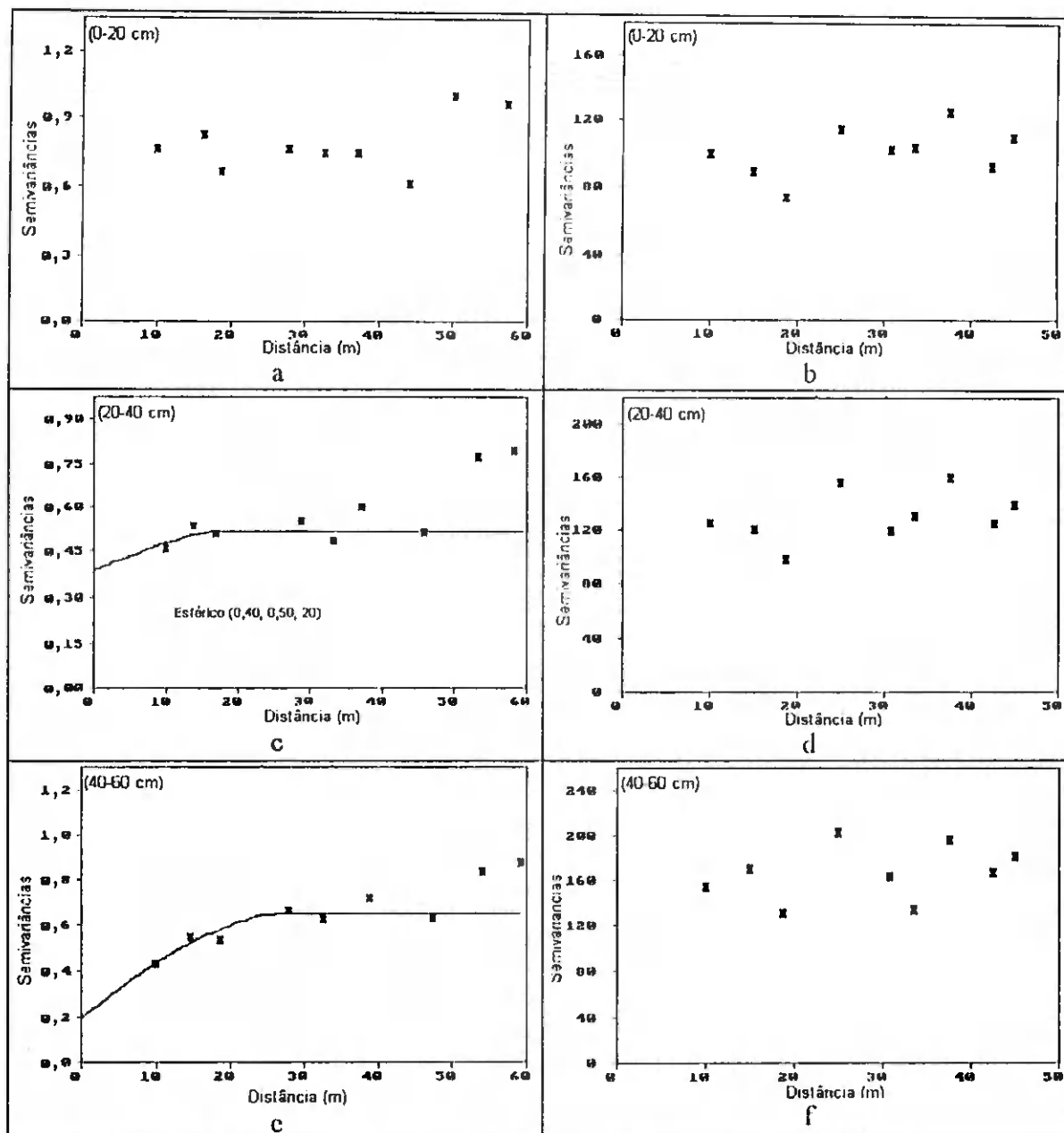


Figura 13 - Semivariogramas experimentais e modelos ajustados da variável PST para as áreas normal (a, c e e) e afetada (b, d e f), nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

Na análise de semivariogramas o efeito pepita representa a descontinuidade atribuída a erros de amostragens ou variações locais, não explicados pela variabilidade dos dados para as distâncias amostradas. Este parâmetro permite comparar o grau de dependência espacial de variáveis estudadas. Para tanto, com base na classificação proposta por Cambardella et al. (1994), na qual semivariogramas com efeito pepita < 25 %, entre 25 e 75 % e > 75%, são considerados como de forte, moderada e fraca dependência espacial, respectivamente, observa-se que o pH após a eliminação de dados apresenta forte dependência espacial nas camadas 0-20 e 40-60 cm na sub-área afetada, e que na sub-área normal verifica-se uma moderada dependência espacial apenas na camada 40-60 cm. Nos demais casos, esta variável não apresenta estrutura de dependência espacial (Tabela 2).

TABELA 2 – Estimativas dos parâmetros do modelo teórico ajustado aos semivariogramas experimentais e a relação efeito pepita/patamar para o pH nas áreas afetada (sem e com a eliminação de dados discrepantes) e normal, nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

Parâmetro	Área afetada		Normal
	SED	CED	
Profundidade (0-20 cm)			
Efeito pepita (Co)	-	0,02	-
Patamar (Co+C1)	-	0,20	-
Alcance (a) / metro	-	28,00	-
(Co/Co+C1) * 100	-	10,00	-
Modelo	SE	Esférico	SE
Profundidade (20-40 cm)			
Efeito pepita (Co)	-	-	-
Patamar (Co+C1)	-	-	-
Alcance (a) / metro	-	-	-
(Co/Co+C1) * 100	-	-	-
Modelo	SE	SE	SE
Profundidade (40-60 cm)			
Efeito pepita (Co)	-	0,02	0,14
Patamar (Co+C1)	-	0,67	0,20
Alcance (a) / metro	-	24,50	20,00
(Co/Co+C1) * 100	-	2,98	70,00
Modelo	SE	Gaussiano	Esférico

SE - sem estrutura espacial, SED - sem eliminação de dados discrepantes e CED - com eliminação de dados discrepantes.

Para a CEes na sub-área afetada apenas na camada 40-60 cm constata-se uma moderada dependência espacial, enquanto que as camadas 0-20 e 20-40 cm não apresentam estrutura de dependência. Na sub-área normal esta variável apresenta moderada e forte dependência espacial nas profundidades 0-20 e 40-60 cm, respectivamente, e nenhuma dependência na camada 20-40 cm (Tabela 3).

TABELA 3 – Estimativas dos parâmetros do modelo teórico ajustado aos semivariogramas experimentais e a relação efeito pepita/patamar para a CEes, nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

Parâmetro	Área afetada	Normal
Profundidade (0-20 cm)		
Efeito pepita (Co)	-	10,00
Patamar (Co+C1)	-	36,00
Alcance (a) / metro	-	25,00
(Co/Co+C1) * 100	-	27,78
Modelo	SE	Esférico
Profundidade (20-40 cm)		
Efeito pepita (Co)	-	1,00
Patamar (Co+C1)	-	32,00
Alcance (a) / metro	-	25,00
(Co/Co+C1) * 100	-	3,12
Modelo	SE	Esférico
Profundidade (40-60 cm)		
Efeito pepita (Co)	2,00	4,00
Patamar (Co+C1)	5,00	34,00
Alcance (a) / metro	40,00	40,00
(Co/Co+C1) * 100	40,00	11,76
Modelo	Gaussiano	Esférico

SE – sem estrutura de dependência espacial.

Para a PST, devido ao elevado efeito pepita para a camada 20-40 na sub-área normal, observa-se uma fraca dependência espacial, enquanto que na profundidade 40-60 cm a dependência espacial apresenta-se moderada. Nos demais casos constata-se que esta variável não apresenta estrutura de dependência espacial (Tabela 4).

TABELA 4 – Estimativas dos parâmetros do modelo teórico ajustado aos semivariogramas experimentais e a relação efeito pepita/patamar para a PST, nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

Parâmetro	Área afetada	Normal
Profundidade (0-20 cm)		
Efeito pepita (Co)	-	-
Patamar (Co+C1)	-	-
Alcance (a) / metro	-	-
(Co/Co+C1) * 100	-	-
Modelo	SE	SE
Profundidade (20-40 cm)		
Efeito pepita (Co)	0,40	-
Patamar (Co+C1)	0,50	-
Alcance (a) / metro	20,00	-
(Co/Co+C1) * 100	80,00	-
Modelo	Esférico	SE
Profundidade (40-60 cm)		
Efeito pepita (Co)	0,20	-
Patamar (Co+C1)	0,70	-
Alcance (a) / metro	35,00	-
(Co/Co+C1) * 100	28,57	-
Modelo	Esférico	SE

SE – sem estrutura de dependência espacial.

Para as variáveis que apresentaram estrutura de dependência espacial, foram obtidas equações correspondentes aos modelos esféricos e gaussiano, através da substituição dos parâmetros nas expressões correspondentes aos respectivos modelos (Tabela 5).

TABELA 5 – Equações ajustadas aos semivariogramas experimentais através dos modelos esférico e gaussiano, obtidos para o pH, CEcs e PST, nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

Variável	Árca	Profundidade (cm)	Equação	
pH (SED)	Afetada	0-20	-	
	Afetada	20-40	-	
	Afetada	40-60	-	
pH (CED)	Afetada	0-20	$\gamma(h) = 0,02 + 1,80[(3/2)(h/28) - 1/2 (h/28)^3]$	$0 < h < 28$
	Afetada	20-40	$\gamma(h) = 2,00$	$h \geq 28$
	Afetada	40-60	$\gamma(h) = 0,02 + 0,65\{1 - \exp[-(3h^2)/24,5^2]\}$	$h \geq 0$
PH	Normal	0-20	-	
	Normal	20-40	-	
	Normal	40-60	$\gamma(h) = 0,14 + 0,06[(3/2)(h/20) - 1/2 (h/20)^3]$	$0 < h < 20$
CEcs	Afetada	0-20	-	
	Afetada	20-40	-	
	Afetada	40-60	$\gamma(h) = 2,00 + 3,00\{1 - \exp[-(3h^2)/40^2]\}$	$h \geq 0$
CEcs	Normal	0-20	$\gamma(h) = 10,0 + 26,0[(3/2)(h/25) - 1/2 (h/25)^3]$	$0 < h < 25$
	Normal	20-40	$\gamma(h) = 36,0$	$h \geq 25$
	Normal	40-60	$\gamma(h) = 1,00 + 31,0[(3/2)(h/25) - 1/2 (h/25)^3]$	$0 < h < 25$
PST	Afetada	0-20	-	
	Afetada	20-40	$\gamma(h) = 0,40 + 0,10[(3/2)(h/20) - 1/2 (h/20)^3]$	$0 < h < 20$
	Afetada	40-60	$\gamma(h) = 0,50$	$h \geq 20$
PST	Normal	0-20	-	
	Normal	20-40	$\gamma(h) = 0,20 + 0,50[(3/2)(h/35) - 1/2 (h/35)^3]$	$0 < h < 35$
	Normal	40-60	$\gamma(h) = 0,70$	$h \geq 35$

SED - sem eliminação de dados discrepantes; CED - com eliminação de dados discrepantes.



#### 4. 2. 2 – Confeção dos mapas de isolinhas

Através de recursos computacionais e com base nos valores dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais, foram confeccionados mapas de isolinhas por meio do processo de interpolação por krigagem para aqueles que apresentaram estrutura de dependência espacial, enquanto que aos que não apresentaram estrutura foram feitas interpolações pelo método inverso do quadrado da distância. Os mapas foram obtidos de uma malha retangular de 70 x 90 m para a área afetada, com 15 linhas e 19 colunas, espaçadas em 5 m entre linhas e colunas, totalizando 285 pontos. Para a área normal foram 15 linhas e 25 colunas (70 x 120 m), resultando em um total de 375 pontos. Através destes mapas (Figuras 14, 15 e 16) observam-se as curvas de isovalores das variáveis pH, CEes e PST para as camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, onde as mais próximas indicam regiões de maior variabilidade, enquanto que as mais distantes evidenciam regiões de menor variabilidade. No lado direito dos mapas é apresentada uma escala de tonalidades de cores diferenciadas. A confecção destes mapas é de grande importância para recomendações de instalação de experimentos no campo, como também para sugestões do manejo agrícola levando-se em conta a sua heterogeneidade.

Pela Figura 14, observa-se que há uma concentração mais homogênea de valores de pH entre 6,0 e 8,0 distribuída na área, em todas as camadas, havendo também alguns pontos com linhas fechadas, evidenciando algum tipo de fenômeno localizado exercendo influência no aumento do pH. Este comportamento concorda com a análise descritiva, onde esta variável apresentou menor variabilidade em relação à CEes e PST. Através da Figura 15 pode-se comprovar que os maiores valores da CEes concentram-se no lado esquerdo da área, o que é evidenciado por tonalidades de cores diferentes, com

destaque para a camada de 40-60 cm (Figura 15c). Conforme discussão feita na análise descritiva, esta variável apresentou elevada variação, talvez devido ao manejo agrícola a que o solo é submetido. De maneira semelhante a CEEs, para a PST observa-se uma maior concentração dos valores no lado esquerdo da área (Figura 16), aumentando com a profundidade, o que é indicado por diferentes tonalidades de cores. Na análise descritiva discutida anteriormente, esta variável apresentou a maior amplitude de variação em todas as camadas estudadas.

Este comportamento pode ser atribuído ao fato de que a sub-área afetada apresenta cotas mais baixas em relação ao restante da área, com declive médio de 3,72 % (Figura 2b). A Figura 3 representa a área estudada, onde observa-se uma encosta no lado sul da área e um cultivo de bananeira no lado sudoeste. Próximo do local foram observados transbordamento de diques causados por aplicações de grandes volumes de água, cujo excesso formava um córrego com profundidade média de 1,0 m no lado superior da área estudada (Figura 2a). Esta sub-área foi então considerada como zona de confluência de águas oriundas da irrigação e chuva, que aliada aos fatores climáticos da região e às condições de irrigação deficientes e drenagem insuficientes observadas na área estudada, provavelmente contribuiu muito para a acumulação de sais.

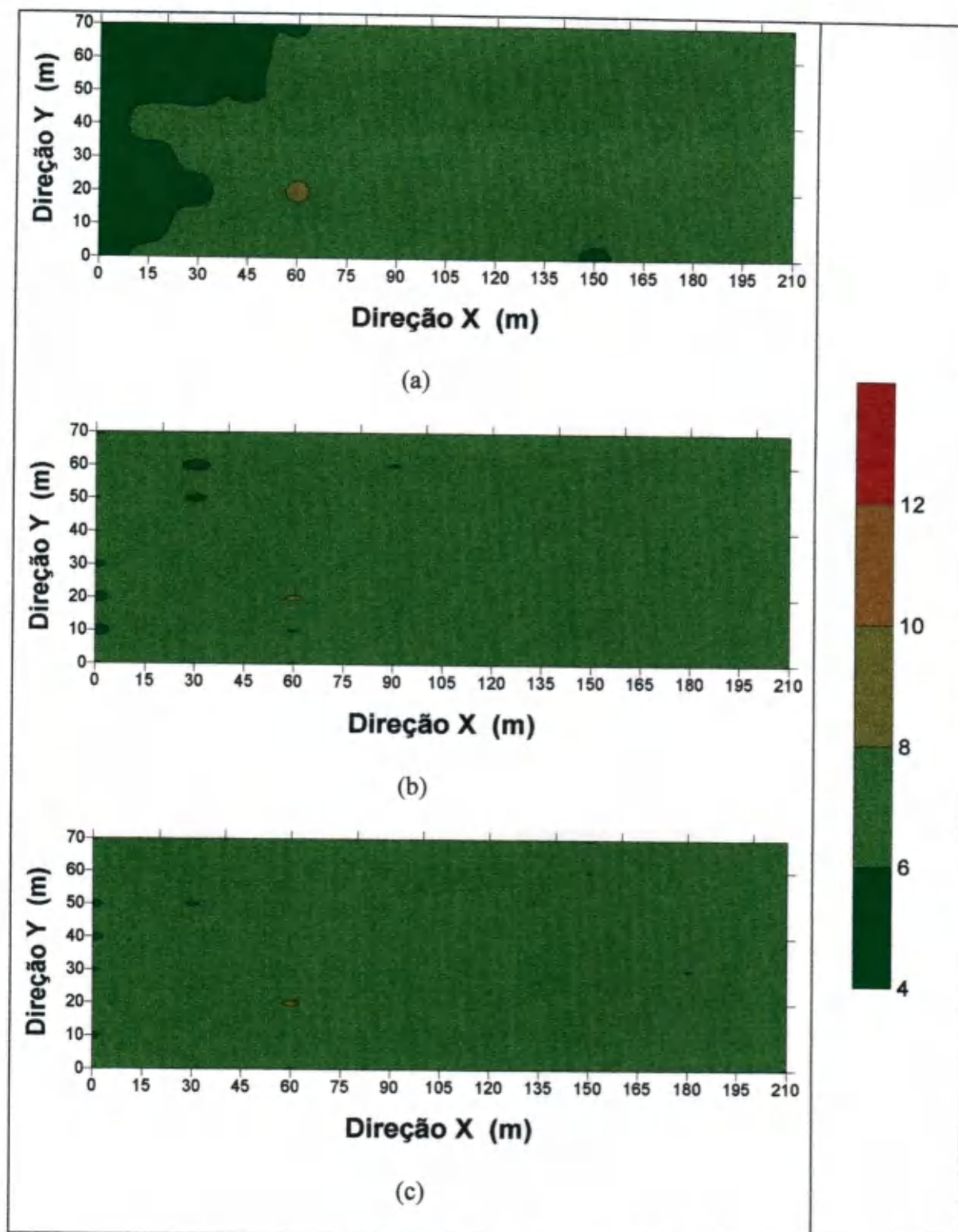


Figura 14 – Mapas de isolinhas do pH para as camadas de 0-20 cm (a), 20-40 cm (b) e 40-60 cm (c).

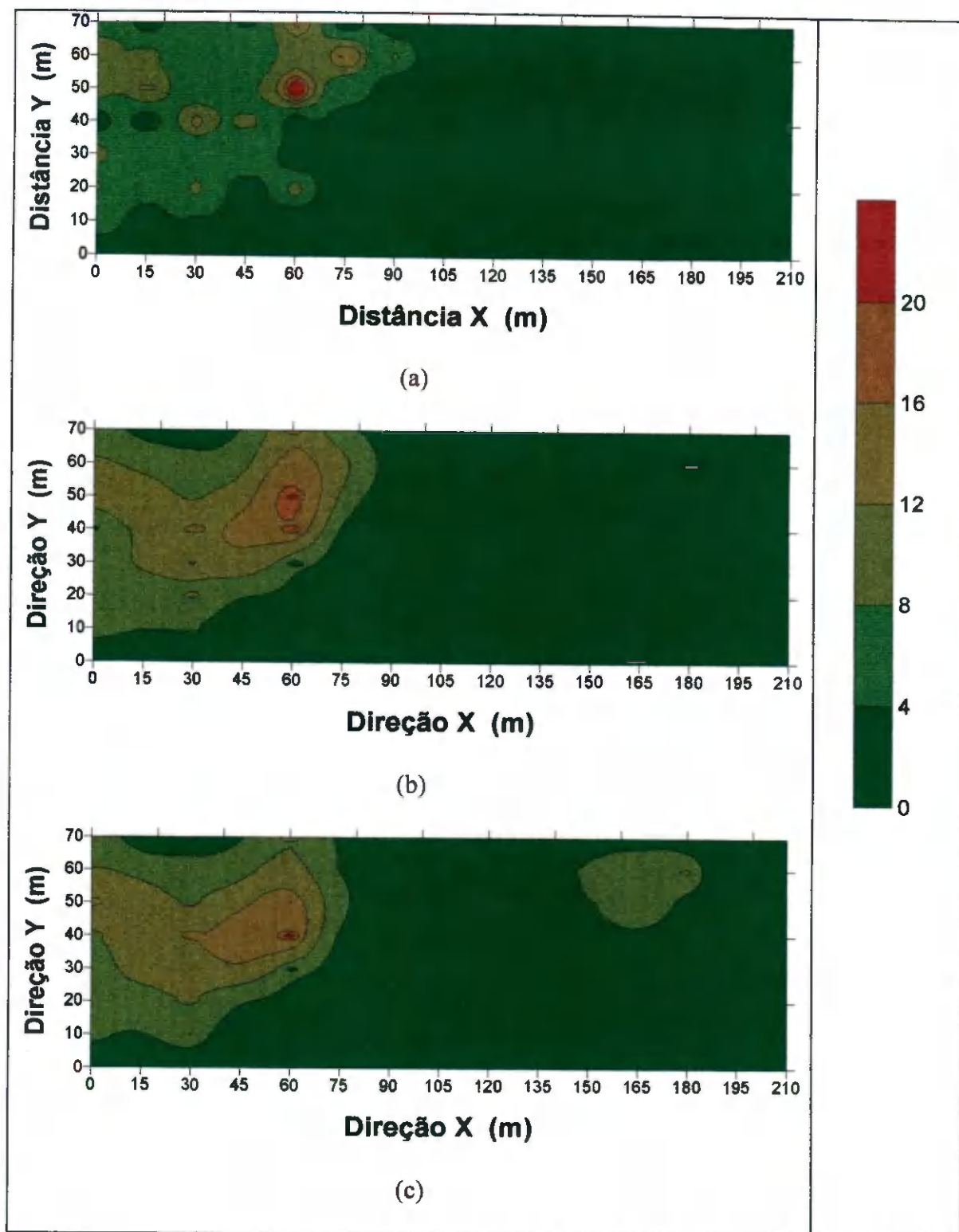


Figura 15 – Mapas de isolinhas da CEs para as camadas de 0-20 cm (a), 20-40 cm (b) e 40-60 cm (c).

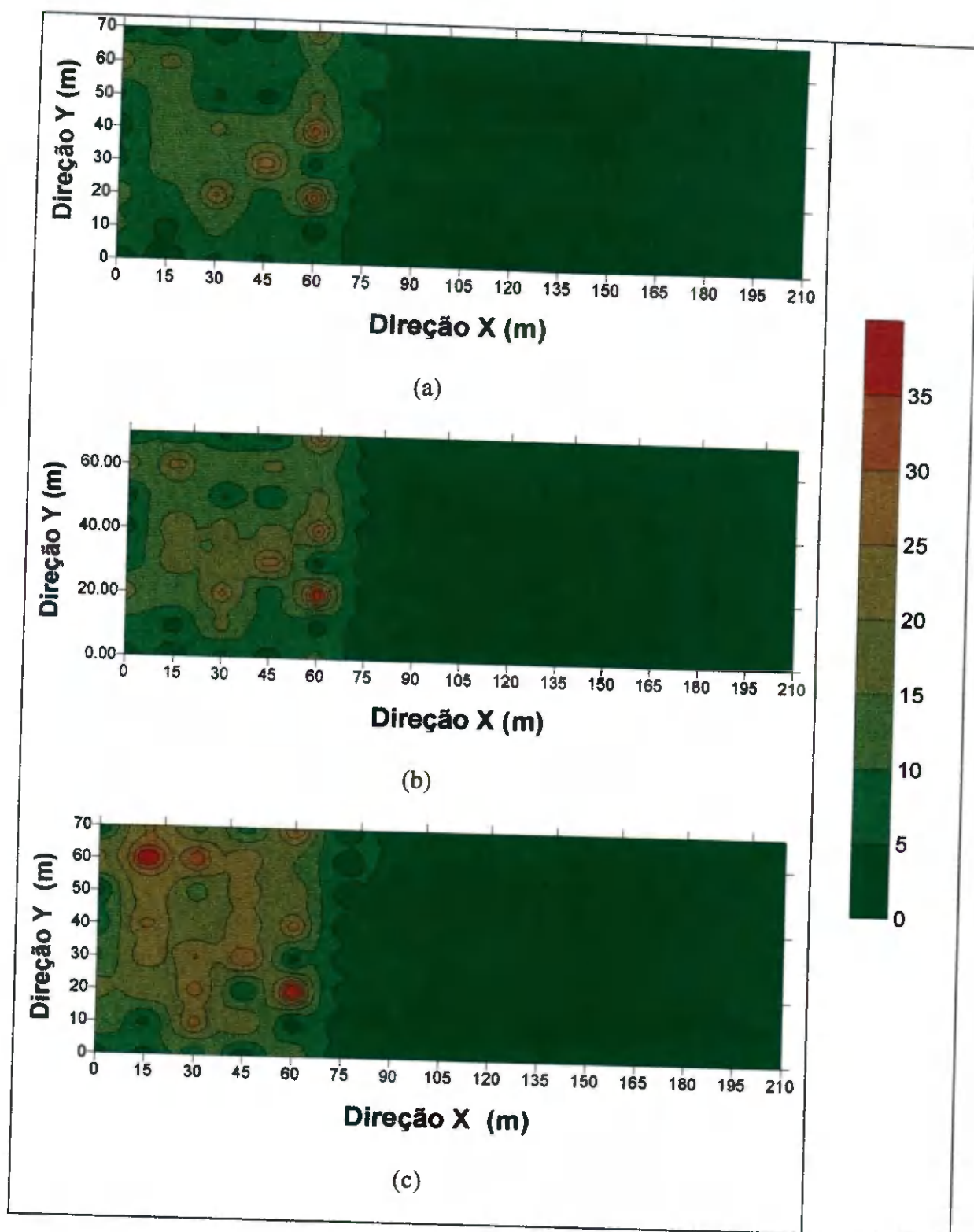


Figura 16 – Mapas de isolinhas da PST para as camadas de 0-20 cm (a), 20-40 cm (b) e 40-60 cm (c).

Os solos afetados por sais são classificados em função dos valores estimados da CEes, PST e pH (Raij, 1991). Para fins de caracterização dos efeitos dos sais sobre o solo analisado, baseados nos valores medidos e na classificação americana apresentada por Richards (1954), foram consideradas quatro agrupamentos de classes de salinidade e sodicidade, seguindo metodologia adotada por Coelho & Ferreyra (1986). Neste contexto, foram confeccionados mapas de isolinhas a partir da combinação das variáveis CEes e PST pelo do processo de interpolação denominado inverso do quadrado da distância. Pela Figura 17, pode-se comprovar o aumento dos problemas de salinidade com a profundidade, evidenciado por tonalidades de cores diferentes, principalmente no lado esquerdo da área. Esta característica é revelada pelas Figuras 15 e 16, nas quais a CEes e PST apresentam dispersões semelhantes para as três profundidades estudadas. Com base na escala de cores, verifica-se que cerca de 24,2 27,0 e 32,5 % da área estudada está afetada por sais, nas amostragens de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente.

Várias características físicas típicas desses solos, tais como a presença de crostas brancas superficiais, rachaduras no solo, estruturas colunar prismáticas, condições de estrutura pobres e deteriorada foram observadas no local estudado. Por conseguinte, o mapeamento obtido pela interpolação permitiu dividir a área estudada em duas sub-áreas - afetada (A) e normal (N) - separadas por uma linha azul (Figura 17), tendo-se em vista o manejo do solo. Quanto à salinidade, supõe-se que não há restrição para o plantio de diversas culturas na sub-área N. Para a área A, sugerem-se estudos de variáveis físicas do solo (condutividade hidráulica, altura do lençol freático, classe textural, porosidade drenável) que permitam estabelecer a adoção de critérios para a construção e definição de espaçamentos para drenos subterrâneos, coletores e interceptores (Millar, 1988), de modo que o excesso de água proveniente da chuva ou irrigação possa ser removido. Depois,

pode-se fazer a aplicação de corretivos adequados tomando-se como base os valores da PST e CTC (Cruciani, 1983), seguida da recuperação da área mediante lavagem do excesso de sais solúveis. Culturas tolerantes à salinidade (arroz, algodão, algaroba, etc.) podem ser cultivadas no local. As lâminas de irrigação devem ser aplicadas de modo a manter um balanço favorável de sais no solo e evitar a elevação do lençol freático. Como forma de impedir o aumento do problema de sais, a área afetada deve ser isolada da normal através de meios apropriados, tais como a construção de diques (Pizarro, 1978; Gheyi & Medeiros, 1997). Na realização de pesquisas, procedimentos diferenciados devem ser adotados levando-se em consideração a sub-divisão da área e sua variabilidade espacial.



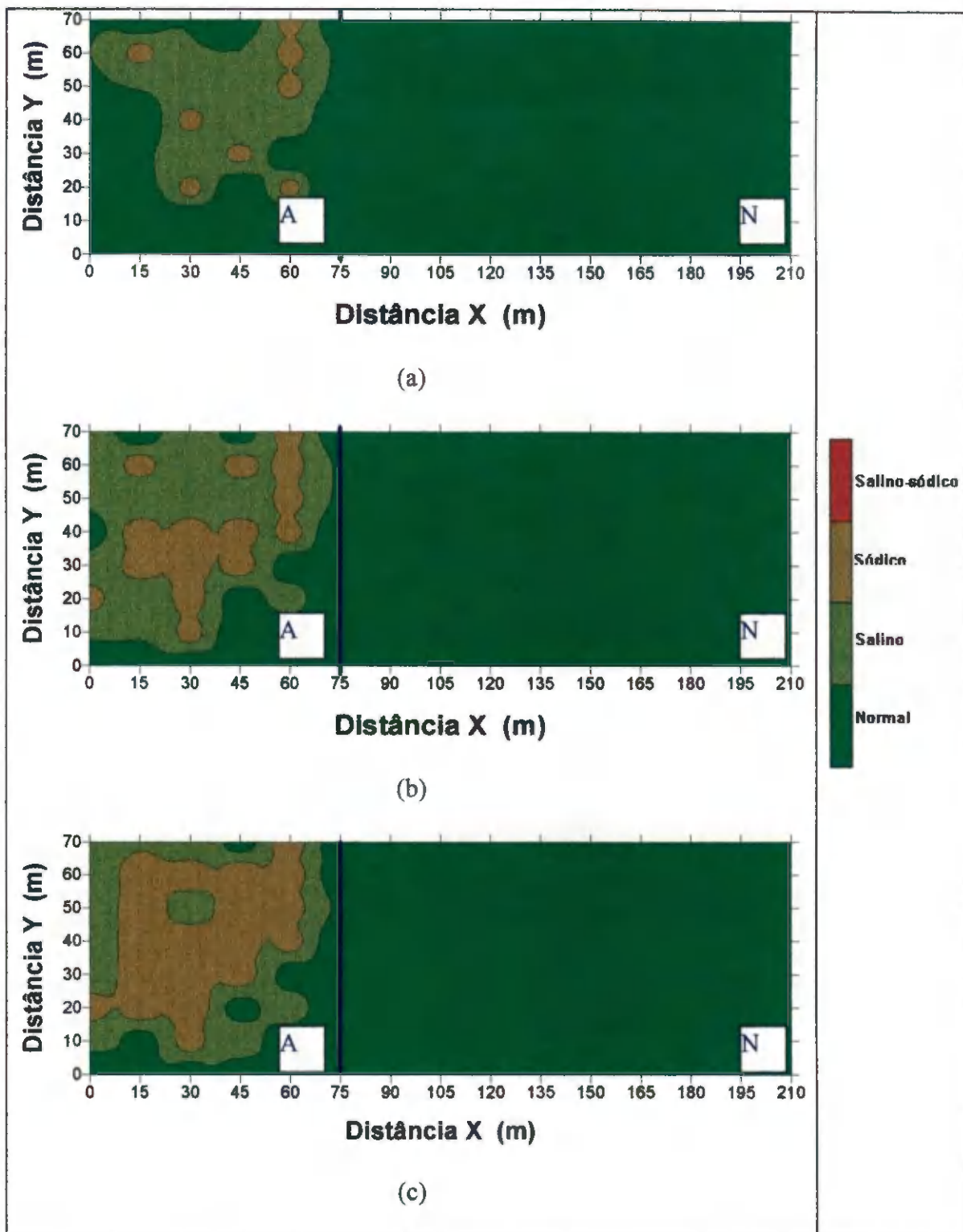


Figura 17 – Mapas de classes de solos salinizados para as amostragens de 0-20 cm (a), 20-40 cm (b) e 40-60 cm (c), evidenciando as sub-áreas afetada (A) e normal (N).



## 5 – CONCLUSÕES

Das variáveis estudadas, apenas o pH apresentou uma distribuição aproximadamente normal, enquanto que a CEEs e PST apresentaram elevada assimetria e curtose, nas três profundidades testadas. O pH apresentou baixa variabilidade ( $CV < 12\%$ ), enquanto que a CEEs e a PST apresentaram variabilidades elevadas ( $CV > 60\%$ );

Nas sub-áreas e profundidades estudadas foram ajustados modelos esférico e gaussiano aos semivariogramas experimentais das variáveis que apresentaram estrutura de dependência espacial, observando-se de fraca a forte dependência espacial, com alcances variando de 20 a 40 m;

A partir dos valores estimados para as variáveis estudadas, obtidos pelos processos de krigagem e inverso do quadrado da distância, foi possível a descrição do padrão de variabilidade da salinidade do solo analisado, o que tornou possível a divisão da área em sub-áreas de variabilidades diferenciadas, evidenciando a necessidade de procedimentos distintos quanto ao manejo do solo e posterior instalação de experimentos;

Os mapas de isolinhas obtidos da combinação das CEEs e PST permitiram visualizar que os problemas de salinidade e sodicidade aumentaram com a profundidade;

O uso desta metodologia mostrou-se ser de grande importância no estudo da variabilidade espacial da salinidade do solo estudado, uma vez que considera a posição espacial das observações e não apenas um valor médio obtido de observações feitas ao acaso dentro da área de interesse, como geralmente é feito pela metodologia tradicional.

## **6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALBUQUERQUE, J. A. ; FIORIN, J. E.; REINERT, D. J.; MUTTI, L. S. M.; SILVA, E.

P. da. Variabilidade espacial do solo e produção do milho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.20, n.1, p.151-157, 1996.

ALVAREZ, V. H. & CARRARO, I. M. Variabilidade do solo numa unidade de

amostragem em solos de Cascavel e de Ponta Grossa – Paraná. **Revista Ceres**, v. 23, p.503-510, 1976.

AMARO, L. M. **Estimativa do balanço hídrico em cinco solos e três culturas para o**

**município de Patos - Pb. UFPB/CCA/Departamento de Solos e Engenharia Rural. Arcia - Pb. 1982. 80p. (Dissertação de Mestrado).**

BALL, D. F. & WILLIAMS, W. M. Variability of soil chemical properties in two

uncultivated brow earths. **Journal of Science Soil**, v.19, p.378-391, 1968.

BARRETO, A. C.; NOVAIS, R. F. de.; BRAGA, J. M. Determinação estatística do

número de amostras simples de solo por área para avaliação de sua fertilidade. **Revista Ceres**, v.21, n.114, p.142-147, 1974.

BECKETTI, P. H. T. & WEBSTER, R. Soil variability: a review. *Soils Fertilizers.*, v.34, p.1-15, 1971.

BHATTI, A . U; MULLA, D. J. & FRAZIER, B. E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded soil hills using geostatistics and thematic mapper images. *Remote Sens. Enviroment.* v.37, p.181-191, 1991.

BRASIL/SUDENE. I. Levantamento exploratório – Reconhecimento dos solos da Paraíba. II. Interpretação para uso agrícola dos solos da Paraíba. Convênio de mapeamento de solos. MA/EPE/USAID/BRASIL. Boletim Técnico n. 15. Série Pedológica n. 8, 683p. Rio de Janeiro. 1972.

BURGUESS, T. M. & WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semivariogram and punctual kriging. *Journal of Soil Science.* Oxford, 31: 315-331, 1980.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEM, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.58, p.1501-1511, 1994.

CARVALHO, O. S. Variabilidad espacial y temporal de la materia organica em um typic xerofluent sometido a distintos sucessionos del cultivo. Madrid: Escuela Tecnica Superior de Ingenieros Agronomia da Universidade Politécnica de Madrid., 1996. 146p. Tese (Doutorado).

- COELHO, M. A . & FERREYRA, F. F. Characterization of salt-affected soil in the semi-arid region of Northeastern Brazil. *Turrialba*, v.36, n.2, p.171-178, 1986.
- COELHO, M. G. Variabilidade espacial de características físicas e químicas em solo salino-sódico. *Ciência Agronômica*, Fortaleza, v.14, n.1, p.149-156, 1983.
- CORDEIRO, G. G.; BARRETO, A . N.; CARVAJAL, A . C. N. Levantamento das condições de salinidade e sodicidade do Projeto de Irrigação de São Gonçalo (2ª parte). Petrolina; EMBRAPA/CPATSA, 1988. 57p. (EMBRAPA/CPATSA. Doc., 54).
- COSTA NETO, P.L.O. *Estatística*. 15ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997. 264p.
- CRUCIANI, D. E. *A drenagem na agricultura*. 4ed. São Paulo: Nobel, 1987. 337p.
- DAKER, A. *Irrigação e drenagem; A água na Agricultura*. 6ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, v.3, 1988. 543p.
- DAMACENO, J. H. *Efeitos de diferentes níveis de salinidade e temperatura na germinação e vigor do gergelim (*Sesamum indicum L.*)*. Campina Grande: Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. 1993. (Dissertação de Mestrado).

EMBRAPA. 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. 212 p.

ENGLUND, E & SPARKS, A. **Geo-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software)**. Las Vegas: U. S. Environmental Protency Agency, 1988. 1v. (EPA/600/4-88/033 a).

FAO/UNESCO – **Irrigation, Drainage and Salinity**. An international sourcebook. Paris. HUTCHINSON/FAO/UNESCO, 510p. 1973.

FERREIRA, P. A. Aspectos físico-químicos do solo. In: **Simpósio “Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada”**. GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. M. (ed.). Campina Grande: UFPb/SBEA, 1997. p. 37-68.

GHEYI, H. R. & MEDEIROS, J. F. de. Manejo do sistema solo-água-plantas em solos afetados por sais. In: **Simpósio “Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada”**. GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. M. (ed.). Campina Grande: UFPb/SBEA, 1997. p. 239-288.

GHEYI, H. R. **Caracterização e Recuperação dos Solos Afetados por Sais do Perímetro Irrigado de Sumé – PB**. Campina Grande: UFPB, 1993 107 p. (Tese - Prof.: Titular).

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

GOMES, L. L.; OLIVEIRA, M. de; MEDEIROS, J. F. de.; FILHO, F. Q. P. De. Diagnóstico da salinidade do solo no Perímetro Irrigado de Itans - Caicó - RN. In.: XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1994. **Anais...** n. 264, p.106.

GONÇALVES, A . C. A . **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo de irrigação**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. 1997. 118p. Tese (Doutorado).

GUERRA, P. A. G. **Geostatística Operacional**. Brasília Ministério das Minas e Energia, Departamento de Produção Mineral, 1988. 145p.

GUIMARÃES, E. C.; AQUINO, L. H. de; OLIVEIRA, M. S. de. Variabilidade espacial do pH em água e da argila dispersa em água em um latossolo roxo no Município de Lavras - MG. **Ciência e Prática**, Lavras. v.16 n.4, p521-528, 1992.

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

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

KRIGE, D.J. Two-dimensional weighted moving average trend surfaces for ore-evaluation.

**Journal of the South african Institute of Mining and Metallurgy**, v.66, p.13-38, 1966.

MAPA, R. B. & KUMARAGAMAGE, D. Variability of soil properties in a tropical allisol

used for shifting cultivation. **Soil Technology**, v.9, p.187-197, 1996.

MATHERON, G. The theory of regionalized variables and its applications. **Les Cahiers du**

**Centre de Morphologie Mathématique**. Fas. 5. C.G. Fontanebleau, 1971.

MILLAR, A. A. **drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas**. São Paulo: Editerra

Ltda., 1988. 306p.

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. (Dissertação de Mestrado).

OLIVEIRA, M. de. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In:

**Simpósio "Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada"**. GHEYI, H.

R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. M. (ed.). Campina Grande: UFPb/SBEA, 1997.

p. 1-37

PARAÍBA, GOVERNO DO ESTADO - Superintendência de Obras do Plano de

Desenvolvimento do Estado. Projeto de Irrigação Capocira: Estudo de Viabilidade

(Tomo I - Diagnóstico), 1989. 5p.

PEREIRA, J. & COBBE R. V. **Fertilização, correção da 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.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos.** Madrid: Agrícola Española, 1978. 528p.

PREVEDELLO, B. M. S. **Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta.**  
Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. 1987. 166p. Tese (Doutorado).

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

QUEIROZ, J. E.; GONÇALVES, A. C.; SOUTO, J. S.; FOLEGATTI, M. V. **Avaliação e monitoramento da salinidade do solo.** In: **Simpósio "Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada"**. GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. M. (ed.).  
Campina Grande: UFPb/SDEA, 1997. p. 69-111.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991. 343p.

REICHARDT, K. **Variabilidade espacial e (temporal) de solos.** In: **Processos de**



**transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4ed. Campinas: Fundação Cargill, 391-416p. 1985.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R. & LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas. v.10, n.1,p. 1-6, 1986

RIBEIRO JÚNIOR, 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. 99p. (Dissertação de Mestrado).

RICHARDS, L. A . **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, D. C.: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. (United States Department of Agriculture Handbook, 60).

SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade de atributos do solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba – SP**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo.1996. 91p. Tese (Doutorado)

SANTOS, R. V.; MURAOKA, T. Interações salinidade e fertilidade do solo. In: **Simpósio “Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada”**. GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. M. (ed.). Campina Grande: UFPb/SBEA, 1997. p. 289-317.

SARAIVA, O . F.; ALVAREZ, V. H. & COSTA, L. M. da. Variabilidade de algumas características físicas e químicas de um Podzólico Vermelho-amarelo Câmbico distrófico. *Revista Ceres*, v.39, n.226, p.529-541, 1992.

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

SOUZA, L. da S.; COGO, N. P. & VIERA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas de um solo em um pomar citrico. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas. v.21, n.3, p.367-372, 1997.

SOUZA, L. S. *Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo*. Porto alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. 162p. Tese (Doutorado).

SUDENE - Relatório Anual. Recife. 82p. 1977.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, New York, v.38, p.45-94, 1985.

WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. ed. *Applications of soils physics*. New York. Academic Press, 1980. cap. 13. p.319-344.

APÊNDICES

APÊNDICE I - Valores da variável pH da pasta de saturação  
para as profundidades 0-20; 20-40 e 40-60 cm.

Número da amostra	Coordenada		pH		
	X	Y	0-20cm	20-40cm	40-60cm
1	0	0	5,92	5,80	5,73
2	15	0	6,1	4,98	5,75
3	30	0	6,5	5,90	6,93
4	45	0	6,71	6,13	6,07
5	60	0	7,02	9,07	9,17
6	75	0	6,54	6,11	6,52
7	90	0	6,46	6,02	6,78
8	105	0	6,68	6,69	6,37
9	120	0	6,63	6,90	7,01
10	135	0	6,51	6,19	6,64
11	150	0	5,32	7,41	6,96
12	165	0	6,28	5,87	6,53
13	180	0	6,14	6,43	6,07
14	195	0	6,43	6,30	5,87
15	210	0	6,71	5,72	5,66
16	0	10	5,37	5,26	5,53
17	15	10	5,7	6,22	5,85
18	30	10	6,27	7,28	7,42
19	45	10	6,54	6,61	8,44
20	60	10	6,37	5,51	6,20
21	75	10	6,41	6,80	6,84
22	90	10	6,47	6,81	6,51
23	105	10	6,66	7,78	6,76
24	120	10	6,26	7,52	6,63
25	135	10	6,43	6,15	6,37
26	150	10	6,65	6,17	6,89
27	165	10	6,4	7,08	6,33
28	180	10	6,26	6,02	6,36
29	195	10	6,45	7,16	6,12
30	210	10	6,23	6,92	5,92
31	0	20	6	5,47	6,25
32	15	20	5,2	5,89	7,01
33	30	20	5,5	6,68	7,42
34	45	20	6,5	6,18	6,76
35	60	20	9,52	9,55	9,29
36	75	20	6,73	5,98	6,23
37	90	20	6,4	6,14	6,39
38	105	20	6,61	6,75	6,88
39	120	20	6,5	6,33	6,01
40	135	20	6,45	6,72	6,65
41	150	20	6,06	6,11	6,14
42	165	20	6,26	6,07	5,91
43	180	20	6,67	6,66	6,81
44	195	20	6,34	6,35	6,26
45	210	20	6,35	6,24	6,16

## APÊNDICE I - Continuação

Número da amostra	Coordenada		pH		
	X	Y	0-20cm	20-40cm	40-60cm
46	0	30	5,52	5,58	5,65
47	15	30	5,57	5,91	6,63
48	30	30	6,13	6,37	7,43
49	45	30	6,99	6,78	7,95
50	60	30	6,14	5,80	6,08
51	75	30	6,22	6,18	5,91
52	90	30	6,29	6,24	5,95
53	105	30	6,57	6,47	6,39
54	120	30	7,3	7,29	6,97
55	135	30	6,53	6,32	6,34
56	150	30	6,78	7,00	6,87
57	165	30	6,51	6,71	8,13
58	180	30	6,29	6,40	5,82
59	195	30	7,13	6,97	6,37
60	210	30	6,36	6,48	6,47
61	0	40	5,46	5,92	5,13
62	15	40	6,7	7,26	7,87
63	30	40	6,35	7,15	7,61
64	45	40	6,68	7,64	7,93
65	60	40	6,5	7,51	7,87
66	75	40	6,36	6,00	6,44
67	90	40	6,6	6,75	6,27
68	105	40	6,73	6,57	6,73
69	120	40	6,81	6,51	6,71
70	135	40	6,37	6,41	6,46
71	150	40	6,60	7,08	7,22
72	165	40	6,61	6,91	6,61
73	180	40	6,3	6,56	7,06
74	195	40	6,32	6,41	6,20
75	210	40	6,43	6,43	6,65
76	0	50	5,45	5,79	5,13
77	15	50	5,76	6,62	7,15
78	30	50	5,59	5,35	5,51
79	45	50	5,57	5,64	6,91
80	60	50	6,84	7,21	7,44
81	75	50	6,31	6,28	7,53
82	90	50	5,99	6,02	6,04
83	105	50	6,56	6,21	6,11
84	120	50	6,71	6,55	6,50
85	135	50	6,59	6,72	7,26
86	150	50	6,3	6,99	6,43
87	165	50	6,09	6,33	5,83
88	180	50	6,51	6,87	7,02
89	195	50	6,09	6,31	6,22
90	210	50	6,62	6,93	6,60

## APÊNDICE I - Continuação

Número da amostra	Coordenada		pH		
	X	Y	0-20cm	20-40cm	40-60cm
91	0	60	5,24	5,80	5,99
92	15	60	5,59	6,05	7,21
93	30	60	5,55	5,36	7,05
94	45	60	5,54	5,64	6,33
95	60	60	5,91	7,29	7,59
96	75	60	7,02	7,60	7,40
97	90	60	6,7	5,77	6,12
98	105	60	6,32	6,16	6,15
99	120	60	6,58	6,26	6,25
100	135	60	6,47	6,56	6,45
101	150	60	6,35	6,14	5,89
102	165	60	6,61	6,75	6,14
103	180	60	6,39	6,24	6,18
104	195	60	6,25	6,51	6,24
105	210	60	6,5	6,86	6,62
106	0	70	5,76	5,34	5,53
107	15	70	5,54	5,68	6,40
108	30	70	5,68	5,97	6,31
109	45	70	5,73	5,83	6,00
110	60	70	5,73	6,77	7,50
111	75	70	7,03	7,40	7,65
112	90	70	6,62	6,40	7,31
113	105	70	6,86	6,14	6,53
114	120	70	6,41	6,62	6,12
115	135	70	6,57	6,53	6,54
116	150	70	6,36	6,23	5,60
117	165	70	6,55	6,71	6,53
118	180	70	6,46	6,63	6,36
119	195	70	6,19	6,76	6,51
120	210	70	5,93	6,25	6,22

UFPB - BIBLIOTECA

APÊNDICE 2 - Valores da variável condutividade elétrica do extrato de saturação para as camadas 0-20; 20-40 e 40-60 cm.

Número da amostra	Coordenada		CEes(dS m <sup>-1</sup> a 25 C)		
	X	Y	0-20cm	20-40cm	40-60cm
1	0	0	0,34	0,17	0,10
2	15	0	0,70	1,70	0,38
3	30	0	0,54	0,57	0,75
4	45	0	0,23	0,18	0,17
5	60	0	1,27	1,11	1,11
6	75	0	0,69	0,28	0,28
7	90	0	0,30	0,24	0,21
8	105	0	0,50	0,52	0,66
9	120	0	0,25	0,43	1,16
10	135	0	0,24	0,32	0,32
11	150	0	0,52	0,52	0,47
12	165	0	1,61	0,35	0,26
13	180	0	0,21	0,25	0,39
14	195	0	0,32	0,65	1,96
15	210	0	0,20	0,55	4,24
16	0	10	5,87	5,88	6,32
17	15	10	1,67	4,24	3,68
18	30	10	3,82	4,75	8,49
19	45	10	1,39	1,27	1,06
20	60	10	0,25	0,25	0,20
21	75	10	0,30	0,29	0,22
22	90	10	0,29	0,23	0,23
23	105	10	0,42	0,49	0,67
24	120	10	0,18	0,24	0,54
25	135	10	0,21	0,30	1,25
26	150	10	0,31	0,25	0,16
27	165	10	0,29	0,30	0,32
28	180	10	0,48	0,25	0,23
29	195	10	0,65	3,62	6,04
30	210	10	0,27	0,48	2,64
31	0	20	8,42	8,15	7,78
32	15	20	4,66	4,41	4,23
33	30	20	9,30	9,33	9,34
34	45	20	1,76	1,82	1,85
35	60	20	10,48	3,68	1,68
36	75	20	0,33	0,31	0,30
37	90	20	0,27	0,26	0,25
38	105	20	0,42	0,77	0,78
39	120	20	0,40	1,96	3,79
40	135	20	0,37	0,20	0,17
41	150	20	0,51	0,38	0,38
42	165	20	0,23	0,23	0,18
43	180	20	0,59	0,52	0,50
44	195	20	0,31	0,21	0,21
45	210	20	0,56	0,56	1,83

## APÊNDICE 2 - Continuação

Número da Amostra	Coordenada		CEes(dS m <sup>-1</sup> a 25 C)		
	X	Y	0-20cm	20-40cm	40-60cm
46	0	30	9,79	5,94	5,99
47	15	30	7,83	10,56	11,79
48	30	30	4,26	7,54	9,62
49	45	30	7,54	13,39	13,96
50	60	30	0,77	1,62	2,58
51	75	30	0,40	0,41	0,43
52	90	30	0,63	0,55	0,52
53	105	30	0,31	0,28	0,27
54	120	30	0,78	0,80	0,97
55	135	30	0,25	0,18	0,17
56	150	30	0,31	0,38	0,84
57	165	30	0,27	0,37	4,57
58	180	30	0,24	0,26	0,45
59	195	30	0,54	0,54	2,45
60	210	30	0,35	0,35	0,50
61	0	40	0,54	2,00	5,56
62	15	40	0,27	6,45	7,64
63	30	40	14,00	15,18	14,33
64	45	40	9,34	14,09	14,90
65	60	40	0,27	20,93	23,39
66	75	40	0,22	0,31	0,77
67	90	40	1,25	0,20	0,18
68	105	40	0,37	0,38	0,41
69	120	40	0,64	0,20	0,20
70	135	40	0,46	0,46	0,46
71	150	40	0,27	0,18	0,17
72	165	40	0,14	0,14	1,13
73	180	40	0,36	0,24	0,10
74	195	40	0,17	0,20	1,51
75	210	40	5,43	1,52	1,48
76	0	50	10,38	12,90	16,01
77	15	50	14,49	14,51	14,90
78	30	50	6,56	6,62	6,70
79	45	50	8,11	8,20	10,09
80	60	50	28,08	23,12	16,50
81	75	50	5,48	5,59	5,85
82	90	50	0,60	0,69	0,82
83	105	50	0,24	0,25	0,34
84	120	50	0,57	0,34	0,27
85	135	50	1,42	2,41	2,60
86	150	50	3,64	3,11	3,02
87	165	50	0,43	6,08	9,24
88	180	50	0,35	0,27	0,27
89	195	50	0,10	0,34	0,33
90	210	50	0,77	0,37	0,17



## APÊNDICE 2 - Continuação

Número da Amostra	Coordenada		CEes(dS m <sup>-1</sup> a 25 C)		
	X	Y	0-20cm	20-40cm	40-60cm
91	0	60	5,11	5,41	5,89
92	15	60	9,01	4,67	4,51
93	30	60	6,85	6,42	6,32
94	45	60	4,45	4,32	4,34
95	60	60	18,06	16,03	10,28
96	75	60	19,78	11,50	1,20
97	90	60	8,81	3,93	3,63
98	105	60	1,41	1,23	1,11
99	120	60	0,43	0,39	0,37
100	135	60	0,43	0,77	0,91
101	150	60	0,30	1,21	6,13
102	165	60	0,34	3,77	8,63
103	180	60	0,70	4,81	10,09
104	195	60	0,36	0,31	0,31
105	210	60	0,25	0,31	2,70
106	0	70	4,19	4,38	6,32
107	15	70	1,01	0,96	0,13
108	30	70	4,26	4,97	4,90
109	45	70	2,99	2,96	2,75
110	60	70	17,54	15,65	10,75
111	75	70	1,12	1,58	2,62
112	90	70	1,23	2,58	4,10
113	105	70	0,69	0,40	0,39
114	120	70	0,54	0,53	0,37
115	135	70	0,20	0,27	0,35
116	150	70	1,98	1,26	1,20
117	165	70	0,33	0,22	0,22
118	180	70	0,17	0,21	0,74
119	195	70	0,20	0,26	0,31
120	210	70	0,30	0,31	0,35

UFPB - BIBLIOTECA

APÊNDICE 3 - Valores da porcentagem de sódio trocável para as profundidades 0-20; 20-40 e 40-60 cm.

Número da amostra	Coordenada		PST		
	X	Y	0-20cm	20-40cm	40-60cm
1	0	0	2,00	1,67	1,21
2	15	0	1,10	1,61	2,43
3	30	0	3,66	3,26	6,88
4	45	0	3,80	1,56	1,06
5	60	0	10,32	11,79	14,19
6	75	0	2,37	1,22	1,65
7	90	0	2,00	2,50	2,51
8	105	0	4,25	1,54	1,10
9	120	0	2,70	1,50	1,08
10	135	0	0,31	0,31	0,31
11	150	0	0,30	0,54	1,67
12	165	0	0,30	0,16	1,49
13	180	0	0,31	0,33	2,13
14	195	0	0,60	1,39	1,99
15	210	0	0,90	0,97	1,21
16	0	10	11,42	9,59	13,86
17	15	10	2,55	1,90	2,27
18	30	10	11,38	17,54	27,76
19	45	10	4,51	7,06	21,59
20	60	10	1,70	1,25	1,21
21	75	10	0,67	0,80	1,07
22	90	10	0,60	0,83	0,88
23	105	10	0,82	1,02	1,45
24	120	10	3,70	3,31	2,27
25	135	10	0,60	0,62	0,87
26	150	10	0,28	0,56	1,27
27	165	10	0,37	0,72	1,13
28	180	10	0,90	0,18	1,74
29	195	10	0,65	1,37	1,82
30	210	10	0,80	1,33	1,07
31	0	20	12,16	18,70	17,02
32	15	20	9,33	14,14	19,47
33	30	20	26,14	26,91	28,21
34	45	20	6,94	4,86	1,95
35	60	20	33,00	43,02	46,11
36	75	20	2,94	2,72	2,69
37	90	20	0,94	1,03	1,27
38	105	20	0,16	0,19	0,78
39	120	20	0,15	0,26	0,64
40	135	20	0,22	0,46	1,59
41	150	20	0,45	0,38	0,32
42	165	20	0,40	0,52	0,68
43	180	20	0,67	1,15	1,74
44	195	20	0,74	0,73	0,73
45	210	20	0,94	0,90	0,87

## APÊNDICE 3 - Continuação

Número da Amostra	Coordenada		PST		
	X	Y	0-20cm	20-40cm	40-60cm
46	0	30	2,66	4,39	8,92
47	15	30	14,19	20,30	24,14
48	30	30	11,30	16,21	25,49
49	45	30	32,22	32,30	34,23
50	60	30	1,88	1,96	2,44
51	75	30	1,58	1,72	1,84
52	90	30	1,14	0,99	0,82
53	105	30	0,47	0,53	0,59
54	120	30	1,79	1,76	1,75
55	135	30	0,37	0,68	1,21
56	150	30	0,31	0,38	0,86
57	165	30	0,12	0,19	0,21
58	180	30	0,95	0,95	0,95
59	195	30	0,36	0,35	0,77
60	210	30	0,33	1,04	1,32
61	0	40	1,00	1,96	4,28
62	15	40	14,52	21,66	28,12
63	30	40	17,05	18,50	18,58
64	45	40	14,47	16,76	24,58
65	60	40	34,13	31,09	28,12
66	75	40	6,09	1,84	1,34
67	90	40	0,37	0,54	0,63
68	105	40	1,42	0,98	0,94
69	120	40	0,14	0,41	1,01
70	135	40	1,04	1,04	2,24
71	150	40	1,44	1,32	1,10
72	165	40	0,20	0,31	1,28
73	180	40	0,12	0,16	0,25
74	195	40	0,20	0,30	0,31
75	210	40	2,46	0,95	0,79
76	0	50	3,79	0,86	0,84
77	15	50	12,66	14,90	22,70
78	30	50	3,75	3,77	10,96
79	45	50	1,47	5,06	24,10
80	60	50	17,19	18,90	19,47
81	75	50	3,59	3,99	2,28
82	90	50	0,42	0,98	1,67
83	105	50	0,25	0,57	0,75
84	120	50	0,31	0,50	0,52
85	135	50	1,19	1,74	1,74
86	150	50	0,51	0,53	0,54
87	165	50	2,05	1,78	1,03
88	180	50	0,27	0,41	0,57
89	195	50	2,42	2,10	0,51
90	210	50	0,47	0,64	0,79

## APÊNDICE 3 - Continuação

Número da Amostra	Coordenada		PST		
	X	Y	0-20cm	20-40cm	40-60cm
91	0	60	1,10	2,04	4,32
92	15	60	18,88	24,55	45,36
93	30	60	5,31	14,46	35,01
94	45	60	10,80	18,30	25,46
95	60	60	34,93	32,02	37,80
96	75	60	9,93	3,12	2,39
97	90	60	1,16	1,81	4,78
98	105	60	0,44	2,20	2,58
99	120	60	2,40	3,02	3,05
100	135	60	0,31	1,49	2,24
101	150	60	0,14	0,17	0,17
102	165	60	1,19	1,91	1,96
103	180	60	0,13	0,40	0,55
104	195	60	0,96	0,98	1,70
105	210	60	2,78	0,22	0,16
106	0	70	0,19	1,20	1,82
107	15	70	0,70	4,72	26,09
108	30	70	1,10	3,08	13,33
109	45	70	0,15	1,51	6,29
110	60	70	21,64	28,86	32,04
111	75	70	1,72	1,76	1,96
112	90	70	1,41	3,13	3,81
113	105	70	1,47	1,77	1,78
114	120	70	0,95	0,98	1,80
115	135	70	3,23	3,13	3,93
116	150	70	0,59	1,15	1,35
117	165	70	0,25	1,14	1,61
118	180	70	2,25	1,52	1,45
119	195	70	0,27	0,27	0,25
120	210	70	2,03	1,84	1,55