



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



DISSERTAÇÃO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

**AVALIAÇÃO E VARIABILIDADE ESPACIAL DE PROPRIEDADES
QUÍMICAS DO SOLO DA “EXTENSÃO MARIA TEREZA”-
PERÍMETRO IRRIGADO SENADOR NILO COELHO, PETROLINA-
PE**

PAULO CÉSAR MOURA DA SILVA

Campina Grande - Paraíba
MARÇO - 2001

**AVALIAÇÃO E VARIABILIDADE ESPACIAL DE PROPRIEDADES
QUÍMICAS DO SOLO DA “EXTENÇÃO MARIA TEREZA” – PERÍMETRO
IRRIGADO SENADOR NILO COELHO, PETROLINA -PE**

PAULO CESAR MOURA DA SILVA
Engenheiro Agrônomo

Dissertação apresentada ao curso de
Pós - Graduação em Engenharia
Agrícola da Universidade Federal da
Paraíba, em cumprimento às exigências
para a obtenção do grau de Mestre em
Ciências (M. Sc.)

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ORIENTADORA: PROFESSORA Dr. LÚCIA HELENA GARÓFALO CHAVES

CAMPINA GRANDE – PB
MARÇO - 2001



FICHA CATALOGRÁFICA

S 586

Silva, Paulo César Moura da.

Avaliação e variabilidade espacial de propriedades químicas do solo da “extensão Maria Tereza” – Perímetro irrigado senador Nilo Coelho, Petrolina – PE. Paulo César Moura da Silva. – Campina Grande: UFPB, 2001.

104 p: il.

Dissertação (Mestrado) – UFPB / DEAG

Inclui Bibliografia.

1. Variabilidade espacial
2. Química do solo.
3. Fertilidade do solo

CDD. 631.67



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

PAULO CÉSAR MOURA DA SILVA

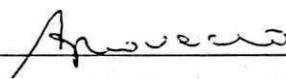
Título: "Avaliação e Variabilidade Especial de Propriedades Químicas do Solo da
"Extensão Maria Tereza"- Perimetro Irrigado Senador Nilo Coelho,
Petrolina, PE".

BANCA EXAMINADORA

PARECER



Prof. Dra. Lúcia Helena G. Chaves-Orientadora






Prof. Dr. João Gil Luna-Examinador





Prof. Dr. Maurício de Oliveira-Examinador



MARÇO - 2001

A minha mãe Magareth Soares de Moura e a meu pai Francisco Albino Filho (in memorian), pela possibilidade de ter chegado até aqui, a meu avô e minha avó maternos Antônio Soares de Moura (in memorian) e Beatriz Bráz dos Santos, pelo carinho que sempre tiveram para comigo e a toda minha família.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder a possibilidade de aprender e viver.

A minha mãe, pois sem o apoio e o carinho da mesma não estaria hoje.

A Isolda Ramalho, pelo apoio nos momentos mais difíceis da vida.

A professora Lúcia Helena Garófolo Chaves, pela amizade, orientação e apoio concedido durante todo o curso.

Aos professores Maurício de Oliveira (ESAM) e João Gil de Luna (UEPB), pela participação na banca examinadora e pelas sugestões fornecidas.

A Companhia Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF), nas pessoas de Valdinei Bezerra Amorim e Maria da Penha, pelo apoio na obtenção de informações fundamentais para a elaboração desta dissertação.

A o professor Eduardo Guimarães Couto, pelas informações iniciais usadas na análise geostatísticas e ao Pesquisador Sidney Rosa Vieira por prestar esclarecimentos de base teórica extremamente importantes.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, cedendo uma de sua bolsas.

Ao amigo e colega de curso Carlos Henrique pela convivência pacífica e fraterna.

Aos Colegas de mestrado pelo companheirismo e convivência cordial, especialmente a Florício Pinto de Almeida, Celso Luiz Borges, Porto Filho, Ermano Falcão, Carlos Alberto, Frederico Loureiro, José Maria.

Aos professores das disciplinas que cursei, pelo desprendimento em ajudar e contribuir para a minha formação profissional e pessoal.

Aos funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade pela realização das análises.

A todos que direta ou indiretamente tomaram possível a elaboração e desenvolvimento deste trabalho.

DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR

Paulo Cesar Moura da Silva, nasceu na cidade de Areia Branca - RN, aos três dias do mês de Fevereiro do ano de 1974, filho de Francisco Albino Filho e Margareth Soares de Moura.

Concluiu a sua formação básica na cidade de origem, sendo o primeiro grau na escola estadual Conselheiro Brito Guerra, e o segundo grau concluído no Centro Educacional Desembargador Silvério Soares, onde obteve o grau de técnico em auxiliar de escritório.

Obteve o título de engenheiro agrônomo pela Escola Superior de Agricultura de Mossoró - RN, no período de 1993 a 1998.

Ingressou no mestrado em Engenharia Agrícola no ano de 1999, na área de concentração Irrigação e Drenagem, na Universidade Federal da Paraíba - Campus II, Campina Grande - PB.

SUMÁRIO

| | Páginas. |
|--|----------|
| LISTA DE FIGURAS | |
| LISTA DE TABELAS | |
| RESUMO | |
| ABSTRACT | |
| 1. INTRODUÇÃO | 14 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 16 |
| 2.1 Propriedades Químicas do Solo | 16 |
| 2.2 Estatística Clássica Aplicada ao Estudo da Variabilidade Espacial do Solo | 20 |
| 2.3 Alguns Fundamentos de Geoestatística | 22 |
| 2.4 Estudos dos Semivariogramas | 25 |
| 2.4.1 Principais Componentes de um Semivariograma | 26 |
| 2.4.2 Modelos Para o Ajuste dos Semivariogramas | 27 |
| 2.5 Interpolação Através da Krigagem | 28 |
| 2.6 Variabilidade Espacial das Propriedades do Solo | 30 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 33 |
| 3.1 Caracterização da Área Experimental | 33 |
| 3.2 Unidade Experimental | 34 |
| 3.3 Análises Realizadas | 34 |
| 3.3.1 pH em Água | 35 |
| 3.3.2 Carbono Orgânico | 35 |
| 3.3.3 Matéria Orgânica | 36 |
| 3.3.4 Fósforo Assimilável | 36 |
| 3.3.5 Cátions Trocáveis | 36 |
| 3.4 Análise Estatística | 37 |
| 3.4.1 Estatística Clássica | 37 |
| 3.4.2 Análise Geoestatística | 38 |
| 4. REULTADOS E DISCUSSÃO | 40 |

| | |
|---|----|
| 4.1 Análise Descritiva dos Dados | 40 |
| 4.2 Análise Geoestatística | 69 |
| 4.2.1 Elaboração dos Mapas de Isolinhas | 82 |
| 5. CONCLUSÕES | 90 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 91 |
| 7. ANEXOS | 99 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página. |
|--|---------|
| Figura 1 - Pontos de coleta das amostras de solo na unidade experimental. | 34 |
| Figura 2 – Histograma do pH correspondente a profundidade de 0-30 cm. | 42 |
| Figura 3 – Histograma do pH correspondente a profundidade 30-60 cm. | 42 |
| Figura 4 – Histograma da matéria orgânica na profundidade de 0 - 30 cm. | 44 |
| Figura 5 – Histograma da matéria orgânica na profundidade de 30 - 60 cm. | 44 |
| Figura 6 – Histograma do fósforo na profundidade de 0-30 cm. | 46 |
| Figura 7 – Histograma do fósforo na profundidade de 30 - 60 cm. | 46 |
| Figura 8 – Histograma do potássio na profundidade de 0-30 cm | 48 |
| Figura 9 – Histograma do potássio na profundidade de 30-60 cm. | 48 |
| Figura 10- Histograma do cálcio na profundidade de 0 - 30 cm. | 49 |
| Figura 11 – Histograma do cálcio na profundidade de 30 - 60 cm. | 50 |
| Figura 12 – Histograma do magnésio na profundidade de 0 - 30 cm. | 51 |
| Figura 13 – Histograma do magnésio na profundidade 30-60 cm. | 52 |
| Figura 14 – Histograma do cálcio mais magnésio na profundidade de 0 - 30 cm. | 53 |
| Figura 15 – Histograma do cálcio mais magnésio na profundidade 30-60 cm. | 54 |
| Figura 16 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de pH na profundidade de 0 - 30 cm. | 55 |
| Figura 17 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de pH na profundidade de 30-60 cm. | 55 |
| Figura 18 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de matéria orgânica na profundidade de 0-30 cm. | 56 |
| Figura 19 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de matéria orgânica na profundidade de 30-60 cm. | 56 |
| Figura 20 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de fósforo na profundidade de 0-30 cm. | 57 |
| Figura 21 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de fósforo na profundidade de 30-60 cm. | 57 |
| Figura 22 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de potássio na profundidade de 0-30 cm. | 58 |

| | |
|--|----|
| Figura 23 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de potássio na profundidade de 30-60 cm. | 58 |
| Figura 24 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de cálcio na profundidade de 0-30 cm. | 59 |
| Figura 25 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de cálcio na profundidade de 30-60 cm. | 59 |
| Figura 26 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de magnésio na profundidade de 0 - 30 cm. | 60 |
| Figura 27 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de magnésio na profundidade de 30 - 60 cm. | 60 |
| Figura 28 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de cálcio mais magnésio na profundidade de 0-30 cm. | 61 |
| Figura 29 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de cálcio mais magnésio na profundidade de 30-60 cm. | 61 |
| Figura 30 – Gráfico “Postplot” dos dados do pH na profundidade de 0-30 cm. | 64 |
| Figura 31 – Gráfico “Postplot” dos dados do pH na profundidade de 30-60 cm. | 64 |
| Figura 32 – Gráfico “Postplot” dos dados da matéria orgânica na profundidade de 0-30 cm. | 64 |
| Figura 33 – Gráfico “Postplot” dos dados da matéria orgânica na profundidade de 30-60 cm. | 65 |
| Figura 34 – Gráfico “Postplot” dos dados de fósforo na profundidade de 0-30 cm. | 65 |
| Figura 35 – Gráfico “Postplot” dos dados de fósforo na profundidade de 30-60 cm. | 65 |
| Figura 36 – Gráfico “Postplot” dos dados de potássio na profundidade de 0-30 cm. | 66 |
| Figura 37 – Gráfico “Postplot” dos dados de potássio na profundidade de 30-60 cm. | 66 |
| Figura 38 – Gráfico “Postplot” dos dados de cálcio na profundidade de 0-30 cm. | 66 |
| Figura 39 – Gráfico “Postplot” dos dados de cálcio na profundidade de 30-60 cm. | 67 |
| Figura 40 – Gráfico “Postplot” dos dados de magnésio na profundidade de 0-30 | 67 |

cm.

| | |
|---|----|
| Figura 41 – Gráfico “Postplot” dos dados de magnésio na profundidade de 30-60 cm. | 67 |
| Figura 42 – Gráfico “Postplot” dos dados de cálcio mais magnésio na profundidade de 0-30 cm. | 68 |
| Figura 43 – Gráfico “Postplot” dos dados de cálcio mais magnésio na profundidade de 30-60 cm. | 68 |
| Figura 44 – Semivariograma do pH na profundidade de 0-30 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância. | 69 |
| Figura 45 – Semivariograma do pH na profundidade de 30-60 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância. | 70 |
| Figura 46 – Semivariograma da matéria orgânica na profundidade de 0-30 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância. | 70 |
| Figura 47- Semivariograma da matéria orgânica na profundidade de 30-60 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância. | 71 |
| Figura 48 – Semivariograma do fósforo na profundidade de 0-30 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância. | 71 |
| Figura 49 – Semivariograma do fósforo na profundidade de 30-60 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância. | 72 |
| Figura 50 – Semivariograma da potássio na profundidade de 0-30 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância. | 72 |
| Figura 51 – Semivariograma do potássio na profundidade de 30-60 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância. | 73 |
| Figura 52 – Semivariograma do cálcio na profundidade de 0-30 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância. | 73 |
| Figura 53 – Semivariograma do cálcio na profundidade de 30-60 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância. | 74 |
| Figura 54 – Semivariograma do magnésio na profundidade de 0-30 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância. | 74 |
| Figura 54 – Semivariograma do magnésio na profundidade de 0-30 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância. | 75 |
| Figura 56 – Semivariograma do cálcio mais o magnésio na profundidade de 0-30 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância. | 75 |

| | |
|--|----|
| Figura 57 – Semivariograma do cálcio mais o magnésio na profundidade de 30-60 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância. | 76 |
| Figura 58 – Mapa de isolinhas para o pH na profundidade de 0-30 cm. | 83 |
| Figura 59 – Mapa de isolinhas para o pH na profundidade de 30-60 cm. | 83 |
| Figura 60 – Mapa de isolinhas para a matéria orgânica na profundidade 0-30 cm. | 84 |
| Figura 61 – Mapa de isolinhas para a matéria orgânica na profundidade 30-60 cm. | 84 |
| Figura 62 – Mapa de isolinhas para o fósforo na profundidade de 0-30 cm. | 85 |
| Figura 63 – Mapa de isolinhas para o fósforo na profundidade de 30-60 cm. | 85 |
| Figura 64 – Mapa de isolinhas para o potássio na profundidade de 0-30 cm. | 86 |
| Figura 65 – Mapa de isolinhas para o potássio na profundidade de 30-60 cm. | 86 |
| Figura 66 – Mapa de isolinhas para o cálcio na profundidade de 0-30 cm. | 87 |
| Figura 67 – Mapa de isolinhas para o cálcio na profundidade de 30-60 cm. | 87 |
| Figura 68 – Mapa de isolinhas para o magnésio na profundidade 0-30 cm. | 88 |
| Figura 69 – Mapa de isolinhas para o magnésio na profundidade 30-60 cm. | 88 |
| Figura 70 – Mapa de isolinhas para o cálcio mais o magnésio na profundidade 0-30 cm. | 89 |
| Figura 70 – Mapa de isolinhas para o cálcio mais o magnésio na profundidade 0-30 cm. | 89 |

LISTA DE TABELAS

Página

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Resultados da estatística clássica dos valores de pH e teores de matéria orgânica (M.O), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e cálcio mais magnésio (Ca+Mg) nas duas profundidades. | 41 |
| Tabela 2 – Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas e relação efeito pepita/patamar, expresso em percentagem, para todas as variáveis químicas, nas profundidades de 0-30 e de 30-60 cm. | 77 |
| Tabela 4 – Equações ajustados aos semivariogramas experimentais de todas as variáveis químicas estudadas na profundidade de 0-30 cm. | 80 |
| Tabela 5 – Equações ajustados aos semivariogramas experimentais de todas as variáveis químicas estudadas na profundidade de 30-60 cm. | 81 |

1. INTRODUÇÃO

Os solos por serem corpos tridimensionais, formados pela ação de vários fatores, apresentam uma grande variabilidade nas suas propriedades, sejam estas químicas ou físicas, tanto durante um intervalo qualquer de tempo quanto como em um determinado espaço analisado.

A produtividade agrícola de uma determinada área é influenciada, dentre outros fatores, pelas propriedades químicas dos seus solos, as quais por sua vez, influenciam na fertilidade dos mesmos.

Os solos podem ser naturalmente férteis ou se tornarem férteis através de um manejo adequado. Para tal, é necessário se conhecer e quantificar a variação das suas propriedades químicas, tanto horizontal como verticalmente uma vez que, os solos por serem sistemas dinâmicos e abertos, estão em constante modificação e por isso constituem corpos heterogêneos. Dessa forma, pode-se dizer que, por mais homogêneo que seja um determinado solo na sua aparência, no mesmo podem ser detectadas variações em relação às propriedades químicas que afetam seu nível de fertilidade (Oliveira, 1998). Isso reforça a necessidade de se conhecer essas variações.

O estudo das variações espaciais das propriedades químicas dos solos pode ser feito pelo uso de técnicas estatísticas descritivas (geral e espacial) e geoestatística.

As técnicas estatísticas descritivas utilizam variáveis observadas e ditas independentes para descrever a variabilidade do solo. Porém, verifica-se uma relação de interdependência entre as propriedades dos solos, quando estudadas de forma unificada em um determinado local. Essas técnicas não levam em consideração a estrutura espacial

existente nos solos amostrados. É neste contexto que a geoestatística se faz necessária com o objetivo de verificar a relação que há entre as várias amostras de uma mesma área usando o estudo de variáveis regionalizadas e sazonalizadas. Atualmente ela tem sido utilizada em diferentes tipos de estudos, principalmente naqueles que estejam de acordo com o conceito de agricultura de precisão (Silva, *et al.*, 2000)

Recentemente o Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, localizado no município de Petrolina, PE, teve sua extensão ampliada através da incorporação de uma nova área, nunca antes explorada, que recebeu o nome "Extensão Maria Tereza", a qual já está sendo utilizada para a produção agrícola.

Considerando o que foi exposto acima e sabendo-se que não existe nenhum estudo sobre a área "Extensão Maria Tereza", o presente trabalho teve por objetivos avaliar as propriedades químicas relacionadas à fertilidade do solo da referida área e a sua variabilidade espacial.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

As condições que os solos têm de reagirem quimicamente com outros componentes e com os seus próprios constituintes faz com que apresentem propriedades essenciais ao desenvolvimento de uma agricultura auto-sustentável e dinâmica uma dessas propriedades é a reação do solo, a qual exerce influência nas condições físicas, químicas e biológicas do solo, e expressa em que condições o solo se encontra em termos de acidez ou alcalinidade.

A reação do solo é avaliada através do pH do solo o qual influencia a disponibilidade de nutrientes às plantas e, conseqüentemente, a produção agrícola. Por outro lado, são vários os fatores que influenciam nos valores do pH do solo, como por exemplo, o teor de água no solo, a natureza e proporção dos sais em solução e a concentração de CO₂ na atmosfera e no solo (Moniz, 1972).

Segundo Chaves *et al.* (1998) quando o pH é ligeiramente alcalino, tendendo a alcalino, o desenvolvimento das culturas pode ser prejudicado devido a baixa disponibilidade do fósforo e/ou dos micronutrientes como ferro, manganês, cobre e zinco.

A presença de matéria orgânica nos solos é importante, principalmente no que diz respeito à sua influência nas propriedades coloidais dos solos e à sua contribuição para a fertilidade dos mesmos.

A reserva de carbono do solo é variável em função da quantidade e taxa de decomposição da matéria orgânica, da quantidade de resíduos que retornam ao solo, das raízes das plantas e da intensidade da perturbação ou revolvimento a que o solo está submetido (Anderson & Flanagan, 1989).

Em determinados ecossistemas naturais a retirada da vegetação e introdução da agricultura com intensa perturbação do solo, pode a longo prazo, reduzir grande parte das reservas de carbono e nitrogênio (Duxbury *et al.* 1989), acarretando o empobrecimento do solo.

Sisti *et al.* (2000) estudando a variação de carbono e nitrogênio sob condições de plantio direto ou convencional, observaram que nas condições estudadas, o sistema plantio direto embora tenha promovido maior acúmulo de "C" e "N" no solo, ainda está longe de recuperar os teores originais da matéria orgânica do solo. Demonstraram ainda a necessidade de mais pesquisas para o desenvolvimento de sistemas de manejo mais conservacionista, apoiando-se em técnicas adequadas, que além de terem importância econômica, contribuem para a preservação da capacidade produtiva do solo em equilíbrio com o meio ambiente.

Além da reação do solo e da matéria orgânica, faz-se importante o estudo, a avaliação e quantificação dos elementos químicos presentes nos solos, com o intuito de melhorar as áreas já cultivadas, bem como possibilitar a incorporação de outras para a exploração agrícola.

O fósforo é o macronutriente exigido em menor quantidade pelas plantas, não obstante, devido sua baixa disponibilidade nos solos brasileiros, trata-se do nutriente mais usado em adubação no Brasil. Esse elemento pode ser encontrado nos solos nas formas orgânica e inorgânica, sendo muito variável a proporção em que elas ocorrem. Geralmente, o conteúdo de fósforo orgânico aumenta com o aumento da matéria orgânica e com a diminuição do pH (Coelho, 1973).

Segundo Raij (1991) o fósforo orgânico do solo ocorre proporcionalmente aos teores da matéria orgânica do solo, podendo-se citar a relação carbono/fósforo de 50:1 como ordem de grandeza.

Estudos feitos por Cavalcanti *et al.* (2000) sobre a fertilidade dos solos do Estado de Pernambuco demonstraram que nenhuma das amostras analisadas apresentou teor elevado de fósforo. Excetuando a mesorregião do Rio São Francisco, em 75% ou mais dos casos, as concentrações encontradas desse elemento foram baixas.

Scivittaro *et al.* (1997) estudando a eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados no solo concluíram que doses crescentes de fosfatos adicionados ao solo promoveram aumentos lineares na produção de matéria seca e quantidade de fósforo na cultura do milho.

Os ganhos na produção das mudas de eucalipto cultivadas na região do cerrado foram altamente correlacionados com a absorção de fósforo e potássio, (Gava *et al.*, 1997).

Segundo Sharpley *et al.* (1988) pode ocorrer um aumento do teor de fósforo na solução de solos sódicos, quando a saturação por sódio no complexo de troca aumentar.

A capacidade de troca catiônica (CTC) corresponde à capacidade que um solo possui em adsorver cátions e conseqüentemente trocá-los com aqueles da solução do solo. É uma das propriedades mais importantes dos solos uma vez que influencia as propriedades físicas e químicas dos solos, bem como a liberação de nutrientes para as plantas. Os cátions trocáveis mais comuns nos solos são: potássio, cálcio, magnésio sódio, e amônio (Oliveira, 1998).

O potássio é um elemento muito abundante em rochas e em solos. Os teores em solos bem supridos desse elemento podem superar 1% da massa total destes solos, sendo que grande parte desse potássio encontra-se em minerais que contém o elemento nas estruturas cristalinas (Raij, 1991).

O potássio solúvel é aquele que passou para a solução do solo, aí ficando na forma iônica (Catani, 1954). A concentração do mesmo varia de um solo para o outro, dependendo do material originário, da quantidade de potássio trocável, do tipo de argila, do teor de umidade do solo, da intensidade de lavagem e da retirada por parte dos vegetais, das espécies e concentração de outros íons presentes no solo (Mello *et al.*, 1989).

Couto *et al.* (2000) estudando o teor de argila e de potássio trocável em solos do Estado do Mato Grosso, constaram que o potássio trocável foi mais influenciado pelas diferentes classes de solos do que pelos diferentes usos da terra e pelas práticas de manejo adotadas.

Várias pesquisas têm revelado que os teores de potássio dos solos são baixos em relação às necessidades da maioria das culturas (Lopes & Cox, 1977; Goedert, 1983; Couto *et al.*, 1990; Couto, 1997).

Os solos das regiões áridas e semi-áridas, em geral, possuem níveis mais altos de potássio do que àqueles das regiões úmidas onde ocorre lixiviação do elemento pelas águas da chuva e no processo de podzolização. Nas regiões áridas verifica-se, também, que os teores desse elemento nos horizontes superficiais são iguais ou mais altos que àqueles dos horizontes subsuperficiais (Jorge, 1969).

O cálcio é um elemento de ocorrência generalizada na natureza. No entanto, existem muitos solos pobres em cálcio disponível para as plantas, geralmente solos ácidos (Oliveira, 1998).

Mello *et al.* (1989) afirmam que o cálcio é um dos elementos mais importantes na nutrição das plantas, principalmente como constituinte de corretivos e de adubos. O cálcio tem sua origem nas rochas ígneas, estando contido nos minerais, como dolomita, apatita, feldspatos cálcicos e anfibólios que ocorrem também em rochas sedimentares e metamórficas. Em solos ácidos de climas úmidos, esses minerais são intemperizados e o cálcio é em parte perdido por lixiviação (Raij, 1991).

Os solos de regiões áridas e semi-áridas geralmente apresentam altos valores de cálcio, qualquer que seja a sua textura. É o resultado da baixa precipitação e pequena lixiviação a que estão sujeitos (Oliveira, 1998).

O cálcio trocável é aquele constituído pelos íons de Ca^{++} adsorvidos aos colóides do solo e que está disponível às plantas, embora essa disponibilidade varie com o tipo de colóide. Como por exemplo, um solo rico em montmorilonita saturada de cálcio, libera esse nutriente com dificuldade à medida em que a saturação vai diminuindo. Portanto, pode-se afirmar que, quanto maior for a saturação em cálcio dos colóides, mais facilmente esse nutriente será cedido às plantas e vice-versa, independentemente da quantidade de cálcio trocável (Mello *et al.*, 1989).

Em condições áridas e semi-áridas o cálcio, em grande parte, é substituído pelo sódio, o que determina o aparecimento de condições alcalinas. Isso conduz à sensíveis alterações físicas, químicas e biológicas no solo (Mello *et al.*, 1989).

O magnésio no passado teve pouca atenção como um componente da fertilidade do solo, no entanto, com o avanço da agricultura, o estudo desse elemento tornou-se importante (Mello *et al.*, 1989).

O magnésio ocorre em forma catiônica nos solos, ou seja, Mg^{++} (Oliveira, 1998) e tem comportamento semelhante ao do cálcio. A origem é também em rochas ígneas e os principais minerais que o contém são a biotita, dolomita, clorita,

serpentina e olivina. Uma diferença importante entre o cálcio e o magnésio, é que o magnésio faz parte da estrutura de minerais de argila, ocorrendo em illita, vermiculita e montmorilonita (Raij, 1991).

Nos solos o teor de magnésio depende da textura, lixiviação que o mesmo tenha sofrido, do material original, remoção pelas colheitas e erosão. Como íon trocável este elemento ocorre nos solos numa proporção de 5 a 10 % do teor dos elementos existentes no mesmo (Mello *et al.*, 1989).

Em geral os solos arenosos, ácidos de regiões úmidas são os mais pobres em magnésio. Já os solos das regiões áridas e semi – áridas, formados de materiais ricos em magnésio, são os que possuem teores mais altos deste elemento (Oliveira, 1998).

A interação entre os fatores que afetam as propriedades químicas do solo, por ser fundamental no desenvolvimento de culturas, faz com que o estudo destas propriedades se torne importante.

2.2 ESTATÍSTICA CLÁSSICA APLICADA AO ESTUDO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DO SOLO

A estatística clássica atualmente é empregada em praticamente todas as áreas do conhecimento humano, tendo se tomado uma poderosa ferramenta no planejamento de experimentos, organização, apresentação e análise de dados, permitindo a dedução de conclusões válidas, para um dado nível de confiança, e auxiliando na tomada de importantes decisões (Queiroz *et al.*, 1997).

As estatísticas descritivas resumem o comportamento geral dos dados a serem analisados, sendo representadas por meio de medidas de posição e de variabilidade. As medidas de posição são utilizadas para representar um determinado fenômeno por meio de valores em torno dos quais tende haver uma maior concentração dos dados observados (Fonseca & Martins, 1993).

As três medidas de posição mais utilizadas para determinar a tendência central de um conjunto de dados são média aritmética, moda e a mediana. Em uma distribuição normal, como os dados são simétricos em torno de um valor central, a média, a moda e a mediana, são coincidentes, podendo-se utilizar a média como medida de posição representativa dos dados.

Os quartis são considerados também como medidas de posição, os quais dividem o conjunto de dados em quatro partes iguais (Costa Neto, 1997).

Por outro lado, sendo a distribuição assimétrica, como é o caso de dados com distribuição do tipo log-normal, por exemplo, é preferível usar a mediana, por tratar-se de uma medida resistente à influência de valores extremos (Parkin & Robinson, 1992).

Queiroz *et al.* (1997) afirmam que no estudo de dados, as medidas clássicas de variabilidade mais utilizadas são: a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

O coeficiente de variação dá uma idéia de precisão de um experimento quando se considera igualdade de condições, como por exemplo a igualdade do número de repetições (Gomes, 1990).

Embora o coeficiente de variação seja amplamente utilizado para expressar a magnitude da variabilidade de um conjunto de dados, ele nada informa sobre o comportamento espacial da variável analisada. Isto se deve ao fato de que nas análises descritivas, os pontos são considerados independentes e aleatoriamente distribuídos, ou seja, a posição espacial de cada ponto não é levada em consideração. Por isso a relação entre estes pontos, em um determinado espaço ocupado pelos mesmos, não pode ser identificada. Para tal é necessário utilizar as técnicas descritivas espaciais (Oliveira, 1998).

Os testes analíticos para verificação de normalidade são mais precisos (Sousa, 1998). O teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), conforme Costa Neto (1997), é bastante rigoroso e de uso freqüente, consistindo no cálculo das diferenças entre as probabilidades da variável normal reduzida a as probabilidades acumuladas dos dados experimentais. A maior diferença, em módulo, é comparada com um valor tabelado. Se o valor calculado for menor que o tabelado a distribuição experimental é aceita como aderente à distribuição normal. Os valores de tabela são dados para os níveis de 1 e 5% de probabilidade até o número (n) de 50 amostras. Para $n > 50$ calcula-se KS pela equação:

$$KS = \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{p}{2}\right)}{2n}}$$

onde,

KS - diferença máxima admitida entre a curva experimental e a teórica;

p - nível de significância escolhido;

n - número de dados amostrados.

Se a distribuição da população for normal, a distribuição amostral provavelmente também o será, sendo média aritmética amostral um estimador da média da população. Entretanto, a precisão dessa estimativa depende do grau de variabilidade das propriedades dos solos. Para dar idéia do possível erro da estimativa, a média é acompanhada de medidas de dispersão tais como desvio padrão, variância e coeficiente de variação (Sousa,1998). Porém quanto maior a variabilidade, indicada por estas medidas, maior a imprecisão da média como estimador (Trangmar *et al.* 1985).

Para analisar a distribuição espacial de um conjunto de dados podem ser utilizados recursos gráficos como histogramas, "boxplot" ou "datapost" e "post plot" (Ribeiro Júnior,1995).

Os histogramas dão uma primeira visão sobre o comportamento do fenômeno como um todo e permite observar detalhes como: simetria, distribuição, observações perturbadoras, concentrações e lacunas nos dados (Queiroz *et al.*, 1997).

Outro gráfico muito utilizado é o "post plot", em que as amostras são localizadas pelas suas coordenadas (Oliveira, 1998).

Embora estes métodos estatísticos permitam inferir sobre a variabilidade do solo (vertical e horizontal), a dependência espacial entre as amostras pode e deve ser modelada por meio da geoestatística (Webster, 1985).

2.3 ALGUNS FUNDAMENTOS DE GEOESTATÍSTICA

A geoestatística surgiu com o objetivo de estudar os fenômenos ligados a mineração, tendo sido desenvolvida mais especificamente entre 1957 e 1962 por um pesquisador chamado George Matheron, tornando-se um critério científico e moderno no estudo dos fenômenos naturais.

Segundo Guerra (1988) o estudo da geoestatística está baseado na teoria das variáveis regionalizadas (V.R.), entendendo como tal uma função que varia de um lugar a outro com certa aparência de continuidade. Isto é, são variáveis cujos valores são relacionados de alguma maneira com a posição espacial que ocupam.

Sousa (1998), ressalta que a variável regionalizada precisa ser localizada dentro de um corpo homogêneo, tal corpo pode apresentar variabilidade distinta conforme a direção de amostragem.

Os pontos, de onde são retiradas as amostras, devem invariavelmente, ter suas localizações conhecidas, seja por coordenadas cartesianas (x e y) ou coordenadas geográficas (Latitude e Longitude). Mediante essas informações, juntamente com os valores de teores ou cotas das variáveis em estudo, iniciam-se os cálculos dos parâmetros usados em geoestatística.

A geoestatística atualmente tem sido fundamental no estudo de diversas variáveis ligadas à agricultura, tais como a umidade do solo, o percentual de areia, silte e argila, umidade gravimétrica e assim sucessivamente; é também usada no estudo da evolução do lençol freático e dos níveis de poços em regiões semi-áridas. Porém o uso que mais se aproxima do seu objetivo fundamental é o levantamento dos teores de minerais nos solos.

Sendo assim, a geoestatística tem sido muito utilizada no levantamento da fertilidade do solo, avaliação do grau de salinidade de áreas irrigadas, também em estudos científicos que estejam de acordo com o conceito de agricultura de precisão (Silva *et al.*, 2000) e na elaboração de mapas de isolinhas. Neste caso a interpolação dita ótima é denominada krigagem.

Segundo Couto & Mello (2000) a geoestatística tem mostrado grande utilidade para caracterizar e mapear as variações dos atributos do solo com diversos propósitos e escalas de trabalho. Os procedimentos mais comuns incluem a caracterização e o modelamento de variáveis espaciais por meio de estimativas dos valores dos locais não visitados, simulações espaciais e otimização dos esquemas de amostragens (Cambardella *et al.*, 1994)

No entanto para um correto uso das ferramentas da geoestatística, tais como semivariograma e interpolação por meio de krigagem, segundo Trangmar *et al.* (1985) e Vieira *et al.* (1997), algumas condições devem ser satisfeitas. A primeira delas

refere-se a estacionaridade de primeira ordem que exige que o valor esperado da variável regionalizada $Z(x)$ seja o mesmo em toda área S , ou seja:

$$E [Z (x)] = m ; \forall x \in S$$

e que

$$E [Z (x) - Z (x + h)] = 0 \quad \forall x \in S$$

onde "h" é a distância dos dois pontos amostrais.

A segunda condição refere-se a estacionaridade de segunda ordem, que ocorre quando a covariância espacial, $C(h)$, entre duas realizações de $Z(x)$, separados por uma distancia "h" é a mesma em toda a área de estudo independentemente da posição, sendo função apenas de "h".

$$C (h) = E [Z (x) - m | Z (x + h) - m] ; \forall x \in S$$

Quando os valores da variância (S^2) e da covariância espacial $C(h)$ não atingem níveis iguais, como no caso de fenômenos com tendência, como por exemplo, precipitação em regiões semi-áridas ou amostras de solos retiradas em locais com uma alta concentração de algum nutriente, Vieira (1998) afirma que uma condição menos restrita pode ser assumida. Essa condição trata-se da hipótese intrínseca que requer estacionaridade da incremento $Z(x)$ e da variância para o incremento $Z(x) - Z(x+h)$ independente da posição na área, para toda a distância "h". Esta variância pode ser expressa pela equação a seguir.

$$\text{VAR} [Z (x) - Z (x + h)] = E \{ [Z (x + h)]^2 \}$$

$$\forall x \in S$$

O emprego de estimativas da variabilidade espacial é adequado mesmo quando a variável em estudo apresenta valores discrepantes. Assim sendo, pode-se ajustar e validar modelos, interpolar valores e produzir mapas temáticos sem a necessidade de questionar os pressupostos necessários ao emprego de um estimador clássico (Silva *et al.*, 2000).

Caso seja aceita a hipótese intrínseca somente o semivariograma deve ser usado; caso isto não ocorra, há a possibilidade do uso do autocorrelograma, tendo que satisfazer também a condição de estacionaridade de ordem dois dos dados.

2.4 ESTUDO DOS SEMIVARIOGRAMAS

Segundo Guerra (1988) o semivariograma, em termos práticos, é a ferramenta matemática que permite estudar a dispersão natural da V.R. em uma determinada área, mostrando o grau de continuidade da variável. Em outras palavras, ele possibilita analisar o grau de dependência espacial entre as amostras dentro de um campo, bem como determinar a distância a partir da qual as amostras são consideradas independentes. Por definição, é a metade da esperança matemática da diferença quadrática entre os pares de observações separadas por uma distancia (h) (Oliveira,1998).

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

Por definição temos que:

$$2\gamma(h) = \frac{1}{n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [x(Z_i) - x(Z_i + h)]^2$$

Dividindo os dois membros da equação por dois temos.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [x(Z_i) - x(Z_i + h)]^2$$

Onde:

$x(Z_i)$ é o valor da variável no ponto Z_i .

$x(Z_i+h)$ é o valor da variável no ponto Z_i+h .

$n(h)$ é o número de pares distanciados a um espaço h.

Graficamente, o semivariograma consiste na representação dos valores da função semivariância (as vezes denominado como função "gama G") em ordenadas frente aos valores da distância entre os pontos experimentais (h) na abcissa (Saa, 1992).

Segundo Guerra (1988), os variogramas ou semivariogramas são divididos em três: "semivariograma observado", é aquele obtido a partir das amostras retiradas em campo; "semivariograma verdadeiro", é aquele real do depósito, sendo este

sempre desconhecido, e por fim o “semivariograma teórico”, ou seja, é aquele de referência que será comparado ao observado.

Os semivariogramas podem ser definidos como uma função positiva e simétrica, como especificado abaixo, sendo válido somente nestas condições; caso a função não cumpra tais condições, a mesma não será válida.

$$\gamma(h) = \gamma(-h)$$

$$\gamma(0) = 0, \gamma(h) \geq 0$$

2.4.1 Principais Componentes do Semivariograma.

Os semivariogramas possuem três parâmetros fundamentais que permitem a análise mais apurada da distribuição espacial em uma determinada área, que são o efeito pepita, o alcance e a componente espacial.

Como a função semivariância quantifica a dessemelhança entre os pontos, ao contrário da correlação, os pontos do semivariograma começam com um baixo valor, denominado efeito pepita ou "nugget effect" que é costumeiramente representado por "C₀" (Queiroz *et al.*, 1997). Esse efeito reflete a variabilidade não explicada ou variação não detectada em função da distância da amostragem utilizada.

Segundo Guerra (1988) é atribuído ao efeito de pepita às variações locais ou em pequena escala, como erros de análise, amostragem, etc.

O valor do alcance "a" (range, portee) indica a zona de influência de uma amostra, ou seja, define a distância máxima até onde o valor de uma variável possui relação de dependência espacial com o seu próximo (Guerra, 1988). Dessa forma, o valor de alcance de uma determinada variável garante que todos os pontos vizinhos, situados dentro de um círculo com esse raio, são tão semelhantes que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (Vieira & Lombardi Neto, 1995). As observações separadas por distâncias acima do alcance não estão correlacionadas entre si e a partir daí os dados podem ser tomados como independentes.

A variância de dispersão ou componente espacial, segundo Guerra (1988) representa as diferenças espaciais entre os valores de uma variável tomada em dois pontos separados por distâncias cada vez maiores, geralmente representado por "C".

O somatório do efeito pepita com o componente espacial denominado patamar " $C_0 + C$ ", representa o valor no qual a variância dos pontos atinge a estabilidade.

A porcentagem do efeito pepita em relação ao patamar, ou seja, $[(C_0 / C_0 + C_1) \times 100]$, indica o grau de dependência espacial das variáveis estudadas (Trangmar *et al.*, 1985).

Conforme Cambardella *et al.* (1994), a dependência espacial é classificada como forte, moderada ou fraca quando a relação percentual efeito pepita/patamar for menor que 25%, estiver entre 25 e 75% e for maior que 75%, respectivamente.

Segundo Guerra (1988), através dos componentes dos semivariogramas também é possível se conhecer o grau de casualidade ou aleatoriedade da semivariância que consiste em dividir o valor do efeito pepita pelo valor da componente espacial (C_0/C). Quando o resultado dessa relação estiver compreendido entre 0 e 0,15 considera-se a semivariância pouco significativa com relação a aleatoriedade, entre 0,15 e 0,30 significativa e acima de 0,30 muito significativa.

2.4.2 Modelos Para o Ajuste Dos Semivariogramas.

O ajuste do modelo de semivariograma aos dados experimentais é um procedimento de grande importância, principalmente quando se deseja realizar interpolações na área em estudo (Guimarães, 1993).

Os modelos básicos usados em geoestatística juntamente com as equações correspondentes, são:

- a) Modelo Linear com patamar.

$$\gamma(h) = C_0 + C \left(\frac{h}{a} \right), \text{ com } 0 < h < a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C, \text{ com } h > 0$$

- b) Modelo esférico.

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

$$\gamma(h) = C_0 + C, h \geq a$$

c) Modelo Exponencial

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right) \right], h \geq 0$$

d) Modelo Gaussiano

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

e) Modelo potencial

$$\gamma(h) = C_0 + bh^\lambda, h \geq 0; C_0 \geq 0, b \geq 0; 0 \leq \lambda < S$$

Onde:

C_0 - Efeito Pepita

C - variância espacial

"a" - alcance da dependência espacial

h - distancia de separação entre dois pontos consecutivos.

2.5 INTERPOLAÇÃO ATRAVÉS DA KRIGAGEM

Quando realizado o estudo de dependência espacial entre as amostras, pode-se promover a interpolação através da krigagem, denominada desta forma por Matheron (1963) em homenagem ao pesquisador Sul - africano Krige.

A krigagem é uma ferramenta de interpolação para estimar os valores de uma característica estudada em locais não amostrados a partir de seus vizinhos, resultantes da amostragem realizada. A partir desses valores, podem ser estabelecidos os mapas de isolinhas.

Segundo a descrição de Guerra (1988) os mapas de isolinhas baseiam-se na regra das trocas graduais e são bastante usados para ilustrar graficamente propriedades físicas e químicas dos solos. Afirma ainda que as isolinhas são curvas que ligam pontos de igual valor.

Os mapas de isolinhas, que refletem as condições de campo próximas às reais, além de terem grande utilidade no planejamento experimental (Souza, 1992), são

importantes porque dão subsídio ao planejamento visando o manejo mais adequado de uma determinada área, tanto no aspecto de correção de problemas no solo quanto ao aspecto de adubação, permitindo uma melhor distribuição dos produtos a serem utilizados, evitando assim, custos adicionais aos proprietários e empresas envolvidas (Oliveira, 1998).

O conhecimento destes mapas permite a utilização e adequação da área ao conceito de agricultura de precisão. Este processo consiste na junção dos conhecimentos das características do solo com equipamentos que as corrijam ou que as quantifiquem adequadamente.

Queiroz *et al.* (1997), afirmam ainda que a literatura pertinente a esta técnica está descrita em Journel & Huijbregts (1978), Isaak & Srivastava (1989) e Vieira *et al.* (1983).

A forma mais eficiente de se visualizar uma área que possua variabilidade espacial comprovada é mediante a interpolação pelo método da Krigagem.

Atualmente, usando programas computacionais, há a possibilidade da utilização dos estimadores para efetuarem a interpolação. Segundo Vieira (1995), a estimativa de valores medidos, considerando que a mesma deva ser uma combinação linear dos valores observados, pode ser feita pela seguinte equação:

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(X_i)$$

em que "N" é o número de valores medidos, $Z(X_i)$, envolvidos na estimativa, e λ_i são os pesos associados a cada valor medido, $Z(X_i)$.

As condições para que um estimador seja aceito, o mesmo não pode ser tendencioso e deve ter variância mínima (Vieira, 1995). Matematicamente tem-se.

$$E = \{Z^*(X_0) - Z(X_0)\} = 0$$

e

$$VAR = \{Z^*(X_0) - Z(X_0)\} = E \{ [Z^*(X_0) - Z(X_0)]^2 \} = \text{mínimo}$$

A combinação de não - tendência significa que, em média, a diferença entre os valores estimados e os medidos deve ser mínima.

2.6 VARIABILIDADE ESPACIAL DAS PROPRIEDADES DO SOLO

A variabilidade das propriedades físico-químicas do solo é devido aos fatores de formação e manejo dos mesmos (Gonçalves *et al.*, 2000) e segundo Sousa (1998), tem implicações no que diz respeito às fertilizações, calagem, recuperação, aplicação de lâminas de irrigação e espaçamento entre drenos, já que as recomendações técnicas para essas práticas estão baseadas em valores médios das análises de solo.

Segundo Albuquerque *et al.* (1994), não só as práticas agrícolas, mas a interpretação de resultados experimentais, podem ser comprometidas pela variabilidade do solo.

Existem dois tipos de variabilidade: ao acaso e sistemática (Couto *et al.*, 2000). A variabilidade ao acaso ocorre sem nenhuma causa específica, ao contrário da variabilidade sistemática que é devido a uma causa conhecida e específica. A variabilidade sistemática dos solos não modificados pelo uso deve ser maior do que a variabilidade ao acaso, entretanto, a relação entre as duas variabilidades depende da escala considerada (Upchurch & Edmonds, 1991).

O estudo clássico da variabilidade do solo consiste em estimar a variância e o coeficiente de variação (CV) das amostras de solo, a fim de se estabelecer classes de variação aceitáveis para as medidas e critérios utilizados para a rejeição de locais experimentais e até mesmo de resultados obtidos (Reichardt *et al.* 1986). Do ponto de vista clássico, Warrick & Nielsen (1980) classificaram a variabilidade do solo em baixa ($CV < 12\%$), média ($12\% < CV < 62\%$) e alta ($CV > 62\%$).

Pesquisas de campo têm mostrado a importância do estudo das variações das condições do solo como aspecto fundamental para se implementar uma agricultura mais eficiente e rentável. E, segundo Coelho (1983), com exceção do pH dos solos, as propriedades químicas apresentam maior variação do que as propriedades físicas dos solos.

Ball & Williams (1968) estudando a variabilidade das propriedades químicas de solos não cultivados, observaram que o CV para a maioria delas ficou em torno de 33%, o que os levou a concluir que, em qualquer estudo pedológico e ecológico, é indispensável considerar quantitativamente a variabilidade espacial, para uma melhor compreensão das observações realizadas.

As maiores variabilidades medidas por meio do CV, observadas por Souza *et al.* (1998), foram para o fósforo e potássio. Além disso, houve uma tendência de os valores desses nutrientes seguirem uma distribuição lognormal, tendo a matéria orgânica apresentado distribuição normal. Segundo esses autores, a análise de dependência espacial mostrou correlação espacial para as propriedades do solo analisadas.

Estudando a variabilidade espacial do pH, cálcio, potássio e magnésio, tendo como base amostras de solo de uma área recém incorporada à agricultura, Santos e Vasconcelos (1987), encontraram coeficientes de variação de 2,9%, 67,8%, 31,3 e 51,4%, respectivamente.

Berg & Klant (1997) estudando a variabilidade espacial das características do solo no Rio Grande do Sul, verificaram uma maior variância do pH à curtas distâncias; no caso do estudo foi de 50 m, e esta característica foi relacionado a não distribuição homogênea de calcário nas áreas estudadas.

Souza *et al.* (1997) estudando a variabilidade espacial das propriedades químicas do solo em um pomar de citros, encontraram os maiores CV para o potássio e fósforo e os menores CV para a porcentagem de saturação por bases (V) e pH. As demais propriedades apresentaram valores médios de CV. Com exceção de V, as demais propriedades mostraram dependência espacial com alcance variando de 18 a 59m. Esses mesmos autores observaram uma distribuição normal dos dados de fósforo e uma distribuição lognormal para as demais propriedades analisadas.

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

Quando Souza *et al.* (1999) estudaram a variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área experimental no sul do país, encontraram um modelo esférico para o potássio com uma porcentagem efeito pepita / patamar de 21%. Constataram também, que a matéria orgânica obteve uma correlação espacial média, com uma porcentagem da relação efeito pepita/patamar de 39 %, e com um modelo ajustado ao semivariograma do tipo linear. Verificaram ainda, que os teores de matéria

orgânica enquadravam-se nas faixas consideradas alta ou muito alta, estando adequando para cultivo de plantas.

Oliveira (1998) estudando a variabilidade espacial de cálcio em solo salino sódico no nordeste do Brasil, ajustou para tal variável um modelo teórico de semivariograma esférico, com um efeito pepita de 0,20, patamar em torno de 1,35 e uma alcance de 27 metro; a porcentagem do efeito pepita com relação ao patamar obteve um valor próximo a 15%. Os valores de cálcio obtidos pela interpolação através da krigagem dos dados, no mesmo trabalho, variaram de 0,00 a 4,80 cmol_c/kg. Da mesma forma foi ajustado um modelo esférico aos valores de potássio, apresentando os valores de 0,003, 0,015 e 25 para o efeito pepita, efeito pepita/patamar e alcance, respectivamente. Já para a variável magnésio, o modelo ajustado foi o linear com os valores do efeito pepita e patamar de 0,30, 0,90 respectivamente, medidos em cmol_c/kg, e do alcance de 23 m.

Bhatti *et al.* (1991), encontraram importantes correlações entre produção de trigo, teor de matéria orgânica, retenção de água e fósforo em solos erodidos. A semivariância cruzada entre M.O e demais variáveis como fósforo (P), produção de trigo e umidade do solo demonstrou-se positiva.

Salviano *et al.* (1998) estudando a variabilidade espacial de propriedades químicas em área severamente degradada, observaram que todos os atributos estudados apresentaram dependência espacial com exceção do fósforo (0-20cm) e potássio nas camadas 0-20 e 20-40cm.

Oliveira *et al.* (2000) estudando a variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo sob cana-de-açúcar, concluíram que a análise geoestatística não confirmou a dependência espacial observada através da análise de variância.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O presente trabalho foi conduzido no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho – Extensão Maria Tereza, sob controle da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF, 1999). A Extensão Maria Tereza está localizada no vale do Rio São Francisco, latitude 09° 09' S, longitude 40° 22' W e altitude 365,5 m. O clima da região é semi-árido com temperatura média anual de 24,85 °C, umidade relativa de 69,08% e insolação média anual de 7,37 horas/dia. O período chuvoso está compreendido entre os meses de dezembro a março.

A Extensão Maria Tereza é composta por 504 lotes de pequenos produtores com uma área de 2.370 ha, 32 lotes de técnicos com uma área de 288 ha e 38 lotes empresariais com 2.054 ha, totalizando uma área de 4712 ha.

Atualmente, apenas 71,5% dessa área está ocupada, sendo explorada com culturas perenes (81,85% da área) e culturas anuais (18,72% da área). As principais culturas perenes existentes na área experimental são banana, coco e goiaba, já as culturas anuais mais plantadas são tomate, feijão, melancia, abóbora e milho (CODEVASF, 1999).

3.2 ÁREA EXPERIMENTAL

A unidade experimental corresponde a 200 ha e localiza-se no núcleo de colonização 19 da Extensão Maria Tereza, em uma região de relevo plano, em área de Latossolo. Fazendo parte desta unidade tem-se dois lotes de técnicos (T¹ 19-05 e T 19-06), oito lotes de colonos (C² 19-11, C 19-18, C 19-12, C 19-19, C 19-13, C 19-20, C 19-14, C 19-22) e uma área considerada de sequeiro (AS³ - 13). Os lotes dos técnicos, quatro lotes de colonos (C 19-13, C 19-20, C 19-14, C 19-22) e a AS 13 estão localizados em área de podizólico vermelho amarelo; os demais lotes de colonos encontra-se em área de Bruno não calcico. Na área de sequeiro e em cada lote foram coletadas amostras de solo em 11 e 6 pontos, respectivamente, totalizando 71 pontos amostrados. Em cada um destes pontos foram coletadas amostras em duas profundidades de 0-30 cm e de 30-60 cm.

A área de cada lote varia de 5,5 a 6,1 ha e a área de sequeiro possui 38,8 ha. A Figura 1 mostra a localização dos pontos de coleta das amostras de solo.

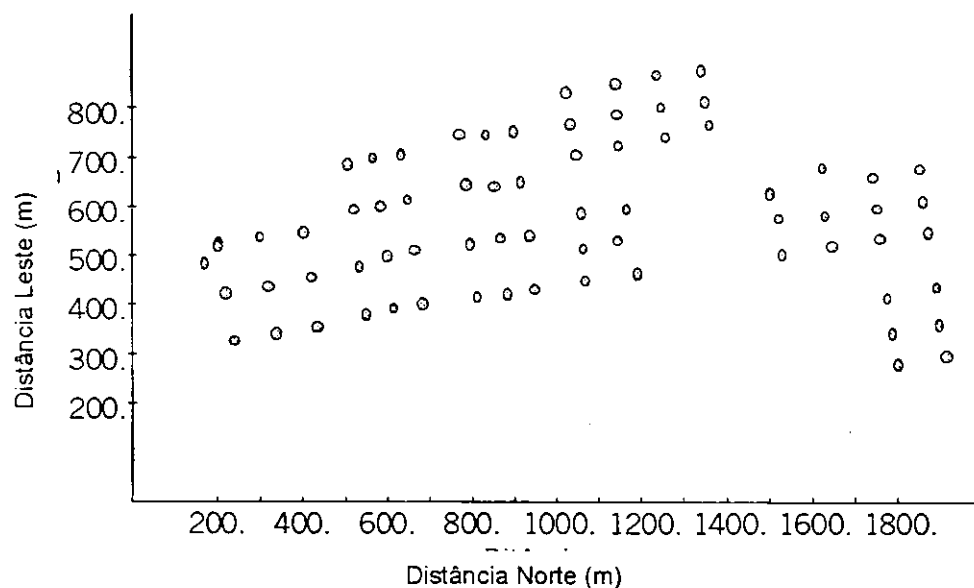


Figura 1. Distribuição dos pontos de coleta das amostras de solo na unidade experimental.

¹ "T" identifica lotes de técnicos.

² "C" identifica lotes de colonos.

³ "AS" identifica as área de sequeiro.

3.3 ANÁLISES REALIZADAS

As amostras de solo após serem coletadas foram encaminhadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento da Engenharia Agrícola, que faz parte do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, onde foram inicialmente preparadas e em seguida analisadas quimicamente (EMBRAPA, 1997), conforme descrito a seguir.

3.3.1. pH em Água

Foram usados 10 mL de terra fina de cada amostra em copo plástico de 100 ml numerado, onde foram adicionados 25 ml de água destilada. As amostras foram agitadas com bastão de vidro individual e deixadas em repouso por uma hora. Após a calibração do potenciômetro com as soluções tampão pH 4,0 e pH 7,0, procederam-se as leituras do pH das mesmas.

3.3.2. Carbono Orgânico

Foi pesada 0,5 grama de solo e colocada em erlenmeyer de 250 ml. Em seguida foram adicionados 10 ml da solução de bicromato de potássio 0,4 N. Na boca do erlenmeyer foi colocado um tubo de ensaio de 25 mm de diâmetro e 250 mm de altura, cheio de água e protegido com papel aluminizado, funcionando como condensador. Em seguida, foi levado à placa elétrica para ser aquecido até fervura branda, durante cinco minutos. Depois de frio, foram colocados 80 ml de água destilada, 1ml de ácido ortofosfórico e 3 gotas do indicador difenilamina, sendo titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,1 N até que a cor azul cedeu lugar a cor verde. O volume gasto na titulação foi anotado para posterior cálculo. Foi procedida a uma prova em branco com 10 ml da solução de bicromato de potássio 0,4 N. O cálculo da porcentagem de carbono existente na amostra foi feito pela seguinte expressão:

$$\% \text{ de Carbono} = (40 - \text{volume gasto}) \times f \times 0,06$$

sendo $f = 40 / \text{volume de sulfato ferroso gasto na prova em branco}$.

3.3.3. Matéria Orgânica

A porcentagem de matéria orgânica foi calculada multiplicando-se o resultado do carbono orgânico por 1,724.

$$\% \text{ de Carbono} \times 1,724 = \% \text{ de Matéria Orgânica}$$

3.3.4. Fósforo Assimilável

Em erlenmeyer de 125 ml foram colocados 10 ml de solo juntamente com 100 ml da solução extratora (HCl 0,05 N e H₂SO₄ 0,025 N), sendo agitados em agitador circular horizontal durante cinco minutos. Após permanecer em repouso por uma noite, foram pipetados 25 ml da parte sobrenadante e colocados em recipientes plásticos de aproximadamente 30 ml destes foram pipetados 5 ml e colocados em erlenmeyer de 125 ml para a determinação de fósforo. Adicionou-se 10 ml da solução ácida de molibdato de amônio diluída e uma “pitada” de ácido ascórbico em pó. Após uma hora, a amostra desenvolveu cor e foi procedida à leitura da densidade ótica no fotocolorímetro, usando filtro vermelho de comprimento de onda igual a 660 mμ.

O cálculo do teor de fósforo existente na amostra de solo foi feito pela seguinte curva do aparelho:

$$P \text{ (mg/dm}^3\text{)} = [(\text{leitura da densidade ótica do aparelho} \times 6,9103) - 0,0558] \times 10$$

3.3.5. Cátions Trocáveis

Foram colocados 10 ml de solo em erlenmeyer de 125 ml e adicionadas 100 ml de solução de KCl 1N. Agitou-se em agitador circular horizontal durante cinco minutos e deixou-se em repouso por uma noite. Pipetou-se uma alíquota de 25 ml da parte sobrenadante da solução e passada para erlenmeyers de 125 ml, a fim de determinar o cálcio mais magnésio e cálcio trocáveis.

Em uma das alíquotas de 25 ml, foram adicionadas 4 ml do coquetel de cianeto de potássio, trietanolamina e solução tampão, uma “pitada” (aproximadamente 30 mg) de ácido ascórbico e 3 gotas do indicador eriochrome black T, sendo titulada com sal dissódico de EDTA 0,025 N, até a viragem do róseo para o azul puro. O volume gasto na titulação indica o teor de cálcio mais magnésio existente na amostra.

No terceiro erlenmeyer, foram colocados 3 mL de KOH a 10% e uma “pitada” de murexida (aproximadamente 50 mg), sendo titulados com solução de EDTA 0,025 N até a viragem da cor rósea para roxa. O volume gasto correspondeu ao cálcio existente na amostra. O magnésio trocável foi calculado pela diferença entre o valor de cálcio mais magnésio e o valor de cálcio.

Para as determinações de potássio, utilizou-se o extrato de solo obtido com a solução extratora de HCl 0,05 N e H₂SO₄ 0,025 N, a mesma empregada para a extração do fósforo. O extrato foi levado ao fotômetro de chama, selecionando o filtro próprio para leitura de cada cátion, onde foram feitas as leituras na escala do aparelho.

Os cálculos dos teores de potássio existentes na amostra foram feitos pelas seguintes expressões:

$$K \text{ (cmol/kg)} = (\text{leitura} \times 0,0199) - 0,0124$$

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

3.4.1 Estatística Clássica

De acordo com a estatística convencional, foram calculadas medidas de tendência central como média, mediana e moda dos dados, nas duas profundidades. Determinou-se os valores máximo e mínimo de cada variável do solo, obtendo-se assim, a partir desses valores, a amplitude total dos dados. Calculou-se o desvio padrão, o coeficiente de variação e os valores de curtose dos dados para cada variável. Com a finalidade de verificar-se a aderência dos dados a distribuição normal aplicou-se o teste de Komolgorov-Smirnov ao nível de 1% de probabilidade para todas as variáveis estudadas.

A partir dos dados amostrais, construiu-se histogramas de frequência para cada variável estudada, nas duas profundidades. Determinou-se ainda, os gráficos de distribuição normal dos dados não transformados.

Fez-se uso de planilhas eletrônicas "EXCEL 7.0" para uma organização primordial e visualização dos dados.

Para o cálculo dos histogramas utilizou-se o software "GS + 3.1 For Windows[®]".

3.4.2 Análise Geoestatística

A análise da dependência espacial foi feita por meio da geoestatística utilizando-se o semivariograma.

Os semivariogramas foram calculados a partir das pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca, podendo ser estimados através da seguinte equação:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N_i(h)} \sum_{j=1}^{N_i(h)} [x(z_i) - x(z_i + h)]^2$$

em que: $N(h)$ é o número de pares de pontos $z(s_i)$ e $z(s_i + h)$, separados por uma distância h , informando quão diferentes tornam-se os valores em função de h , (Couto, *et al.*, 2000). Comumente, o semivariograma é representado pelo gráfico de $\gamma^*(h)$ versus h .

Após o ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\gamma^*(h)$ foram identificados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma, ou seja, o efeito pepita, C_0 , o patamar, C , e o alcance de dependência espacial, "a" (Couto *et al.*, 2000).

Os semivariogramas, utilizando um ângulo de tolerância de 10°, e "postplot" foram obtidos a partir do software "GS + 3.1 for Windows[®]" (Robertson, 1998).

De acordo com Souza *et al.* (2000), os mapas de isolinhas foram elaborados pelo *software* "SURFER 6.0", utilizando-se as informações provenientes dos semivariogramas durante o processo de krigagem na interpolação dos dados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

Os resultados das principais medidas estatísticas das propriedades pH do solo, matéria orgânica, potássio, fósforo, cálcio, magnésio e somatório de cálcio mais magnésio, nas duas profundidades são apresentados na Tabela 1.

Esses resultados mostram que os valores de pH das amostras de solo coletadas na profundidade de 0-30 cm variaram de 7,6 (moderadamente alcalino) a 4,28 (fortemente ácido) e de 6,9 (praticamente neutro) a 4,28 (extremamente ácido) na profundidade de 30-60 cm. Pode-se constatar por esses valores a grande amplitude de variações. No entanto, essa amplitude, segundo Salviano *et al.* (1998) deve ser avaliada com certas restrições, uma vez que essa medida leva em consideração apenas os dois valores extremos de um conjunto de dados, sendo, muitas vezes, afetada por um valor particularmente discrepante. Aparentemente, foi o que aconteceu no caso do pH e de outras propriedades químicas analisadas neste trabalho.

Observa-se na Figura 2 que o número de amostras com valores elevados de pH foi pequeno na camada superficial do solo, no entanto, isto não influenciou a distribuição normal dos dados. Já na camada de 30-60 cm de profundidade, a distribuição dos valores apresentou assimetria à esquerda (Figura 3).

Apesar da amplitude dos dados, os valores da moda 5,35 e 4,69 mostraram que, na área experimental predomina solo fortemente ácido. Isso também é confirmado através dos valores das médias 5,31 e 5,03, e das medianas, 5,17 e 4,88, nas duas profundidades, respectivamente.

Os coeficientes de variação (CV), foram de 10,81 e 9,85 %, nas profundidades de 0-30 e de 30-60 cm, respectivamente, o que permitiu classificar os valores de pH, nas duas profundidades, como de baixa variabilidade (Warrick & Nielsen, 1980), como foi observado também por Souza *et al.* (1997), Salviano *et al.* (1998) e Oliveira *et al.* (1999).

A proximidade de valores entre média e mediana, com o valor da curtose próximo de três, sugerem aderência dos dados à distribuição normal (Spiegel, 1985). Entretanto, o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) ao nível de 1% de significância, confirmou este comportamento para os valores do pH na profundidade 0-30 cm (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores estimados para as principais características das variáveis estudadas nas duas profundidades e resultado do teste de KS .

| Parâmetros | Variáveis | | | | | | |
|--------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------|------------|-------------|-------------|----------------|
| | pH | M.O ----(g/kg)--- | P --(mg/dm ³)-- | K ----- | Ca ----- | Mg ----- | Ca+Mg ----- |
| | | | | | | | |
| | Profundidade 0-30 cm. | | | | | | |
| Média | 5,31 | 4,20 | 1,37 | 0,23 | 1,16 | 0,94 | 2,10 |
| Mediana | 5,17 | 3,77 | 0,68 | 0,23 | 1,14 | 0,91 | 1,76 |
| Moda | 5,33 | 7,33 | 0 | 0,19 | 1,17 | 0,91 | 2,80 |
| Desvia Padrão | 0,57 | 3,74 | 1,48 | 0,09 | 0,40 | 0,38 | 0,58 |
| Coef. Variação (%) | 10,81 | 89,10 | 108,10 | 37,03 | 34,38 | 40,74 | 27,79 |
| Valor Máximo | 7,60 | 15,53 | 5,16 | 0,53 | 2,30 | 2,31 | 4,03 |
| Valor Mínimo | 4,28 | 0,18 | 0 | 0,07 | 0,47 | 0,24 | 0,96 |
| Amplitude total | 3,32 | 15,35 | 5,16 | 0,46 | 1,83 | 2,07 | 3,07 |
| Curtose | 2,60 | 0,12 | 0,01 | 1,42 | 0,32 | 1,31 | 0,76 |
| Teste KS | 0,102** | 0,208 | 0,198 | 0,071** | 0,996 | 0,088** | 1,00 |
| | Profundidade 30-60 cm. | | | | | | |
| Média | 5,03 | 2,67 | 0,35 | 0,18 | 0,90 | 1,04 | 1,94 |
| Mediana | 4,88 | 2,51 | 0,04 | 0,16 | 0,88 | 1,05 | 1,86 |
| Moda | 4,69 | 0,21 | 0 | 0,13 | 0,90 | 1,13 | 1,86 |
| Desvia Padrão | 0,50 | 2,39 | 0,62 | 0,08 | 0,35 | 0,39 | 0,59 |
| Coef. Variação (%) | 9,85 | 89,67 | 175,96 | 46,51 | 38,79 | 36,96 | 30,56 |
| Valor Máximo | 6,90 | 9,69 | 2,67 | 0,6 | 2,58 | 2,03 | 3,70 |
| Valor Mínimo | 4,28 | 0 | 0 | 0,03 | 0,39 | 0,34 | 0,82 |
| Amplitude total | 2,62 | 9,69 | 2,67 | 0,57 | 2,19 | 1,69 | 2,88 |
| Curtose | 3,73 | -0,28 | 4,66 | 8,02 | 6,45 | -0,62 | 0,14 |
| Teste KS | 0,391 | 0,210 | 0,288 | 0,149** | 0,475 | 0,278 | 0,999 |

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

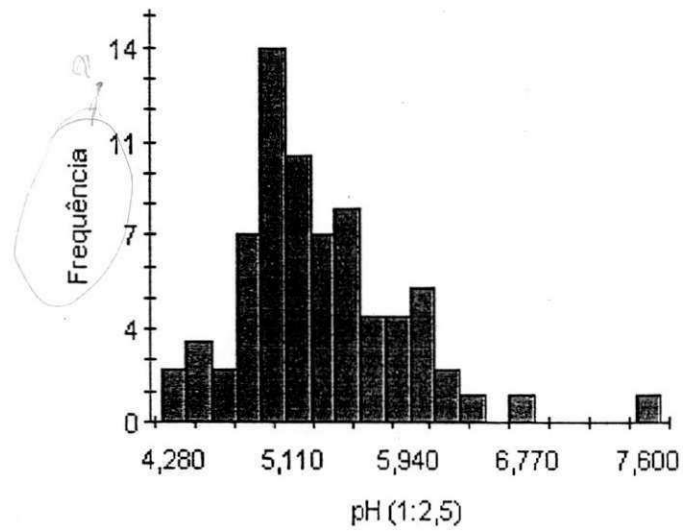


Figura 2 - Histograma do pH correspondente a profundidade de 0-30 cm.

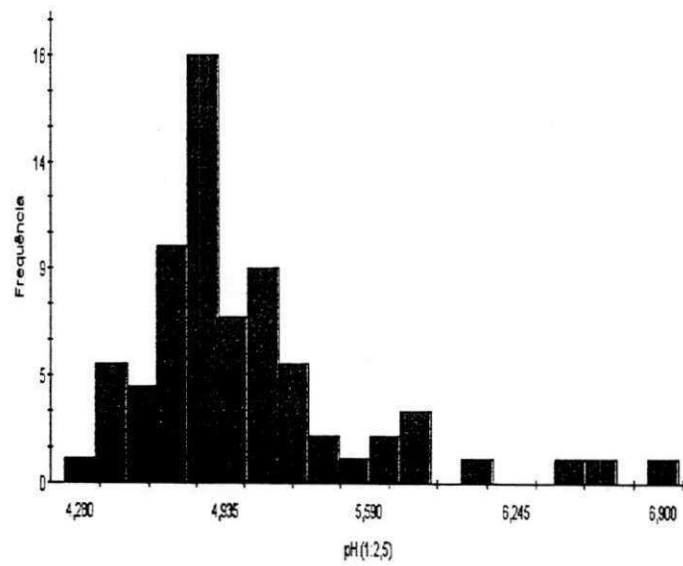


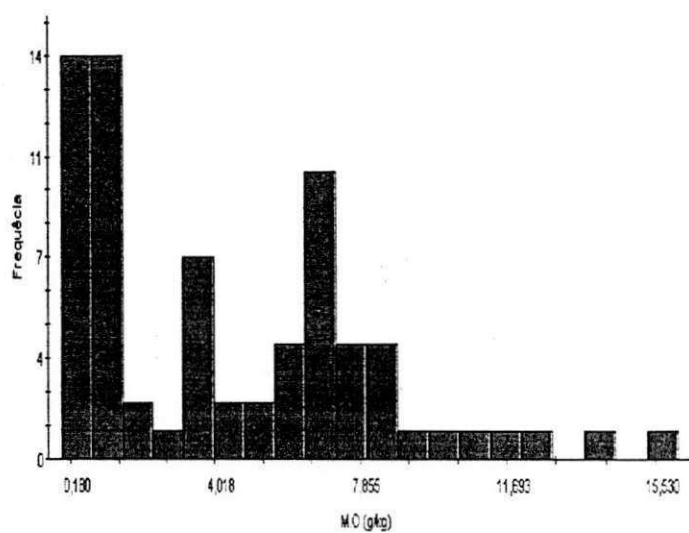
Figura 3 - Histograma do pH correspondente a profundidade 30-60 cm.

Na camada superficial do solo os teores de matéria orgânica variaram de 15,53 g/kg a 0,18 g/kg (Tabela 1), considerados, segundo EMATER (1979) como teores médio e baixo, respectivamente. Apesar do valor da moda ter sido 7,33g/kg, que corresponde ao teor de matéria orgânica que ocorreu com maior frequência nas amostras do solo, o histograma de frequência (Figura 4) mostra que a grande parte das amostras de solo (em torno de 40%) apresentaram teores de matéria orgânica abaixo de 1,0g/kg, o que contribuiu para que o valor da média encontrado fosse 4,2 g/kg.

Em relação à camada subsuperficial do solo, observa-se que os teores de matéria orgânica encontrados, foram menores que os da camada superficial. Tanto o valor máximo (9,69 g/kg) como o mínimo, zero, são considerados baixos (EMATER, 1979). Nos solos minerais isto normalmente ocorre, ou seja, há geralmente acúmulo de matéria orgânica na camada superficial. O valor da moda foi baixo, 0,21, o que pode ser visualizado na Figura 5. Isso contribuiu para que a média dos valores ficasse em 2,67 g/kg.

Os valores dos coeficientes de variação 89,10% e 89,67%, respectivamente para as duas profundidades, são considerados altos (Warrick e Nielsen, 1980) o que confirma a variabilidade elevada dos teores de matéria orgânica na área experimental.

Analisando-se os valores de curtose, 0,12 e 0,28, para as duas profundidades, os quais estão distantes do valor três, e observando que os valores das médias, que não coincidiram com os valores das medianas, pode-se supor que os dados relacionados à matéria orgânica não têm tendência à distribuição normal. Através da aplicação do teste de KS ao nível de 1% de significância (Tabela 1), esta suposição foi confirmada.



Os teores de fósforo variaram de 5,16 a 0 e de 2,67 a 0 mg/dm³ nas amostras de solo coletadas de 0-30 e 30-60 cm de profundidade, respectivamente. De acordo com esses valores pode-se dizer que no solo, de toda área experimental, ocorrem baixos teores de fósforo e que há maior concentração do elemento na camada superficial. Segundo os critérios adotados por Warrick e Nielsen (1980), a variabilidade desses resultados foi considerada alta, uma vez que os valores dos coeficientes de variação foram 108,10 e 175,9%, respectivamente para as duas profundidades, concordando com Salviano *et al.* (1998). Souza *et al.* (1997) e Souza *et al.* (1998) também verificaram em seus trabalhos que o fósforo, entre diferentes propriedades de solo analisadas, foi o que apresentou maior variabilidade.

O fato dos valores da moda terem sido zero, como pode ser observado nos histogramas de frequência dos teores de fósforo (Figura 6 e 7), os quais apresentaram assimetria à esquerda, contribuiu para que houvesse uma diminuição nos valores das médias 1,37 e 0,35 mg/dm³, nas duas profundidades, respectivamente. Os valores das medianas, 0,68 e 0,04 mg/dm³, também foram baixos e não coincidiram com aqueles das médias, o que leva a supor que os dados não se distribuem de forma uniforme. Esta suposição também pode ser feita com base nos valores da curtose, 0,01 e 4,66, os quais são diferentes do valor três. Mediante a aplicação do teste de Komolgorov-Smirnov, ao nível de 1% de probabilidade, esta suposição pôde ser confirmada, ou seja, os dados de fósforo na área experimental, nas duas profundidades, não obedeceram a uma distribuição normal.

O comportamento do fósforo nas duas profundidades é semelhante ao da matéria orgânica. Isto pode estar ocorrendo pelo fato da matéria orgânica ser, naturalmente, fonte de fósforo ou devido à adsorção do elemento pela matéria orgânica (Novaes & Smyth, 1999). Na literatura têm sido freqüentes as correlações positivas entre o teor de matéria orgânica do solo e a adsorção de fósforo. Segundo Sanyal e De Datta (1991), a adsorção do fósforo na matéria orgânica ocorre através de pontes de cátions, como Al, Fe e Ca, uma vez que, tanto a matéria orgânica como os íons fosfatos têm caráter aniônico.

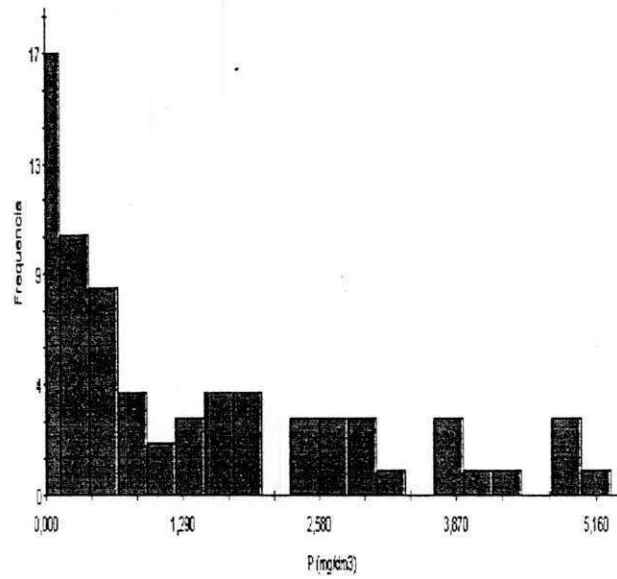


Figura 6 - Histograma dos teores de fósforo na profundidade de 0-30 cm.

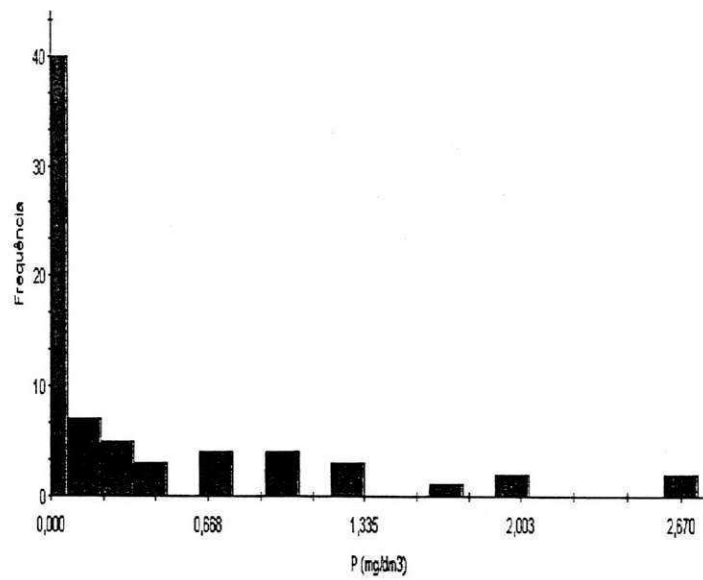


Figura 7 - Histograma dos teores de fósforo na profundidade de 30 - 60 cm.

Os teores de potássio variaram de 0,07 a 0,57 e de 0,03 a 0,60 cmol_c/kg nas amostras de solo coletadas de 0-30 e 30-60 cm de profundidade, respectivamente. Com base nisso, pode-se dizer que na área experimental há locais que apresentam baixo teor de potássio da mesma forma que outros apresentam teores altos do elemento. No entanto, os histogramas de frequência (Figuras 8 e 9) mostram que predominam na área experimental, teores médios de potássio.

As distribuições assimétricas à esquerda dos teores de potássio (Figura 8 e 9), sendo mais acentuada na profundidade de 30-60 cm, devido o maior número de amostras com baixo teor do elemento, e o fato dos valores da moda terem sido 0,19 e 0,13 cmol_c/kg nas duas profundidades, respectivamente, fizeram com que os teores médios de potássio ficassem em torno de 0,23 e 0,18 cmol_c/kg para as duas profundidades, respectivamente.

Apesar do valor da média dos teores de potássio na camada superficial do solo ser maior que aquele correspondente à camada subsuperficial, concordando com Jorge (1969), os dois valores foram classificados como médios de acordo com o boletim de recomendação de adubação do Estado da Paraíba. Considerando-se os valores do desvio padrão, pode-se dizer que esses valores das médias calculadas estão muito próximos dos valores das médias reais do potássio do solo.

Os valores da mediana 0,23 e 0,16 cmol_c/kg nas duas profundidades, respectivamente, são aproximadamente iguais aos valores das médias. Esta proximidade indica possíveis ajustes dos dados de potássio à distribuição normal.

Com relação aos coeficientes de variação (CV) calculados para o potássio têm-se 37,03 % e 46,51% para as profundidades de 0-30cm e 30-60 cm respectivamente, considerados médios, segundo a classificação adotada por Warrick & Nielsen (1980).

Os valores de curtose observados foram respectivamente 1,42 e 8,02 para ambas as profundidades. Segundo Spiegel (1985), a distribuição dos dados de potássio não deveria ser normal, uma vez que para isso, os valores de curtose deveriam estar próximos de 3 e a mediana e a moda coincidirem. No entanto, segundo o teste de Komolgorov-Smirnov, os dados de potássio apresentaram distribuição normal nas duas profundidades ao nível de probabilidade de 1%. Com base nisso, a média aritmética pode ser usada para inferir sobre a variabilidade das amostras e a dependência espacial entre as mesmas pode e deve ser modelada por meio da geoestatística (Webster, 1985).

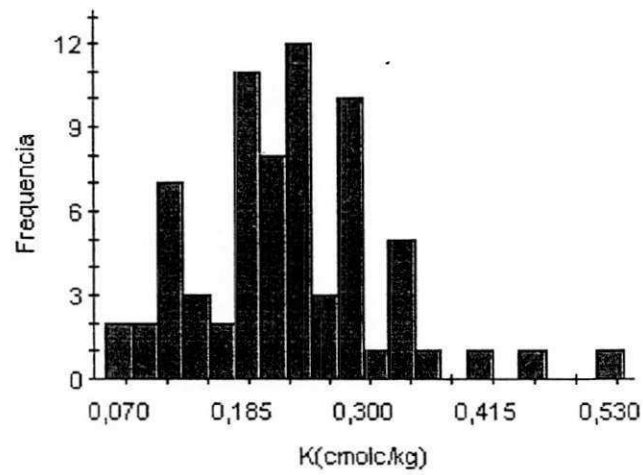


Figura 8 - Histograma dos teores de potássio na profundidade de 0-30 cm

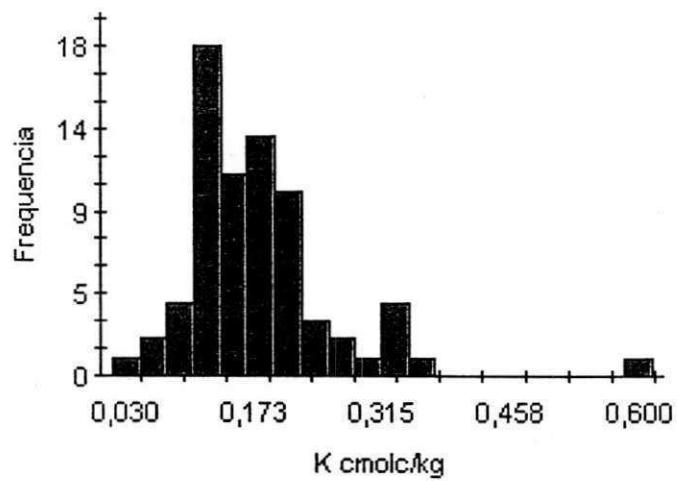


Figura 9 - Histograma dos teores de potássio na profundidade de 30-60 cm.

Analisando o comportamento do cálcio nas duas profundidades, do ponto de vista da estatística clássica (Tabela 1), nota-se que os teores do elemento variaram, respectivamente, de 2,3 a 0,47 cmol_c/kg e de 2,58 a 0,39 cmol_c/kg, nas duas profundidades respectivamente. Considerando o que preconiza RAIJ (1981), que 2 a 3 meq/100cm³ de terra de cálcio é adequado para o desenvolvimento das culturas, pode-se afirmar que o solo da “Extensão Maria Tereza” apresenta deficiência deste elemento para as plantas.

O comportamento da distribuição de frequência dos teores de cálcio nas duas profundidades pode ser visualizado nas Figuras 10 e 11. Através dos histogramas observa-se uma ligeira assimetria à esquerda, podendo ser considerada pequena a frequência dos maiores teores de cálcio.

Na camada superficial do solo o valor da moda, 1,17 cmol_c/kg, está muito próximo do valor da média calculada, 1,16 cmol_c/kg, a qual, por sua vez, pouco difere da média real do solo devido ao baixo valor calculado para o desvio padrão dos dados. O coeficiente de variação das amostras, 34,38 % é considerado médio segundo Warrick e Nielsen (1980). Os valores da média (1,16 cmol_c/kg) e da mediana (1,14 cmol_c/kg) por serem muito próximos, sugerem uma distribuição normal dos dados, porém o valor de curtose, 0,32 e o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 1), não confirmaram a expectativa, ou seja, a distribuição dos valores de cálcio não segue uma distribuição normal.

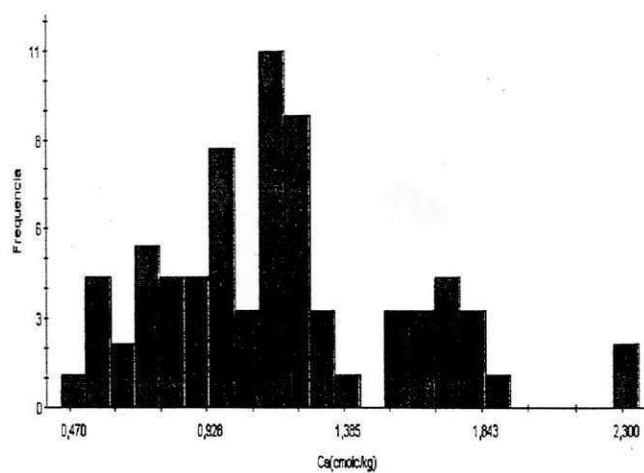


Figura 10- Histograma dos teores de cálcio na profundidade de 0 - 30 cm.

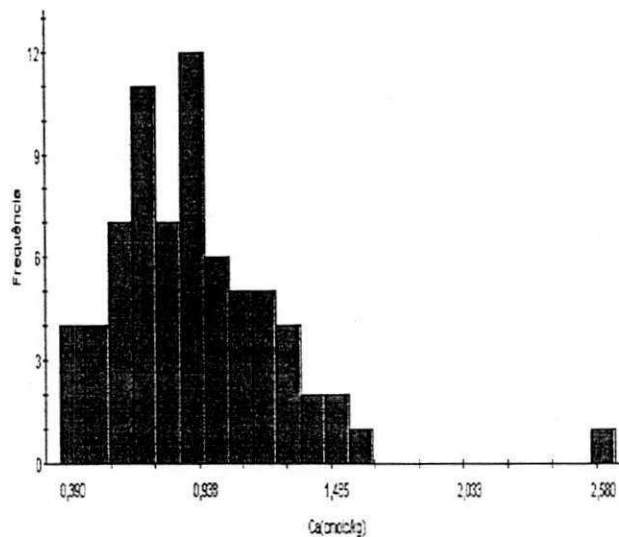


Figura 11 - Histograma dos teores de cálcio na profundidade de 30 - 60 cm.

Este mesmo comportamento e raciocínio se aplicam para os valores do cálcio na camada subsuperficial, os quais também não se distribuem de forma normal na área experimental.

Em relação ao magnésio, observa-se na Tabela 1, que os teores desse elemento variaram de 0,24 e 2,31 cmol_c/kg na profundidade de 0-30 cm apresentando uma ligeira assimetria à esquerda (Figura 12). Na profundidade de 30-60 cm os teores do elemento variaram de 0,34 e 2,03 cmol_c/kg distribuindo-se de forma mais simétrica (Figura 13), apesar dos pequenos picos amostrais à direita e à esquerda. Sabendo-se que teor de 0,4 $\text{meq}/100\text{cm}^3$ de terra desse elemento é considerado suficiente para a maioria das culturas e teor de 0,8 $\text{meq}/100\text{cm}^3$ de terra é considerado alto (RAIJ, 1981), é possível afirmar, com base nos dados apresentados nos histogramas de frequência, que na maior parte das amostras de terra analisadas não há deficiência de magnésio.

Os valores da moda, encontrados nessas duas profundidades foram, respectivamente, 0,91 e 1,13 cmol_c/kg , tendo os valores das médias ficado em torno de 0,94 e 1,04 cmol_c/kg , respectivamente. Com base no desvio padrão, pode-se dizer que esses valores estão próximos dos valores das médias reais.

Quanto ao coeficiente de variação, temos 40,74 % e 36,96 %, para as profundidades de 0-30 e de 30-60 cm respectivamente, sendo estes valores classificados como de variabilidade média de acordo com o critério adotado por Warrick & Nielsen (1980). À

medida que a profundidade aumenta, do ponto de vista da estatística convencional, a variabilidade também cresce.

Apesar do valor da curtose ter sido 1,31 para o magnésio da camada superficial do solo, de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 1 % de probabilidade, foi constatada a distribuição normal dos dados do elemento. No entanto, isto não foi constatado para os dados de magnésio da camada subsuperficial, o que significa dizer que a média dos dados do elemento não é capaz de expressar a tendência central representativa do conjunto dos dados do elemento nessa profundidade.

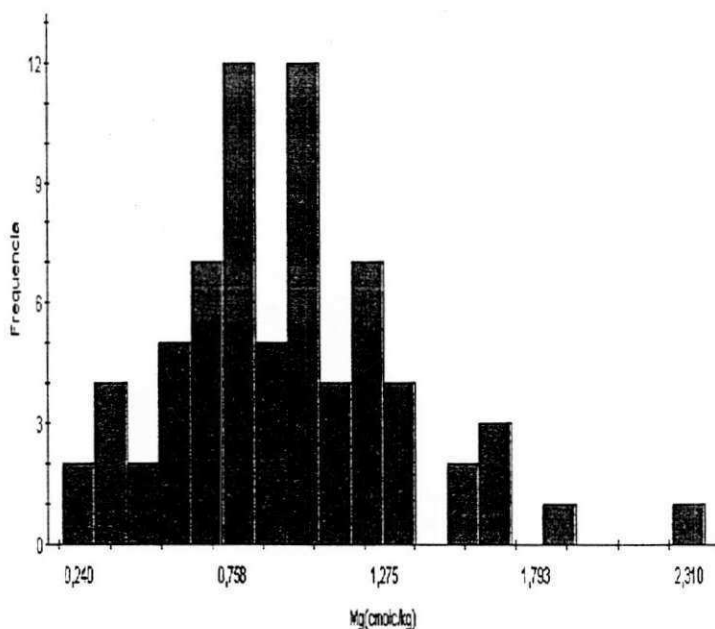


Figura 12 - Histograma dos teores de magnésio na profundidade de 0 - 30 cm.

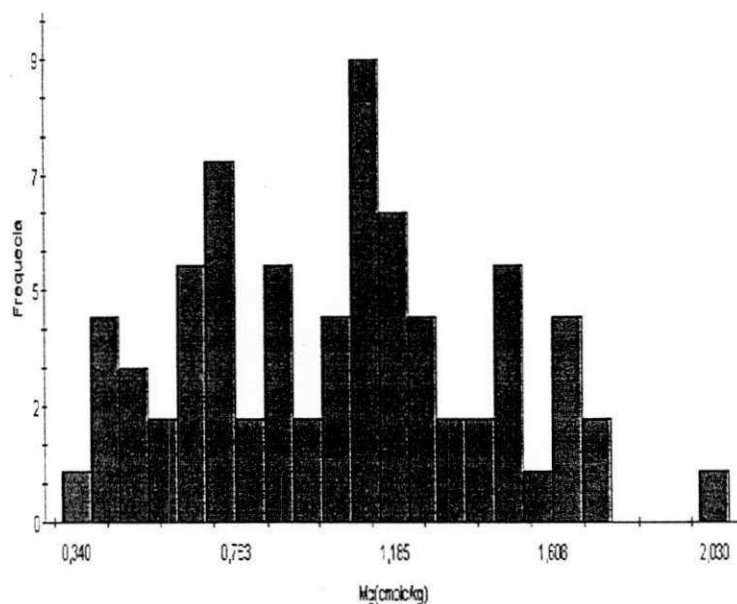


Figura 13 - Histograma dos teores de magnésio na profundidade 30-60 cm.

Comparando os teores de cálcio com os de magnésio, apesar de serem pequenas as diferenças, o cálcio supera o magnésio na camada superficial. Isso é comum em solos que não receberam calagem, como é o caso do solo utilizado nesse trabalho. Na camada subsuperficial o magnésio supera o cálcio, o que, segundo Raij (1991), pode ser um indício do intemperismo de minerais contendo magnésio nesta camada.

Analisando os dois elementos, cálcio e magnésio, de uma forma conjunta, observa-se que os teores dos mesmos variaram de 0,96 a 4,03 cmol_c/kg na camada superficial, tendo como moda o valor de 1,76 cmol_c/kg, e de 0,82 a 3,70 cmol_c/kg na camada subsuperficial com a moda de 1,86 cmol_c/kg. Esses teores mostram que, praticamente, não há diferença entre eles em função da profundidade. Segundo EMATER (1979), são classificados como teores baixos e médios. Os histogramas desses elementos mostram um comportamento assimétrico à esquerda (Figura 14 e 15) onde concentra-se um maior número de valores abaixo das médias.

Os valores do desvio padrão dos resultados ficaram em torno de 0,59, indicando que as médias calculadas estão próximas das médias reais.

Apesar dos valores das médias, 2,10 e 1,94 cmol_c/kg, serem próximo aos das medianas, 2,08 e 1,86 cmol_c/kg, respectivamente para as duas profundidades, não foi

constatada a distribuição normal dos dados, o que significa dizer que as médias dos dados de cálcio mais magnésio, não são capazes de expressar a tendência central representativa do conjunto dos dados dos elementos. Isso ocorreu provavelmente porque os valores de curtose 0,76 e 0,14 estão muito distantes do valor três.

De acordo com Warrick e Nielsen (1980), a variabilidade dos resultados de cálcio mais magnésio foi considerada como média, uma vez que os coeficientes de variação encontrados foram 27,79% e 30,56% para as duas profundidades, respectivamente, constatado também por Souza *et al.* (1997).

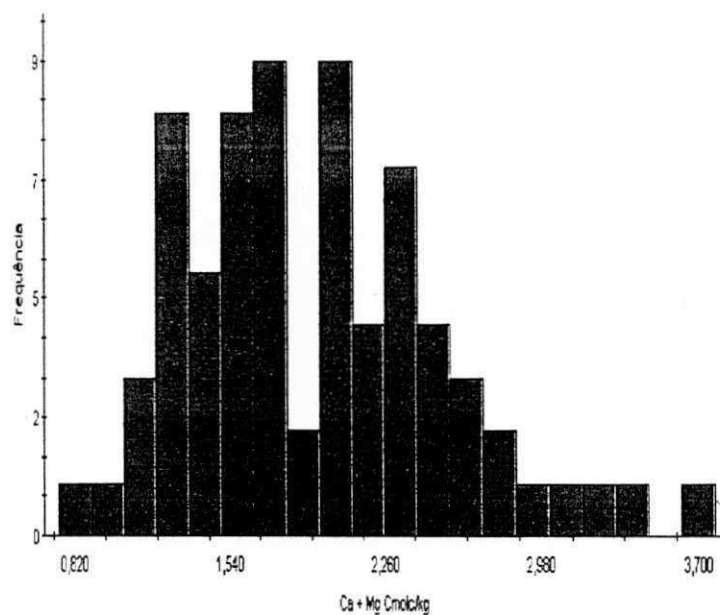


Figura 14 - Histograma dos teores de cálcio mais magnésio na profundidade de 0 - 30 cm.

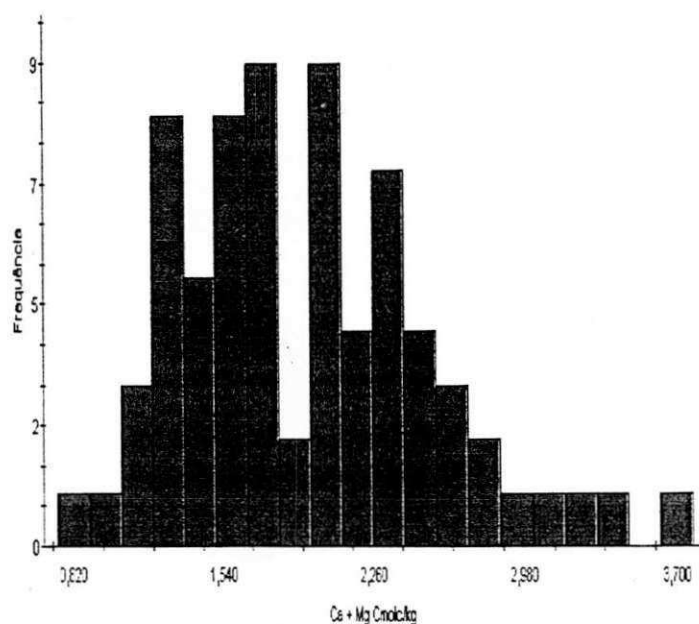


Figura 15 - Histograma do cálcio mais magnésio na profundidade 30-60 cm.

Os gráficos de probabilidade apresentados nas Figuras 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 e 29, constituem uma forma de visualização do comportamento dos dados de pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e cálcio mais magnésio, nas duas profundidades, respectivamente. Segundo Oliveira (1998) o comportamento não linear observado para algumas variáveis confirma a hipótese de que os dados das mesmas não se ajustam a uma distribuição normal e que a média aritmética, por ser influenciada por fatores extremos não é adequado para representar os dados.

Como já foi comentado anteriormente, das propriedades estudadas, apenas o pH e o magnésio na profundidade de 0 - 30 cm e o potássio, nas duas profundidades estudadas têm uma distribuição normal dos dados, constatadas pela aplicação do teste KS ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 1).

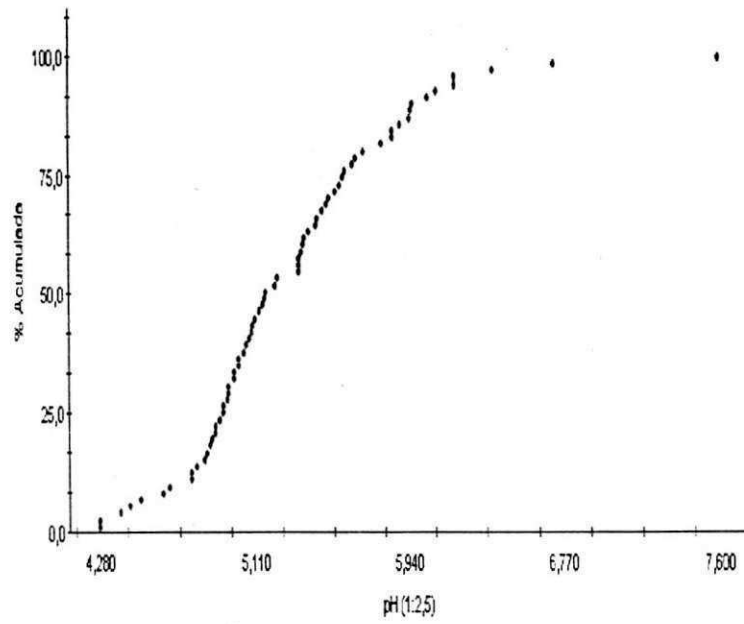


Figura 16 - Gráfico de probabilidade normal dos dados de pH na profundidade de 0 - 30 cm.

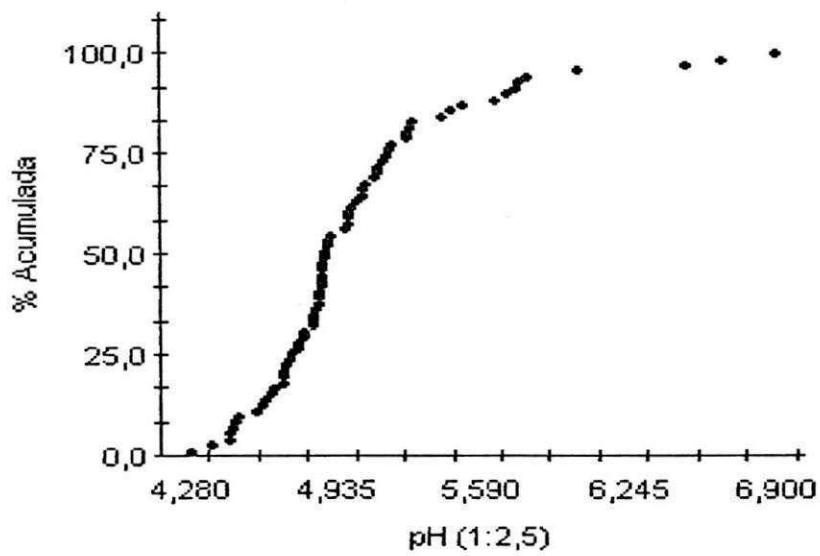


Figura 17 - Gráfico de probabilidade normal dos dados de pH na profundidade de 30-60 cm.

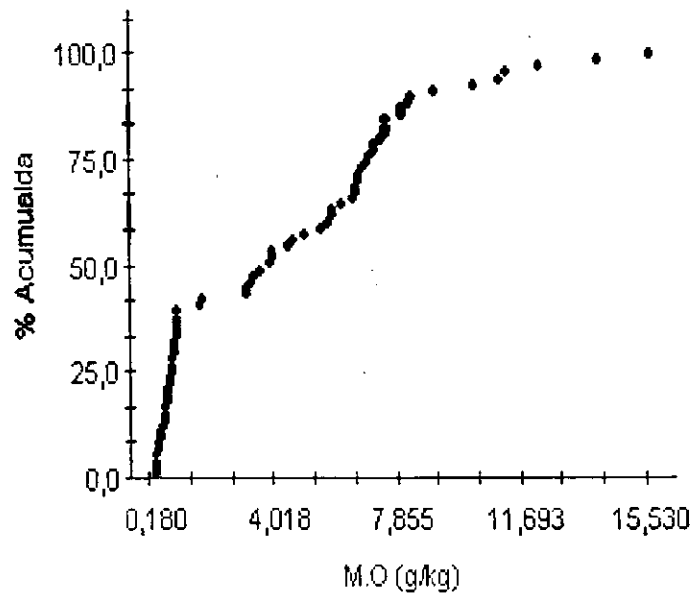


Figura 18 - Gráfico de probabilidade normal dos dados de matéria orgânica na profundidade de 0-30 cm.

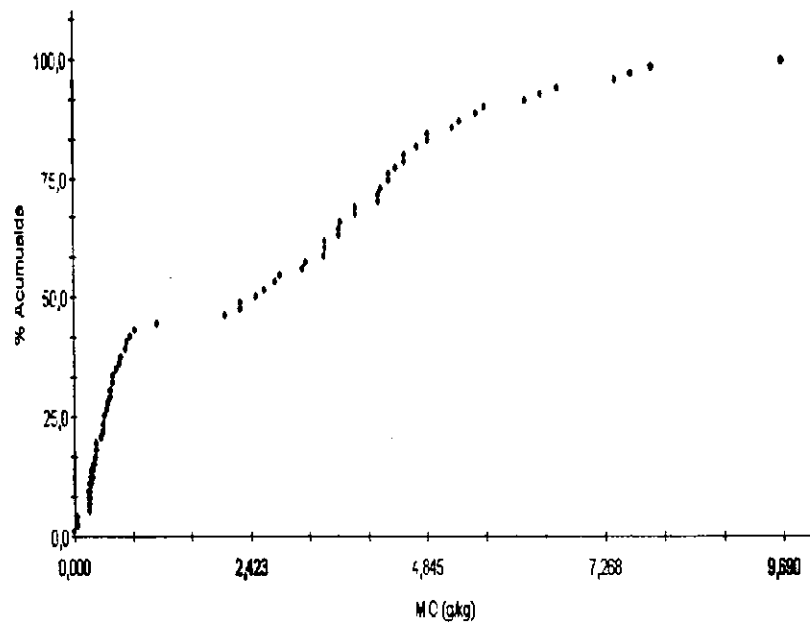


Figura 18 - Gráfico de probabilidade normal dos dados de matéria orgânica na profundidade de 30-60 cm.

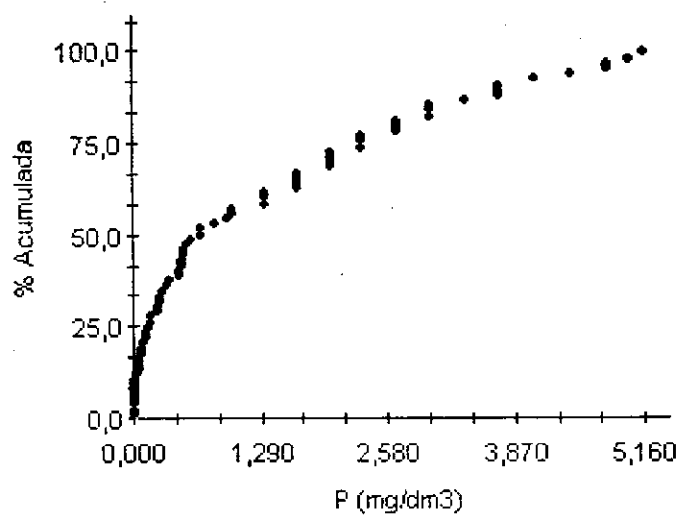


Figura 19 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de fósforo na profundidade 0-30 cm

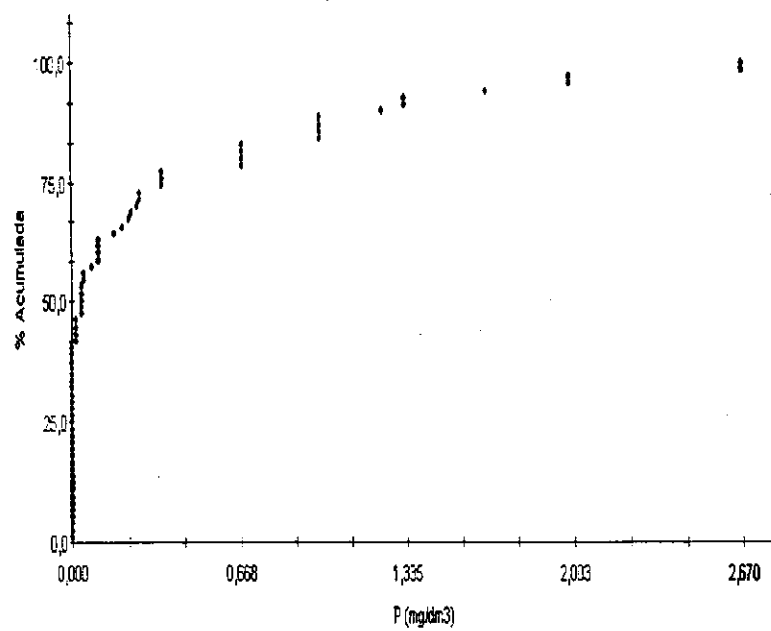


Figura 20 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de fósforo na profundidade 30-60 cm

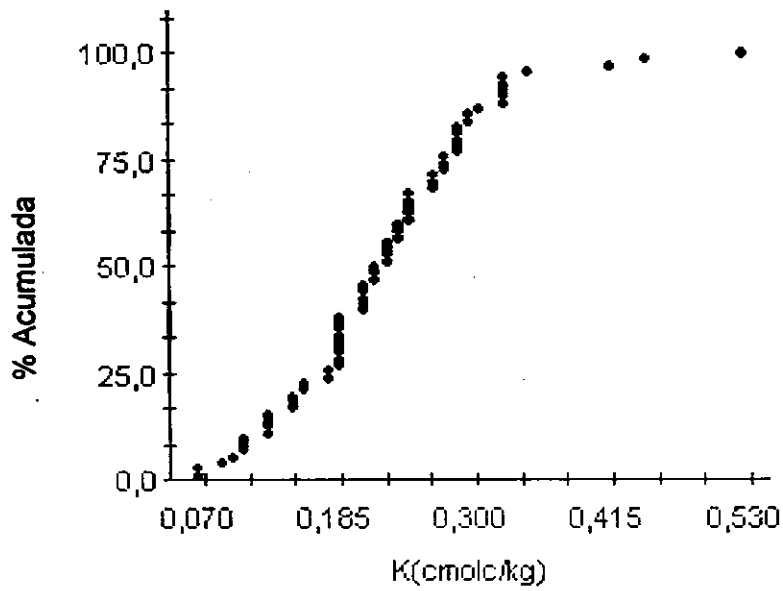


Figura 21 – Gráfico de probabilidade normal para os dados de potássio na profundidade de 0-30 cm.

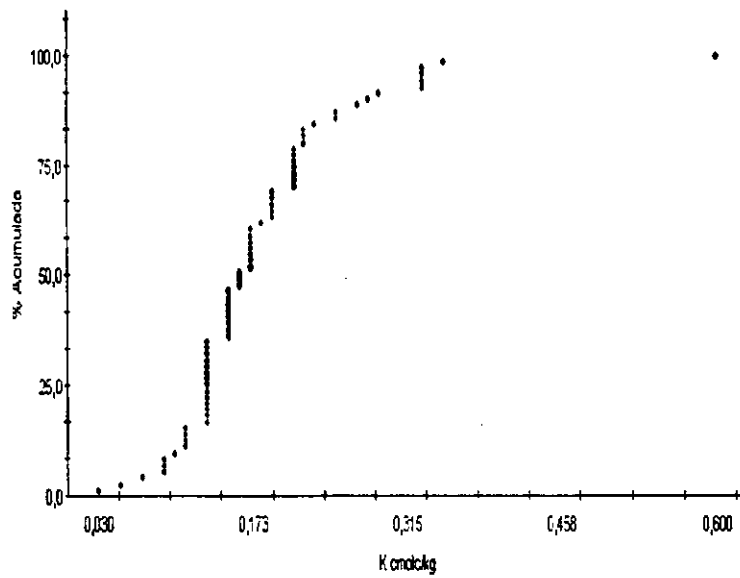


Figura 22 – Gráfico de probabilidade normal para os dados de potássio na profundidade de 30-30 cm.

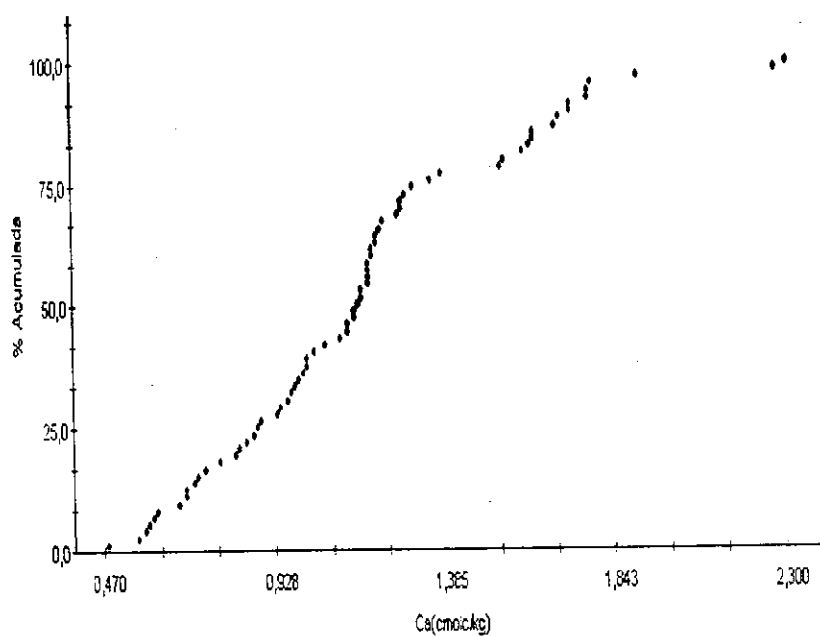


Figura 24 - Gráfico de probabilidade normal dos dados de cálcio na profundidade de 0-30 cm.

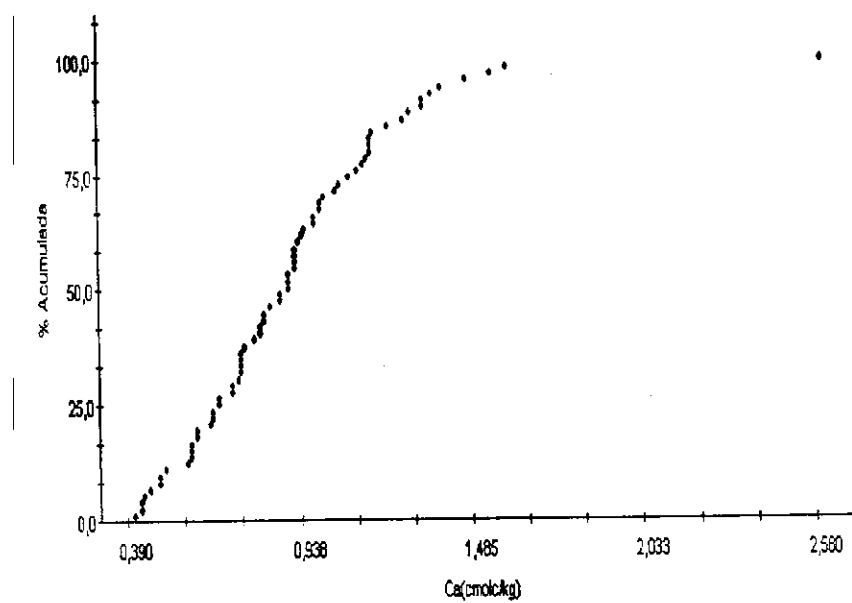


Figura 25 - Gráfico de probabilidade normal dos dados de cálcio na profundidade de 30-60 cm.

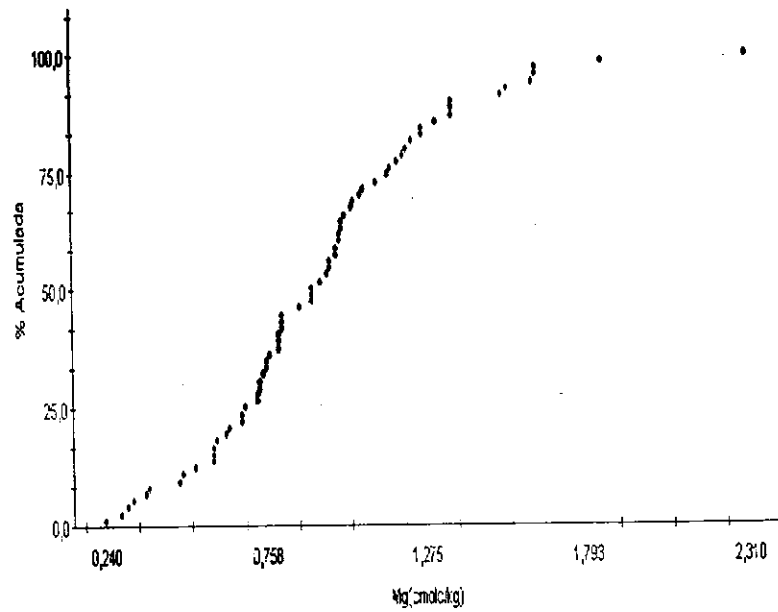


Figura 26 - Gráfico de probabilidade normal dos dados de magnésio na profundidade de 0 - 30 cm.

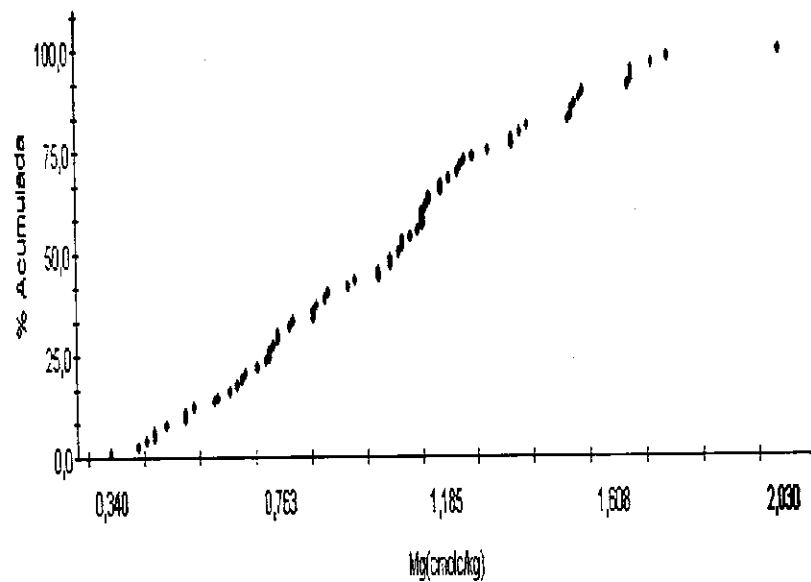


Figura 27 - Gráfico de probabilidade normal dos dados de magnésio na profundidade de 30 - 60)

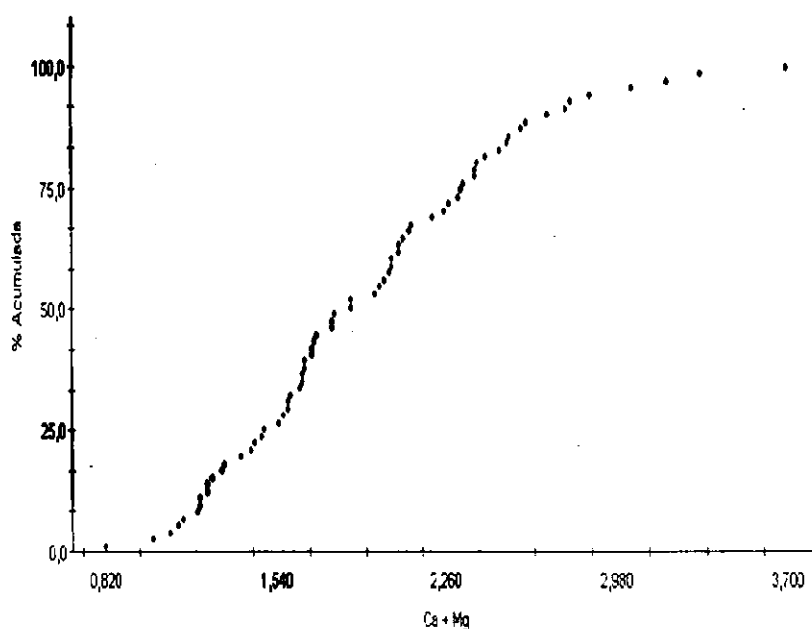


Figura 28 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de cálcio mais magnésio na profundidade de 0-30 cm.

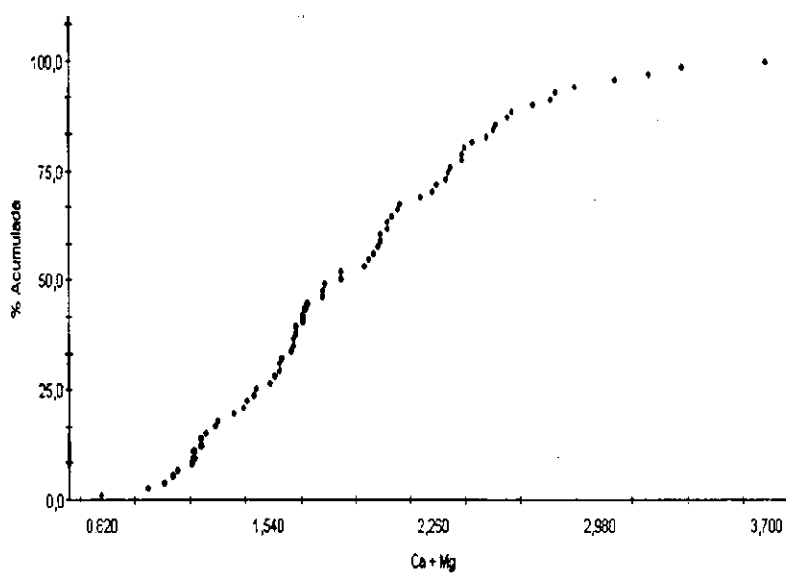


Figura 29 – Gráfico de probabilidade normal dos dados de cálcio mais magnésio na profundidade de 30-60 cm.

Os gráficos "post - plot" apresentados nas Figuras 30 a 43 constituem uma forma de visualização do padrão de variabilidade dos dados na área experimental

(Oliveira, 1998). Os símbolos iguais concentrados em uma determinada área do gráfico caracterizam uma sub-região. A constatação de aumentos gradativos dos teores de determinada variável em uma direção, indica a existência de tendência.

A Figura 30 mostra os valores do pH na profundidade 0-30 cm, onde não se verificaram mudanças bruscas de valores. Porém, existe uma ligeira tendência de concentração dos maiores valores em torno dos 500 metros na direção norte e de diminuição dos mesmos após os 1500 metros na mesma direção. A distribuição dos valores de pH na profundidade de 30-60 cm é semelhante àquela da profundidade anterior (Figura 31).

A Figura 32 mostra a distribuição das concentrações da matéria orgânica na profundidade de 0-30 cm, onde as amostras com menor teor estão concentradas entre 500 e 1000 m na direção norte. Para a profundidade de 30-60 cm (Figura 33), o comportamento é o mesmo, porém com valores menores, quando comparados à profundidade superior.

A Figura 34 mostra o gráfico "post - plot" para os teores de fósforo na profundidade de 0-30 cm. Baixos teores de fósforo podem ser observados em toda a área, porém predominam na sub-região compreendida em torno dos 500m na direção norte. A partir daí, na mesma direção, ocorre um aumento gradativo dos teores de fósforo. A distribuição dos teores de fósforo ao longo de toda área é semelhante à distribuição dos teores de matéria orgânica. Na profundidade de 30-60cm, a distribuição dos teores de fósforo na área ocorreu de forma semelhante àquela na camada superficial do solo (Figura 35).

Analisando a Figura 36 verifica-se que os teores médios de potássio, das amostras de solo da camada superficial, encontram-se dispersos ao longo de toda a área, enquanto que ocorre uma ligeira concentração dos maiores e menores teores do elemento em torno dos 500 metros e entre os 1500 e 2000 metros, na direção norte, respectivamente. Na camada subsuperficial, a distribuição dos teores de potássio é semelhante à anterior (Figura 37).

A figura 38 mostra a distribuição dos teores calcário nas amostras de solo coletados na profundidade de 30-60 cm. De acordo com a distribuição dos teores de cálcio nas amostras de solo coletadas na profundidade de 0-30cm, observa-se que os mesmos estão situados de forma dispersa ao longo de toda a área.

Para a profundidade de 30-60 cm observa-se que os maiores teores de cálcio tendem a se concentrarem na sub-região em torno dos 500m na direção norte, da mesma forma que ocorre uma ligeira tendência de redução dos valores do cálcio dentro da região central da área, por volta dos 1000 m na direção norte. (Figura 39).

De acordo com a Figura 40, onde estão distribuídos os dados dos teores de magnésio na profundidade de 0-30 cm, há um aumento nos teores do elemento a partir de 1000 m na direção norte; tais teores estão acima do valor médio apresentado na divisão dos quartis do referido gráfico. Na profundidade de 30-60 cm, os teores de magnésio se distribuem de forma dispersa não apresentando tendência de concentração em uma determinada sub-região (Figura 41).

Nas Figuras 42 e 43 a distribuição dos dados referentes ao cálcio mais magnésio, nas duas profundidades, respectivamente, está de acordo com o que é mostrado nas figuras anteriores, correspondentes a esses elementos de forma isolada.

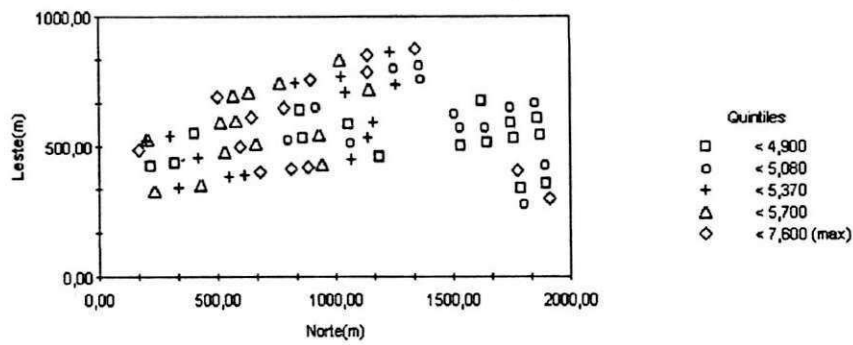


Figura 30 – Gráfico “Postplot” dos dados do pH na profundidade de 0-30

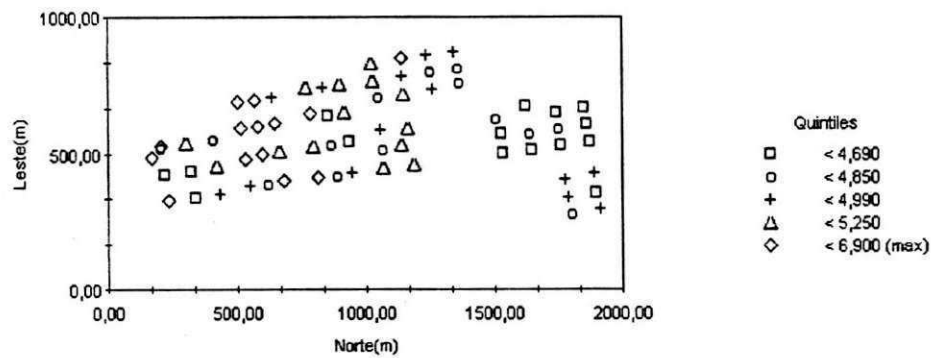


Figura 31 – Gráfico “Postplot” dos dados do pH na profundidade de 30-60 cm.

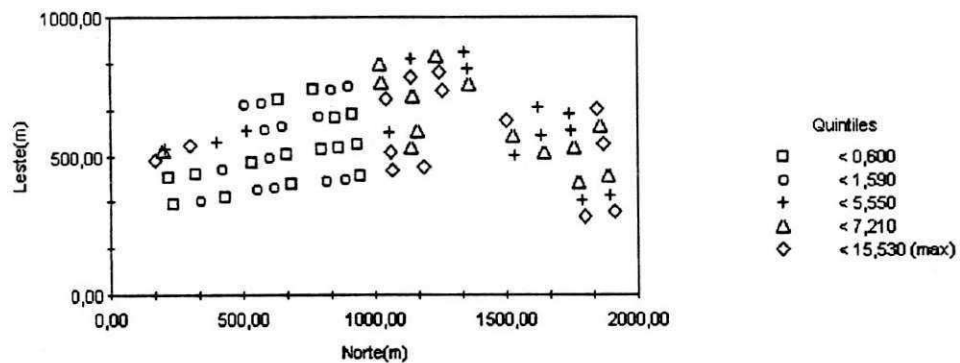


Figura 32 – Gráfico “Postplot” dos dados da matéria orgânica na profundidade de 0-30

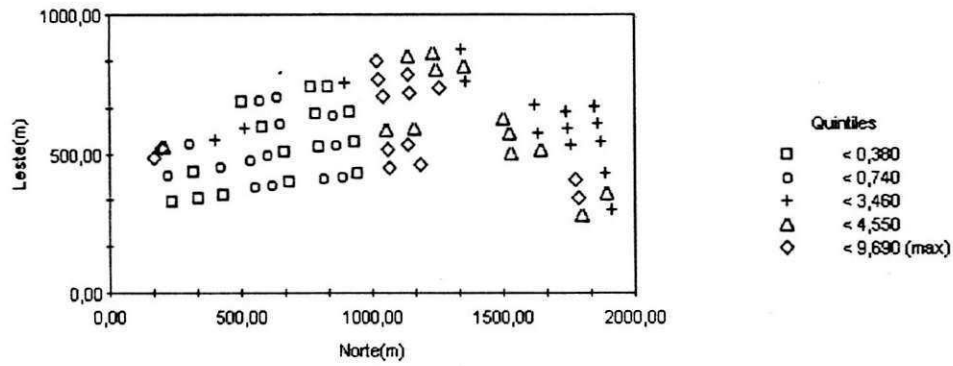


Figura 33 – Gráfico “Postplot” dos dados da matéria orgânica na profundidade de 30-60 cm.

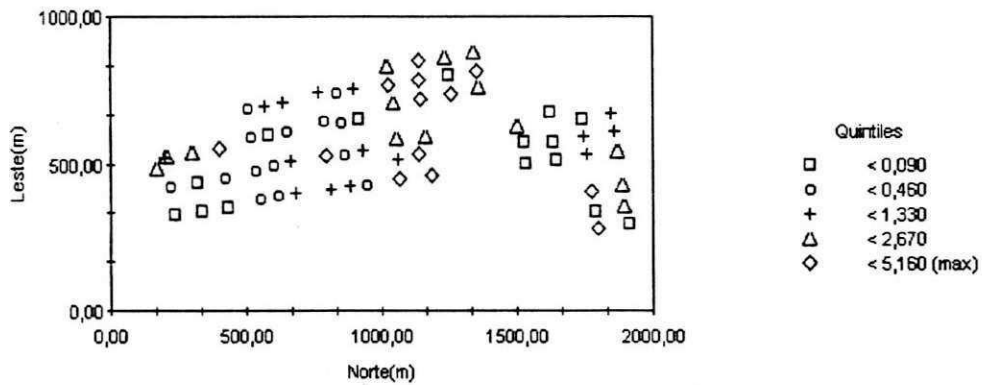


Figura 34 – Gráfico “Postplot” dos dados de fósforo na profundidade de 0-30 cm

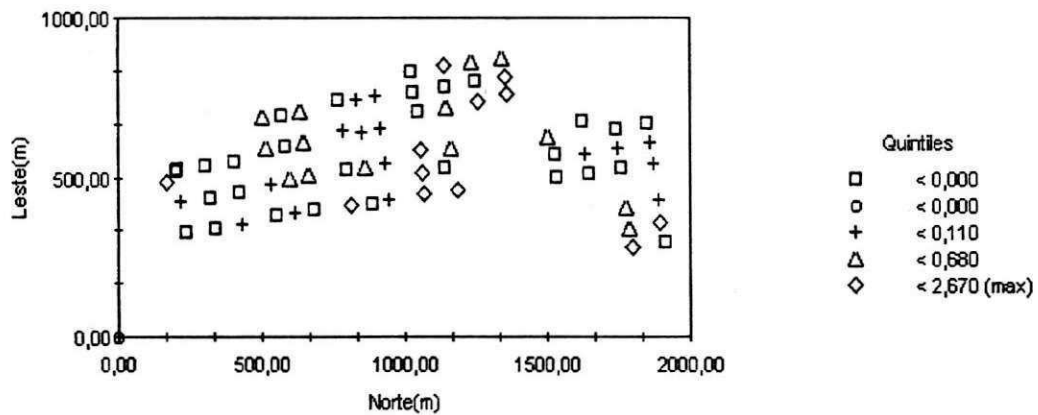


Figura 35 – Gráfico “Postplot” dos dados de fósforo na profundidade de 30-60

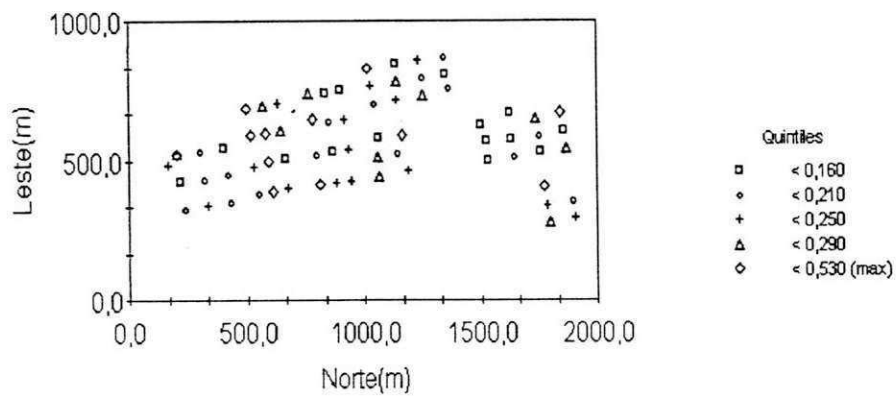


Figura 36 – Gráfico “Postplot” dos dados de fósforo na profundidade de 30-60 cm.

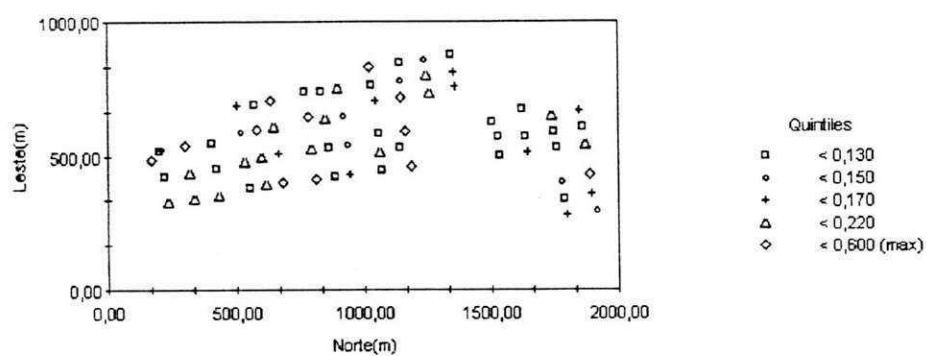


Figura 37 – Gráfico “Postplot” dos dados de potássio na profundidade de 30-60 cm

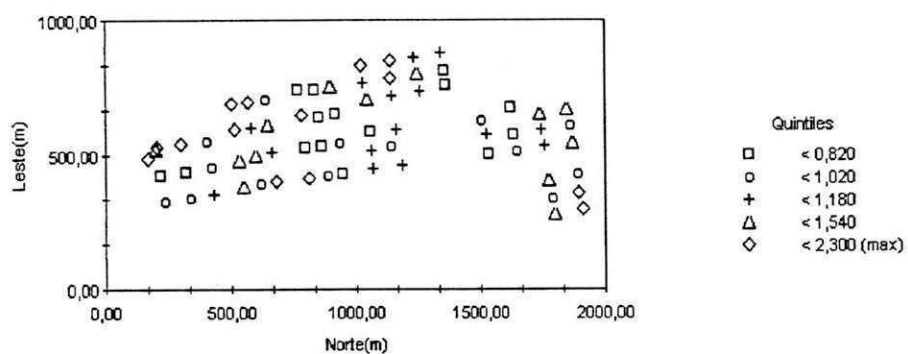


Figura 38 – Gráfico “Postplot” dos dados de cálcio na profundidade de 0-30 cm.

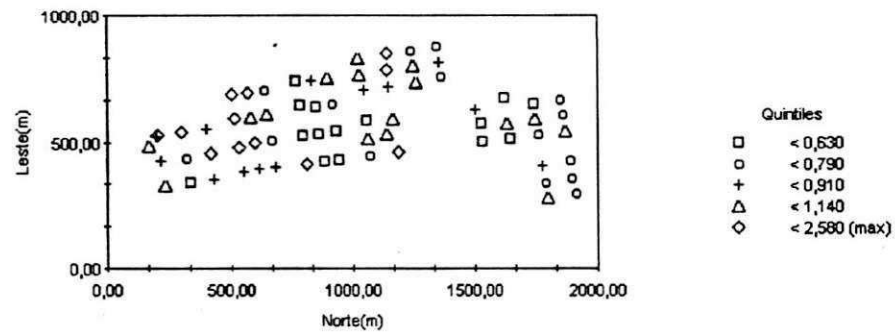


Figura 39 – Gráfico “Postplot” dos dados de cálcio na profundidade de 30-60 cm.

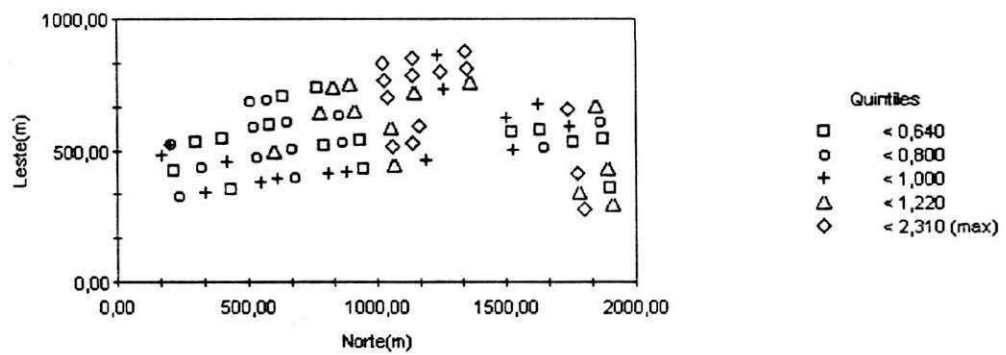


Figura 40 – Gráfico “Postplot” dos dados de magnésio na profundidade de 0-30 cm.

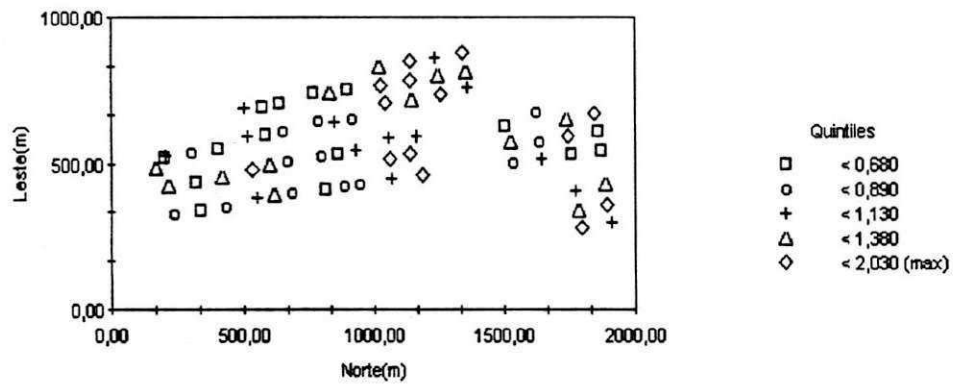


Figura 41 – Gráfico “Postplot” dos dados de magnésio na profundidade de 30-60 cm.

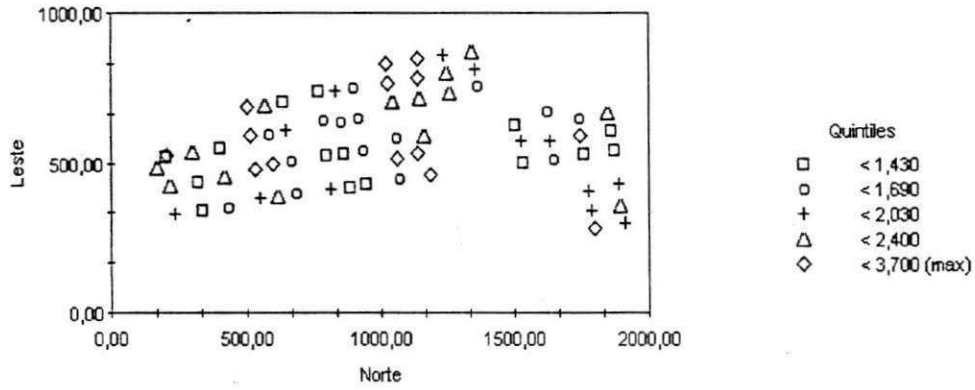


Figura 42 – Gráfico “Postplot” dos dados de cálcio mais magnésio na profundidade de 0-30 cm.

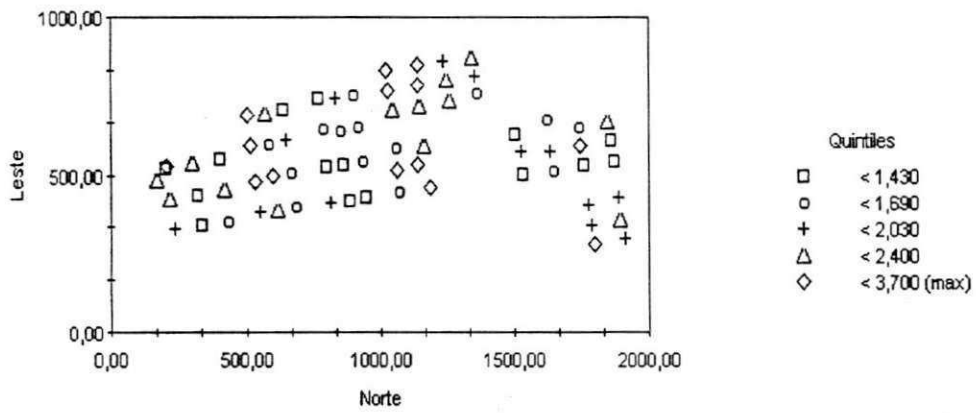


Figura 43 – Gráfico “Postplot” dos dados de cálcio mais magnésio na profundidade de 30-60 cm.

4.2. ANÁLISE GEOESTATÍSTICA.

Partindo das análises descritivas anteriormente apresentadas, pôde-se assumir a hipótese intrínseca para os dados de todas as variáveis, pois não foram registradas tendências que possam compromete-la.

4.2.1. Estudo dos Semivariogramas.

As Figuras de 44 a 57 mostram os semivariogramas para as variáveis estudadas nas duas profundidades.

Apesar de algumas exceções, observa-se que a maioria dos semivariogramas ajustou-se ao modelo esférico concordando com vários trabalhos que mostram que este modelo é o que melhor se adapta ao semivariograma das propriedades químicas do solo, quando estudadas do ponto de vista espacial, (Trangmar *et al.*, 1985; Souza, 1992; Cambardella *et al.*, 1994; Salviano *et al.*, 1998; Oliveira, 1998).

A Tabela 2 apresenta os modelos aos quais os semivariogramas para cada variável química estudada foram ajustados e seus respectivos parâmetros. Tais parâmetros são o efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C1$), alcance da dependência espacial (a) e a relação percentual efeito pepita/ patamar, ou seja, $[(C_0 / C_0 + C1) \times 100]$.

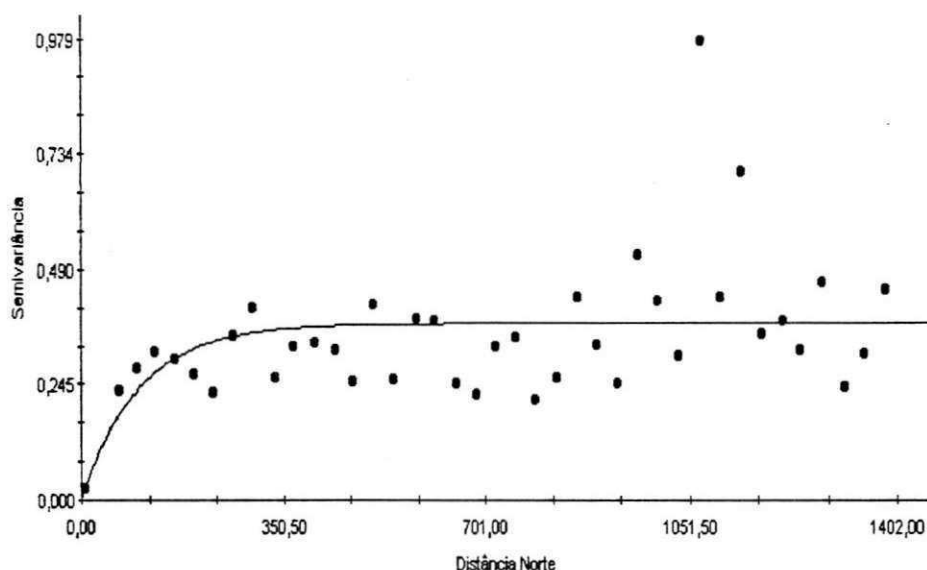


Figura 44 – Semivariograma dos valores pH na profundidade de 0-30 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância.

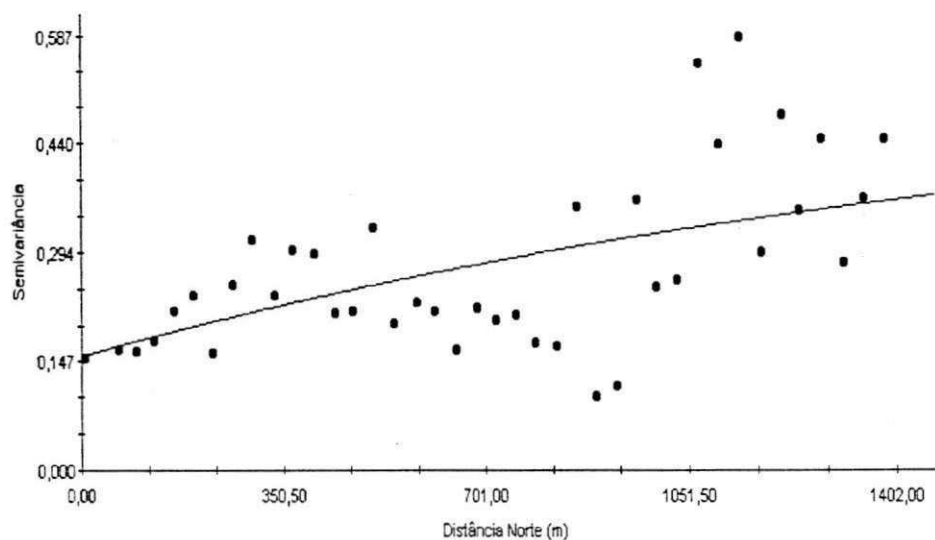


Figura 45 – Semivariograma dos valores pH na profundidade de 30-60 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância.

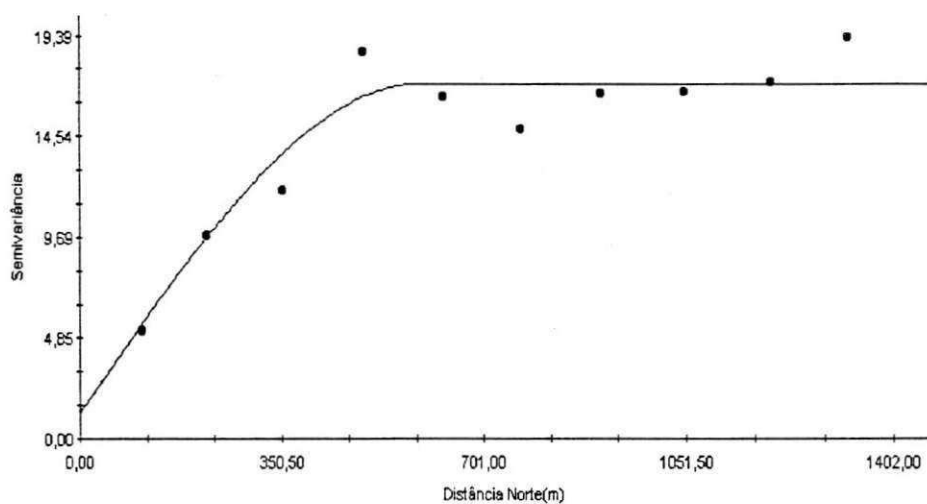


Figura 46 – Semivariograma da matéria orgânica na profundidade de 0-30 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância.

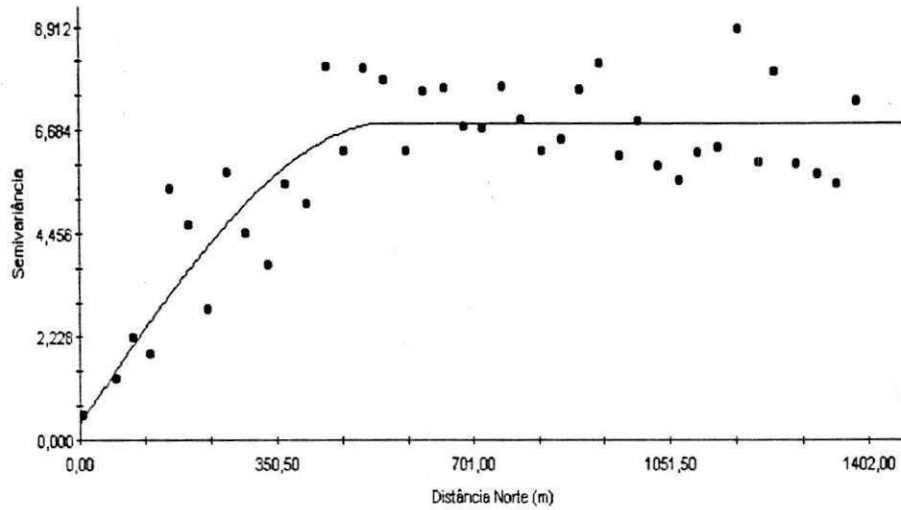


Figura 47- Semivariograma da matéria orgânica na profundidade de 30-60 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância.

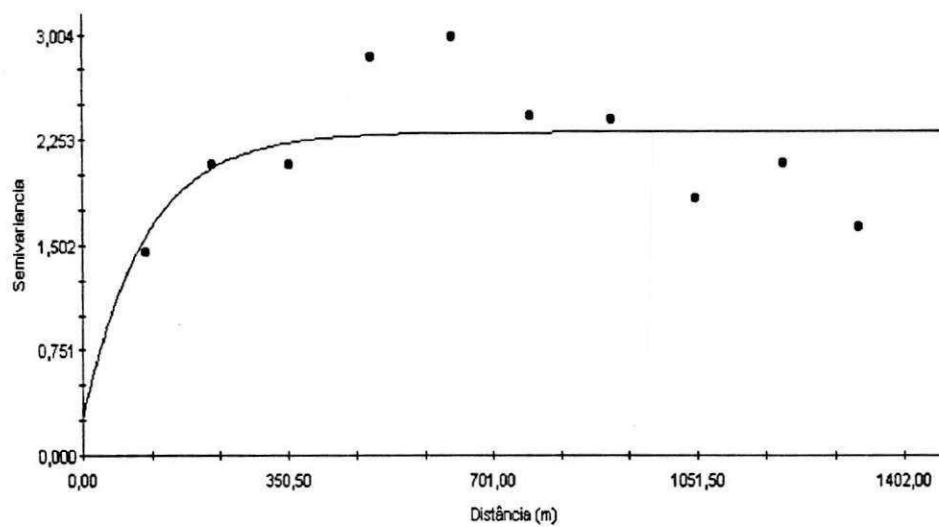


Figura 48 – Semivariograma do fósforo na profundidade de 0-30 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância.

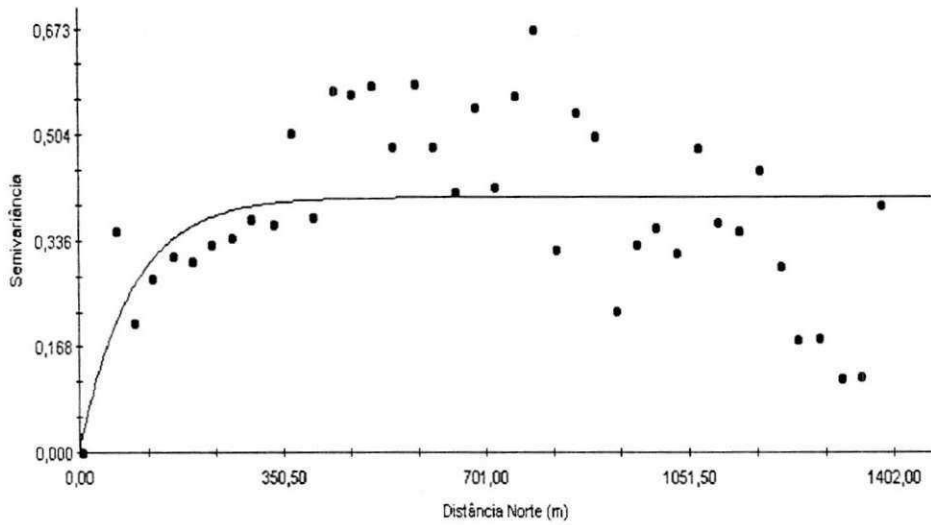


Figura 49 – Semivariograma do fósforo na profundidade de 30-60 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância.

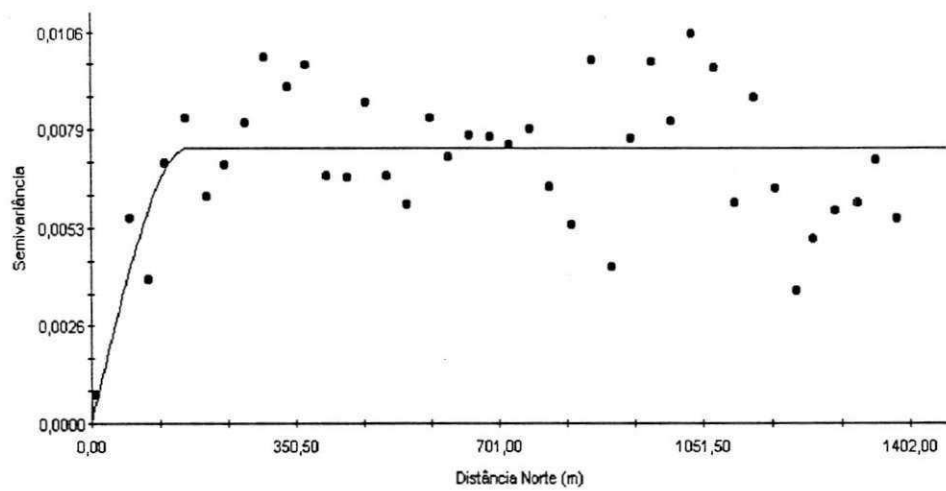


Figura 50 – Semivariograma da potássio na profundidade de 0-30 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância.

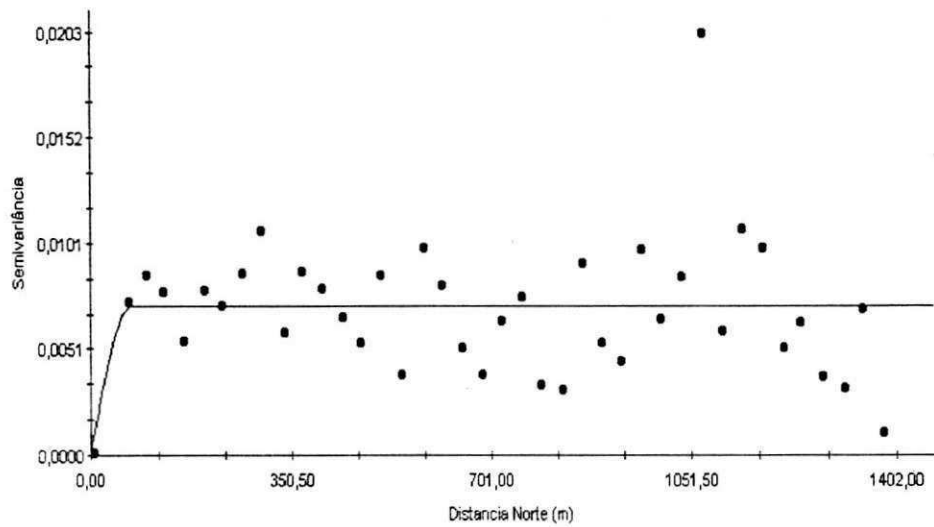


Figura 51 – Semivariograma do potássio na profundidade de 30-60 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância.

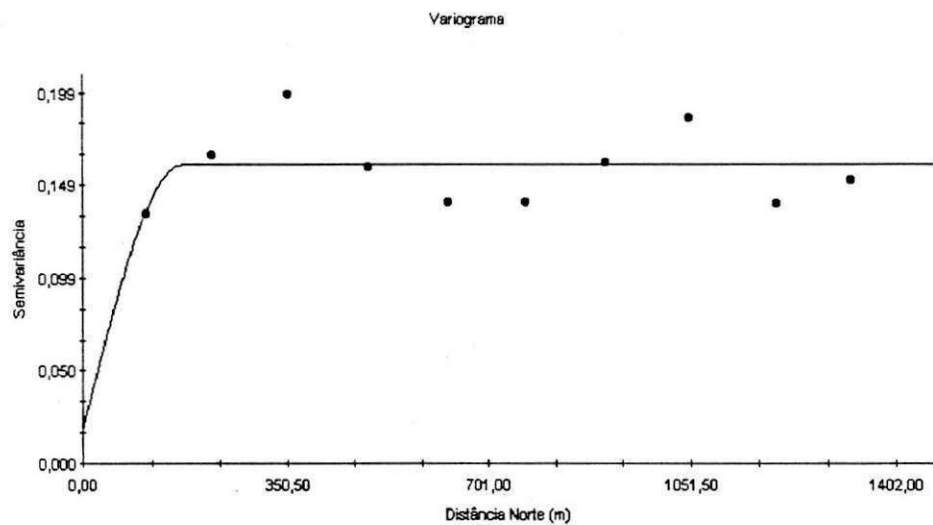


Figura 52 – Semivariograma do cálcio na profundidade de 0-30 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância.

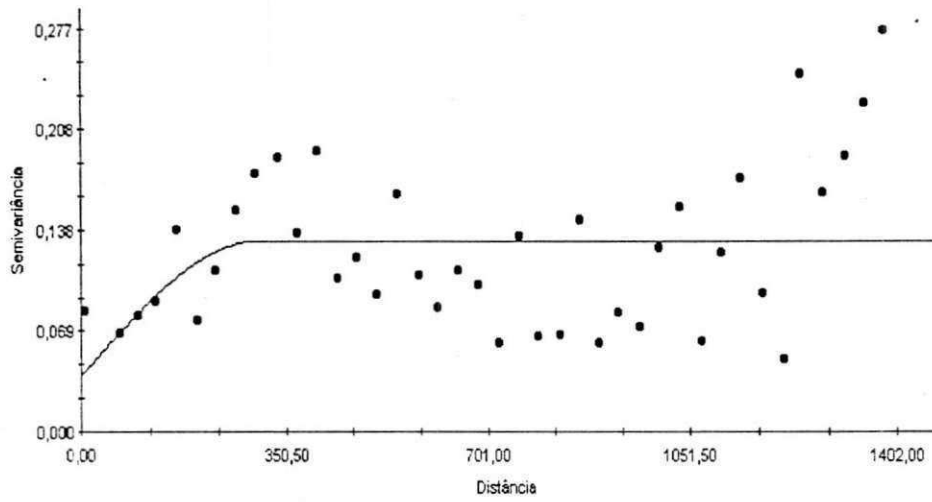


Figura 53 – Semivariograma do cálcio na profundidade de 30-60 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância.

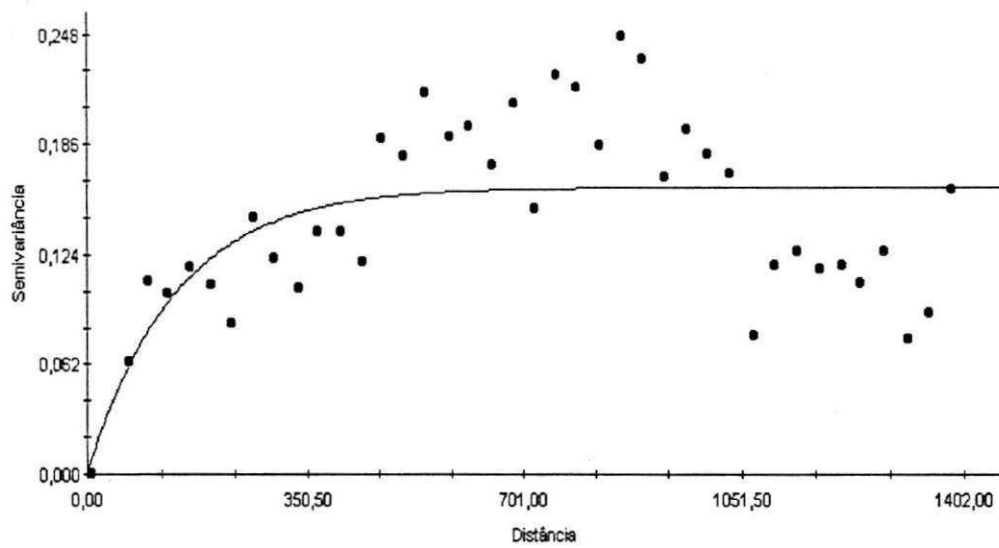


Figura 54 – Semivariograma do magnésio na profundidade de 0-30 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância.

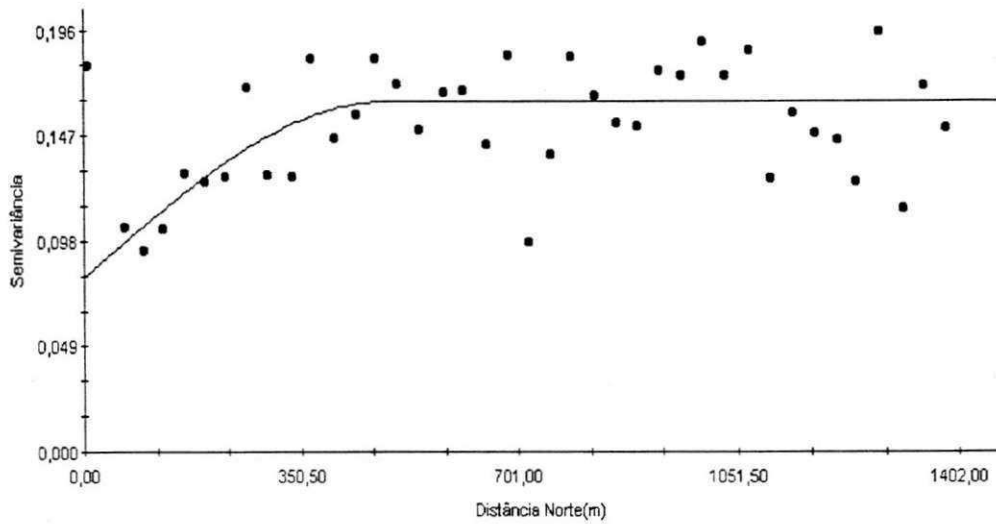


Figura 55 – Semivariograma do magnésio na profundidade de 30-60 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância.

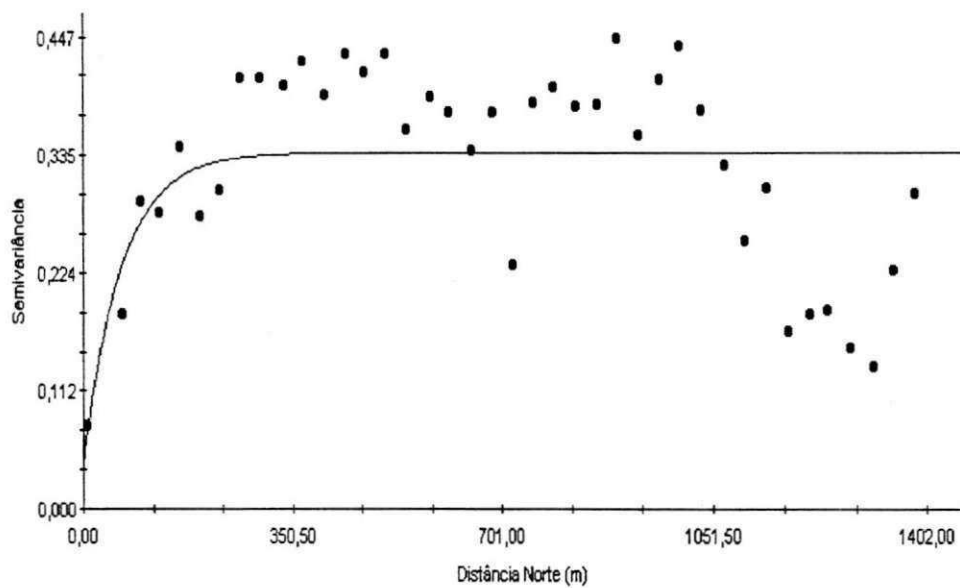


Figura 56 – Semivariograma do cálcio mais o magnésio na profundidade de 0-30 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância.

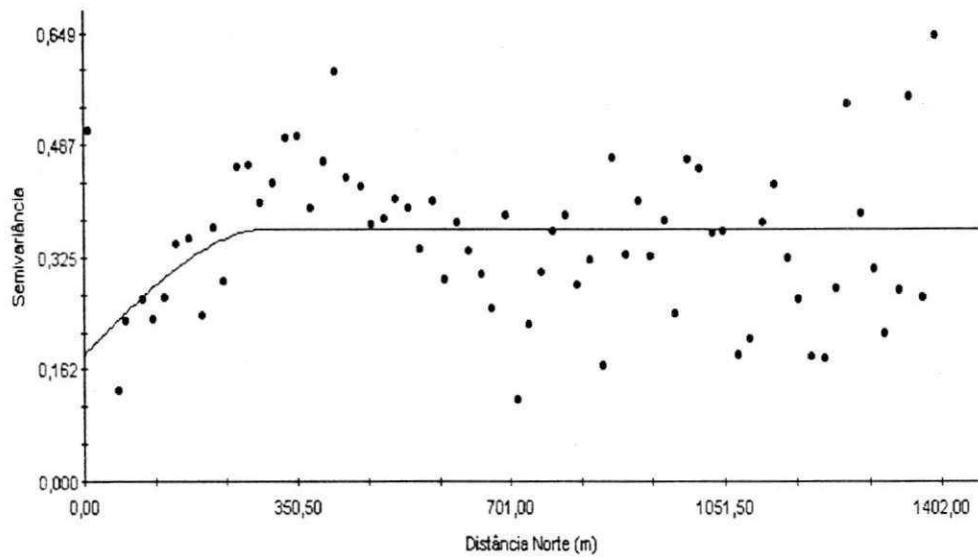


Figura 57 – Semivariograma do cálcio mais o magnésio na profundidade de 30-60 cm, mostrando o modelo ajustado a os dados em função da distância.

Tabela 2 – Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas e relação efeito pepita/patamar, expresso em percentagem, para todas as variáveis químicas, nas profundidades de 0-30 e de 30-60 cm.

| Variável | Modelo | C_0 | $C_0 + C1$ | a (m) | $\left(\frac{C_0}{C_0 + C1} \right) \cdot 100$ | $E \left(\frac{C_0}{C_0} \right)$ |
|-------------------------------|-------------|--------|------------|---------|---|------------------------------------|
| Profundidade 0-30 cm | | | | | | |
| PH | Exponencial | 0,0650 | 0,3650 | 114,00 | 17,80 | 0,22 |
| Matéria Orgânica | Esférico | 1,2100 | 17,060 | 592,00 | 7,09 | 0,06 |
| Fósforo | Exponencial | 0,2550 | 2,3100 | 107,00 | 11,03 | 0,12 |
| Potássio | Esférico | 0,0011 | 0,0074 | 168,00 | 14,8 | 0,17 |
| Cálcio | Esférico | 0,0175 | 0,1600 | 171,00 | 10,93 | 0,12 |
| Magnésio | Esférico | 0,0518 | 0,1616 | 239,00 | 32,05 | 0,47 |
| Cálcio+Magnésio | Exponencial | 0,0405 | 0,3380 | 64,00 | 11,98 | 0,14 |
| Profundidade 30-60 cm. | | | | | | |
| PH | Exponencial | 0,1510 | 0,6360 | 2356,00 | 23,74 | 0,31 |
| Matéria Orgânica | Esférico | 0,4800 | 6,7840 | 575,00 | 7,07 | 0,08 |
| Fósforo | Exponencial | 0,0270 | 0,4000 | 98,00 | 6,75 | 0,07 |
| Potássio | Esférico | 0,000 | 0,0071 | 70,00 | 0% | 0 |
| Cálcio | Esférico | 0,0001 | 0,1302 | 239,00 | 0,07 | 0,001 |
| Magnésio | Exponencial | 0,0419 | 0,1578 | 131,00 | 26,55 | 0,36 |
| Cálcio+Magnésio | Esférico | 0,1827 | 0,3664 | 304,00 | 49,86 | 0,99 |

O pH obteve um conjunto de dados no semivariograma que se ajustaram bem ao modelo exponencial nas duas profundidades. Os parâmetros para o pH na profundidade de 0-30 cm foram 0,0650, 0,3650 e 114,00m para o efeito pepita, patamar e alcance, respectivamente. Já na profundidade de 30-60 cm os valores obtidos para os parâmetros efeito pepita, patamar e alcance foram, respectivamente, de 0,1510, 0,636 e 2356,00m. Observa-se pelo efeito pepita que na camada superficial, a variabilidade não explicada foi menor que na camada subsuperficial, da mesma forma que o patamar foi atingido com menor valor. No entanto, a distância máxima de um ponto amostrado até

onde o valor do pH apresenta relação de dependência espacial com o seu próximo, ou seja, porcentagem efeito pepita/patamar, foi bem menor na camada de 30-60cm de profundidade.

Para a matéria orgânica o modelo esférico foi o que melhor se ajustou aos dados das duas profundidades. Neste caso, o efeito pepita foi maior na camada superficial e conseqüentemente a estacionaridade dos dados foi atingida com um valor mais alto do que na camada subsuperficial. No entanto, a diferença entre os valores do alcance nas duas profundidades, 592,00m e 575,00 m, respectivamente, foi pequena.

O semivariograma observado para o fósforo nas duas profundidades foi do tipo exponencial. Para a profundidade de 0-30 cm o efeito pepita (C_0) e o patamar ($C_0 + C_1$) atingiram respectivamente 0,2250 e 2,31 com um alcance (a) de 107,00 m. Para a profundidade de 30-60 cm o efeito pepita (C_0) foi de 0,0270, obtendo ainda um patamar ($C_0 + C_1$) de 0,400 e um alcance (a) de 98,00 m.

Os semivariogramas para o potássio, nas duas profundidades, ajustaram-se a um modelo esférico. Na profundidade de 0-30cm obteve-se um efeito pepita (C_0) de 0,0011 e um patamar ($C_0 + C_1$) com valor de 0,0074. Já o semivariograma, para o mesmo elemento, na profundidade de 30-60 cm, apresentou um efeito pepita (C_0) igual a zero e um alcance (a) de 70 m. Porém, com um ajuste menos restritivo, poder-se-ia adequar os dados de potássio a um modelo do tipo "efeito pepita puro". Tal modelo garante a total aleatoriedade dos dados obtidos, ou seja, a média correspondente a estes dados pode ser usada para descrever o comportamento dos mesmos, assim como os demais parâmetros estatísticos convencionais. Outro aspecto a ser levado em consideração é o baixo valor do alcance do modelo que foi ajustado para esta variável. Como este é relativamente pequeno, quando comparado com a distância máxima considerada no semivariograma, pode-se assim, adotar um efeito pepita puro com a redução da distância ativa considerada para o cálculo da semivariância, ou seja, o "passo" usado na obtenção da função $\gamma(h)$.

Também para o cálcio o modelo esférico foi o que melhor se ajustou aos dados das duas profundidades. Os valores do efeito pepita, patamar e alcance para a profundidade de 0-30cm, foram respectivamente 0,0175, 0,1600 e 171,00m. Já para a profundidade de 30-60 cm esses valores ficaram em torno de 0,0001, 0,1302 e 239,00m.

Com relação ao magnésio os modelos ajustados para as duas profundidades foram diferentes; para a profundidade de 0-30 cm o modelo que melhor

se ajustou aos dados foi o esférico, concordando com a literatura consultada. Já para a profundidade de 30-60 cm o modelo ajustado aos dados foi o exponencial. Os parâmetros observados para o magnésio na profundidade de 0-30 cm foram 0,0518 para o efeito pepita, 0,1616 para o patamar e um alcance de 239,00m. Na profundidade de 30-60 cm os valores de efeito pepita, patamar e alcance foram respectivamente 0,0419, 0,1578 e 131,00m.

Quando os valores de cálcio e magnésio foram analisados em conjunto, os semivariogramas para a camada superficial e subsuperficial se ajustaram melhor aos modelos exponencial e esférico, respectivamente. O efeito pepita na camada superficial foi menor, porém, a estacionaridade dos dados das duas camadas foi atingida em valores muito próximos.

Considerando a classificação proposta por Cambardella *et al.* (1994), observa-se na Tabela 2 que todos os elementos estudados na profundidade de 0-30 cm, obtiveram uma forte dependência espacial, com exceção do magnésio que obteve uma moderada dependência espacial apresentando uma relação efeito pepita/ patamar da ordem de 32,05%. Considerando-se a classificação proposta por Guerra (1988) o mesmo elemento apresentou o grau de aleatoriedade muito significativo ($E=0,47$). O pH ($E=0,22$) e potássio ($E=0,17$) apresentaram aleatoriedade significativa, enquanto que os outros elementos na mesma profundidade apresentaram grau de aleatoriedade pouco significativo.

Já para a profundidade de 30-60 cm, com exceção do magnésio e do cálcio mais magnésio, que apresentaram moderada dependência espacial, os demais elementos atingiram uma forte dependência espacial entre as amostras analisadas. Levando – se em consideração a classificação de aleatoriedade (E), o pH o magnésio e o cálcio mais o magnésio apresentaram uma aleatoriedade significativa, porém o pH se aproximou da pouca aleatoriedade. De forma geral o grau de dependência espacial proposta por Cambardella *et al.* (1994) se aproximou muito do que foi proposto por Guerra (1988), no que se refere à dispersão da semivariância.

As Tabelas 3 e 4 expressam as equações ajustadas aos semivariogramas experimentais de todas as variáveis químicas estudadas nas profundidades de 0-30 cm e 30-60 cm.

Tabela 3 – Equações ajustadas aos semivariogramas experimentais de todas as variáveis químicas estudadas na profundidade de 0-30 cm.

| Variável | Modelo | Equação |
|----------|-------------|---|
| pH | Exponencial | $\gamma(h) = 0,065 + 0,3 \left[1 - \exp\left(\frac{-3h}{114,00}\right) \right]$ <p>Para $h \geq 0$</p> |
| MO | Esférico | $\gamma(h) = 1,21 + 15,85 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{594} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{592} \right)^3 \right]$ <p>Para $0 \leq h \leq 592,00$</p> |
| Fósforo | Exponencial | $\gamma(h) = 0,2550 + 2,055 \left[1 - \exp\left(\frac{-3h}{107,00}\right) \right]$ <p>Para $h \geq 0$</p> |
| Potássio | Esférico | $\gamma(h) = 0,0011 + 0,0063 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{168} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{168} \right)^3 \right]$ <p>Para $0 \leq h \leq 168$</p> |
| Cálcio | Esférico | $\gamma(h) = 0,0175 + 0,1425 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{171} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{171} \right)^3 \right]$ <p>Para $0 \leq h \leq 171$</p> |
| Magnésio | Esférico | $\gamma(h) = 0,0518 + 0,1098 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{239} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{239} \right)^3 \right]$ <p>Para $0 \leq h \leq 239$</p> |

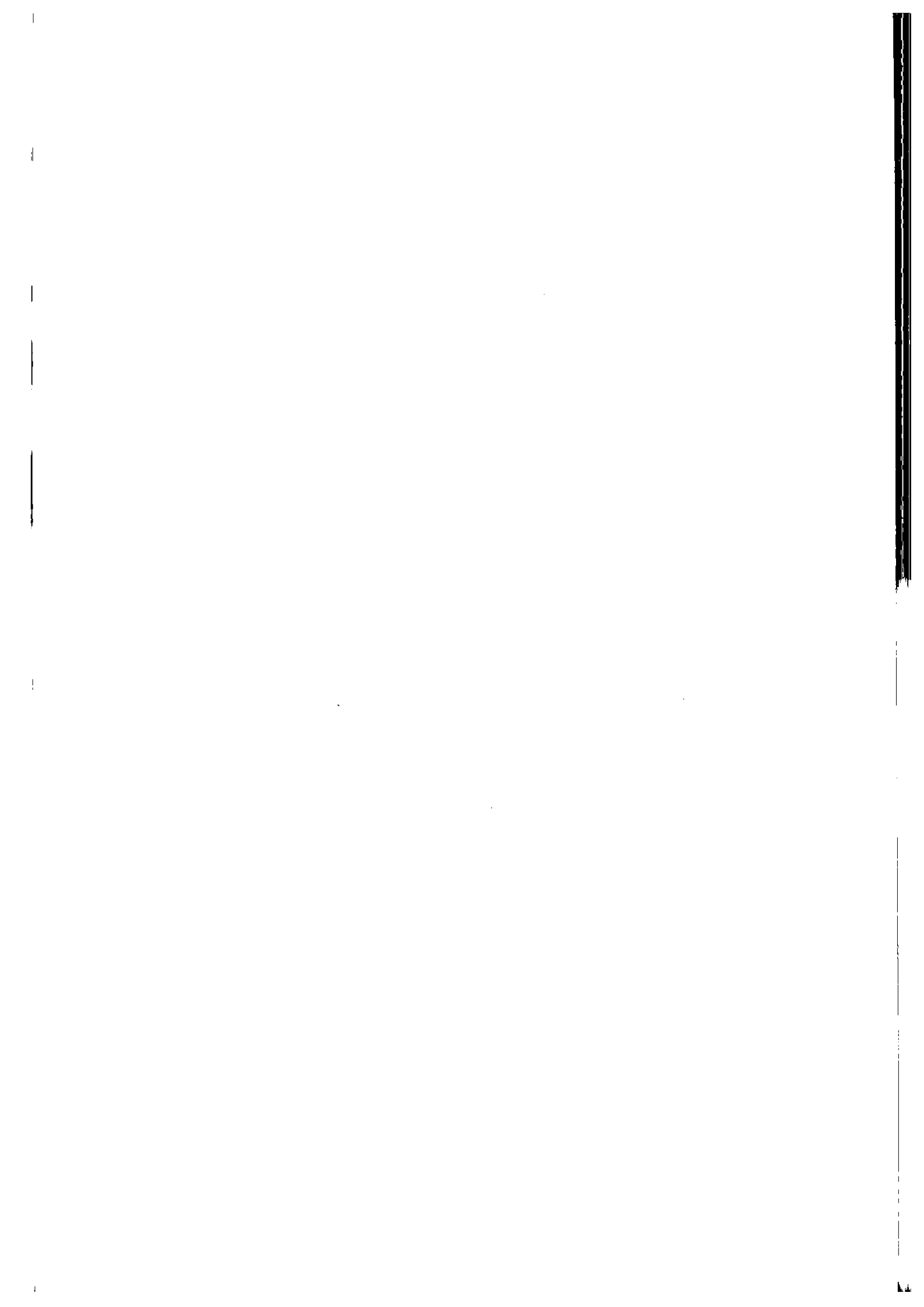


Tabela 4– Equações ajustadas aos semivariogramas experimentais de todas as variáveis químicas estudadas na profundidade de 30-60 cm.

| Variável | Modelo | Equação |
|----------|-------------|---|
| pH | Exponencial | $\gamma(h) = 0,1510 + 0,485 \left[1 - \exp\left(\frac{-3h}{2356}\right) \right]$ <p>Para $h \geq 0$</p> |
| M.O | Esférico | $\gamma(h) = 0,48 + 6,304 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{575} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{575} \right)^3 \right]$ <p>Para $0 \leq h \leq 575$</p> |
| Fósforo | Exponencial | $\gamma(h) = 0,027 + 0,373 \left[1 - \exp\left(\frac{-3h}{98,00}\right) \right]$ <p>Para $h \geq 0$</p> |
| Potássio | Esférico | $\gamma(h) = 0,000 + 0,0071 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{70} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{70} \right)^3 \right]$ <p>Para $0 \leq h \leq 70$</p> |
| Cálcio | Esférico | $\gamma(h) = 0,0001 + 0,1301 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{239} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{239} \right)^3 \right]$ <p>Para $0 \leq h \leq 239$</p> |
| Magnésio | Exponencial | $\gamma(h) = 0,0419 + 0,1159 \left[1 - \exp\left(\frac{-3h}{131}\right) \right]$ <p>Para $h \geq 0$</p> |

4.2.2. Elaboração dos Mapas de Isolinhas.

Os mapas de isolinhas, que são a representação gráfica de amostras que apresentam teores iguais de determinado parâmetro, foram elaborados usando a interpolação pelo método da Krigagem e estão apresentados nas Figuras de 58 a 71.

Em algumas dessas figuras observa-se a presença de linhas fechadas e próximas entre si, o que é característico de áreas com uma maior variabilidade; em outras, a presença de linhas espaçadas, que é a condição de uma menor variabilidade. Segundo Oliveira (1998) através destas observações torna-se possível localizar áreas ou sub-regiões onde estão concentrados os maiores e ou menores valores de determinada variável química do solo. Essa localização é importante principalmente quando se refere ao planejamento experimental e/ou planejamento do manejo da fertilidade do solo, tanto na agricultura convencional como na agricultura de precisão.

Através das Figuras 58 e 59, por exemplo, podem ser observadas as subáreas que deveriam receber maior quantidade de corretivo no momento da correção de acidez da área.

Em relação a matéria orgânica, apesar dos seus teores serem considerados baixos, praticamente em toda a área estudada, pode-se observar nas Figuras 60 e 61 as subáreas mais críticas em relação à estes baixos teores.

Da mesma forma para o fósforo. Em uma adubação convencional, a área estudada deveria receber a mesma quantidade de adubo, uma vez que em toda ela o teor do elemento foi considerado baixo. No entanto, observa-se na Figura 62 que o comportamento da distribuição do fósforo na área estudada é variável, sinalizando para que nela a distribuição do adubo seja diferenciada. Isto pode ocorrer para as demais propriedades químicas do solo.

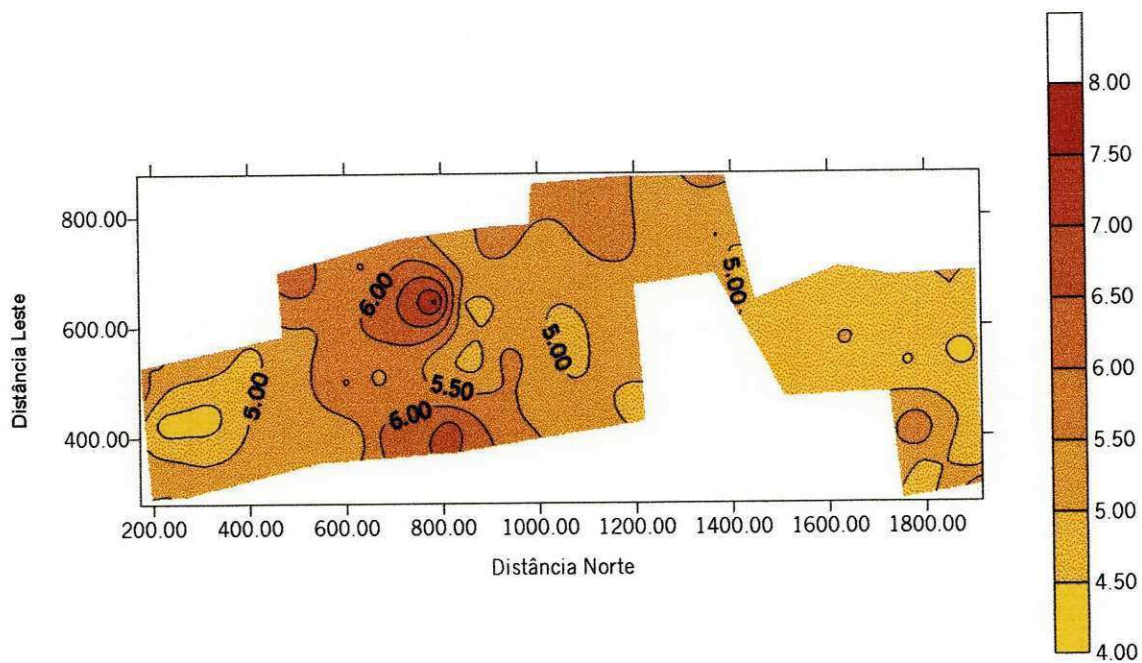


Figura 58 – Mapa de isolinhas para o pH na profundidade de 0-30 cm.

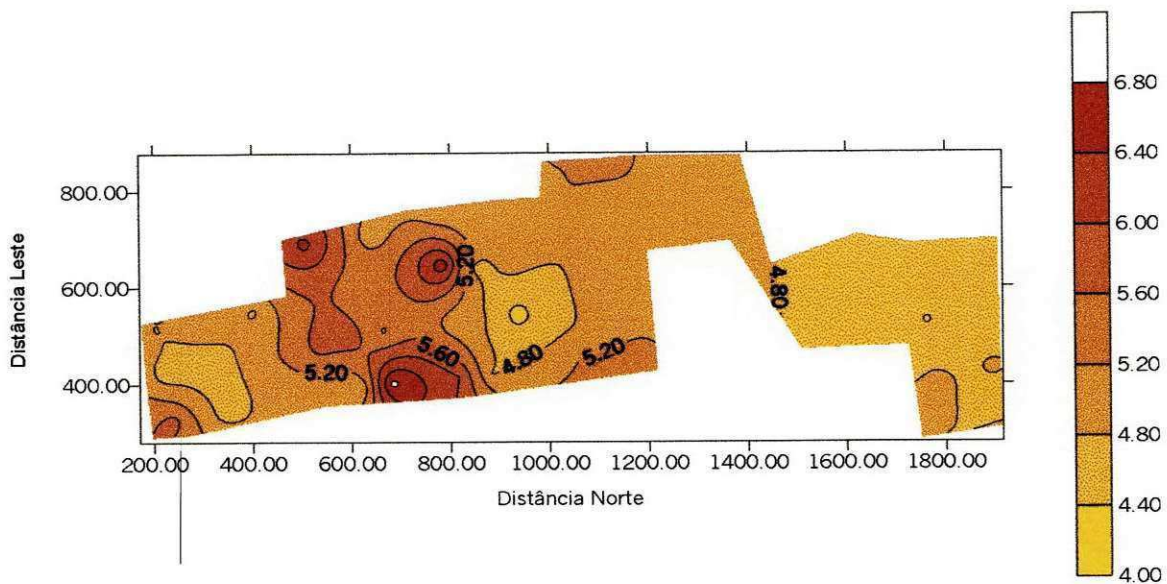


Figura 59 – Mapa de isolinhas para o pH na profundidade de 30-60 cm.

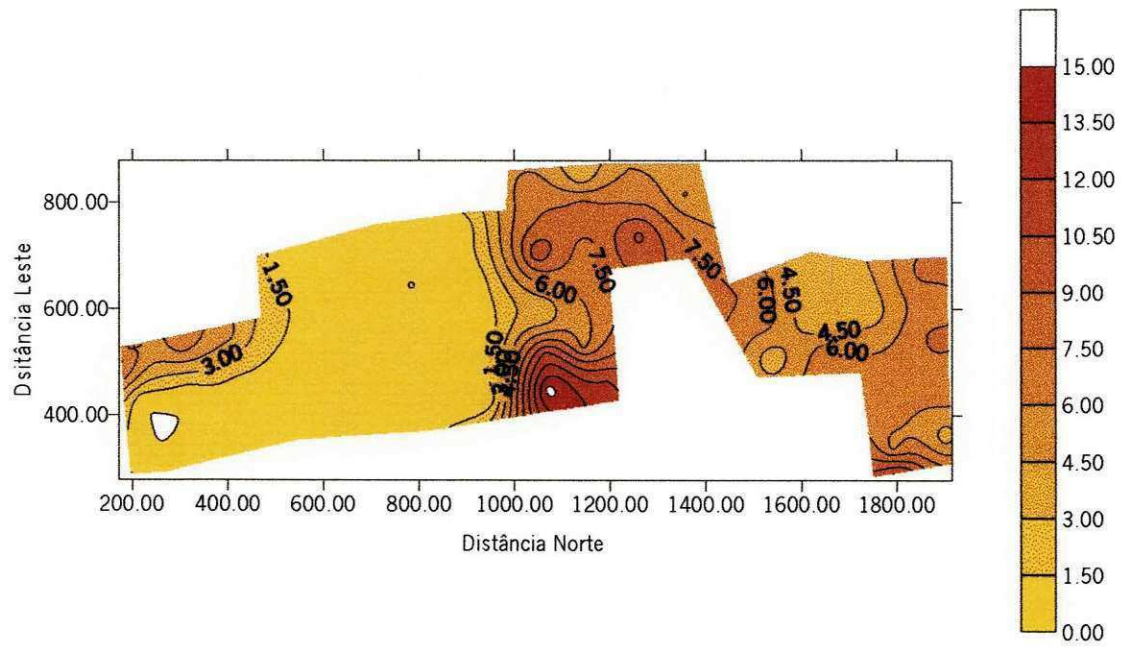


Figura 60 – Mapa de isolinhas para a matéria orgânica (g/kg) na profundidade 0-30 cm.

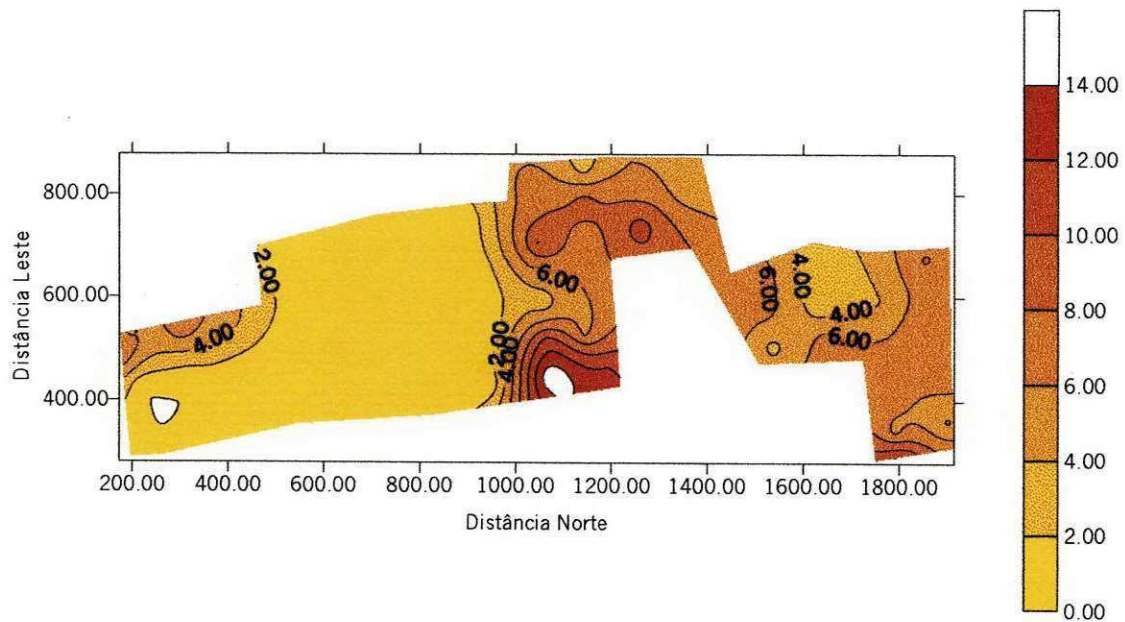


Figura 61 – Mapa de isolinhas para a matéria orgânica (g/kg) na profundidade 30-60 cm.

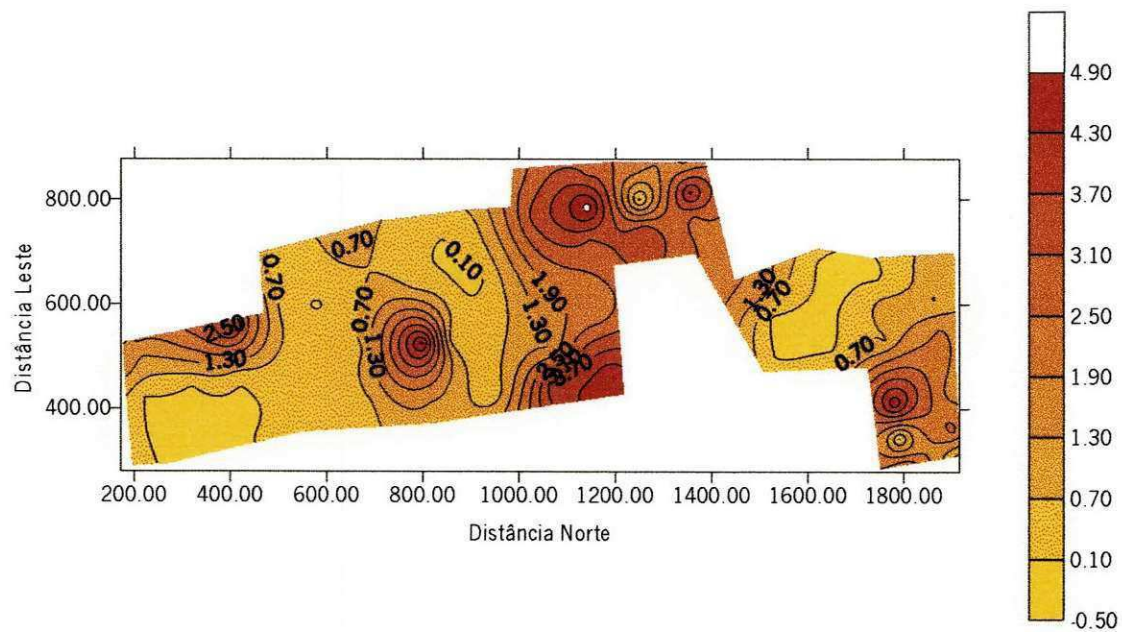


Figura 62 – Mapa de isolinhas para o fósforo (mg/dm^3) na profundidade de 0-30 cm.

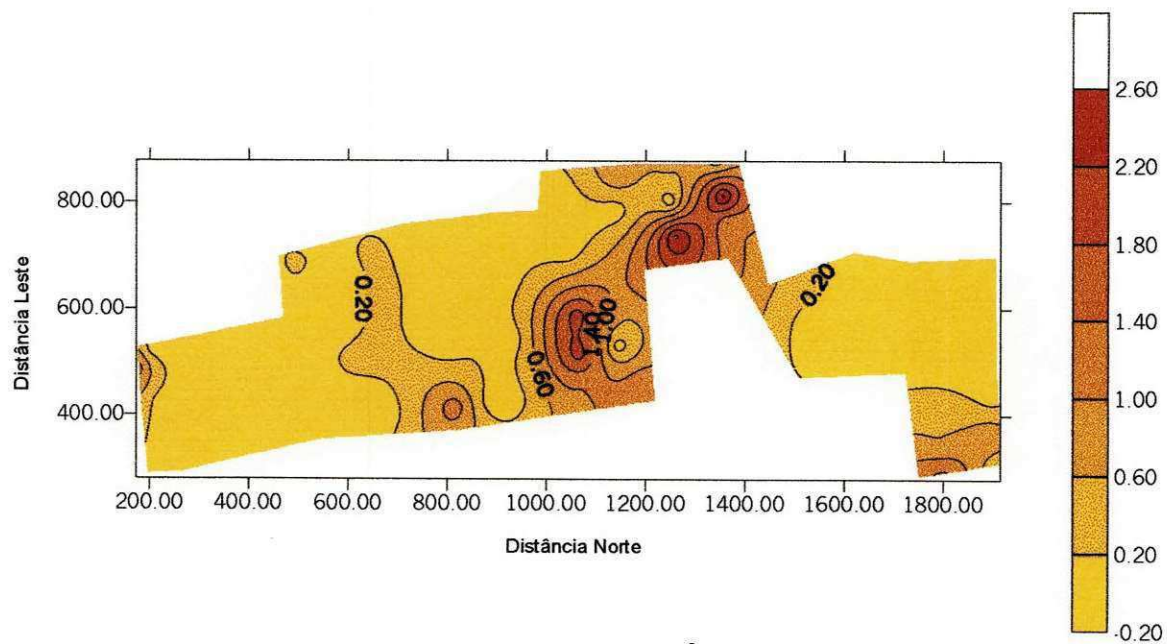


Figura 63 – Mapa de isolinhas para o fósforo (mg/dm^3) na profundidade de 30-60 cm.

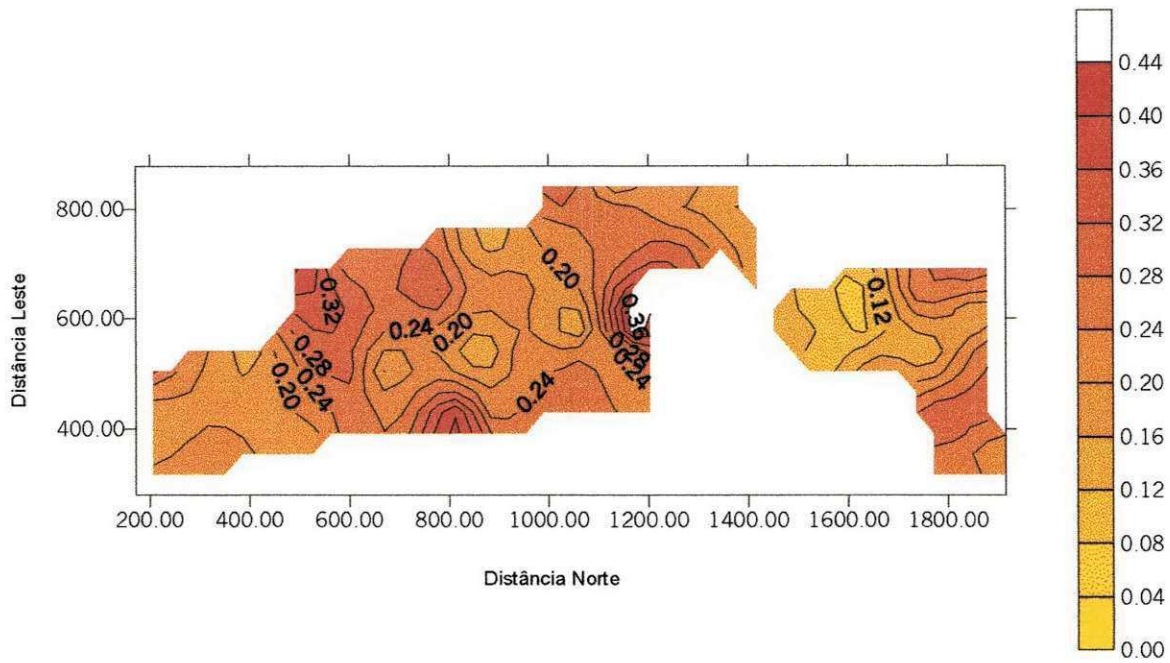


Figura 64 – Mapa de isolinhas para o potássio (cmol/kg) na profundidade de 0-30 cm.

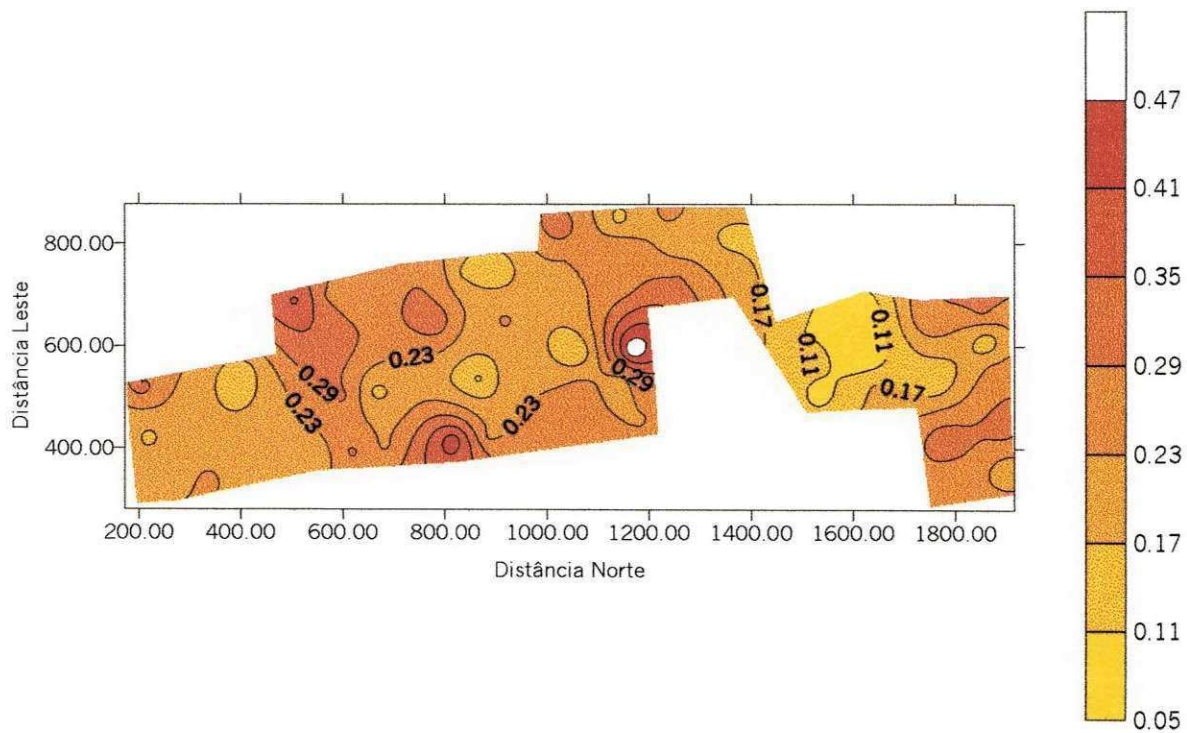


Figura 65 – Mapa de isolinhas para o potássio (cmol/kg) na profundidade de 30-60 cm.

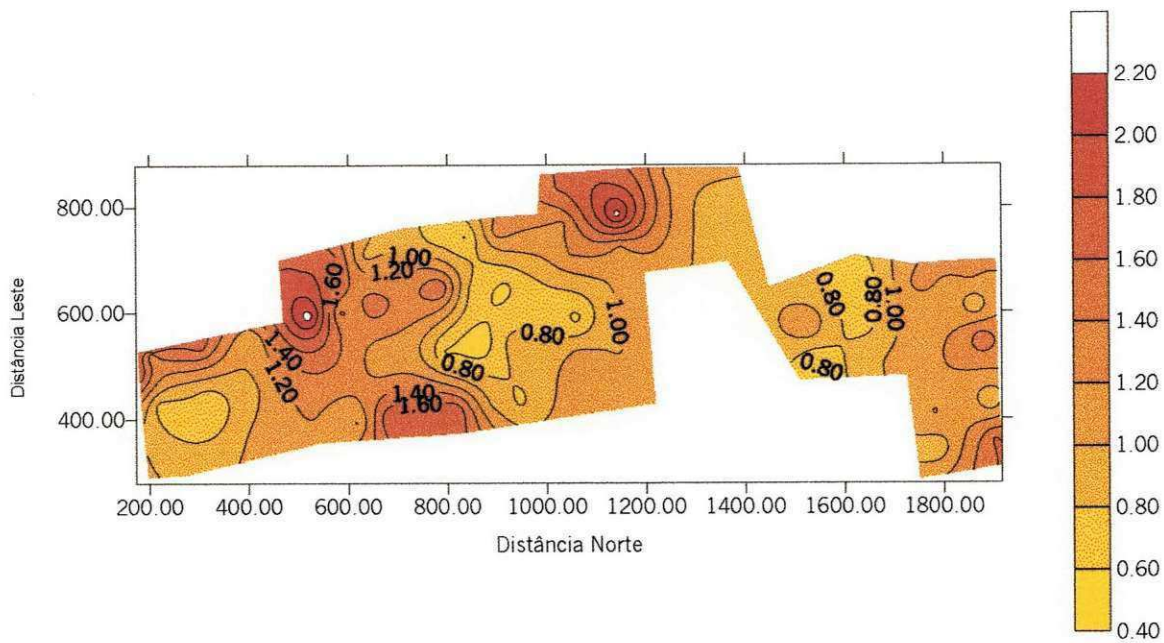


Figura 66 – Mapa de isolinhas para o cálcio (cmol/kg) na profundidade de 0-30 cm.

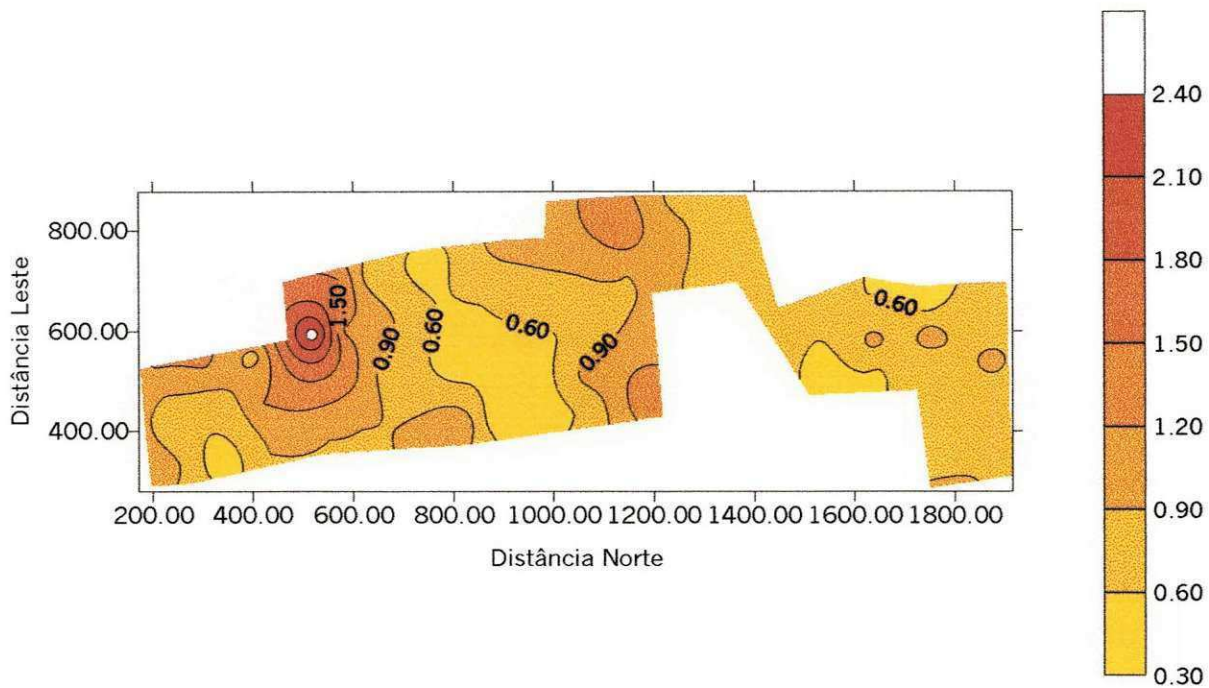


Figura 67 – Mapa de isolinhas para o cálcio (cmol/kg) na profundidade de 30-60 cm.

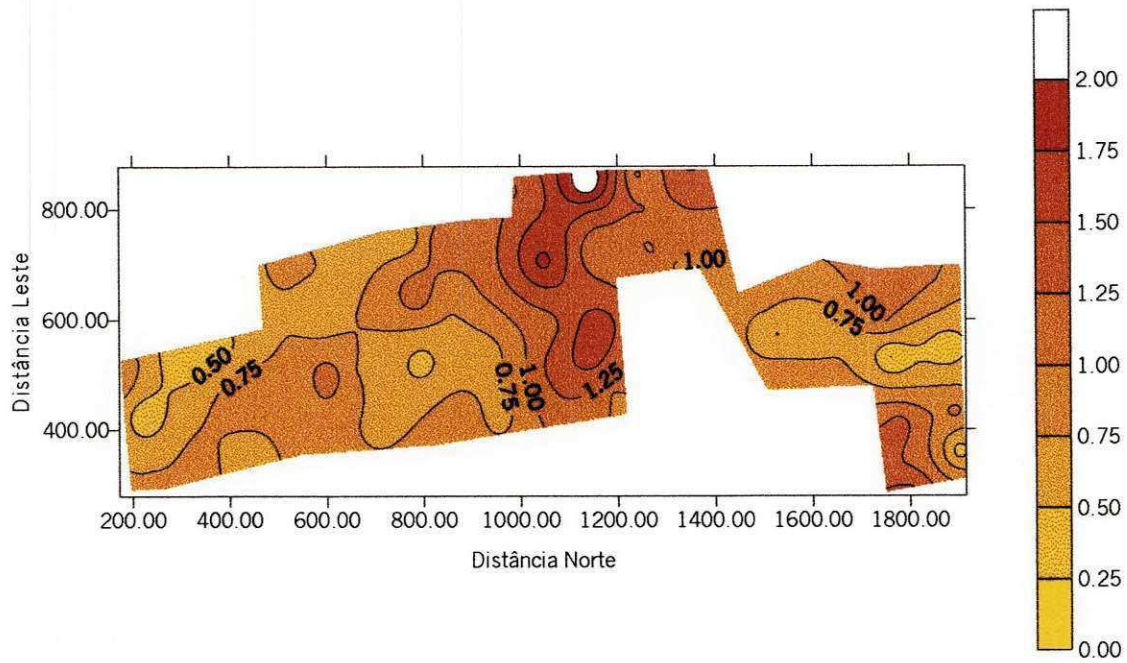


Figura 68 – Mapa de isolinhas para o magnésio (cmol_c/kg) na profundidade 0-30 cm.

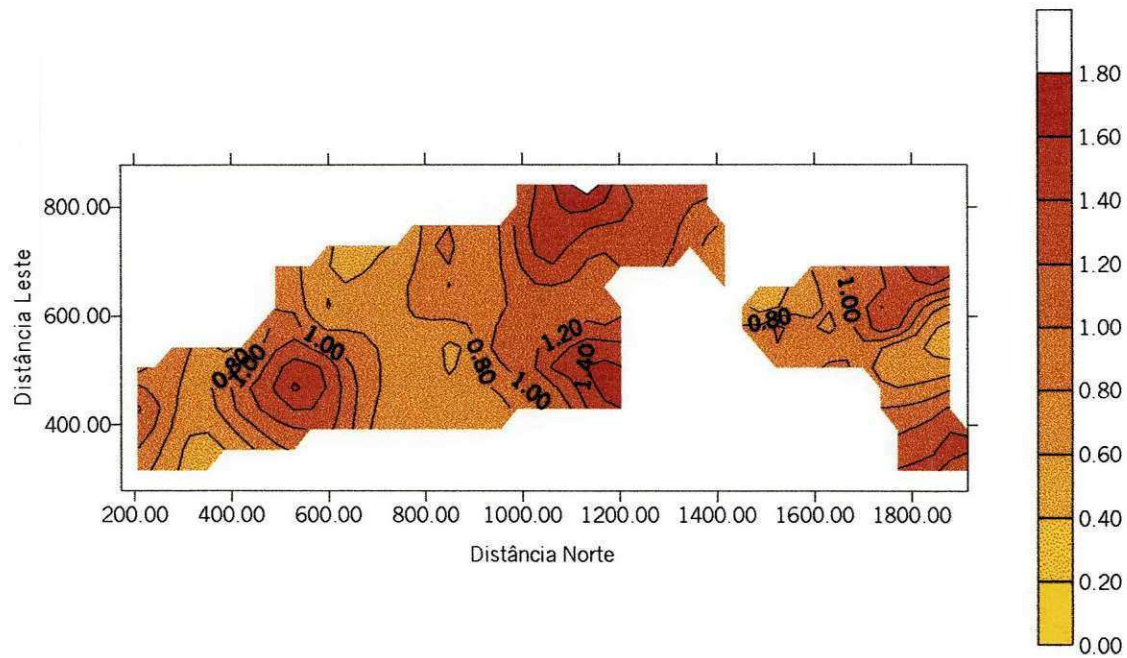


Figura 69 – Mapa de isolinhas para o magnésio (cmol_c/kg) na profundidade 30-60 cm.

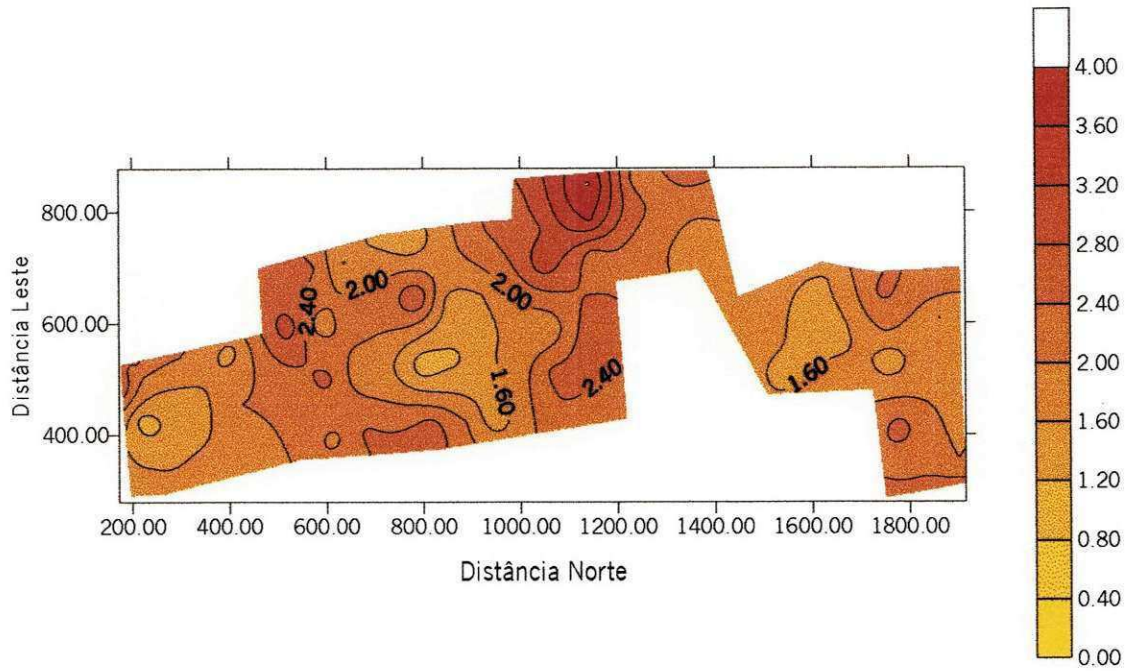


Figura 70 – Mapa de isolinhas para o cálcio mais o magnésio (cmol/kg) na profundidade 0-30 cm.

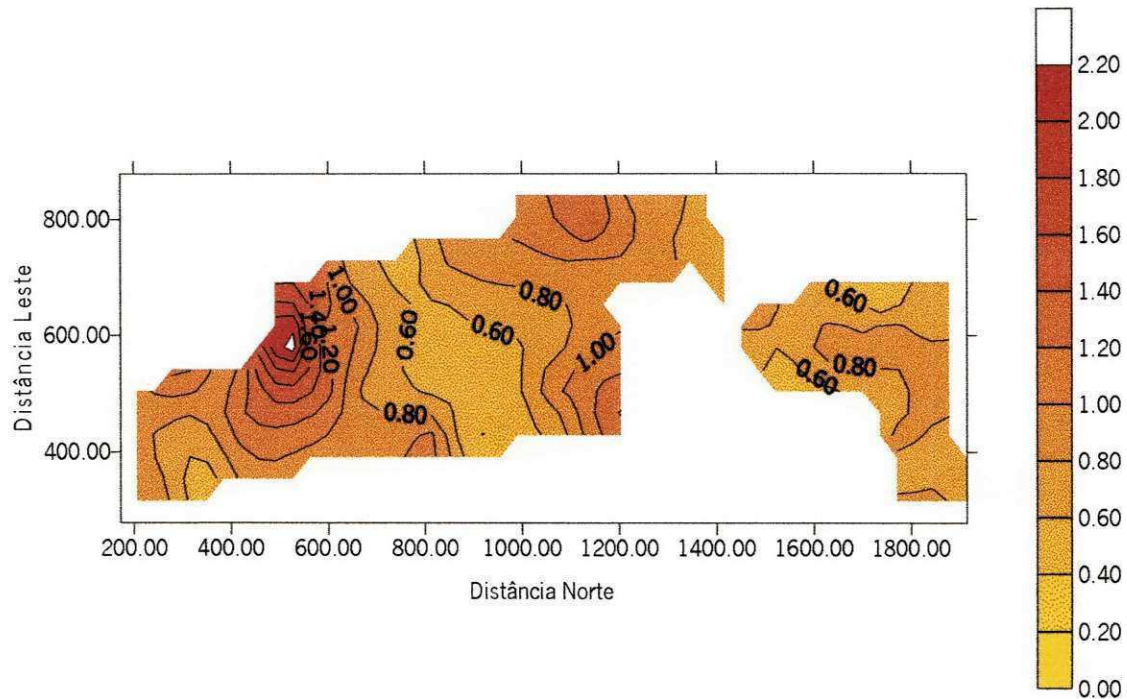


Figura 71 – Mapa de isolinhas para o cálcio mais o magnésio (cmol/kg) na profundidade 30-60 cm.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que:

1. O solo da "Extensão Maria Tereza" apresenta baixa fertilidade e reação ácida, necessitando ser adubado e calcariado, quando utilizado para fins agrícola.
2. A maior variabilidade, medida por meio do coeficiente de variação, foi observada para o fósforo enquanto que o pH foi o que apresentou menor variabilidade.
3. Na profundidade de 0-30 cm, o pH, potássio e magnésio apresentaram distribuição normal. Na profundidade de 30-60 cm apenas o potássio apresentou esse tipo de distribuição. Para as demais propriedades químicas não se constatou uma distribuição normal.
4. A análise de dependência espacial mostrou que, nas duas profundidades, o magnésio e potássio, a matéria orgânica e cálcio, foram os que apresentaram menor e maior correlação espacial, respectivamente.
5. O modelo ajustado aos dados de pH, fósforo e cálcio mais magnésio foi do tipo exponencial, enquanto que aos dados de potássio, matéria orgânica, cálcio e magnésio, foram do tipo esférico, na profundidade de 0-30cm. Na profundidade de 30-60cm, o modelo ajustado aos dados de fósforo, magnésio e pH foram do tipo exponencial, e aos dados de potássio, matéria orgânica, cálcio e cálcio mais magnésio, foi do tipo esférico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D.J.; DEBARBA, L. & AMADO, T.S.C.

Variabilidade espacial em parcelas experimentais de perda de água e solo por chuva natural. Ciência Rural, Santa Maria - RS, v. 24, n. 2, p. 269-273, 1994.

ANDERSON, J.M.; FLANAGAN, P. *Biological Processes regulating organic mater*

dynamics in tropical soil. In: Dynamics of soil organic ecosystems. COLEMAN, D.C.; OADES, M.; UERHARA, G. (eds.) University of Hawaii Press. Honolulu. 1989.

BALL, D.F.; & WILLIAMS, W. M. *Variability of soil chemical properties in two uncultivated brow earths*. Journal of Soil Sciences, v.19, p. 378-391, 1968.

BHATTI, A.U.; MULLA, D.J.; FRAZIER B.E. *Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded soil hilss using geoestatistics and thematic mapper images*. Remote sens. everoment. V.37, p.181-191. 1991.

BERG, M.V.D.; KLANT, E. *Variabilidade espacial de características do solo na região do planalto médio, RS: II Análise da variância da semivariância*. Revista Brasileira Ciência do Solo, Viçosa, v. 21, n.3, p 401-408, 1997.

- CALVALCANTI, F.J.A.; MESSIAS, A.S.; SILVA, M.C.L.; MORAES, E.J.F. *Avaliação da fertilidade do solo de Pernambuco: Resultados de 1999*. In: XIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Ilhéus -BA, 2000.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVACK, J. M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO R. F.; KNOPKA, A. E. *Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils*. Soil Sci. Soc. Am. J., 58: 1240-1248, 1994.
- CATANI, R.A. Amostragem de solo para fins de fertilidade. *Bragantia*, v.14. p.19-26, 1954.
- CHAVES, L.H.G.; MENINO, I. B.; ARAÚJO, I. A.; CHAVES, I.B. *Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do município de Souza-PB*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, n.3, p. 262-267, 1998.
- COELHO, F.S., *Fertilidade do solo*. 2.ed. São Paulo, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 365 p.
- COELHO, M. G. *Variabilidade espacial de características físicas e químicas em um solo salino-sódico*. Ciência Agronômica, Fortaleza-CE, v. 14, p. 149-156, 1983.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO - CODEVASF. *Assistência técnica e extensão rural - ATER. Relatório anual 1999*. Petrolina - PE, 1999. 84p.
- COSTA NETO, P.L.O. *Estatística*. 15 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997. 468p.
- COUTO, E.G.; FILIPADI, H.N.T.; AYRES, R.M.; LOBO, F.A. *O uso da terra e o garimpo na bacia do Rio São Lourenço, Mato Grosso: Reflexos no ambiente*. Cuiabá, Universidade Federal do Mato Grosso, 1990. 206 p.
- COUTO, E. G. *Variabilidade espacial de propriedades do solo influenciadas pela agricultura em escala regional e local, no sul do Mato Grosso*. Porto Alegre, Universidade federal do Rio Grande do Sul, 1997, 178 p. (Tese de Doutorado).

- COUTO, E. G.; KLAMT, E. & STEIN A. *Estimativa do teor de argila e do potássio trocável em solos esparsamente amostrados no sul do Estado do Mato Grosso*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas - SP, v. 24, p. 129-139, 2000.
- COUTO, E. G.; MELLO, D. *O uso da krigagem para identificar a resistência a penetração num latossolo vermelho fêrrico sob diferentes coberturas e sistemas de preparo de solo*. In: XIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Ilhéus -BA, 2000.
- DUXBURY, J.M., SMITH, S.M.; DORAN, J.W. *Organic matter as a source and a sink of plants nutrients*. In: Dynamics of soil organic ecosystems. COLEMAN, D.C.; OADES, M.; UERHARA, G. (eds.) University of Hawaii Press. Honolulu. 1989.
- EMATER. *Sugestões de adubação para o estado da Paraíba: 1ª aproximação*. João Pessoa: EMATER-PB, 1979.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Serviço Nacional de levantamento de solos. Manual de métodos de análise de solo*. 2ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FONSECA, J. S.; MARTINS, G.A. *Curso de Estatística*. São Paulo: Atlas, 1993. 317p.
- GAVA, J. L. GOLÇALVES, J. L.; SHIBATA, F.Y; CORRADINI, L. *Eficiência relativa de fertilizantes fosfatados no crescimento inicial de eucalipto cultivado em solos do cerrado*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.21, n.3, p 489-504, 1997.
- GOEDERT, W. J. *Manejament of the cerrado soils of Brasil : A reveiw*. J. Soil Sci., 34; 405 - 408, 1983.
- GOMES, F.P. *Curso de estatística experimental*. 13 ed. São Paulo: Nobel, 1990. 468p.
- GONÇALVES, C.; ABREU, S. L.; SILVEIRA, M. J.; REICHRT, J. M.; REINERT, D. J. *Variabilidade espacial de propriedades hídricas e mecânicas de um solo sob*

- sistema plantio direto*. In: XIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo da Água, Ilhéus -BA, 2000.
- GUERRA, P.A.G. *Geoestatística operacional*. Ministério das Minas e Energia/ Departamento de Produção Mineral, Brasília - DF, 1988. 145p.
- GUIMARÃES, E.C. *Variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo em um latossolo roxo*. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade de Estadual de Campinas, 1993. 138 p. (Dissertação de Mestrado).
- ISAAK, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *An introduction to applied geostatistics*. Oxford. Oxford University Press. 1989. 561p.
- JORGE, J.A. *Solo: manejo e adubação*. São Paulo: Editora Polígono, 1969, 146p.
- JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. H. J. *Mining geostatistics*. Academic Press, London, 1978. 600p.
- LOPES, A.S; COX, F.R.; *A survey of the fertility status of surface soil under "cerrado vegetation" in Brasil*. Sic. Am. J., 41: 742 - 747; 1977.
- MATHERON,G. *Principles of geostatistics*. Econ. Geol., 58: 1246 - 1266, 1963.
- MELLO, F.A.F; SOBRINHO, M.O. C.B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; NETO,A.C.; KIEHL, J.C. *Fertilidade do solo*. 3ed. São Paulo: Nobel, 1989, 400p.
- MONIZ, A. C. *Elementos de pedologia*. São Paulo: Ed. Polígono, 1972,459 p.
- NOVAES, R.F.; SMYTH,T. J. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos,1999. 399p.
- OLIVEIRA, J.J; *Variabilidade espacial de características químicas em um solo salino-sódico*. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, DEAg.,1998, 98p., (Dissertação de Mestrado).

- OLIVEIRA, J.J.; CHAVES, L.H.G.; QUEIROZ, J.E. & LUNA, J.G.de. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23,n.4, p 783-789, 1999.
- OLIVEIRA, J.C.M.; TOMINAGA, T.T. ; CASSARA, F.A. M.; REICHARDT, K.; TIMM, L.C.; BACCHI O.O.S. *Variabilidade espacial da umidade do solo num cultivo de cana-de-açúcar submetido a diferentes tipos de manejo*. In: XIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo da Água, Ilhéus -BA, 2000.
- PARKIN, T.B.; ROBINSON, J.A. *Analysis of lognormal data*. *Advances in Soil Science* v.20, p.193-235, 1992.
- QUEIROZ, J.E. GONÇALVES, A.C.; SOUTO, J.S. FOLEGATTI, M.V. *Avaliação e monitoramento da salinidade do solo*. In: GHEIY, H.H.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. *Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada*. Campina Grande, UFPB, p.69-111, 1997.
- RAIJ, B.V. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Editora Ceres, 1991. 343p.
- REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R. & LIBARDI, P. L. *Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas - SP, v. 10, n. 1, p. 1- 6,1986.
- RIBEIRO JÚNIOR, P.J. *Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo*. Piracicaba - SP: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, 1995.99p. (Dissertação de Mestrado).
- ROBERTSON, G.P. *GS + : Geostatistics for environment sciences – GS + User's Guide*. Plainwell, Gamma Design Software, 1988. 152p.
- SAA, A.R. *Modelo de distribución espacial y frecuencia de la precipitación de la Península Ibérica*. Madrid; Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agronomos da Universidad Politécnica de Madrid, 1992. 188p. , (Tesis Doctoral).

- SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R. & SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, n.1, p 115-122, 1998.
- SANTOS, R.V. & VASCONCELOS, C.A. Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas - SP, v. 11, p. 97-100, 1987.
- SANYAL, S.K. & De DATTA, S. K. *Chemistry of phosphorus transformations in soil.* Adv. Soil Sci., 16:1-120, 1991.
- SCIVITTARO, W. B.; BOARRETO A. E.; MURUOK, T. *Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados líquidos e sólidos.* Revista Brasileira de Ciência do solo, Viçosa, v.21,n.3, p 505-511, 1997
- SHARPLEY, A.N. CURTIN, D.; SYSRS, J.K. *Change in water - extractability of soil inorganic phosphate induces by sodium saturated benchmark.* Soil Science Society Australian. P.637-640, 1988.
- SILVA, A. A. E.; OPAZO, M.A.U.; SOUZA,E.G.; ROCHA,J.V. *Comparativo na aplicação de um estimador clássico e um estimador robusto na análise de variabilidade espacial do fósforo, em um latossolo roxo.* In: Congresso e Mostra de Agroinformática, Ponta Grossa,2000.
- SISTI, C.P.J.; ZOTARELLI, L. URQUEAGA, S.ALVES, B.J.R. BODPEY,R. *Variação dos teores de carbono e nitrogênio no perfil de um nitossolo sob mata nativa, plantio direto e preparo convencional.* In: XIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Ilhéus -BA, 2000.
- SOUSA, J. R. *Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido Paraibano.* Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, DEAg.,1998, 68 p. (Dissertação de Mestrado).

- SOUZA, L. S.; COGO, N.P. & VIERA, S.R.; Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, 22: 77-86, 1998.
- SOUZA, L.; *Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. 162p. (Tese de Doutorado).
- SOUZA, L. S.; COGO, N.P.; VIERA, S.R.; *Variabilidade das propriedades físicas e químicas do solo em pomar de citros*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 21, n.3, p 367-372, 1997.
- SOUZA, E.G.; JOHANN, J.A.; ROCHA, J. A.; RIBEIRO, S.R.A.; SILVA, M. S.; URIBE-OPAZO, M. A.; MOLIN, J.P.; OLIVEIRA, E.F. OLIVEIRA, NÓBRAGA, L.H.P. *Análise da variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área experimental parte I : análise do P.K, MO, pH*. In: XXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Pelotas – RS, 1999.
- SOUZA, L.C.; QUEIROZ, J. E. & GHEYI, H. R. *Variabilidade espacial da salinidade em um solo aluvial no semi-árido paraibano*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande - PB, v. 14, n.1, p. 35-40, 2000.
- TRANGMAR, B.B.; YOST, R. S. & UEHARA, G.; *Applications of geostatistics to spatial studies of soil proprieties*. Advances in Agronomy, V. 38, p.45-94, 1985.
- UPCHURCH, D.R. & EDMONDS, W.J. *Statiscal procedures for specific objectives*. Madisson, Soil Sci. Society of American, 1991, p. 49-71 (SSSA Special publication, 28).
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. *Geostatistics theoric and application to variability of some agronomical properties*. Hilgardia, v.31 n.3, 1983, 75p.
- VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. *Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo*. Bragantia, v. 54, p. 405-412, 1995.

- VIEIRA, S.R. *Geoestatística em estudo de variabilidade espacial*. In: Curso de Atualização de Solo, Campinas, IAC, 1995.
- VIEIRA, S.R.; TILLTSOU, P.M.; BIGGAR, J.W.; NIELSEN, D.R. *Scaling of semivariograms and Kriging estimation of field-measured properties*. Revista Brasileira de Ciência do solo, Viçosa - MG, v.21, p.525-533, 1997.
- VIEIRA, S.R. *Geoestatística Aplicada à Agricultura de Precisão*. Ed. Sagres, Campinas, 53 p. 1998.
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. *Spatial variability of soil physical properties the soil*. In: HILL, D. Ed. Applications of Soil Physics, New York, Academic Press, 1980, Cap. 13, p. 319-344.
- WEBSTER, R. *Quantitative spatial analysis of soil in the field*. In: STEWART, B.A., Advance in Soil Science. V.3. New York, Springer-verlag, 1985. p. 1-70.

7. ANEXOS

Tabela A1 – Resultados das análises químicas das propriedades do solo na profundidade de 0-30 cm, juntamente com suas as coordenadas e lotes onde foram retiradas.

| Lote | Norte(m) | Leste(m) | pH (H ₂ O 1;2,5) | M.O (g/kg) | P (mg/dm ³) | K(cmol _c /kg) | Ca(cmol _c /kg) | Mg(cmol _c /kg) | Ca+Mg(cmol _c /kg) |
|--------|----------|----------|-----------------------------|------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|
| AS-13 | 435,0 | 355,0 | 5,40 | 0,50 | 0,08 | 0,19 | 1,18 | 0,53 | 1,71 |
| AS-13 | 337,5 | 342,0 | 5,11 | 0,82 | 0,00 | 0,24 | 0,87 | 0,87 | 1,74 |
| AS-13 | 240,0 | 327,0 | 5,44 | 0,18 | 0,09 | 0,21 | 0,93 | 0,75 | 1,68 |
| AS-13 | 220,0 | 425,0 | 4,28 | 0,20 | 0,11 | 0,16 | 0,73 | 0,31 | 1,04 |
| AS-13 | 320,0 | 437,5 | 4,28 | 0,29 | 0,02 | 0,19 | 0,68 | 0,68 | 1,36 |
| AS-13 | 420,0 | 455,0 | 5,15 | 0,86 | 0,17 | 0,18 | 1,00 | 1,00 | 2,00 |
| AS-13 | 402,5 | 550,0 | 4,87 | 4,85 | 3,71 | 0,13 | 1,00 | 0,48 | 1,48 |
| AS-13 | 302,5 | 537,5 | 5,37 | 7,33 | 2,32 | 0,21 | 1,69 | 0,29 | 1,98 |
| AS-13 | 206,2 | 527,5 | 5,59 | 3,78 | 1,99 | 0,29 | 1,72 | 0,76 | 2,48 |
| AS-13 | 172,5 | 485,0 | 5,86 | 8,04 | 1,99 | 0,23 | 1,90 | 0,97 | 2,87 |
| AS-13 | 205,0 | 522,5 | 5,35 | 6,50 | 1,33 | 0,33 | 1,27 | 0,81 | 2,08 |
| C19-11 | 570,0 | 697,5 | 5,66 | 0,75 | 0,57 | 0,28 | 1,68 | 0,77 | 2,45 |
| C19-11 | 635,0 | 707,5 | 5,48 | 0,44 | 0,95 | 0,24 | 0,96 | 0,63 | 1,59 |
| C19-11 | 650,0 | 612,5 | 6,20 | 0,63 | 0,46 | 0,28 | 1,53 | 0,74 | 2,27 |
| C19-11 | 585,0 | 600,0 | 5,57 | 0,84 | 0,08 | 0,33 | 1,17 | 0,59 | 1,76 |
| C19-11 | 520,0 | 592,5 | 5,45 | 1,64 | 0,26 | 0,33 | 2,30 | 0,74 | 3,04 |
| C19-11 | 506,2 | 687,5 | 6,40 | 0,79 | 0,23 | 0,42 | 1,77 | 0,80 | 2,57 |
| C19-18 | 617,0 | 392,5 | 5,22 | 0,65 | 0,24 | 0,3 | 0,99 | 0,94 | 1,93 |
| C19-18 | 552,5 | 382,5 | 5,13 | 0,69 | 0,36 | 0,19 | 1,19 | 0,91 | 2,10 |
| C19-18 | 535,0 | 477,5 | 5,50 | 0,53 | 0,27 | 0,25 | 1,37 | 0,80 | 2,17 |
| C19-18 | 600,0 | 500,0 | 6,05 | 0,69 | 0,46 | 0,3 | 1,34 | 1,16 | 2,50 |
| C19-18 | 665,0 | 510,0 | 5,38 | 0,60 | 0,50 | 0,15 | 1,05 | 0,73 | 1,78 |
| C19-18 | 682,5 | 402,5 | 6,20 | 0,34 | 0,49 | 0,22 | 1,77 | 0,69 | 2,46 |

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|------|-------|------|------|------|------|------|
| C19-14 | 1250,0 | 800,0 | 5,08 | 7,32 | 0,00 | 0,19 | 1,20 | 1,27 | 2,47 |
| C19-14 | 1260,0 | 737,5 | 5,35 | 10,87 | 3,71 | 0,29 | 1,13 | 0,99 | 2,12 |
| C19-14 | 1365,0 | 762,5 | 5,00 | 6,43 | 2,32 | 0,19 | 0,81 | 1,08 | 1,89 |
| C19-22 | 1527,5 | 572,5 | 4,94 | 6,49 | 0,00 | 0,13 | 1,18 | 0,49 | 1,67 |
| C19-22 | 1505,0 | 627,5 | 4,97 | 7,33 | 1,66 | 0,11 | 0,95 | 0,81 | 1,76 |
| C19-22 | 1627,5 | 675,0 | 4,50 | 3,04 | 0,00 | 0,07 | 0,66 | 0,91 | 1,57 |
| C19-22 | 1635,0 | 577,5 | 5,06 | 3,14 | 0,04 | 0,07 | 0,68 | 0,60 | 1,28 |
| C19-22 | 1647,5 | 517,5 | 4,77 | 7,02 | 0,00 | 0,19 | 0,97 | 0,80 | 1,77 |
| C19-22 | 1535,0 | 502,5 | 4,85 | 3,46 | 0,04 | 0,09 | 0,60 | 0,91 | 1,51 |
| T19-05 | 1752,5 | 592,5 | 4,84 | 3,77 | 0,99 | 0,19 | 1,11 | 0,99 | 2,10 |
| T19-05 | 1743,7 | 655,0 | 4,96 | 4,29 | 0,00 | 0,29 | 1,25 | 1,24 | 2,49 |
| T19-05 | 1852,5 | 672,5 | 5,00 | 8,17 | 0,99 | 0,31 | 1,26 | 1,01 | 2,27 |
| T19-05 | 1862,5 | 610,0 | 4,65 | 6,39 | 0,68 | 0,13 | 0,86 | 0,73 | 1,59 |
| T19-05 | 1875,0 | 547,5 | 4,39 | 7,86 | 1,99 | 0,27 | 1,54 | 0,33 | 1,87 |
| T19-05 | 1760,0 | 532,5 | 4,44 | 5,66 | 0,68 | 0,11 | 1,13 | 0,24 | 1,37 |
| T19-06 | 1780,0 | 410,0 | 5,96 | 7,21 | 4,79 | 0,35 | 1,21 | 1,37 | 2,58 |
| T19-06 | 1791,0 | 342,5 | 4,88 | 5,55 | 0,04 | 0,23 | 0,88 | 1,22 | 2,10 |
| T19-06 | 1805,5 | 280,0 | 4,94 | 13,95 | 3,71 | 0,29 | 1,26 | 1,64 | 2,90 |
| T19-06 | 1915,0 | 297,5 | 6,10 | 7,88 | 0,00 | 0,25 | 1,62 | 1,04 | 2,66 |
| T19-06 | 1901,0 | 360,0 | 4,62 | 3,78 | 2,67 | 0,19 | 1,62 | 0,37 | 1,99 |
| T19-06 | 1895,0 | 432,35 | 4,92 | 6,66 | 1,66 | 0,31 | 0,84 | 1,07 | 1,91 |

Tabela A2 – Resultados das análises químicas das propriedades do solo na profundidade de 30-60 cm, juntamente com suas as coordenadas onde foram retiradas.

| Lote | Norte(m) | Leste(m) | pH (H ₂ O 1;2,5) | M.O (g/kg) | P (mg/dm ³) | K(cmol _c /kg) | Ca(cmol _c /kg) | Mg(cmol _c /kg) | Ca+Mg(cmol _c /k |
|--------|----------|----------|-----------------------------|------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| AS-13 | 435,0 | 355,0 | 4,89 | 0,23 | 0,02 | 0,19 | 0,90 | 0,74 | 1,64 |
| AS-13 | 337,5 | 342,0 | 4,69 | 0,22 | 0,00 | 0,22 | 0,41 | 0,41 | 0,82 |
| AS-13 | 240,0 | 327,0 | 5,7 | 0,05 | 0,00 | 0,21 | 0,99 | 0,79 | 1,78 |
| AS-13 | 220,0 | 425,0 | 4,6 | 0,43 | 0,02 | 0,13 | 0,82 | 1,24 | 2,06 |
| AS-13 | 320,0 | 437,5 | 4,62 | 0,28 | 0,00 | 0,22 | 0,66 | 0,66 | 1,32 |
| AS-13 | 420,0 | 455,0 | 5,1 | 0,64 | 0,00 | 0,13 | 1,20 | 1,20 | 2,4 |
| AS-13 | 402,5 | 550,0 | 4,76 | 2,84 | 0,00 | 0,13 | 0,80 | 0,45 | 1,25 |
| AS-13 | 302,5 | 537,5 | 5,14 | 0,71 | 0,00 | 0,33 | 1,27 | 0,85 | 2,12 |
| AS-13 | 206,2 | 527,5 | 5,27 | 3,66 | 0,00 | 0,15 | 1,31 | 1,13 | 2,44 |
| AS-13 | 172,5 | 485,0 | 5,28 | 7,92 | 1,33 | 0,35 | 1,10 | 1,18 | 2,28 |
| AS-13 | 205,0 | 522,5 | 4,72 | 4,73 | 0,00 | 0,13 | 0,90 | 0,53 | 1,43 |
| C19-11 | 570,0 | 697,5 | 5,8 | 0,54 | 0,00 | 0,13 | 1,53 | 0,68 | 2,21 |
| C19-11 | 635,0 | 707,5 | 4,97 | 0,59 | 0,27 | 0,33 | 0,72 | 0,53 | 1,25 |
| C19-11 | 650,0 | 612,5 | 5,45 | 0,45 | 0,26 | 0,21 | 1,12 | 0,74 | 1,86 |
| C19-11 | 585,0 | 600,0 | 5,51 | 0,38 | 0,00 | 0,33 | 1,14 | 0,55 | 1,69 |
| C19-11 | 520,0 | 592,5 | 5,65 | 1,16 | 0,20 | 0,15 | 2,58 | 1,12 | 3,7 |
| C19-11 | 506,2 | 687,5 | 6,5 | 0,31 | 0,23 | 0,16 | 1,58 | 0,96 | 2,54 |
| C19-18 | 617,0 | 392,5 | 4,82 | 0,65 | 0,11 | 0,19 | 0,88 | 1,23 | 2,11 |
| C19-18 | 552,5 | 382,5 | 4,87 | 0,74 | 0,00 | 0,13 | 0,90 | 1,13 | 2,03 |
| C19-18 | 535,0 | 477,5 | 5,74 | 0,50 | 0,11 | 0,21 | 1,34 | 1,71 | 3,05 |
| C19-18 | 600,0 | 500,0 | 5,75 | 0,40 | 0,24 | 0,22 | 1,25 | 1,36 | 2,61 |
| C19-18 | 665,0 | 510,0 | 5,16 | 0,21 | 0,27 | 0,16 | 0,77 | 0,88 | 1,65 |
| C19-18 | 682,5 | 402,5 | 6,9 | 0,24 | 0,00 | 0,28 | 0,90 | 0,76 | 1,66 |

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| C19-12 | 835,0 | 742,5 | 4,89 | 0,31 | 0,05 | 0,1 | 0,85 | 1,18 | 2,03 |
| C19-12 | 900,0 | 752,5 | 5,05 | 0,85 | 0,08 | 0,21 | 0,93 | 0,67 | 1,6 |
| C19-12 | 917,5 | 650,0 | 5 | 0,24 | 0,02 | 0,15 | 0,70 | 0,85 | 1,55 |
| C19-12 | 852,5 | 640,0 | 4,66 | 0,54 | 0,05 | 0,18 | 0,57 | 1,02 | 1,59 |
| C19-12 | 785,0 | 645,0 | 6,66 | 0,29 | 0,11 | 0,6 | 0,59 | 0,86 | 1,45 |
| C19-12 | 770,0 | 745,0 | 5,05 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 0,49 | 0,60 | 1,09 |
| C19-19 | 885,0 | 422,5 | 4,78 | 0,51 | 0,00 | 0,13 | 0,39 | 0,76 | 1,15 |
| C19-19 | 815,0 | 415,0 | 6,02 | 0,40 | 1,24 | 0,33 | 1,15 | 0,64 | 1,79 |
| C19-19 | 797,5 | 525,0 | 5,03 | 0,05 | 0,00 | 0,21 | 0,47 | 0,75 | 1,22 |
| C19-19 | 865,0 | 535,5 | 4,85 | 0,47 | 0,17 | 0,03 | 0,57 | 0,45 | 1,02 |
| C19-19 | 935,0 | 542,5 | 4,28 | 0,21 | 0,02 | 0,15 | 0,41 | 1,08 | 1,49 |
| C19-19 | 947,5 | 430,0 | 4,99 | 0,21 | 0,11 | 0,16 | 0,42 | 0,71 | 1,13 |
| C19-13 | 1032,5 | 767,5 | 5,17 | 5,55 | 0,00 | 0,13 | 1,07 | 1,52 | 2,59 |
| C19-13 | 1022,5 | 832,5 | 5,18 | 4,88 | 0,00 | 0,29 | 1,14 | 1,36 | 2,5 |
| C19-13 | 1140,0 | 850,0 | 5,41 | 4,33 | 0,99 | 0,11 | 1,31 | 2,03 | 3,34 |
| C19-13 | 1142,5 | 785,0 | 4,91 | 6,21 | 0,00 | 0,15 | 1,37 | 1,51 | 2,88 |
| C19-13 | 1147,5 | 720,0 | 5,12 | 5,32 | 0,68 | 0,23 | 0,91 | 1,15 | 2,06 |
| C19-13 | 1045,5 | 705,0 | 4,82 | 6,66 | 0,00 | 0,17 | 0,88 | 1,51 | 2,39 |
| C19-20 | 1065,0 | 513,75 | 4,85 | 7,65 | 1,99 | 0,21 | 1,03 | 1,50 | 2,53 |
| C19-20 | 1060,0 | 588,75 | 4,86 | 3,88 | 1,99 | 0,11 | 0,63 | 0,94 | 1,57 |
| C19-20 | 1167,5 | 592,5 | 5,07 | 4,22 | 0,68 | 0,27 | 0,98 | 1,10 | 2,08 |
| C19-20 | 1143,7 | 530,0 | 5,12 | 7,43 | 0,00 | 0,13 | 1,13 | 1,65 | 2,78 |
| C19-20 | 1192,5 | 463,75 | 5,25 | 5,21 | 1,33 | 0,25 | 1,45 | 1,75 | 3,2 |
| C19-20 | 1070,0 | 447,5 | 5,25 | 5,66 | 0,99 | 0,13 | 0,64 | 1,02 | 1,66 |
| C19-14 | 1355,0 | 812,5 | 4,84 | 4,33 | 2,67 | 0,17 | 0,80 | 1,22 | 2,02 |
| C19-14 | 1345,0 | 877,5 | 4,99 | 0,78 | 0,36 | 0,13 | 0,79 | 1,54 | 2,33 |
| C19-14 | 1240,0 | 863,75 | 4,86 | 4,55 | 0,68 | 0,15 | 0,79 | 1,07 | 1,86 |

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|------|-------------|-------------|------|------|------|------|
| C19-14 | 1250,0 | 800,0 | 4,82 | 4,55 | 0,00 | 0,19 | 0,96 | 1,38 | 2,34 |
| C19-14 | 1260,0 | 737,5 | 4,88 | 6,43 | 2,67 | 0,21 | 0,92 | 1,40 | 2,32 |
| C19-14 | 1365,0 | 762,5 | 4,85 | 2,77 | 0,99 | 0,17 | 0,64 | 1,05 | 1,69 |
| C19-22 | 1527,5 | 572,5 | 4,64 | 4,19 | 0,00 | 0,09 | 0,56 | 1,14 | 1,7 |
| C19-22 | 1505,0 | 627,5 | 4,76 | 4,19 | 0,36 | 0,09 | 0,88 | 0,34 | 1,22 |
| C19-22 | 1627,5 | 675,0 | 4,5 | 2,30 | 0,00 | 0,07 | 0,59 | 0,89 | 1,48 |
| C19-22 | 1635,0 | 577,5 | 4,71 | 3,46 | 0,04 | 0,05 | 0,98 | 0,73 | 1,71 |
| C19-22 | 1647,5 | 517,5 | 4,45 | 3,88 | 0,00 | 0,17 | 0,57 | 1,08 | 1,65 |
| C19-22 | 1535,0 | 502,5 | 4,69 | 3,67 | 0,00 | 0,11 | 0,47 | 0,80 | 1,27 |
| T19-05 | 1752,5 | 592,5 | 4,73 | 2,30 | 0,04 | 0,13 | 1,04 | 1,66 | 2,7 |
| T19-05 | 1743,7 | 655,0 | 4,69 | 2,09 | 0,00 | 0,19 | 0,44 | 1,15 | 1,59 |
| T19-05 | 1852,5 | 672,5 | 4,58 | 2,51 | 0,00 | 0,17 | 0,73 | 1,66 | 2,39 |
| T19-05 | 1862,5 | 610,0 | 4,48 | 2,62 | 0,04 | 0,13 | 0,70 | 0,61 | 1,31 |
| T19-05 | 1875,0 | 547,5 | 4,45 | 3,46 | 0,04 | 0,19 | 0,96 | 0,43 | 1,39 |
| T19-05 | 1760,0 | 532,5 | 4,37 | 3,14 | 0,00 | 0,11 | 0,73 | 0,48 | 1,21 |
| T19-06 | 1780,0 | 410,0 | 4,86 | 9,69 | 0,36 | 0,15 | 0,85 | 1,13 | 1,98 |
| T19-06 | 1791,0 | 342,5 | 4,88 | 4,88 | 0,68 | 0,09 | 0,66 | 1,30 | 1,96 |
| T19-06 | 1805,5 | 280,0 | 4,78 | 4,44 | 1,66 | 0,17 | 1,14 | 1,66 | 2,8 |
| T19-06 | 1915,0 | 297,5 | 4,98 | 3,44 | 0,00 | 0,15 | 0,73 | 1,05 | 1,78 |
| T19-06 | 1901,0 | 360,0 | 4,47 | 3,66 | 0,99 | 0,17 | 0,73 | 1,53 | 2,26 |
| T19-06 | 1895,0 | 432,35 | 4,87 | 3,19 | 0,04 | 0,25 | 0,74 | 1,26 | 2 |