

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS
DO SOLO EM UMA ÁREA COMERCIAL
DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR
NO ESTADO DE SÃO PAULO.**

ROSANE HELENA DE OLIVEIRA

CAMPINAS
ABRIL 2002

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado defendida por **ROSANE HELENA DE OLIVEIRA** e aprovada pela Comissão Julgadora em 22 de abril de 2002.

Campinas, 22 de abril de 2003.



Prof. Dr. Rubens Augusto Camargo Lamparelli
Presidente da Banca

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS
DO SOLO EM UMA ÁREA COMERCIAL
DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR
NO ESTADO DE SÃO PAULO.**

Dissertação submetida à banca examinadora
para obtenção do título de Mestre em Engenharia
Agrícola na área de concentração em Planejamento
e desenvolvimento Rural sustentável.

ROSANE HELENA DE OLIVEIRA

Orientador: Prof. Dr. RUBENS AUGUSTO CAMARGO LAMPARELLI

CAMPINAS
ABRIL 2002.

UNIDADE	80
Nº CHAMADA	UNICAMP
	OL4V
V	EX
TOMBO BC	53999
PROC.	124103
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	21/05/03
Nº CPD	

CM00183398-5

BIB ID 290545

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

OL4v

Oliveira, Rosane Helena de

Variabilidade espacial de atributos do solo em uma área comercial de produção de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo / Rosane Helena de Oliveira.--Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador: Rubens Augusto Camargo Lamparelli.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Geologia – Métodos estatísticos. 2. Solos – Análise. 3. Solos - Fertilidade. 4. Análise espacial (Estatística). I. Lamparelli, Rubens Augusto Camargo. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

*Se não houver frutos, valeu a beleza das flores, se não houver flores, valeu a sombras das folhas, se não houver folhas, valeu a intenção da semente.
(Henfil)*



Aos meus pais Neusa e Pedro e irmãos
pelos anos de confiança e credibilidade.
E a minha irmã Ana Lúcia (em memória)
que mesmo longe esteve sempre muito perto.
Dedico.

Á Vinício pelo amor e carinho
que tem dedicado junto a mim.
Ofereço.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Rubens Augusto Lamparelli pela orientação na realização deste trabalho.

- Ao Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha pela coordenação dos trabalhos.

- Ao grupo **GEO** (Grupo de Geoprocessamento).

- Ao Centro de Tecnologia Copersucar.

- À Usina São João pela disponibilidade da área de estudo.

- À Prof. Dra. Mara de Andrade Marinho Weill pelas sugestões.

- À FAPESP pelo financiamento do projeto.

- Ao projeto SAI(Sistemas Avançados de Informação)/PRONEX/CNPq pela infraestrutura de informática proporcionada.

- Ao CNPQ pela bolsa.

- À Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

- À Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I – INTRODUÇÃO.....	1
II - REVISÃO DA LITERATURA.....	2
2.1 - PARÂMETROS DO SOLO	4
2.1.1 - MICRONUTRIENTES.....	4
2.1.2 - MACRONUTRIENTES.....	5
2.2 - LATOSSOLOS.....	9
2.2.1 - LATOSSOLO ROXO.....	9
2.2.2 - LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO.....	9
2.2.3 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO.....	10
2.3 - VARIABILIDADE ESPACIAL.....	11
2.4 - AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	14
2.5 - AMOSTRAGEM DO SOLO.....	16
2.6 – GEOESTATÍSTICA.....	17
2.6.1 – KRIGEAGEM.....	23
III - HIPÓTESE DO TRABALHO.....	24
IV – OBJETIVOS.....	24
4.1 - GERAL	24
4.2 – ESPECÍFICOS.....	24

V - MATERIAL E MÉTODOS.....	25
5.1 - MATERIAL.....	25
5.2 - ÁREA DE ESTUDO.....	26
5.2.1 - LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	26
5.3 - LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO.....	27
5.4 - METODOLOGIA.....	29
VI - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
6.1 - ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	35
6.1.1 - CLÁSSICA.....	35
6.1.2 - DISPERSÃO.....	36
6.1.3. DIAGNÓSTICO DE FERTILIDADE DA ÁREA UTILIZANDO OS DADOS DE ESTATÍSTICA CLÁSSICA.....	42
6.1.4- NORMALIDADE.....	47
6.2 - ANÁLISE GEOESTATÍSTICA	49
6.2.1 - VARIABILIDADE ESPACIAL DA GRANULOMETRIA.....	49
6.2.2 - VARIABILIDADE ESPACIAL DOS MICRONUTRIENTES.....	53
6.2.3 - VARIABILIDADE ESPACIAL DA FERTILIDADE.....	60
VII - CONCLUSÕES.....	76
VIII - ANEXOS.....	77
IX - BIBLIOGRAFIA.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1-Semivariograma (Fonte : CAMARGO, 2000).....	22
Figura 5.1 – Vista aérea da área localizada na Usina São João na cidade de Araras/SP.....	26
Figura 5.2: Área de estudo com a discriminação dos solos.....	27
Figura 5.3. Modelo Numérico do Terreno obtido a partir das curvas de nível da carta 1:10.000 do IGC.....	28
Figura 5.4: Grade amostral de 50 x 50 metros.....	29
Figura 5.5: Detalhes da amostragem de solo em área com solo descoberto (direita) e com solo coberto de palha (esquerda).....	30
Fluxograma 1: Etapas do trat. estatístico descritivo dos valores das amostras de solo.....	32
Fluxograma 2: Etapas do tratamento geoestatístico dos valores das amostras de solo.....	33
Figura 6.1 – Gráfico de dispersão na profundidade de 0-30 cm com “outliers”.....	36
Figura 6.2 – Gráfico de dispersão na profundidade de 0-30cm sem “outliers”.....	36
Figura 6.3 – Gráfico de dispersão na profundidade de 30-60 cm com “outliers”.....	37
Figura 6.4 – Gráfico de dispersão na profundidade de 30-60 cm sem “outliers”.....	37
Figura 6.5: Mostra a localização dos pontos nos quais constatou-se dispersão.....	38
Figura 6.6 - Gráfico de dispersão na profundidade de 0-30 cm.....	39
Figura 6.7 - Gráfico de dispersão na profundidade de 30-60 cm.....	39
Figura 6.8 - Gráfico de dispersão da fert. (K, Ca, Mg, Al, H, S, SB e T) prof. de 0-30cm ..	40
Figura 6.9 - Gráfico de dispersão da fert. (K, Ca, Mg, Al, H, S, SB e T) prof. de 30-60cm	40
Figura 6.10 - Gráfico de dispersão da fertilidade (MO, P e V) na prof. de 0-30cm.....	41
Figura 6.11 - Gráfico de dispersão da fertilidade (MO, P e V) na prof. de 30-60cm.....	41
Figura 6.12 - Gráfico de dispersão da fertilidade (pH) na profundidade de 0-30cm.....	41
Figura 6.13 - Gráfico de dispersão da fertilidade (pH) na profundidade de 30-60cm.....	41
Figura 6.14: Variação da quantidade de Cálcio, Magnésio e Potássio, no Latossolo Roxo, na profundidade de 0 a 30 cm.....	42
Figura 6.15: Variação da quantidade de Cálcio, Magnésio e Potássio, no Latossolo Vermelho Escuro, na profundidade de 0 a 30 cm.....	43

Figura 6.16: Variação da quantidade de Cálcio, Magnésio e Potássio, no Latossolo Vermelho Amarelo, na profundidade de 0 a 30 cm.....	43
Figura 6.17: Quantidades de Ca, Mg e P para Lat. Roxo, na prof. de 30 a 60 cm.....	44
Figura 6.18: Quantidades de Ca, Mg e P para Lat. V.E., na prof. de 30 a 60 cm.....	45
Figura 6.19: Quantidades de Ca, Mg e P para Lat V.A., na prof. de 30 a 60 cm.....	45
Figura 6.20 – Semivariogramas de Areia 0-30cm (esquerda)e de 30-60cm (direita).....	50
Figura 6.21 – Semivariogramas de Silte de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).....	50
Figura 6.22 – Semivariogramas de Argila de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).....	50
Figura 6.24 – Mapas de pontos gerados de Areia total de 0-30cm e de 30-60cm.....	52
Figura 6.25 – Mapas de pontos gerados de Argila de 0-30cm e de 30-60cm.....	52
Figura 6.26 – Mapas de pontos gerados de Silte de 0-30cm e de 30-60cm.....	52
Figura 6.27 – Semivariogramas de Cu de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).....	54
Figura 6.28 – Semivariogramas de Zn de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).....	54
Figura 6.29 - Semivariograma de Mn de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).....	55
Figura 6.30 – Semivariograma de Fe de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).....	55
Figura 6.31 – Semivariograma de B de 0-30cm (esquerda)e de 30-60cm (direita).....	55
Figura 6.32– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Cobre em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).....	57
Figura 6.33– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Zinco em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).....	57
Figura 6.34– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Manganês em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).....	58
Figura 6.35– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Ferro em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).....	58
Figura 6.36– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Boro em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).....	59
Figuras 6.37 – Semivariogramas de pH de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).....	61
Figura 6.38– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do pH em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).....	62
Figuras 6.39 – Semivariogramas de MO de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).....	62

Figura 6.40– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do MO em 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).....	63
Figuras 6.41 – Semivariogramas de P de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).	64
Figura 6.42– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do P em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).....	65
Figura 6.43 – Semivariogramas de K de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).....	65
Figura 6.44– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Potássio em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).....	66
Figura 6.45 – Semivariogramas de Mg de 0-30cm e de 30-60cm.....	67
Figura 6.46– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Magnésio em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).....	67
Figura 6.47 – Semivariogramas de Ca de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).....	68
Figura 6.48– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Cálcio em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).....	69
Figura 6.49 – Semivariogramas de Al de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).....	70
Figura 6.50 – Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Alumínio em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).....	71
Figura 6.51 – Semivariogramas de H de 0-30cm de 30-60cm.....	71
Figura 6.52– Mapas de classificação do H em 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).	72
Figura 6.53 – Semivariogramas de Enxofre de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).	72
Figura 6.54– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do S para 0-30cm (esquerda) e para 30-60cm (direita).....	73
Figura 6.55 – Semivariogramas de SB de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).....	73
Figura 6.56– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do SB em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).....	74
Figura 6.57 – Semivariogramas de CTC de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).....	74
Figura 6.58– Mapas de classificação (superior) do CTC em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).....	75
Figura 6.59 – Semivariogramas de V de 0-30cm e de 30-60cm.....	75
Figura 6.60– Mapas de classificação (superior) do V em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Limites de interpretação dos teores de micronutrientes em solos do Estado de São Paulo (Boro extraído com água quente e cobre , ferro, manganês e zinco com DTPA- (dietilenotriaminopentacético).....	4
Tabela 2.2- Classificação quant. para o Carbono orgânico e MO em São Paulo.....	6
Tabela 2.3 - Classificação dos teores de Fósforo disponível pelo extrator H ₂ SO ₄ 0,25M, usado na cultura da cana-de-açúcar.....	7
Tabela 2.4 - Classificação dos teores de K trocável para o Estado de São Paulo.....	7
Tabela 2.5 - Índices normalmente usados para classificar os teores de Cálcio e Magnésio.	8
Tabela.2.6 - Magnitudes das propriedades do solo.....	12
Tabela 5.1 – Tabela de classificação de coeficientes de variação segundo GOMES FILHO (1984), citado por (MARTINHO, 2000).....	34
Tabela 6.1 - Estatística básica do teor de Areia , Silte e Argila na prof. de 0-30cm.....	35
Tabela 6.2 - Estatística básica do teor de Areia , Silte e Argila na prof. de 30-60cm.....	35
Tabela 6.3 – Estatística básica dos teores de micronutrientes, na prof. de 0-30 cm.....	38
Tabela 6.4 – Estatística básica dos teores de micro-nutrientes, na prof. de 30-60 cm	38
Tabela 6.5 – Estatística básica dos teores de pH, MO, P, K, Ca, Mg, Al, H, S, Sb, CTC, V, Saturação, na profundidade 0-30 cm.....	40
Tabela 6.6 - Estatística básica dos teores de pH, MO, P, K, Ca, Mg, Al, H, S, Sb, CTC, V, Saturação, na profundidade 30-60 cm.....	40
Tabela 6.7 – Parâmetros de normalidade (curtose e assimetria) para as variáveis físicas na profundidade de 0-30 cm.....	47
Tabela 6.8 – Análise Granulométrica de 30-60cm.....	47
Tabela 6.9 – Parâmetros de normalidade (curtose e assimetria) para as variáveis de micronutrientes na profundidade de 0-30 cm.....	47
Tabela 6.10 – Parâmetros de normalidade dos teores de micro, na prof.de 30-60 cm.....	48
Tabela 6.11 – Estatística do teor pH,MO,P,K, Ca,Mg,Al,H,S,Sb,CTC,V e Sat 30-60cm.....	48
Tabela 6.12 – Estatística do teor pH,MO, P K,Ca, Mg, Al, H, S, Sb, CTC, V, Sat.30-60cm	48
Tabela 6.13 – Análise dos modelos geoestatísticos da granulometria.....	49
Tabela 6.14 – Modelos e Parâmetros dos semivariogramas das variáveis micronutrientes..	53
Tabela 6.15 – Parâmetros dos modelos geoestatísticos da fert. de 0-30 e de 30-60 cm.....	60

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E UNIDADES

B – Boro

Ca – Cálcio

CTC – Capacidade de Troca de Cátions

Cu – Cobre

CV – Coeficiente de Variação

Fe – Ferro

FMQ – Física, Micronutrientes, Química

GPS – Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)

H – Hidrogênio

K – Potássio

m – Saturação por Alumínio

mmol/dm³ – milimol de cargas por decímetro cúbico

Mg – Magnésio

mg/dm³ – miligramas por decímetro cúbico

Mn – Manganês

MO – Matéria Orgânica

P – Fósforo

pH - Potencial de Hidrogênio

SB – Soma de Bases

SIG – Sistema de Informações Geográficas

UTM - Universal Transversa de Mercator

V% - Saturação por Bases

Zn – Zinco.

RESUMO

Variações na produção de uma cultura podem ter como causa alterações ocorridas no solo. A aplicação localizada de insumos, os estudos da variabilidade espaciais dos parâmetros do solo entre outros fatores se tornaram importantes e indispensáveis para o manejo de culturas utilizando-se o conceito de agricultura de precisão. Assim o objetivo geral deste trabalho foi estudar a variabilidade destes parâmetros utilizando-se da estatística clássica e da geoestatística visando o manejo localizado.

O experimento foi conduzido em uma área da Usina São João Açúcar e Alcool (SA), localizada no município de Araras, SP. As amostras de solo foram retiradas das profundidades 0-30cm e de 30-60cm. A grade amostral selecionada para o trabalho foi a alinhada, regular, com espaçamento de 50 x 50 metros e bordadura de 25 metros em torno dos carregadores. Os pontos amostrais foram georreferenciados e as amostras coletadas foram analisadas física e quimicamente levantando-se os parâmetros N, P, K, Ca, Mg, Al, S, pH, matéria orgânica, micronutrientes, e aspectos físicos (% areia, % silte e % argila).

Os valores obtidos foram tratados por estatística clássica (coeficiente de variação, média, desvio padrão, assimetria, curtose e normalidade de cada grupo de amostras: 0-30 cm e 30-60 cm). O intuito desta análise foi identificar “outliers” e entender melhor o comportamento das variáveis. A análise espacial foi realizada por meio de geoestatística e geoprocessamento.

Os resultados mostraram a importância da análise estatística clássica pois através dela foi possível identificar “outliers” e variabilidade por meio de variância e coeficiente de variação. A constatação dos altos valores foi verificada pelo aspecto espacial ocasionado pela localização em diferentes solos. Sob o ponto de vista de fertilidade a amostragem foi suficiente para concluir que a área não tem deficiência de nutrientes.

A análise espacial por geoestatística mostrou também bons resultados ao apresentar semivariogramas consistentes, para quase todos os elementos estudados. Pode-se concluir que a Geoestatística é uma ferramenta importante para a Agricultura de Precisão e assim como para o manejo de culturas.

SUMMARY

Variation in crop production could be caused by alterations on soil properties. Site-specific management and the study of the spatial variability of soil parameters, among other factors, became important for crop management using the precision farming concept. The general goal of experiment was to study the variability of soil parameters using the classical statistic as well as geostatistic approaches, aiming the site-specific management..

The experiment was carried out in an area of the São João Sugar Cane and Alcohol Mill, located in the municipal district of Araras , SP. The soil samples were taken at 0-30cm and 30-60cm depths. The sampling grid selected was sistematic aligned, regularly spaced with 50 x 50 meters and 25 meters of border around the access tracks. The sample points were geo-referenced and the collected samples were physically and chemically analysed in order to obtain the parameters N, P, K, Ca, Mg, Al, S, pH, organic matter, micronutrients, and physical parameters (sand, silt and clay content).

The values were treated using classical statistic (coefficient of variation, mean, standard deviation, asymmetry, curtosis and normality of each group of samples: 0-30 cm and 30-60 cm). The objective of this analysis was to identify outliers and to understand the behavior of the variables. The spatial analysis was accomplished by using geostatistics and geoprocessing.

The results showed the importance of the classical statistical analysis , from which it was possible to identify outliers and variability through the variance and coefficient of variation values. The presence of high values was verified by the spatial aspect caused by the location on different soils. Under the fertility point of view it can be concluded that the sampling scheme was enough to conclude that the area defficiency in nutrients. The spatial analysis using geostatistic approach also showed good results with consistent semi-variograms, for almost all the elements analysed. It can be concluded that geostatistics is an important tool for precision Farming as well as for the crop management.

I - INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios para um país é determinar com a maior precisão possível qual será a produção de determinado produto agrícola. Este procedimento tem implicações no planejamento de estoques, na regulamentação de preços e nas estratégias de exportação. Para se determinar quanto uma cultura vai produzir é necessário entender como os parâmetros que influenciam a planta atuam no seu desenvolvimento vegetativo sobre ela e por outro lado como eles variam no espaço. De modo geral os parâmetros da planta, do solo e do ambiente podem atuar de modo diferenciado no crescimento da cultura com maior ou menor intensidade, dependendo do tipo e da fase da cultura e da localização desta (fator espacial). A dificuldade de se estudar os diversos parâmetros reside no fato de que eles atuam de maneira conjunta.

De qualquer maneira o estudo dos parâmetros individuais ajudam a entender o que ocorre quando há atuação destes em conjunto. O solo, um dos componentes que atuam diretamente no crescimento das plantas, pois é nele que está assentada a cultura, é por sua vez formado por vários outros componentes químicos, físicos que também por sua vez se inter-relacionam disponibilizando para as planta nutrientes e condições, para o seu desenvolvimento.

O solo é um corpo não homogêneo que apresenta, por esta razão, características diferenciadas ao longo do perfil horizontal e vertical. O que se observa é uma heterogeneidade mesmo em solos ditos homogêneos. Desta maneira é importante o conhecimento desta heterogeneidade pois ela está diretamente relacionada com as variações nas condições da cultura que por sua vez determina a variação na produtividade e portanto a avaliação final da produção.

Uma das culturas mais importantes para o Brasil e principalmente para o Estado de São Paulo é a cana de açúcar pois ela ocupa uma das maiores extensões de terra agrícola do Estado. Por ser uma cultura de expressão econômica a antecipação do volume de produção é estratégico pois a venda de açúcar e álcool é feita antes da cultura ser colhida.

Atualmente existem várias ferramentas que permitem, de forma rápida e eficiente estudar a variabilidade de algum fenômeno espacial. Dentre eles pode-se citar o GPS, SIG e Geoestatística.

Dentro deste contexto é de extrema importância o estudo da variabilidade dos parâmetros do solo para entender, pelo menos parcialmente no conjunto das variáveis que atuam no crescimento da planta, a variação que existe e como se apresenta ao longo das áreas produtivas.

Deste modo o projeto ora sendo proposto, insere-se dentro de dois quadros de pesquisa extremamente importantes, a agricultura de precisão e a cultura de cana-de-açúcar. A cana-de-açúcar por ser uma das culturas do estado de São Paulo mais expressivas exercendo um papel preponderante tanto na área econômica como na ambiental e a Agricultura de Precisão que propõe o estudo de fenômenos espaciais e sua variabilidade. Portanto, aliando-se estes dois quadros de pesquisa pode-se assim obter resultados como o aumento da produção a diminuição dos gastos com a cultura, levando-se em conta o estudo detalhado da variabilidade dos parâmetros do solo.

O trabalho tem como hipótese a existência da variabilidade de parâmetros físicos e químicos do solo, nas profundidades de 0-30cm e de 30-60cm de profundidade e a possibilidade destes serem medidos.

Como objetivo geral propõe-se estudar a variabilidade dos parâmetros do solo, utilizando-se da estatística clássica e após este estudo a utilização da geoestatística, através da análise de modelos e mapas espaciais.

II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Agricultura de precisão é o termo utilizado para descrever a busca do crescimento em eficiência através do gerenciamento localizado de informações na agricultura. É também a aplicação de tecnologias que modificam técnicas existentes, utilizando-as para medir o rendimento, determinar as condições do solo e da cultura, estudar a topografia e reunir outras informações de cada parte do campo, associando-as a uma localização exata. Dos dados obtidos são gerados mapas que ao serem analisados podem mostrar as relações entre os vários fatores.

A tecnologia envolvida na agricultura de precisão compreende o uso de receptores GPS (Global Positioning System), sistemas informatizados de coleta de dados, programas para o tratamento e mapeamento destes dados e sistemas eletrônicos de acionamento e controle de máquinas agrícolas.

Conhecer a variabilidade espacial de atributos do solo que influenciam a produtividade de culturas, é um fator indispensável na implantação da Agricultura de Precisão. Pesquisadores têm trabalhado com problemas de variabilidade praticamente desde o início deste século, mas segundo a literatura, ainda não foram encontrados trabalhos conclusivos, até pela complexidade do tema.

Este capítulo abordará a revisão dos principais temas envolvidos na pesquisa. São eles: parâmetros do solo (macro e micro nutrientes), da variabilidade intrínseca a estes parâmetros e a discussão sobre Agricultura de Precisão, assim como os passos e ferramentas para se gerar mapas de variabilidade.

2.1 - PARÂMETROS DO SOLO

2.1.1 - MICRONUTRIENTES

Os micronutrientes são: Cobre, Ferro, Manganês, Zinco, Boro, Cloro, Cobalto, Molibdênio e o Níquel os quais, apesar das dificuldades da planta para extraí-los, tornam-se cada vez mais necessários para o diagnóstico da condição nutricional das culturas. Porém o maior problema relacionado aos micronutrientes é a ocorrência de deficiências não aparentes que são situações em que as plantas estão deficientes destes e as produtividades quando não reduzidas, alcançam patamares difíceis de serem ultrapassados por melhores que sejam os outros fatores, mas não ocorrem sintomas visuais de deficiência. Apesar dessas dificuldades a demanda de informações vem crescendo podendo-se encontrar quadros interpretativos como os exemplos da Tabela 2.1 (TOMÉ Jr., 1997).

Tabela 2.1 – Limites de interpretação dos teores de micronutrientes em solos do Estado de São Paulo (Boro extraído com água quente e cobre, ferro, manganês e zinco com DTPA- (dietilenotriaminopentacético).

	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
Classificação	-----mg/dm ³ -----				
Baixo	< 0,2	< 0,2	< 4	< 1,2	< 0,5
Médio	0,2 a 0,6	0,3 a 0,8	5,0 a 12,0	1,3 a 5,0	0,6 a 1,2
Alto	>0,6	>0,8	>12	>5,0	>1,2

Fonte: IAC,1996, citado em Tomé Jr. ,(1997)

A Tabela 2.1 faz uma tentativa de classificação dos valores médios de micronutrientes em solos do Estado de São Paulo possibilitando enquadrar as análises realizadas com a amostragem de solos no desenvolvimento de pesquisas e experimentos.

2.1.2 - MACRONUTRIENTES

Vários trabalhos, em diversos tipos de solos e culturas em diferentes estados brasileiros, foram realizados, encontrando-se valores comuns os quais foram tabelados e detalhados. Para as condições dos solos do estado de São Paulo foram citados os valores dispostos a seguir na descrição.

pH do Solo: os valores mais comuns em solos variam de 3,5 a 8,5. pH é um índice que fornece o grau de acidez ou alcalinidade de um extrato aquoso do solo. Valores de pH abaixo de 4,5, ou acima de 7,5, restringem bastante o crescimento da planta, pois estes valores indicam a existência de várias condições desfavoráveis às plantas como pobreza de Ca e Mg, altos teores de Al, alta fixação de P e deficiência de micronutrientes e/ou excesso de sais. O pH em CaCl₂ indica melhor correlação entre o pH e V%. Quanto maior o pH maior a saturação por base no solo. Portanto pH em CaCl₂ menor que 4,5 indica: deficiência de P e alta fixação de P aplicado (os íons fosfato se combinam com Ferro e Alumínio, formando compostos de baixa solubilidade e portanto, indisponível às plantas). Baixos teores de Ca, Mg, e (K)³. Boa disponibilidade dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn. Para o molibdênio, a disponibilidade diminui com a redução do pH. Toxidez por excesso de disponibilidade Fe e Mn. Baixa CTC efetiva. Baixa saturação por base, (TOMÉ Jr., 1997). A variação com a profundidade: em condições naturais, o pH aumenta a medida em que se aprofunda no solo. Essa regra é bem estável e em solos ácidos pode – se esperar que, o valor do pH aumente nas camadas mais profundas (TOMÉ Jr, 1997).

Matéria Orgânica : é o resultado do balanço entre os processos de adição de material orgânico (restos de plantas, etc) e perda (decomposição desses materiais pelos microorganismos). Pode – se ter altos teores de MO (>50g dm³) e baixos teores de MO (< 15g/dm³), como os encontrados na Tabela 2.2

O teor de matéria orgânica fornece mais informações do ponto de vista qualitativo, que são mais importantes em termos de interpretação da análise, do que quantitativo. Porém visando ter uma idéia dos teores que ocorrem em análise do solo é disponibilizada a Tabela 2.2 abaixo (TOMÉ Jr. , 1997).

Tabela 2.2-Classificação quantitativa para o Carbono orgânico e matéria orgânica em São Paulo.

Classificação	Carbono orgânico	Matéria Orgânica
	g/dm ³	
Baixo	<9	<15
Médio	9-14	15-25
Alto	>14	>25

Fonte: Adaptado de TOMÉ Jr, 1997.

Interpretação Qualitativa: Altos teores de M.O. (> 50g/dm³) Tabela 2.2 indicam:

- a) alta CTC total, o que significa maior capacidade de retenção de cátions. Por outro lado, representa também maior resistência à variação do pH, ou seja, se o solo estiver com excesso de acidez, necessitando de calagem, as doses de calcário a serem aplicadas serão elevadas;
- b) Possibilidade de reduzir as doses de adubos nitrogenados;
- c) Maior disponibilidade dos nutrientes Enxofre e boro;
- d) Maior complexação de metais, pois existirá maior possibilidade de existência de substâncias orgânicas capazes de formar complexos. Como conseqüências, pode – se esperar menor toxidez por Al trocável, menor insolubilização de micronutrientes em pH elevado, e pode ocorrer deficiência de Cobre;
- e) Maior disponibilidade de fósforo e menor fixação do fósforo aplicado.

Baixos teores de M.O (< 15g/dm³) indicam:

- a) solos arenosos, baixa CTC total e efetiva portanto, baixo poder tampão e alta possibilidade de lixiviação de bases (Ca, Mg e K) ;
- b) maior risco de efeitos danosos de adubos altamente salinos, como KCl;
- c) possibilidade de ocorrência de deficiências de Enxofre e micronutrientes.

Fósforo disponível (P): a classificação do teor de P disponível depende do extrator, da textura do solo e da cultura. Desta forma, para classificar o teor de P disponível deve – se ter

em mente o conjunto de fatores variáveis, ou seja, para qual cultura se está classificando, em qual tipo de solo e qual o extrator utilizado na análise. Para obter-se esta classificação pode-se consultar a Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Classificação dos teores de Fósforo disponível pelo extrator H_2SO_4 0,25M, usado na cultura da cana-de-açúcar.

	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
mg P/dm ³	<15	15-30	30-50	50-100	>100

Fontes: ORLANDO FILHO (1986), Citado por TOME Jr. (1997)

Potássio (K): De forma geral pode – se utilizar índices de Tabela 2.4 como abaixo. Quanto à profundidade em geral ocorre redução nos teores de K trocável em maiores profundidades.

Tabela 2.4 - Classificação dos teores de K trocável para o Estado de São Paulo.

Teor	K trocável (mmolc/dm ³)
Muito Baixo	0,0-0,7
Baixo	0,8-1,5
Médio	1,6-3,0
Alto	3,1-6,0
Muito Alto	>6,0

Fonte: IAC(1996) citado por Tomé Jr, (1997).

Cálcio e Magnésio (Ca e Mg): os teores de Ca e Mg estão estreitamente relacionados com o nível de acidez do solo. São utilizados para o cálculo da soma de bases que servirá para calcular a CTC e saturação por bases (V%). Dessa forma, pode – se esperar que se os teores de Ca e Mg quando estiverem baixos, os solos estarão também com excesso de acidez (baixo pH) e baixa saturação por bases (V%) e toxidez por Al^{+3} .

Utilizando a Tabela 2.5, pode-se classificar os teores de Ca e Mg simultaneamente, para a classificação do solo, para o Estado de São Paulo.

Tabela 2.5 - Índices normalmente usados para classificar os teores de Cálcio e Magnésio.

Unidades	Baixo		Médio		Alto	
	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
mmol/dm ³	<20,0	<4,0	20,0-40,0	4,0-8,0	>40,0	>8,0

Fonte : IAC (1996), Citado por Tomé Jr., (1997).

O Instituto Agrônomo de Campinas (Tomé Jr., (1997), sugere para o Cálcio que teores acima de 7 mmol/dm³ sejam considerados altos).

Alumínio trocável (Al): sendo o Al³⁺ um íon tóxico para as plantas de uma maneira geral, o ideal é que seus teores no solo sejam nulos.

Soma de Bases (SB): somam-se os teores de Ca, Mg e K.

$$SB = Ca + Mg + K + Na, \text{ (mmol/dm}^3\text{)}.$$

Capacidade de Troca de Cátions (CTC Total): corresponde ao total de cargas negativas que o solo apresenta.

$$CTC_{(Total)} = Ca + Mg + K + Na + H + Al \quad \text{ou} \quad CTC_{(Total)} = SB + (H + Al), \text{ (mmol/dm}^3\text{)}.$$

Saturação por Bases (V%) : esse cálculo fornece uma idéia do estado de ocupações das cargas da CTC total, ou seja, do total de cargas negativas existentes no solo, qual a proporção ocupada pelos cátions úteis.

$$V\% = \frac{Ca + Mg + K}{Ca + Mg + K + (H + Al)} \times 100 \quad \text{ou} \quad V\% = \frac{SB}{T} \times 100$$

2.2 - LATOSSOLOS

Segundo OLIVEIRA et al. (1982), na região de Araras, SP foram identificadas as seguintes classes de Latossolos:

- Vermelho amarelo; Vermelho escuro e Roxo, os quais apresentam caráter álico.

2.2.1 - Latossolo Roxo

Essa classe é formada por solos minerais não hidromórficos, vermelho- escuros de tonalidade arroxeadas, derivados de rochas básicas e tufitos, apresentando horizonte B latossólico e teores consideravelmente de textura argilosa ou muito argilosa. Os solos em São Paulo derivados das rochas efusivas básicas como os Latossolos Roxos são os que apresentam os teores mais elevados em micronutrientes: Zinco, Cobre, Molibdênio e Manganês. Devido à presença de ilmenita, esses solos apresentam também teores relativamente altos de TiO_2 , em geral superiores a 3%, sendo também comum o Manganês.

SB: em decorrência da participação dos solos eutróficos e do manejo, apresenta valor médio relativamente elevado na camada superficial e na camada subsuperficial, principalmente os solos Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho Escuro.

Al: os teores de Al trocável nesses solos são bem baixos na camada superficial e subsuperficial.

Fe total: como se trata de solo desenvolvido de rocha básica, os teores de Ferro total são elevados.

Os valores referentes a granulometria indicam a predominância de solos muito argilosos com pequena participação das frações areia grossa e limo, (OLIVEIRA et al, 1982).

2.2.2 - Latossolo Vermelho-Escuro

Os Latossolo Vermelho-Escuros de textura argilosa, são nesta quadrícula provenientes do intemperismo e retrabalhamento de sedimentos finos : argilitos e siltitos com variada contribuição de rochas básicas, encontrando-se, por isso, solos com variados teores de ferro

total. Os solos são muito ácidos, com valores médios de pH 5,0 a 4,7 respectivamente para as camadas superficiais e subsuperficiais, (OLIVEIRA et al, 1982).

2.2.3 - Latossolo Vermelho-Amarelo

Consideram-se como Latossolo Vermelho-Amarelo os Latossolos que apresentam no horizonte B2 cores amarelas. Os teores de Fe total nos solos argilosos indicam invariavelmente valores baixos, bem inferiores a 9%, enquanto nos de textura média a relação molecular Al_2O_3/Fe_2O_3 é superior a 3,14%. Em média os Latossolos amarelos apresentam na superfície e na subsuperfície, baixos valores para o pH, traduzindo condição de acidez acentuada. Os valores médios de Carbono refletem as pequenas quantidades de Matéria Orgânica existentes nesse solo. Valores elevados de soma de bases (máximo de 7,7 e mg/100g TFSA) em solos sob cultivo de cana-de-açúcar. Sessenta e três por cento dos Latossolos Vermelho-Amarelo desta quadricula estão representados por solos de textura média, além de serem originariamente pobres, com baixos valores de nutrientes. A saturação em alumínio é elevada, (OLIVEIRA et al, 1982).

2.3 - VARIABILIDADE ESPACIAL

Alterações nos atributos do solo podem causar diferenciações na produção, correlacionando estes atributos com a produtividade é possível identificar os que mais contribuem para explicar a produtividade e seu grau de importância (JAKOB,1999).

Existem diversos trabalhos neste sentido, mas a metodologia de processamento dos dados em Agricultura de Precisão ainda não está completamente entendida (JAKOB ,1999).

SOUZA et al. (1999), encontraram variabilidade espacial para alguns parâmetros do solo (pH, Fósforo, Potássio, Matéria Orgânica), em Latossolo Roxo Distrófico.

Também VIEIRA (1997a) encontrou variabilidade de alguns parâmetros do solo como teor de Argila, teor de Silte, delta pH, Soma de Base, Capacidade de Troca Catiônica e Saturação por Base.

Entender e modelar a variabilidade espacial da produtividade das culturas, das propriedades do solo e de qualquer outro parâmetro que possa estar correlacionado com a produtividade é uma das etapas mais importantes para se estabelecer um processo de gerenciamento localizado de insumos (CORÁ e MARQUES 1998).

Solos de uma mesma classe taxonômica, considerados relativamente homogêneos, podem apresentar variação em suas propriedades como resultados da aplicação de diferentes práticas de manejo. Da mesma maneira, solos de classes diferentes submetidas ao mesmo manejo podem apresentar propriedades semelhantes (CORÁ e MARQUES 1998).

O manejo pode afetar propriedades químicas, físicas, mineralógicas e biológicas com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo e práticas como aração e gradagens são responsáveis pela alteração e até eliminação da dependência espacial de certas propriedades físicas do solo como densidade aparente, porosidade e retenção de água, em geral. Propriedades, com altos valores de coeficiente de variação (CV) requerem um esquema de amostragem mais intensivo em uma determinada área do que propriedades que apresentarem menores valores de CV. A Tabela 2.6, citada por CORÁ e MARQUES (1998), mostra a relação entre valores de CV e alcance avaliados por um programa de agricultura de precisão em trabalhos recentes, no Brasil. Pode-se notar que a medida que cresce a CV cresce o alcance do semivariograma.

Tabela.2.6 - Magnitudes das propriedades do solo.

Agricultura de Precisão			Trabalhos recentes		
Propriedade	C.V.	Alcance espacial	Propriedade	CV	Alcance espacial
	%	m		%	m
pH	8-14	20-132	pH	3.5	44
N-NO ₃	28-58	40-275	Matéria orgânica	4.2-17.5	12.6-59
Matéria orgânica	21-41	112-114	P disponível	14-109	2.5-63
P disponível	39-157	68-145	K disponível	3.1-50.5	1.9-30
K disponível	31-61	-	-	-	-

Fonte: WOLLENHAUPT et al. (1997); SOUZA et al., (1997 a,b);

VIEIRA et al., (1998), Citado por CORÁ e MARQUES (1998).

CV é o coeficiente de variação e alcance espacial é o parâmetro gerado pelo Semivariogramas. Os valores mostram a variabilidade dos parâmetros investigados. Percebe-se que a magnitude da variabilidade de propriedades química e física dos solos não segue um padrão definido. Muito pelo contrário, existe uma grande variabilidade espacial das propriedades dos solos que é dependente do próprio parâmetro analisado, do tipo de solo, e da história do manejo da área (CORÁ e MARQUES,1998).

De acordo com CARVALHO et al. (1998) para estudar a variabilidade espacial, a amostragem tem que ter um desenho apropriado para a análise geoestatística, em duas direções.

Para SOUZA et al, (1999), ilustram a importância da agricultura de precisão auxiliada por técnicas geoestatísticas no estudo de variáveis espacialmente distribuídas.

Alguns resultados de variabilidade espacial da infiltração e dos parâmetros hidrodinâmicos do solo encontrados por LIMA e SILANS (1999), em uma parcela relativamente pequena (5.000m²) e de aparência homogênea, permitiu uma análise estatística clássica através do cálculo de média, C.V., desvio padrão, curtose e assimetria que caracterizou a variabilidade e as correlações entre textura, através da taxa percentual da fração de (argila + silte) e as propriedades hidrodinâmicas do solo como insignificantes, ou seja não houve correlações significativas.

Para COUTO e KLAMT, (1999), a deficiência localizada dos micronutrientes (Boro, Cobre, Manganês e Zinco) deve-se à quantidade insuficiente de adubos aplicada, considerando que os valores médios, com exceção do zinco, estão abaixo dos níveis críticos. Os altos valores dos coeficientes de variação em todos os micronutrientes estudados indicam

que as práticas de fertilização e as operações de preparo de solo não são eficientes na distribuição e homogeneização dos fertilizantes nos quadrantes do pivô central. O alcance da dependência espacial, em geral, aumenta com profundidade, sugerindo que as práticas de manejo executadas ao longo dos anos interferem na estrutura espacial destas propriedades.

Segundo MARTINHO (2000), avaliando duas áreas produtivas (Campos Novos Paulista e Angatuba, SP) com 2 tipos de solo (Latosolo Vermelho e Latossolo Vermelho distrófico), e diferentes tipos de culturas (soja, milho safrinha, aveia preta, feijão, batata, cana-de-açúcar), e analisando parâmetros como: granulometria, permeabilidade e fertilidade, num espaçamento de 50x50m, obteve várias respostas onde utilizando-se da análise do CV foi possível estabelecer faixas de análises para os parâmetros de baixa a altas concentrações para os parâmetros estudados.

2.4 - AGRICULTURA DE PRECISÃO

MILBY (1996) descreve a agricultura de precisão utilizando um acrônimo, **UC3**. **U** uso de nova tecnologia, **C** centrada na informação, **3** com três vantagens sobre as tradicionais abordagens: agronômica, econômica e ambiental.

KORTE e YULE (1996), STAFFORD e BOLAM (1996), STAFFORD (1996) descrevem a agricultura de precisão como a aplicação variável de insumos em função das reais necessidades locais.

Atualmente os trabalhos com agricultura de precisão vêm dando importância ao estudo das correlações entre as propriedades do solo e o resultado da colheita. Segundo JOHNSON (1996), a agricultura de precisão encontra o que o solo necessita, onde ele necessita e aplica a quantidade exata de sementes e a dosagem correta de fertilizantes e outros insumos no local exato desta necessidade. Seu objetivo é minimizar custos e uniformizar a produtividade, o que origina maiores lucros ao produtor. Seu ideal também é a eficiência na produção e conservação do solo.

Segundo HOSKINSON (1995), o objetivo de se aumentar a eficiência da agricultura é reduzir a energia utilizada e o impacto ambiental com o uso otimizado de recursos. Este objetivo pode ser atingido integrando-se componentes tecnológicos como GPS, sensores que medem o rendimento com uma taxa variável de aplicação de produtos químicos e irrigação, sensores no solo e no meio ambiente, peritos e sistemas computadorizados para suporte.

FRAISSE (1997) diz que colheitadeiras equipadas com GPS e sensores eletrônicos são usadas para mapeamento da colheita no campo, permitindo identificar áreas de maior ou menor produtividade. O sistema de informação geográfico dos pontos de coleta de amostras de solo permite também o mapeamento de variáveis importantes para o processo produtivo, como a disponibilidade de nutrientes, água e pH do solo. Sistemas de informação geográficos são utilizados para o armazenamento, tratamento, análise e visualização da informação espacial coletada no campo. A análise dos dados permite otimizar o uso de insumos agrícolas e criar mapas de aplicação localizada de insumos que levam em consideração a variabilidade espacial encontrada no campo. Estes, por sua vez, são armazenados em computadores instalados em tratores equipados com GPS e implementos agrícolas que permitem variar a taxa de aplicação

de insumos. Desta maneira, pode-se aplicar a quantidade correta de insumos no local certo em toda a extensão do campo. A agricultura de precisão permite ainda construir bancos de dados espaciais e temporais importantes no desenvolvimento de técnicas visando o uso racional da terra com conseqüente redução de custos e impactos ambientais. Destacam-se três fases principais para a implementação de um programa de agricultura de precisão:

- Coleta de dados de Sistemas de informação geográficos para a caracterização da variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo das áreas cultivadas;
- Tomada de decisões com base na análise e tratamento dos dados obtidos no campo; e
- Aplicação localizada de insumos agrícolas.

2.5 - AMOSTRAGEM DO SOLO

VIEIRA et al. (2000), em dois experimentos, para as cidades de Campinas, Pindorama, Votuporanga, do estado de São Paulo, tiveram o objetivo de mapear alguns parâmetros do solo e planta utilizando geoestatística. Nesses experimentos foram utilizados espaçamentos de 10x10 metros em amostragem regular sistemática. A amostragem foi realizada nesse caso, já baseada em estudos anteriores e portanto representando a variabilidade da área, mostrando a importância de estudos temporais.

TORRES e PROCHNOW (2000) descrevem em seu trabalho alguns espaçamentos de amostras dados por trabalhos experimentais e comerciais. Na Universidade de Columbia utiliza-se espaçamento de amostragem entre 20 a 30 metros. Comercialmente utiliza-se, em função do alto custo de amostragem, espaçamentos que variam de 1.0 a 2.5 amostras por ha.

2.6 - GEOESTATÍSTICA

Existem várias técnicas para analisar ou modelar estruturas de variabilidade espacial, dentre estas, o conjunto de técnicas da Geoestatística, ou Teoria das Variáveis Regionalizadas, introduzida por MATHERON (1963) em aplicações relacionadas à geologia e mineralogia. Essa técnica vem sendo utilizada também na área agrônômica para otimizar sistemas de amostragens em experimentos agrícolas, considerando que as variáveis não têm distribuição homogênea, como também pode ser aplicada em técnicas de agricultura de precisão (VIEIRA, 1997b).

Segundo CAMARGO (1999), pode-se resumir os passos num estudo empregando técnicas geoestatísticas em : (a) análise exploratória dos dados, (b) análise estrutural (cálculo e modelagem do variograma) e (c) realização de inferências (krigeagem ou simulação).

Para VIEIRA, (1999), quando uma determinada propriedade varia de um local para outro com algum grau de organização ou continuidade, expresso pela dependência espacial, a estatística clássica deve ser abandonada e dar lugar a uma estatística relativamente nova: a Geoestatística .

O primeiro passo na análise geoestatística é a verificação da existência de dependência espacial, por meio do semivariograma (VIEIRA, 1997b).

Para o estabelecimento do problema, considere-se um campo de área S , para o qual se tem um conjunto de valores medidos $\{z(x_i), i=1, n\}$, onde x_i identifica uma posição no espaço ou no tempo, e representa pares de coordenadas (x_i, y_i) . Esse procedimento é usado para simplicidade de representação na dedução das equações. O ponto de referência para o sistema de coordenadas é arbitrário e fixado a critério do interessado. Para uma dada posição fixa x_k , cada valor medido da variável em estudo, $z(x_k)$, pode ser considerado como uma realização de uma certa variável aleatória, $Z(x_k)$. A variável regionalizada $Z(x_k)$, para qualquer x_i dentro da área S , por sua vez pode ser considerada uma realização do conjunto de variáveis aleatórias $\{Z(x_i), \text{ para qualquer } x_i \text{ dentro de } S\}$. Esse conjunto de variáveis aleatórias é chamado uma função aleatória e é simbolizado por $Z(x_i)$.

O exposto acima se faz necessário porque, pelo fato de uma função aleatória ser contínua, pode ser submetida a uma grande gama de hipóteses, sem as quais a dedução de equações é

impossível. O que se deve esperar é que com pontos discretos de amostragem, se possa satisfazer as hipóteses às quais as funções aleatórias estão sujeitas, (VIEIRA, 1999)

Com uma única amostragem, tudo o que se sabe de uma função aleatória $Z(x_i)$ é uma única realização. Então, para se estimar valores para os locais não amostrados, ter-se-á que introduzir a restrição de que a variável regionalizada seja, necessariamente, estacionária estatisticamente. Formalmente, uma variável regionalizada é estacionária se os momentos estatísticos da variável aleatória $Z(x_i+h)$ forem os mesmos para qualquer vetor h . De acordo com o número k de momentos estatísticos que são constantes, a variável é chamada de estacionária de ordem k . Estacionariedade de ordem 2 é tudo que é requerido em geoestatística.

Supondo-se que a função aleatória $Z(x_i)$ tenha valores esperados $E\{Z(x_i)\} = m(x_i)$ e $E\{Z(x_i+h)\} = m(x_i+h)$ e variâncias $VAR\{Z(x_i)\}$ e $VAR\{Z(x_i+h)\}$, respectivamente, para os locais x_i e x_i+h , e qualquer vetor h , então, a covariância $C(x_i, x_i+h)$ entre $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$ é definida por:

$$C(x_i, x_i+h) = E\{Z(x_i) Z(x_i+h)\} - m(x_i) m(x_i+h) \quad (1)$$

e o variograma $2\gamma(x_i, x_i+h)$ é definido por:

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

A variância de $Z(x_i)$ é:

$$VAR\{Z(x_i)\} = E\{Z(x_i) Z(x_i+0) - m(x_i) m(x_i+0)\} = \quad (3)$$

$$= E\{Z^2(x_i) - m^2(x_i)\} = C(x_i, x_i)$$

e a variância de $Z(x_i+h)$ é:

$$VAR\{Z(x_i+h)\} = E\{Z^2(x_i+h) - m^2(x_i+h)\} = C(x_i+h, x_i+h) \quad (4)$$

Assim, existem três hipóteses de estacionariedade de uma função aleatória $Z(x_i)$, e pelo menos uma delas deve ser satisfeita antes de se fazer qualquer aplicação de geoestatística.

2. Hipótese de estacionaridade de ordem 2

Uma função aleatória $Z(x_i)$ é estacionária de ordem 2 se:

$$E \{Z(x_i)\} = m \quad (5)$$

a) O valor esperado $E\{Z(x_i)\}$ existir e não depender da posição x , ou seja para qualquer x_i dentro da área S .

b) Para cada par de variáveis aleatórias, $\{Z(x_i), Z(x_i+h)\}$, a função covariância, $C(h)$, existir e for função de h :

$$C(h) = E \{Z(x_i) Z(x_i+h)\} - m^2 \quad (6)$$

para qualquer x_i dentro da área S .

A equação (6), estacionaridade da covariância, implica na estacionaridade da variância e do variograma. Assim, usando a linearidade do operador valor esperado, E , na equação (3), obtém-se:

$$VAR \{Z(x_i)\} = E \{Z(x_i+0)\} - E \{m^2(x_i)\} \quad (7)$$

e aplicando as condições de estacionaridade (5) e (6) obtém-se:

$$VAR \{Z(x_i)\} = E \{Z^2(x_i)\} - m^2 = C(0) \quad (8)$$

O variograma na equação (2) pode ser desenvolvido em:

$$2\gamma(x_i, x_i+h) = 2\gamma(h) = E \{Z^2(x_i) - 2Z(x_i)Z(x_i+h) + Z^2(x_i+h)\} \quad (9)$$

Somando e subtraindo $2m^2$:

$$2\gamma(h) = E \{Z^2(x_i) - m^2 - 2Z(x_i)Z(x_i+h) + 2m^2 + Z^2(x_i+h) - m^2\} \quad (10)$$

Usando a linearidade do operador E , e reconhecendo que o valor esperado de uma constante é a própria constante tem-se:

$$2\gamma(h) = E \{Z^2(x_i)\} - m^2 - 2(E \{Z(x_i)Z(x_i+h)\} - m^2) + E \{Z^2(x_i+h)\} - m^2 \quad (11)$$

Substituindo as equações (6) e (8) na equação (11), tem-se:

$$2\gamma(h) = C(0) - 2C(h) + C(0) = 2C(0) - 2C(h) \quad (12)$$

$$\text{ou simplificando, } \gamma(h) = C(0) - C(h) \quad (13)$$

$$\text{Isolando } C(h), \text{ tem-se: } C(h) = C(0) - \gamma(h) \quad (14)$$

Dividindo ambos os lados por $C(0)$ e reconhecendo que o correlograma $\rho(h) = C(h)/C(0)$:

$$\rho(h) = \frac{C(h)}{C(0)} = \frac{C(0)}{C(0)} - \frac{\gamma(h)}{C(0)}$$

(15)

$$\rho(h) = 1 - \frac{\gamma(h)}{C(0)}$$

Portanto, se a hipótese de estacionaridade de ordem 2 puder ser satisfeita, a covariância $C(h)$ e o variograma $2\gamma(h)$ são ferramentas equivalentes para caracterizar a dependência espacial. A existência de estacionaridade dá a oportunidade de repetir um experimento mesmo que as amostras devam ser coletadas em pontos diferentes, porque todas são consideradas pertencentes a populações com os mesmos momentos estatísticos, (VIEIRA,1999).

Hipótese intrínseca. Dentre as possibilidades a hipótese de estacionaridade de ordem 2 requer a existência de uma variância finita dos valores medidos, $\text{VAR} \{Z(x)\} = C(0)$, a variância é igual à covariância. Esta hipótese pode não ser satisfeita para alguns fenômenos físicos que têm uma capacidade infinita de dispersão. Para tais situações, uma hipótese menos restritiva, a hipótese intrínseca, pode ser aplicável. Essa hipótese requer apenas a existência e estacionaridade do variograma, sem nenhuma restrição quanto à existência de variância finita. Uma função aleatória é intrínseca quando, além de satisfazer a condição expressa a estacionariedade do primeiro momento estatístico, também o incremento $\{Z(x_i) - Z(x_i+h)\}$ equação (16) tem variância finita, e não depende de x_i para qualquer vetor h . Como segue as equações abaixo VIEIRA (1999), descreve detalhadamente cada equação matemática para o cálculo dos semivariogramas.

$$\text{VAR} \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\} = E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (16)$$

para qualquer x_i dentro da área S .

Substituindo a equação (2) na equação (16), tem-se:

$$2\gamma(h) = E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (17)$$

A função $\gamma(h)$ é o semivariograma. A razão para o prefixo "semi" é que a equação (17) pode ser escrita na forma:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2 N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (18)$$

O fator 2 foi introduzido na definição do variograma, $2\gamma(h)$, para cancelamento e simplificação da equação (13) e a quantidade mais freqüentemente usada é $\gamma(h)$ e não $2\gamma(h)$. A hipótese intrínseca é, na verdade, a mais freqüentemente usada em geoestatística, principalmente por ser a menos restritiva.

Hipótese de tendência - krigagem universal. Nesta hipótese, a função aleatória $Z(x_i)$, para qualquer posição, x_i , consiste de dois componentes:

$$Z(x_i) = m(x_i) + e(x_i) \quad (19)$$

onde $m(x_i)$ é o "drift" (tendência principal) e $e(x_i)$ é o erro residual. Portanto, para se trabalhar sob esta hipótese é preciso, para cada posição x_i , determinar o "drift", $m(x_i)$, e ter uma expressão para o semivariograma dos resíduos (VIEIRA, 1999).

O gráfico de $\gamma^*(h)$ versus os valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é uma função do vetor h , e portanto depende de ambos, magnitude e direção de h . Quando o gráfico do semivariograma é idêntico para qualquer direção de h ele é chamado isotrópico e representa uma situação bem mais simples do que quando é anisotrópico.

– *Anisotropia*: algumas variáveis regionalizadas são anisotrópicas, isto é, apresentam variações graduais numa direção e rápidas ou irregulares em outra.

É importante notar que a maioria das variáveis de ciência do solo poderá ter um comportamento anisotrópico, isto é, mudar de maneira diferente para direções diferentes. É óbvio que isso depende muito da propriedade em estudo, das dimensões do campo de estudo e do tipo de solo envolvido.

Em geral, a precisão da interpolação ou o tipo de hipótese satisfeita não são afetados se, em vez de se preocupar com escolha de método de transformação de anisotropia, apenas se limitar à faixa de distância na qual se utiliza o semivariograma. De qualquer maneira é sempre aconselhável examinar semivariogramas para várias direções, antes de tomar decisões. As principais direções que devem ser examinadas são: 0° - na direção do eixo X, 90° - na direção do eixo Y, 45° e -45° - nas duas diagonais.

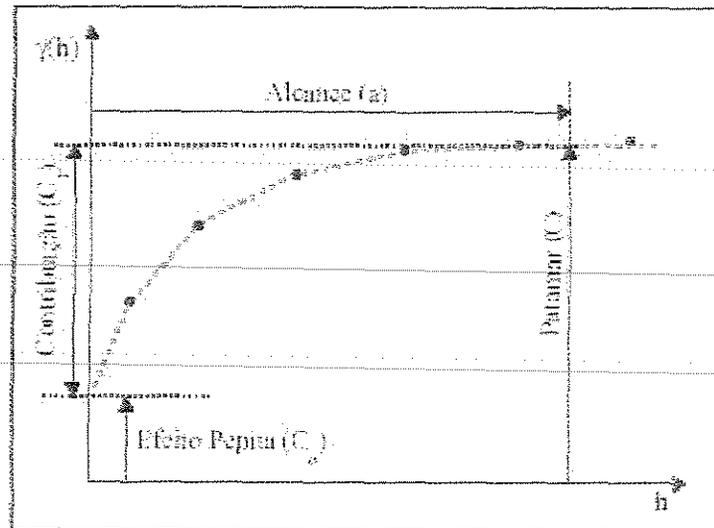


Figura 2.1-Semivariograma (Fonte : CAMARGO, 2000)

Entretanto, esse tipo de hipótese não pode simplesmente ser feito antes que se prove a não existência de correlação de amostras com distância. Se provada a correlação espacial, a hipótese de independência fracassa. Um dos métodos mais antigos de se estimar a dependência no espaço ou no tempo de amostras vizinhas é através da autocorrelação. Porém, quando as amostras forem coletadas nas duas dimensões do campo e interpolação entre locais medidos for necessária para a construção de mapas de isolinhas, será preciso usar uma ferramenta mais adequada para medir a dependência espacial. Essa ferramenta é o semivariograma, (Figura 2.1) constituído pelo :

Alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente.

Patamar (C): é o valor do semivariograma correspondente a seu *alcance (a)*. Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ($\text{Var}[Z(x) - Z(x+h)]$) torna-se invariante com a distância.

Efeito Pepita (C_0): por definição, $\gamma(0)=0$, entretanto, na prática, à medida que h tende para 0 (zero), $\gamma(h)$ se aproxima de um valor positivo chamado *Efeito Pepita (C_0)*. O valor de C_0 revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras.

Contribuição (C_1): é a diferença entre o patamar (C) e o Efeito Pepita (C_0).

2.6.1 - KRIGEAGEM

A diferença entre a krigeagem e outros métodos de interpolação é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras. No caso de interpolação linear simples, por exemplo, os pesos são todos iguais a $1/N$ (N = número de amostras); na interpolação baseada no inverso do quadrado das distâncias, os pesos são definidos como o inverso do quadrado da distância que separa o valor interpolado dos valores observados. Na krigeagem, o procedimento é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, exceto que aqui os pesos são determinados a partir de uma análise espacial, baseada no semivariograma experimental. Além disso, a krigeagem fornece, em média, *estimativas não tendenciosas e com variância mínima*. A krigeagem engloba um conjunto de métodos de estimação, a saber: krigeagem simples, krigeagem ordinária, krigeagem universal, Co-krigeagem, krigeagem disjuntiva, (VIEIRA, 1999).

A análise geoestatística permite detectar a existência de uma certa estrutura ou grau de organização na distribuição espacial dos parâmetros estudados; a partir daí, pela técnica do Krigging, é possível mapear esses parâmetros e identificar, no campo, o local que representaria os valores médios do volume infiltrado LIMA e SILANS (1999).

A interpolação por Krigeagem permite estimar os efeitos espaciais impostos pelas práticas de manejo que apresentam estrutura espacial bem definida, viabilizando uma aplicação diferencial de corretivos, otimizando o uso dos insumos e minorando os problemas ambientais advindos do uso da terra, na busca de uma agricultura de precisão (COUTO e KLAMT, 1999).

III - HIPÓTESE DO TRABALHO

Existe variabilidade dos parâmetros físicos e químicos do solo e é passível de ser medida.

IV - OBJETIVOS

4.1 - GERAL :

Estudar a variabilidade dos parâmetros do solo utilizando-se da estatística clássica e da geoestatística.

4.2 - ESPECÍFICOS:

- Estudar a variabilidade espacial dos parâmetros do solo através de amostragem sistemática regular e utilização de geoestatística/krigeagem;
- Analisar os modelos Geoestatísticos para a análise da variabilidade dos parâmetros físicos e químicos do solo;
- Analisar os mapas das quantidades de nutrientes, gerados através dos modelos geoestatísticos, em comparação aos mapas reclassificados segundo a literatura, para solos de modo geral ;
- Analisar os mapas das quantidades de nutrientes, gerados através dos modelos geoestatísticos, em comparação aos mapas reclassificados segundo a literatura, como recomendação para cana-de-açúcar.

V - MATERIAL E MÉTODOS

5.1 - MATERIAL

Trado Holandês

GPS Trimble Geoexplorer III

Características: exatidão em torno de 1 metro com correção diferencial,

Memória de 1 Mbyte;

12 canais.

Mapa plani-altimétrico escala 1:10.000 – Folha Araras II (IGC, 1979);

Mapa de solos escala 1:10.000 (Usina São João);

Softwares Utilizados;

- Statistic e Excel (estatística descritiva)
- Variowin, Surfer e Idrisi for windons, AutoCAD MAP (aplicativo de geoestatística e geração de mapas).
- Idrisi 3.2 (aplicativos de geoestatística e geração de mapas e reclassificação).

5.2 - ÁREA DE ESTUDO

5.2.1 - LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O experimento foi conduzido em uma área da Usina São João Açúcar e Alcool (SA), localizada no município de Araras, SP. A área de estudo foi escolhida segundo os critérios abaixo descritos:

- possuir levantamento detalhado de solos e de topografia;
- possuir variação de solo;
- possuir mais de um tipo/textura de solo;
- apresentar baixa declividade;
- ser uma área com colheita mecanizada;
- fácil acesso;
- disponibilidade de dados no formato digital;

A área que atendeu aos requisitos acima e que foi disponibilizada pela Usina é apresentada na Figura 5.1.

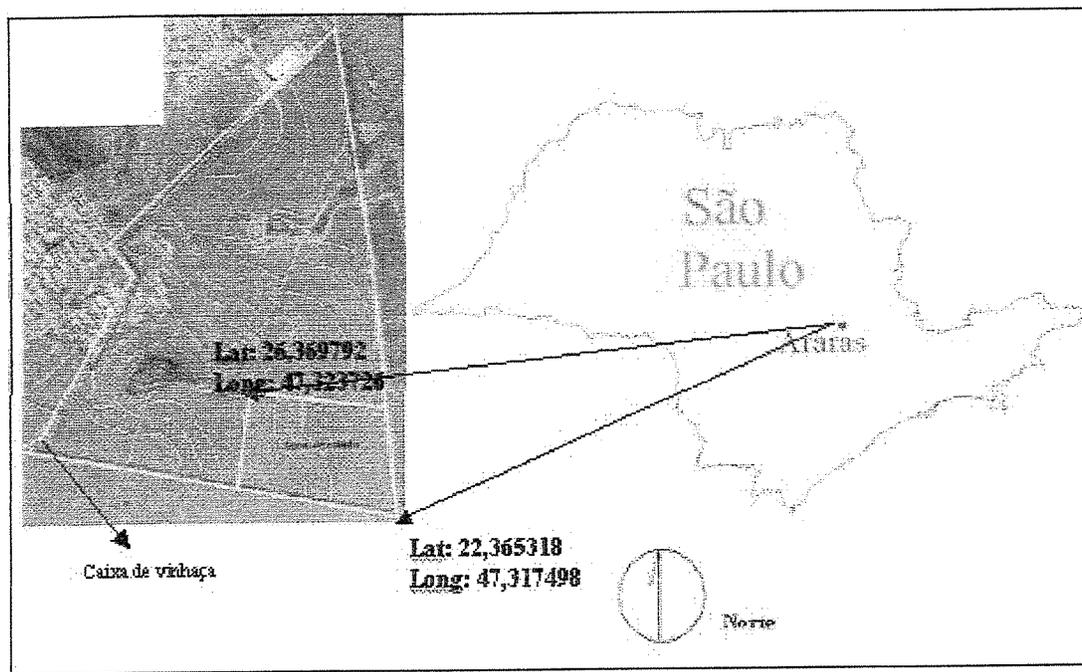


Figura 5.1 – Vista aérea da área localizada na Usina São João na cidade de Araras/SP.

5.3 - LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO

A área possui levantamento de solos realizado pela usina São João o qual apresenta as seguintes características: escala 1:10.000, os solos são predominantemente Latossolos, especificamente o Latossolo Roxo eutrófico textura argilosa a muito argilosa (LRe), Latossolo Roxo endoeutrófico (LRed), Latossolo Vermelho Amarelo epieutrófico (LVA-2), Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVA-2d) e Latossolo Vermelho Escuro distrófico (LVE-2). A configuração dos solos na área de estudo é mostrada na Figura 5.2.

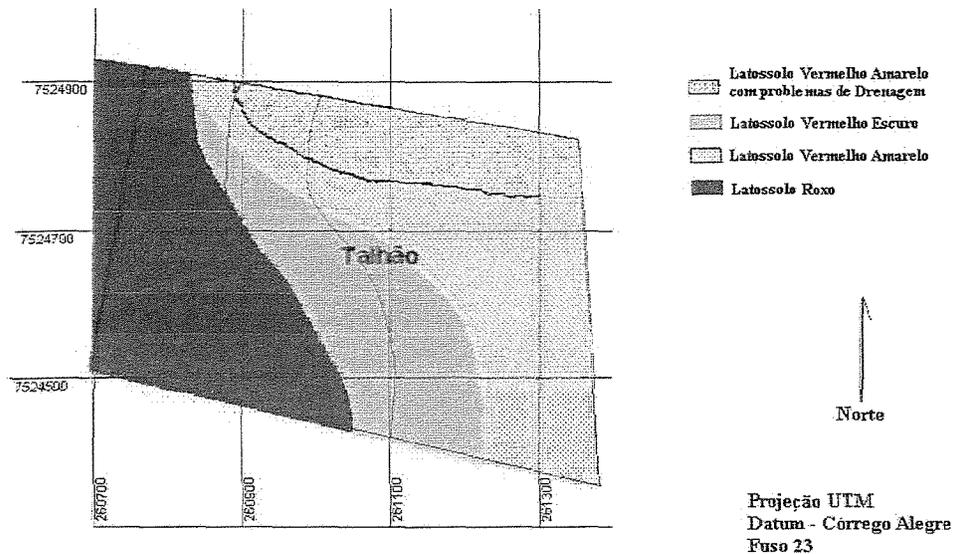


Figura 5.2: Área de estudo com a discriminação dos solos.

A área apresenta relevo suave ondulado com declividades não ultrapassando 12%. O relevo pode ser visualizado através da Figura 5.3 onde é mostrado através do modelo digital de terreno, gerado a partir de curvas de nível do mapa plani-altimétrico.

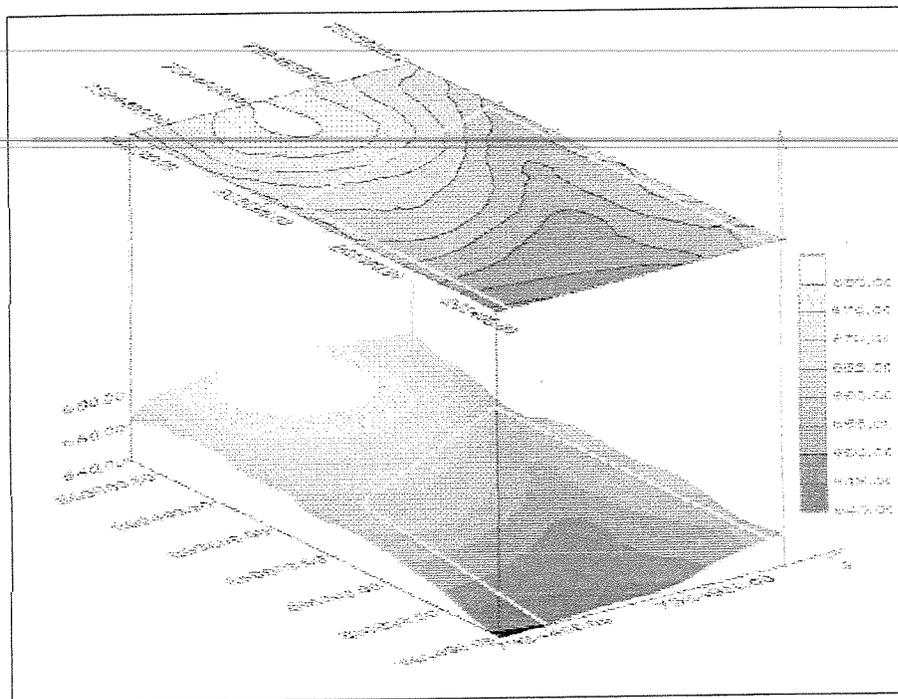


Figura 5.3. Modelo Numérico do Terreno obtido a partir das curvas de nível da carta 1:10.000 do IGC.

5.4 - METODOLOGIA

A definição da amostragem de solos foi feita de modo a proporcionar abrangências de toda a área, o maior número de informações e viabilidade de realizar o trabalho de campo. Para que essas três condições fossem satisfeitas foi escolhida a amostragem sistemática regular perfazendo-se 94 amostras no talhão (Figura 5.4).

A grade amostral selecionada para o trabalho foi a alinhada, regular com espaçamento de 50 x 50 metros e bordadura de 25 metros em torno dos carregadores. Os pontos amostrais foram georreferenciados com GPS (GEOExplorer III), e corrigidos por diferencial pós processado utilizando-se de arquivos de correção obtidos da estação base referencial da Escola Superior Luiz de Queiroz (ESALQ)/Piracicaba. Em cada um dos pontos retirou-se três amostras, para cada uma das profundidades estudadas (0-30cm e 30-60cm) utilizando um trado holandês, segundo a Figura 5.4, e misturados em um balde para compor a amostra final. Este tipo de grade permitiu a cobertura de toda a área.

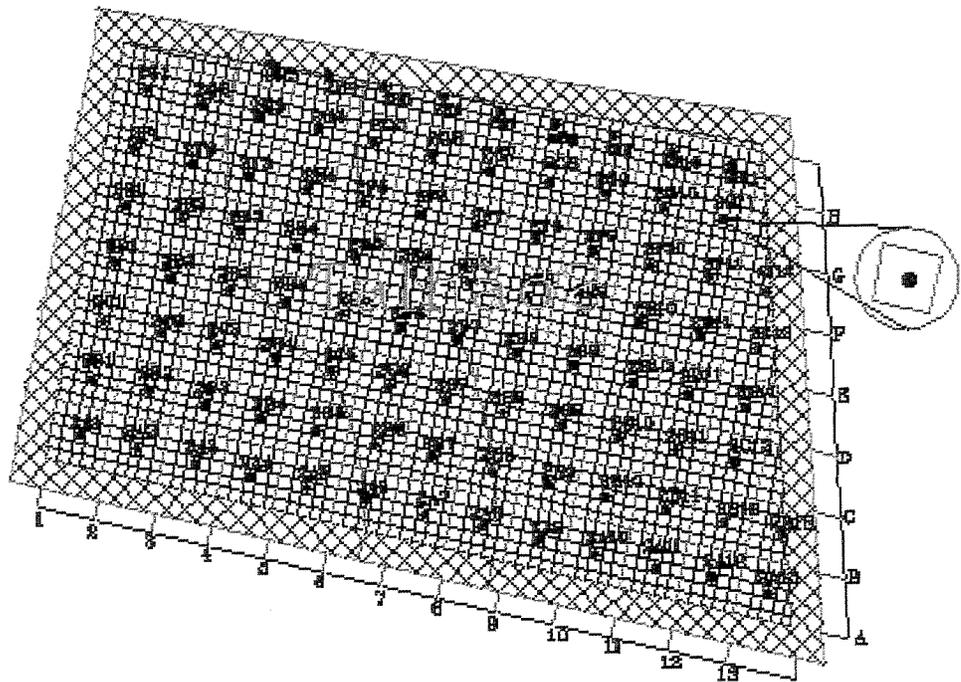


Figura 5.4: Grade amostral de 50 x 50 metros.

As amostras foram colhidas no mês de Setembro e abrangeram pontos que apresentavam características diferentes; uns estavam sem cobertura de palha e outros com cobertura de palha como mostra a Figura 5.5.



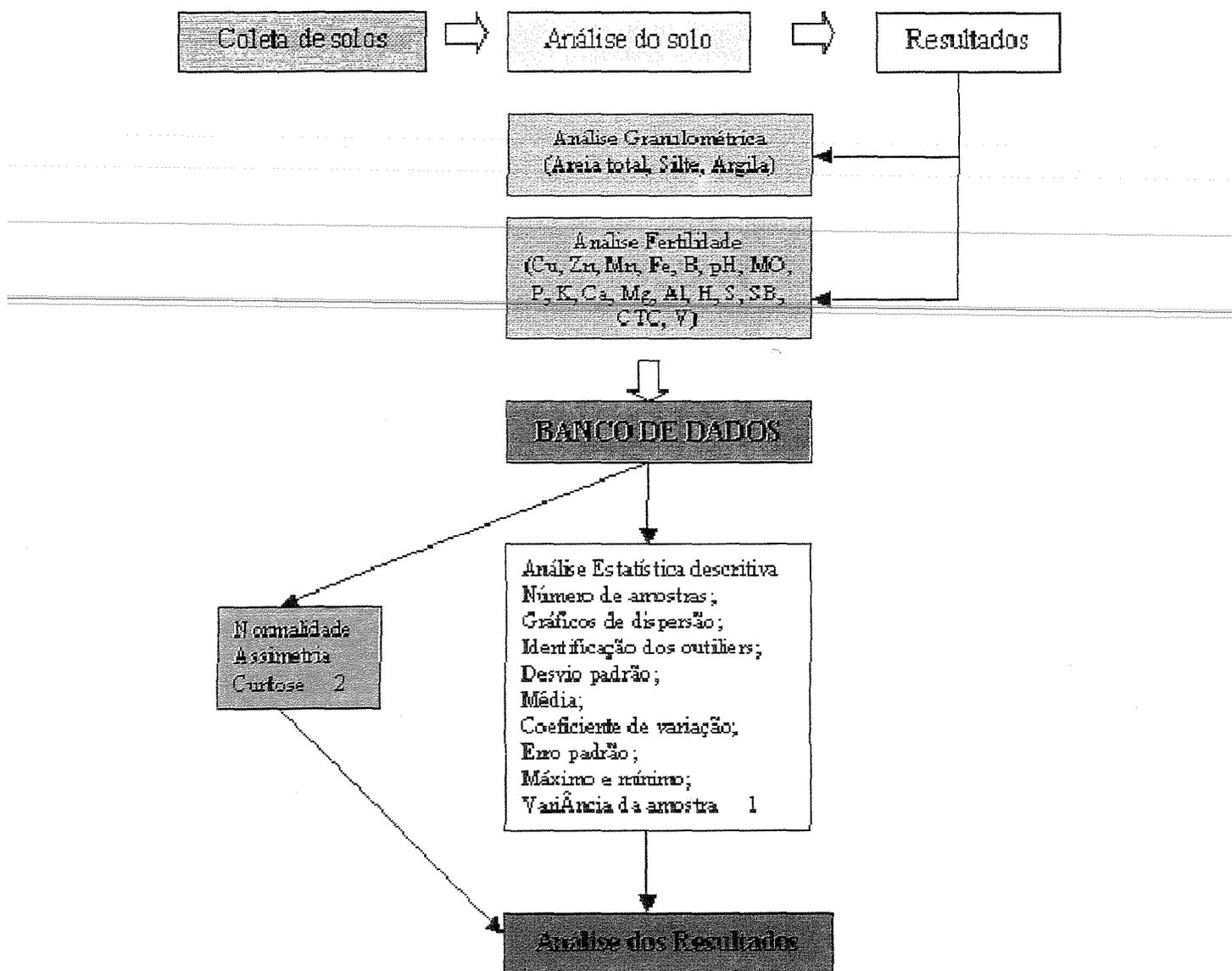
Figura 5.5: Detalhes da amostragem de solo em área com solo descoberto (direita) e com solo coberto de palha (esquerda).

As amostras coletadas foram analisadas física e quimicamente e os parâmetros levantados foram N, P, K, Ca, Mg, Al, S, pH, matéria orgânica, micronutrientes, e aspectos físicos (% areia, % silte e % argila) (IAC, 2001).

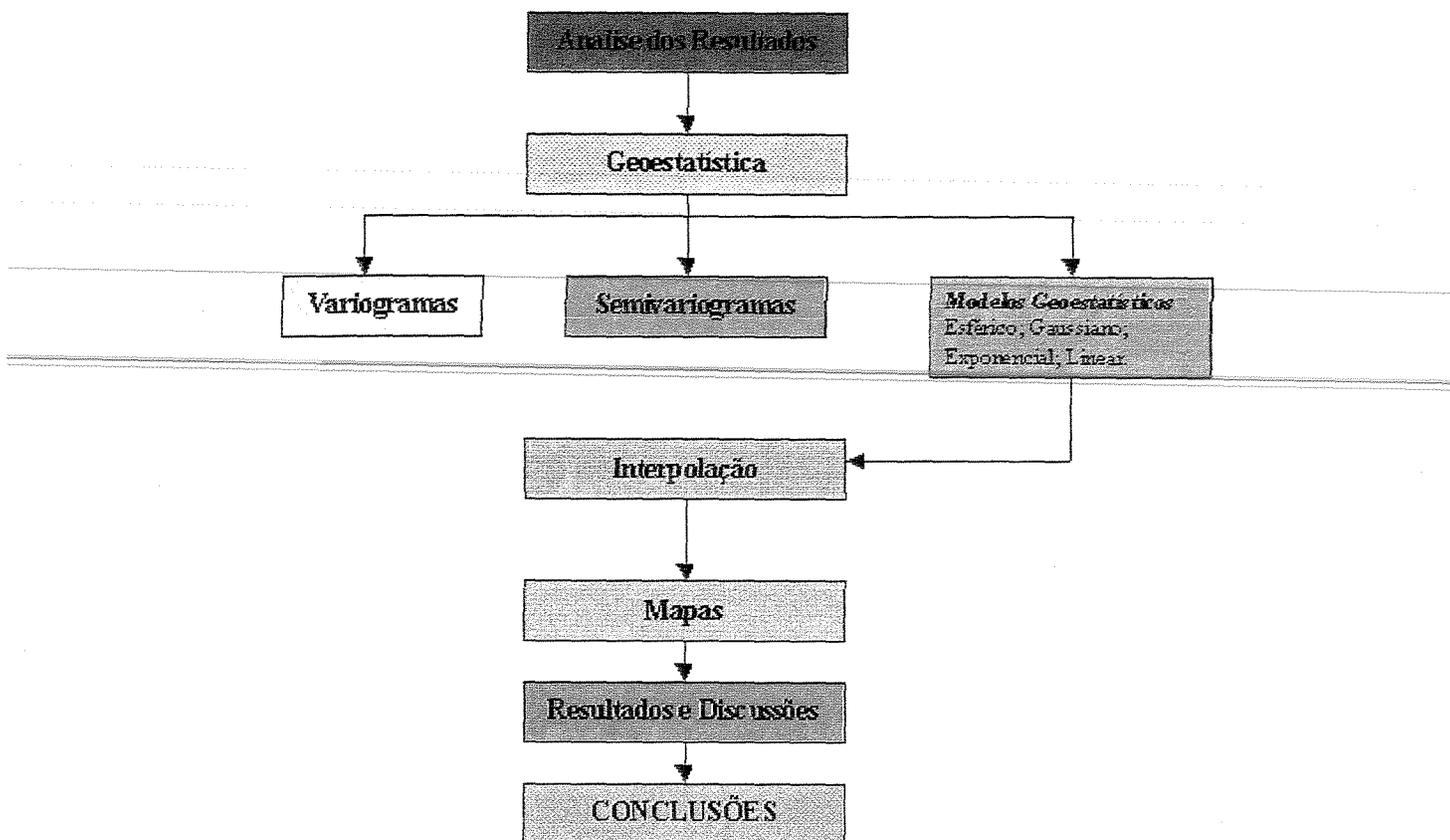
Após a coleta das amostras em campo, e realizadas as análises químicas e físicas, em laboratório, estas foram exploradas utilizando-se da análise de estatística clássica, calculando-se os valores de: Coeficiente de variação (CV), média, desvio padrão, assimetria, curtose e normalidade de cada grupo de amostras (0-30 cm e 30-60 cm). O intuito desta análise foi

identificar outliers e entender melhor o comportamento das variáveis estudadas segundo o Fluxograma 1.

Em seguida foi feita a análise espacial. Esta análise foi dividida em duas partes: a primeira gerou os modelos de semivariogramas ajustados e na segunda etapa foi gerado o mapa dos parâmetros através da krigagem baseadas nos modelos de semivariogramas Fluxograma 2. Os mapas então foram introduzidos no ambiente SIG Idrisi através dos quais foi possível analisar as variações espaciais das variáveis e também cruzar as informações do solo e estabelecer análise comparativa entre a quantificação dos nutrientes encontrados com o que se tem descrito na literatura.



Fluxograma 1: Etapas do tratamento estatístico descritivo dos valores das amostras de solo.



Fluxograma 2: Etapas do tratamento geoestatístico dos valores das amostras de solo.

A estatística clássica foi utilizada para avaliar os parâmetros do solo encontrando – se, desvio padrão, média, coeficiente de variação, erro padrão, máximo, mínimo, variância da amostra. Em seguida foi analisada a normalidade através da assimetria e curtose.

A Segunda etapa consistiu em analisar a normalidade através do cálculo da curtose, assimetria, e a verificação da variabilidade das variáveis utilizando-se para isso valores do coeficiente de variação. O coeficiente de variação foi avaliado segundo a classificação de GOMES FILHO (1984) utilizada por MARTINHO (2000), Tabela 5.1 onde este indica variáveis com baixos, médios e altos coeficientes de variação.

Tabela 5.1 – Tabela de classificação de coeficientes de variação segundo GOMES FILHO (1984), citado por (MARTINHO, 2000).

Coeficiente de variação(%)	Baixo	Médio	Alto
	<10	10 a 30	>30

Fonte: GOMES FILHO ,(1984)

Para avaliar a normalidade foram calculados os parâmetros curtose e assimetria, comparando – os com valores estabelecidos por JONES (1969), que permite, com o nível de confiança de 95%, estabelecer seu comportamento.

Utilizando – se, para isto as Tabela de JONES (1969) para 91 amostras e nível de confiança de 95%, em amostras de 0-30 cm encontrou-se, por interpolação, os seguintes valores de intervalo para Assimetria -0.49 a $+0.49$ e para curtose -0.724 a 1.158 . Da mesma maneira, foram encontrados os valores dos intervalos de assimetria e curtose, para a profundidade de 30-60 cm, com 81 pontos e 95% de nível de confiança de -0.523 a $+0.523$ e -0.776 a $+1.28$, respectivamente.

Para a geração dos semivariogramas foi utilizado o software IDRISI 3.2, onde foram calculados e estudados os semivariogramas . Para todos os semivariogramas gerados foi admitido que as variáveis eram isotrópicas ou seja não apresentaram variações graduais numa direção e rápidas ou irregulares em outra, e neste caso são ditos Omidirecionais.

Foram gerados os mapas de variabilidade espacial, a variabilidade dos pontos espacialmente representativos do campo e a reclassificação dos mapas segundo resultados encontrados e citados por TOMÉ JR. (1997) para as quantidades de nutrientes do Estado de São Paulo, separando estes nutrientes em 3 a 5 classes que variam de muito baixo a muito alto.

VI - RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

6.1.1 - CLÁSSICA

A Tabela 6.1 e Tabela 6.2 mostram os resultados dos cálculos de média, variância e desvio padrão das variáveis analisadas.

Tabela 6.1 - Estatística básica do teor de Areia , Silte e Argila na profundidade de 0-30cm

	Areia total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Desvio padrão	6.15	2.10	5.44
Média	23.30	11.43	65.30
Erro padrão	0.64	0.22	0.57
Máximo	41.00	17.00	78.00
Mínimo	10.00	7.00	49.00
Variância	37.81	4.42	29.60

Tabela 6.2 - Estatística básica do teor de Areia , Silte e Argila na profundidade de 30-60cm

	Areia total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Desvio padrão	5.91	3.28	5.90
Média	21.60	11.50	66.90
Erro padrão	0.66	0.37	0.66
Máximo	41.00	33.00	80.00
Mínimo	9.00	6.00	51.00
Variância	34.90	10.70	34.80

Nota-se nas Tabelas 6.1 e 6.2 que os valores são próximos, considerando as profundidades de 0-30 e 30-60 cm, com exceção das variâncias de silte e argila, na profundidade de 30 a 60 cm, que sofreram um aumento considerável, indicando um aumento da variabilidade pois as médias e os desvios padrão se mantiveram constantes.

6.1.2 - DISPERSÃO

Foi realizado para observar possíveis erros de amostragem e discrepâncias entre os dados. Assim sendo, foram colocados em gráficos de dispersão os valores de cada amostra.

Na análise física além da identificação dos pontos discrepantes, devido a falta de solo para análise, notou-se que ocorreram pontos em comum para a areia e a argila (G4 de 0-30cm e E7 para 30-60cm), onde a partir desse ponto a dispersão fica maior, a argila cresce e a areia diminui nas duas profundidades.

Através dos gráficos de dispersão foi possível verificar a presença de “outliers”, que nada mais são que pontos que destoaram do conjunto de dados. Através das Figuras 6.1 a 6.4, analisados, constatou-se alguns “outliers” nos parâmetros físicos areia e argila, nos pontos amostrais B3, C1, C3, onde areia (100%), silte (0%) e argila (0%). Após análise mais cuidadosa descobriu-se que para essas amostras ocorreu a falta de solo gerando resultados falsos. Assim estes valores não foram considerados na análise final, ficando então a análise a ser realizada com 91 pontos.

Na análise Física da área na profundidade de 30-60 cm, também ocorreram alguns “outliers” nos pontos A1, A2, A3, B1, B3, C1, C3, D1, E1, E2, E3, F1, F2, que apresentaram valores de Areia (100%), Argila e Silte (0) foram então descartados. O ponto H7 também foi descartado, pois neste local havia presença de pedras devido ao aterro realizado, impedindo assim a retirada da amostra. Portanto, a análise final considerou 81 pontos.

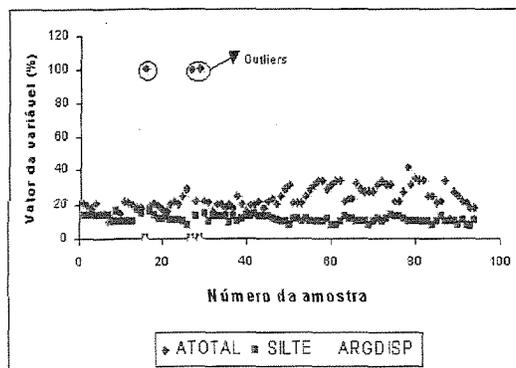


Figura 6.1 – Gráfico de dispersão na profundidade de 0-30 cm com “outliers”

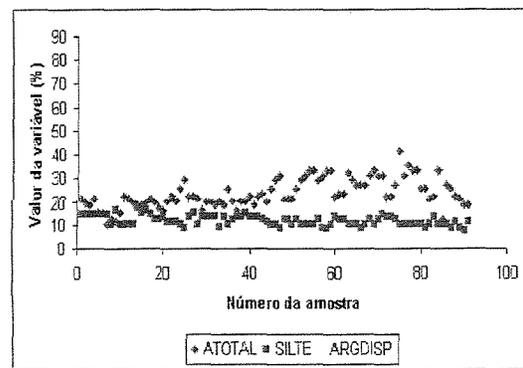


Figura 6.2 – Gráfico de dispersão na profundidade de 0-30cm sem “outliers”.

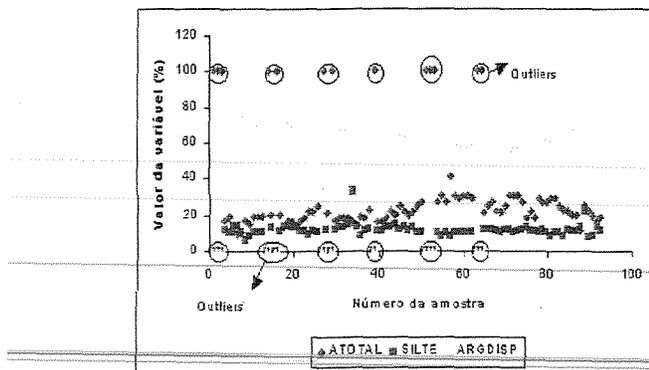


Figura 6.3 – Gráfico de dispersão na profundidade de 30-60 cm com “outliers”.

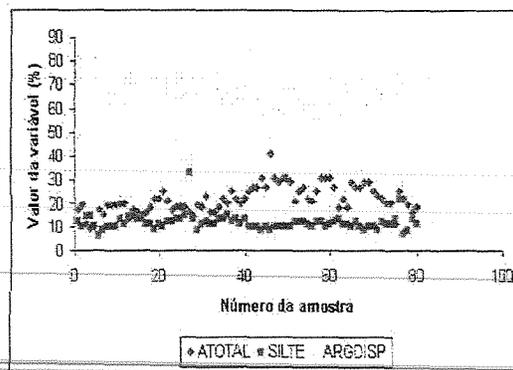


Figura 6.4 – Gráfico de dispersão na profundidade de 30-60 cm sem “outliers”.

Análises dos micro-nutrientes nas profundidades 0-30 e 30-60cm

Na análise dos Micronutrientes Cu, Zn, Mn, Fe e B, através da análise estatística clássica e diagrama de dispersão pode-se observar uma grande variabilidade dos dados para o Ferro e Manganês (Tabela 6.3). As variâncias para o Manganês e o Ferro, na profundidade de 0-30 cm, são 286 e 122.2, respectivamente. Apesar da dispersão diminuir para a profundidade de 30-60 cm ainda são grandes, 37.5 e 45.9, respectivamente ao Mn e Fe. A dispersão destes dados (Fe, Mn), apresentados nas Figuras 6.6 e 6.7, mostram este fato. Pode-se observar também que a dispersão é para área como um todo. Pode-se observar, também, no Fe e Mn, nas duas profundidades, que há uma maior dispersão dos valores a partir da amostra 45 que corresponde aos dados localizados segundo a Figura 6.5.

Isto pode ser explicado ao se analisar o aspecto espacial das amostras (Figura 6.5). A Figura nos mostra que os pontos com valores mais dispersos são pontos que pertencem a solos diferentes basicamente ao Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho Escuro.

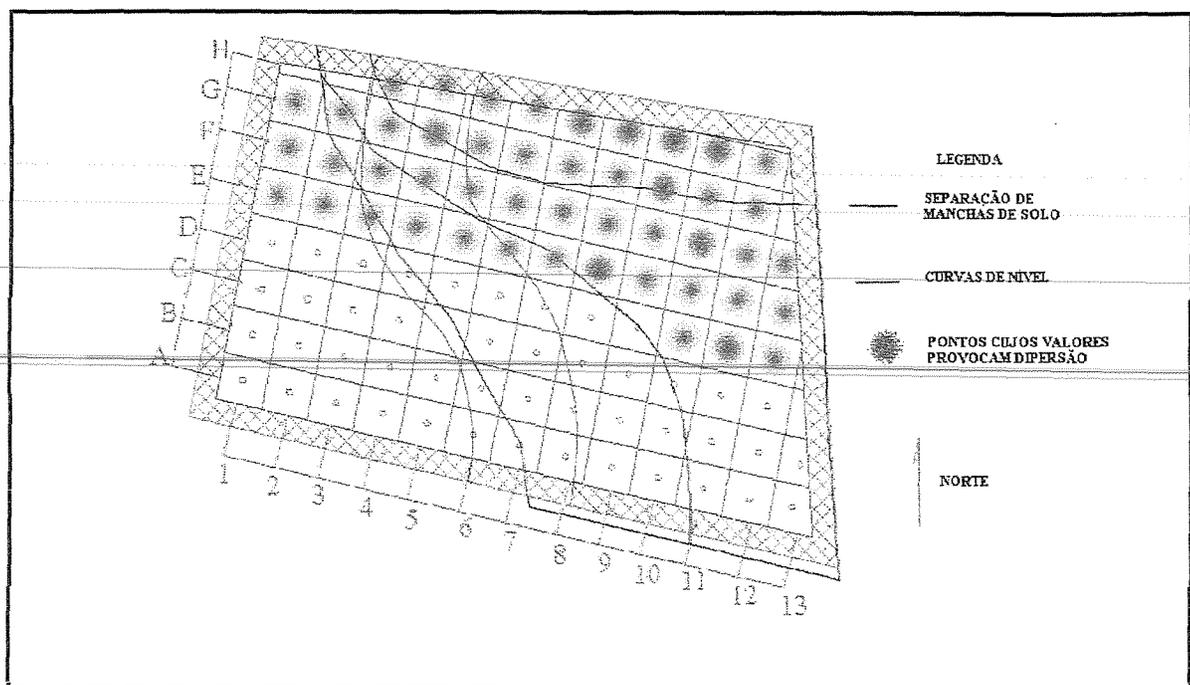


Figura 6.5: Mostra a localização dos pontos nos quais constatou-se dispersão.

Já os outros micro-nutrientes, Cu, Zn, e B apresentaram menores variâncias com destaque para o Boro que se apresentou mais homogêneo, relativamente.

Tabela 6.3 – Estatística básica dos teores de micronutrientes, na profundidade de 0-30 cm.

	Cu (mg/dm ³)	Zn (mg/dm ³)	Mn (mg/dm ³)	Fe (mg/dm ³)	B (mg/dm ³)
Desvio padrão	0.61	0.67	16.90	11.05	0.08
Média	2.29	0.43	18.70	31.11	0.16
Erro padrão	0.06	0.07	1.77	1.16	0.009
Máximo	3.60	5.8	70.60	72.00	0.33
Mínimo	0.9	0.10	1.80	11.00	0.02
Variância	0.37	0.45	286	122.20	0.007

Tabela 6.4 – Estatística básica dos teores de micro-nutrientes, na profundidade de 30-60 cm

	Cu (mg/dm ³)	Zn (mg/dm ³)	Mn (mg/dm ³)	Fe (mg/dm ³)	B (mg/dm ³)
Desvio padrão	0.69	0.36	6.12	6.77	0.11
Média	1.31	0.24	5.04	18.50	0.14
Erro padrão	0.08	0.04	0.68	0.76	0.01
Máximo	3.10	2.20	37.60	45	0.35
Mínimo	0.2	0.1	0.2	9	0.02
Variância	0.47	0.13	37.5	45.9	0.01

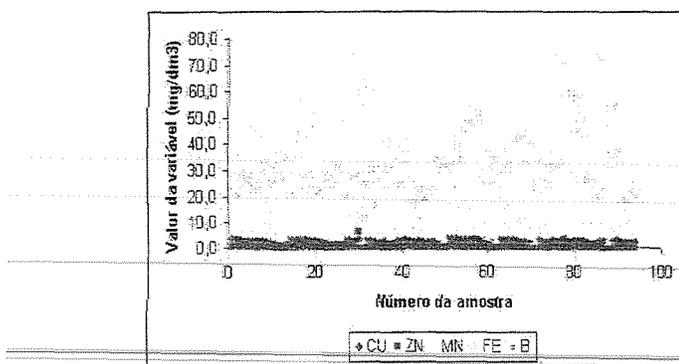


Figura 6.6 - Gráfico de dispersão na profundidade de 0-30 cm.

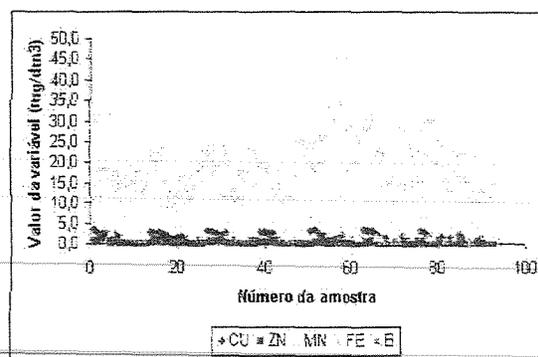


Figura 6.7 - Gráfico de dispersão na profundidade de 30-60 cm.

Análises Químicas nas profundidades de 0-30 e 30-60cm

De modo geral, observa-se, nas Tabelas 6.3 e 6.4, que a MO, Ca, Al, H, S, SB, CTC e V apresentaram altas variâncias nas duas profundidades estudadas, constatadas pelas Figuras 6.8, 6.9, 6.10 e 6.11. Nas Figuras 6.10 e 6.11 nas análises de MO e P e V (%) nota-se uma homogeneidade muito grande na profundidade de 0-30cm, exceto no ponto B3 (Figura 6.5), que apresentou valor de Fósforo de 250mg/dm^3 , constituindo-se portanto num outlier e uma grande dispersão dos valores de V(%) para a profundidade de 30-60cm. A maior homogeneidade dos valores de MO, P e V% na camada de 0-30cm pode ser explicada talvez pelo intenso trato cultural durante anos de ocupação da área.

Nas análises químicas para pH na profundidade de 0-30cm obteve-se valores que classificam de médio a muito alto. Já na profundidade de 30-60cm foram obtidas concentrações que variaram de baixa a muito alta (B6), demonstrando grande variação nos dados. Nas duas profundidades, a MO e o S obtiveram altas concentrações como também valores de 0 como o caso do ponto (G11). Para todos os outros nutrientes de fertilidade obteve-se variações nas concentrações em pontos isolados ou em linhas e colunas, específicas que variaram de alta a baixas concentrações. Na análise dos valores médios e da variância destaca-se o S e a CTC, com valores muito altos tanto para média como para variância o que é refletido e notado nos gráficos de dispersão das Figuras 6.8 e 6.9, onde Enxofre e CTC apresentaram grande dispersão para as duas profundidades.

Já o pH mostra-se com homogeneidade constante e baixa nas duas profundidades como pode ser observado nas Tabelas 6.5 e 6.6 e constatado nas Figuras 6.12 e 6.13.

Já no ponto 2B3 que apresentou valor de P de 250 mg/dm³ constatou-se portanto um “outlier”. Para V(%) observa-se valores bem próximos para a variância para as duas profundidades Tabelas 6.5 e 6.6, mesmo havendo uma dispersão em escalas de valores brutos de resultados bem diferentes, Figuras 6.10 e 6.11.

Tabela 6.5 – Estatística básica dos teores de pH, MO, P, K, Ca, Mg, Al, H, S, Sb, CTC, V, Saturação, na profundidade 0-30 cm

	pH	MO	P	K	CA	Mg	Al	H	S	SB	CTC	V
Desvio padrão	0.29	4.24	8.18	1.37	7.08	2.02	4.49	19.6	37.18	8.99	19.27	9.45
Média	4.21	29.7	8.26	3.23	14.1	4.97	6.99	68.77	104.1	22.3	91.08	25.1
Erro padrão	0.03	0.44	0.86	0.14	0.74	0.21	0.47	2.06	3.89	0.94	2.02	0.99
Máximo	5.50	44.0	54	6.5	35	12	24	135	184	48.3	145.6	50
Mínimo	3.5	19.0	3	0.2	3	1	0	20	0	8.7	35.2	6
Variância	0.08	18.0	67	1.89	50.2	4.08	20.1	387.7	1383	80.8	371.3	89.3

Tabela 6.6 - Estatística básica dos teores de pH, MO, P, K, Ca, Mg, Al, H, S, Sb, CTC, V, Saturação, na profundidade 30-60 cm

	pH	MO	P	K	CA	Mg	Al	H	S	SB	CTC	V
Desvio padrão	0.36	4.56	1.88	0.77	5.53	1.83	2.1	9.81	36.53	7.12	12.9	9.51
Média	4.75	22.7	3.96	1.05	12.1	5.15	1.7	37.0	97.81	18.29	55.3	32.9
Erro padrão	0.04	0.51	0.21	0.09	0.62	0.2	0.2	1.09	4.08	0.796	1.44	1.06
Máximo	6.1	43	12	4.7	30	11	9	72	205	43.2	109	55
Mínimo	3.9	16	2	0.3	5	2	0	18	0	7.4	37.3	15
Variância	0.13	20.8	3.53	0.59	30.6	3.34	4.6	96.3	1335	50.71	167	90.5

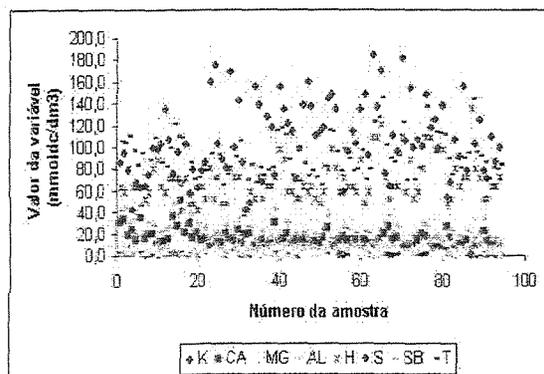


Figura 6.8 - Gráfico de dispersão da fertilidade (K, Ca, Mg, Al, H, S, SB e T) na profundidade de 0-30cm .

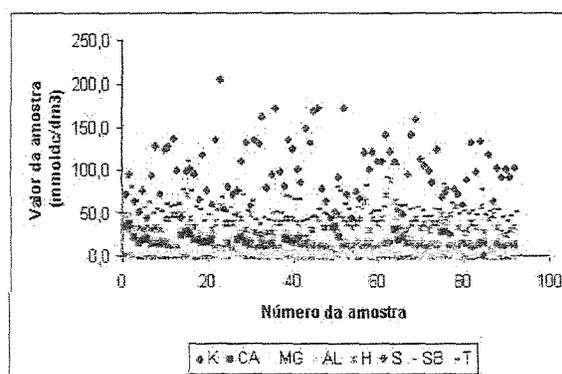


Figura 6.9 - Gráfico de dispersão da fertilidade (K, Ca, Mg, Al, H, S, SB e T) na profundidade de 30-60cm .

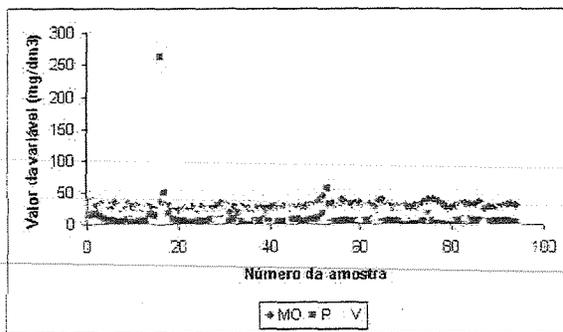


Figura 6.10 - Gráfico de dispersão da fertilidade (MO, P e V) na profundidade de 0-30cm.

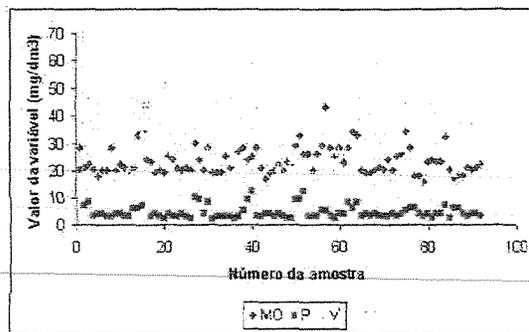


Figura 6.11 - Gráfico de dispersão da fertilidade (MO, P e V) na profundidade de 30-60cm.

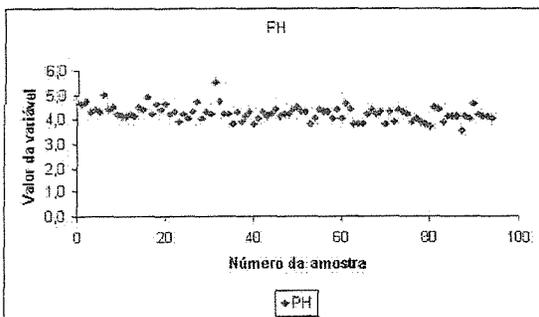


Figura 6.12 - Gráfico de dispersão da fertilidade (pH) na profundidade de 0-30cm.

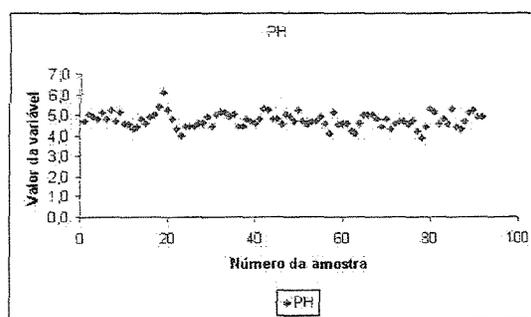


Figura 6.13 - Gráfico de dispersão da fertilidade (pH) na profundidade de 30-60cm.

6.1.3. DIAGNÓSTICO DE FERTILIDADE DA ÁREA UTILIZANDO OS DADOS DE ESTATÍSTICA CLÁSSICA

Neste item serão analisados alguns parâmetros de fertilidade para determinar como a área se comporta quanto a disponibilidade de nutrientes. Assim foram escolhidos para esta análise os seguintes elementos: Cálcio, Magnésio, Fósforo, Ferro, Matéria Orgânica, Argila, CTC e pH.

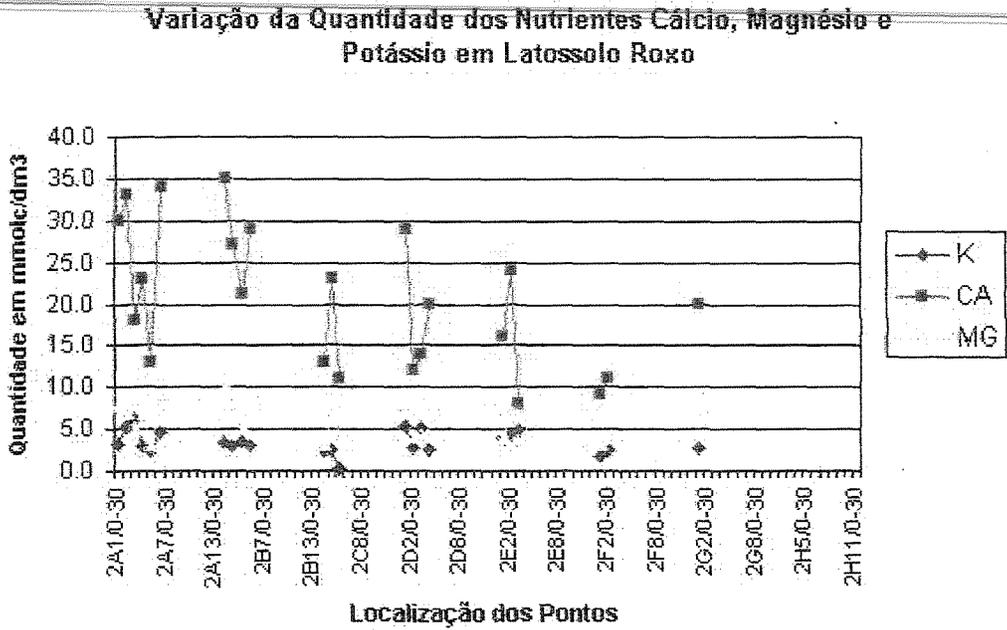


Figura 6.14: Variação da quantidade de Cálcio, Magnésio e Potássio, no Latossolo Roxo, na profundidade de 0 a 30 cm.

Varição dos Nutrientes Cálcio, Magnésio e Potássio em Latossolo Vermelho Escuro

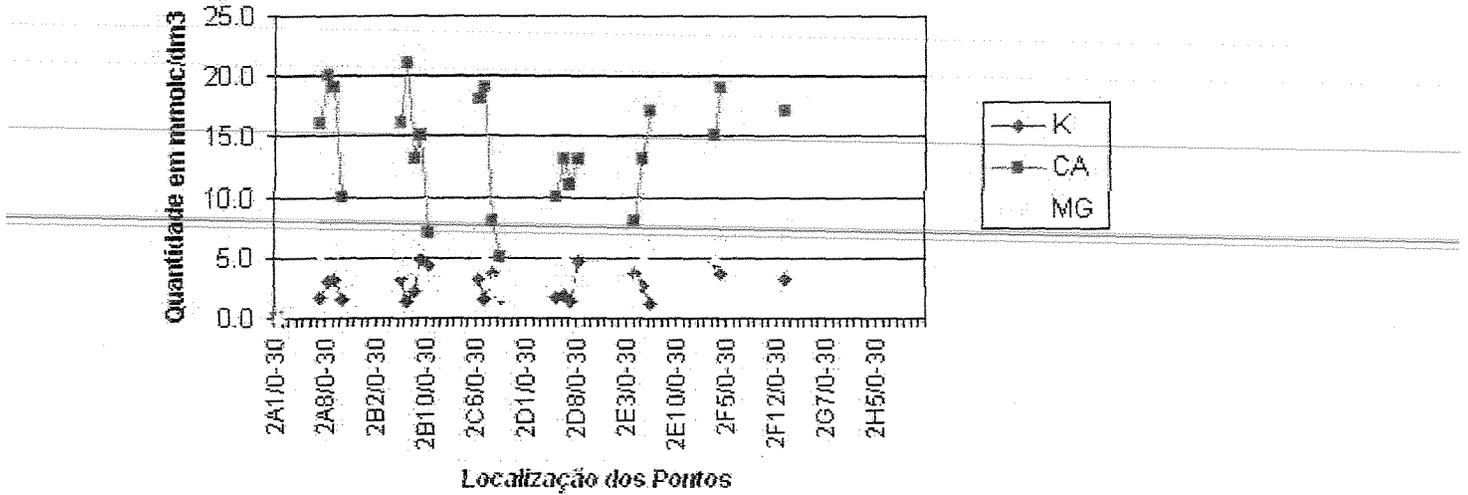


Figura 6.15: Varição da quantidade de Cálcio, Magnésio e Potássio, no Latossolo Vermelho Escuro, na profundidade de 0 a 30 cm.

Varição dos Nutrientes Cálcio, Potássio e Magnésio em Latossolo Vermelho Amarelo

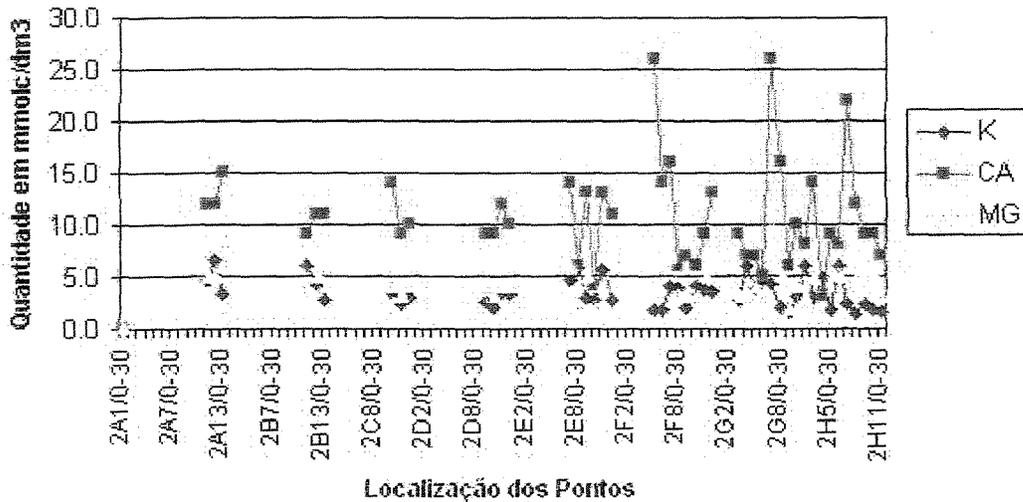


Figura 6.16: Varição da quantidade de Cálcio, Magnésio e Potássio, no Latossolo Vermelho Amarelo, na profundidade de 0 a 30 cm.

Nos gráficos mostrados nas Figuras 6.14, 6.15 e 6.16 pode-se constatar que o Cálcio está em maior quantidade vindo depois o Potássio e o Magnésio. Isto indica que estes parâmetros estão se comportando de acordo com o padrão de normalidade quanto à fertilidade, isto é, a área não tem deficiência dos nutrientes analisados. Por outro lado, pode-se observar uma maior variabilidade destes elementos na parte inferior da área, pontos das linhas F, G e H (Figura 6.5). A maior variabilidade pode ser explicada pela inserção de terras de outro local para sanar um problema de erosão ocorrido no local.

Variabilidade da Quantidade dos Nutrientes Cálcio, Potássio e Magnésio em Latossolo Roxo

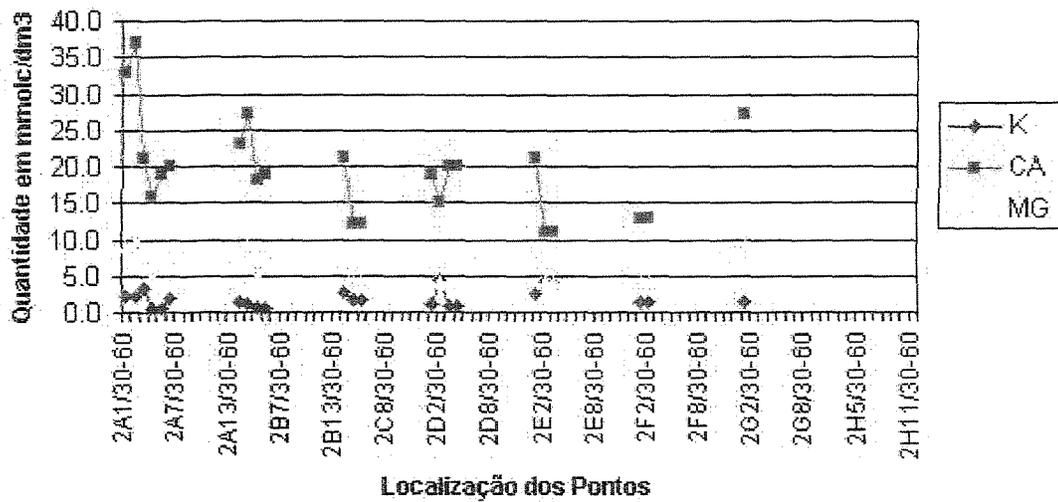


Figura 6.17: Quantidades apresentadas de Cálcio, Magnésio e Fósforo para Latossolo Roxo, na profundidade de 30 a 60 cm.

Variabilidade da Quantidade dos Nutrientes Cálcio, Potássio e Magnésio em Latossolo Vermelho Escuro

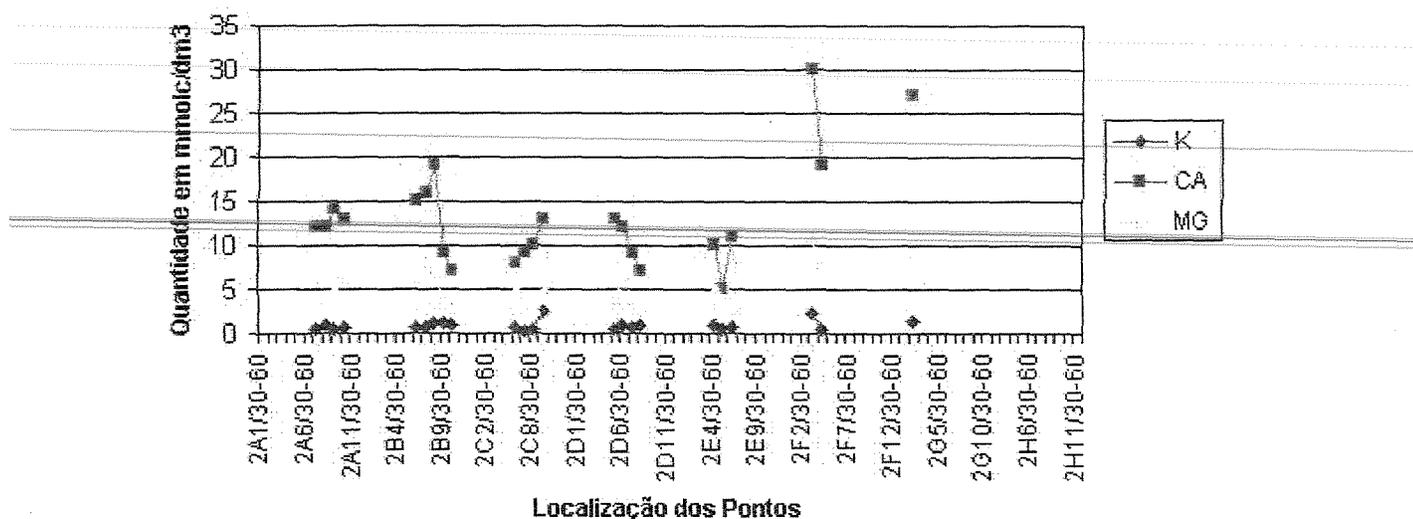


Figura 6.18: Quantidades apresentadas de Cálcio, Magnésio e Fósforo para Latossolo Vermelho Escuro, na profundidade de 30 a 60 cm.

Variabilidade da Quantidade dos Nutrientes Cálcio, Potássio e Magnésio em Latossolo Vermelho Amarelo

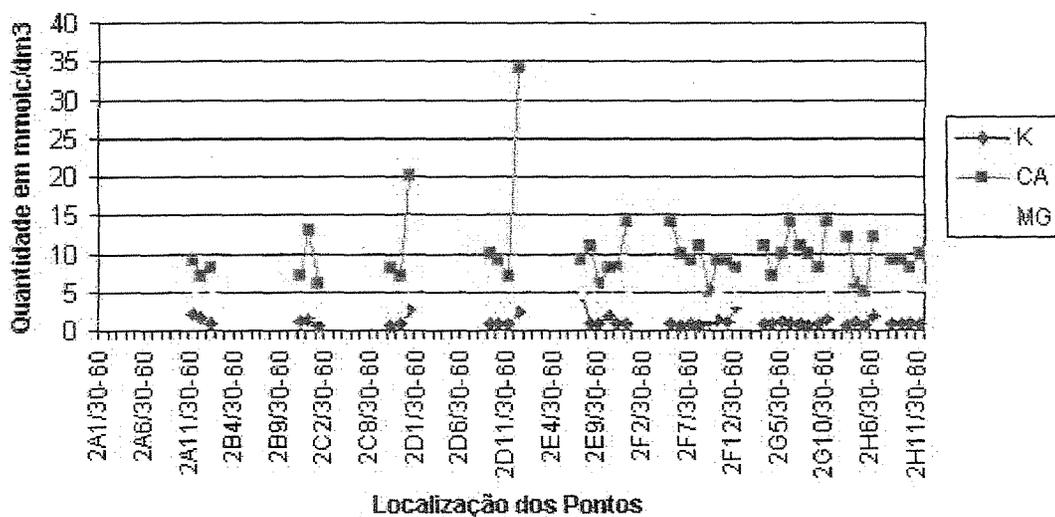


Figura 6.19: Quantidades apresentadas de Cálcio, Magnésio e Fósforo para Latossolo Vermelho Amarelo, na profundidade de 30 a 60 cm.

Os gráficos das Figuras 6.17, 6.18 e 6.19 mostram a variação dos elementos Cálcio, Magnésio e Fósforo, nos três solos, os quais mostram: primeiro, a tendência do Cálcio, do Magnésio e do Fósforo apresentarem, nesta ordem, uma grandeza de valores, segundo os padrões de fertilidade. Segundo, a variabilidade diminuiu com a profundidade, o que era de se esperar.

Desta forma a área está se comportando bem em termos de fertilidade.

6.1.4- NORMALIDADE

Foram analisados os parâmetros de normalidade para as variáveis físicas do solo. A Tabela 6.7 e 6.8 apresentam os resultados para as profundidades de 0-30 cm e 30-60 cm. Pode-se constatar que, para a profundidade de 0-30 cm, os valores de Areia, Silte e Argila apresentaram comportamento normal, enquanto que, para a profundidade de 30-60 cm somente os valores de areia e argila apresentaram comportamento normal.

Houve, nestes parâmetros, um aumento do coeficiente variação do Silte, da profundidade de 0-30 para 30-60 cm.

Tabela 6.7 – Parâmetros de normalidade (curtose e assimetria) para as variáveis físicas na profundidade de 0-30 cm.

	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Assimetria	0.359	0.249	-0.2
Curtose	-0.24	0.39	0.22
	Normal	Normal	Normal
CV	26.39	18.41	8.33

Tabela 6.8 – Análise Granulométrica de 30-60cm

	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Assimetria	0.41	3.94	-0.4
Curtose	0.35	24.1	0.2
CV	27.36	28.52	8.81
	Normal		Normal

Nas Tabelas 6.9 e 6.10 são apresentados os valores dos parâmetros de normalidade para os micronutrientes. Os dados mostram somente normalidade para o Cu na profundidade de 0-30 cm e não normalidade nas outras variáveis, para a profundidade de 30-60 cm. Para o coeficiente de variação houve um aumento dos valores para as variáveis Cu e B de 0-30 cm para 30-60 cm.

Tabela 6.9 – Parâmetros de normalidade (curtose e assimetria) para as variáveis de micronutrientes na profundidade de 0-30 cm.

	Cu (mg/dm ³)	Zn (mg/dm ³)	Mn (mg/dm ³)	Fe (mg/dm ³)	B (mg/dm ³)
Assimetria	-0.10	6.15	1.17	1.510	-0.06
Curtose	-0.49	45.93	0.32	3.02	-0.96
	Normal				
CV	26.72	158.21	90.37	35.51	51.85

Tabela 6.10 – Parâmetros de normalidade dos teores de micronutrientes, na profundidade de 30-60 cm.

	Cu mg/dm ³	Zn mg/dm ³	Mn mg/dm ³	Fe mg/dm ³	B mg/dm ³
Assimetria	0.79	3.67	2.90	1.22	0.35
Curtose	-0.11	15.10	10.70	1.87	-1.30
CV	52.67	150.00	121.04	36.59	78.57

Finalmente as Tabelas 6.11 e 6.12 apresentam os parâmetros de normalidade para as variáveis macronutrientes. Pode-se observar que, na profundidade de 0-30 cm, os valores do Potássio, do Enxofre e da Saturação em Base (V%) apresentaram comportamento normal. Este mesmo comportamento foi encontrado para a profundidade de 30 a 60 cm nas variáveis Enxofre e Saturação em Base.

Com relação ao Coeficiente de Variação, houve um aumento deste para o Potássio e para o Alumínio com o aumento da profundidade (0-30 cm para 30-60 cm) e uma diminuição do Coeficiente de Variação do Fósforo com o aumento da profundidade. Os coeficientes de variação das outras variáveis permaneceram relativamente constantes com relação à profundidade.

Tabela 6.11 – Estatística do teor pH, MO, P, K, Ca, Mg, Al, H, S, Sb, CTC, V e Saturação na profundidade 0-30 cm.

	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H	S	SB	CTC	V
		mg/dm ³	mg/dm ³	mmold _c /dm ³		mmold _c /dm ³	mmold _c /dm ³	mmold _c /dm ³	%			
Assimetria	0.9	0.54	3.7	0.45	1.073	0.8	1	0.92	-0.13	1.018	0.501	0.38
Curtose	3.5	0.74	16.6	-0.43	0.784	0.7	1.58	1.13	0.149	0.687	0.576	-0.21
CV	6.8	14.28	99.03	42.41	50.23	40.6	64.23	28.6	35.71	40.30	21.15	37.6

Tabela 6.12 – Estatística do teor pH, MO, P, K, Ca, Mg, Al, H, S, Sb, CTC, V, Saturação, na profundidade de 30-60 cm.

	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H	S	SB	CTC	V
		mg/dm ³	mg/dm ³	mmold _c /dm ³		mmold _c /dm ³	mmold _c /dm ³	mmold _c /dm ³	%			
Assimetria	0.51	1.75	2.22	2.9	1.33	0.59	1.5	1.17	0.21	1.23	2.04	0.12
Curtose	1.5	4.47	5.89	10.2	1.49	0.3	2.5	2.2	0.33	1.79	5.81	-0.64
CV	7.5	20	47.4	73.3	45.7	35.5	123.5	26	37.34	38.8	23.4	28.8

6.2 - ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

6.2.1 - VARIABILIDADE ESPACIAL DA GRANULOMETRIA

Na Tabela 6.13 são encontrados os resultados dos modelos gerados para os parâmetros físicos do solo. Pode-se notar que os modelos de ajuste são diferentes para cada profundidade, considerando o mesmo parâmetro. Os efeitos pepitas estão baixos indicando que a amostragem foi suficiente para representar a variabilidade destes. Quanto aos alcances, observa-se que eles diminuíram com a profundidade passando de valores em torno de 300 m para a profundidade de 0-30 cm, para valores em torno de 150 m. Os alcances indicam os valores máximos, em distância entre as amostras, até as quais se poderia fazer amostragem para representar a dependência espacial. Ressalta-se que todas as variáveis atingiram um patamar e que os modelos escolhidos se ajustaram melhor aos pontos mais próximos à origem, por ser nesta região que o modelo será utilizado durante o processo de krigeagem.

Tabela 6.13 – Análise dos modelos geoestatísticos da granulometria.

Análise Física de 0-30cm					
Variável	Unidade	Modelo	Efeito Pepita	Alcance	Patamar
Areia total	%	Esférico	4	340	44
Silte	%	Gaussiano	1	330	13
Argila	%	Esférico	4	310	32
Análise Física de 30-60cm					
Variável	Unidade	Modelo	Efeito Pepita	Alcance	Patamar
Areia total	%	Gaussiano	13	190	40
Silte	%	Esférico	0,49	290	4,89
Argila	%	Exponencial	9	160	41

As Figuras 6.20, 6.21 e 6.22 mostram o semivariograma das variáveis Areia Total, Silte e Argila nas duas profundidades com bom ajuste nos pontos iniciais. Relativamente, constatou-se que o efeito pepita foi menor para Silte que para as outras duas variáveis. Da mesma forma acontecendo para o patamar.

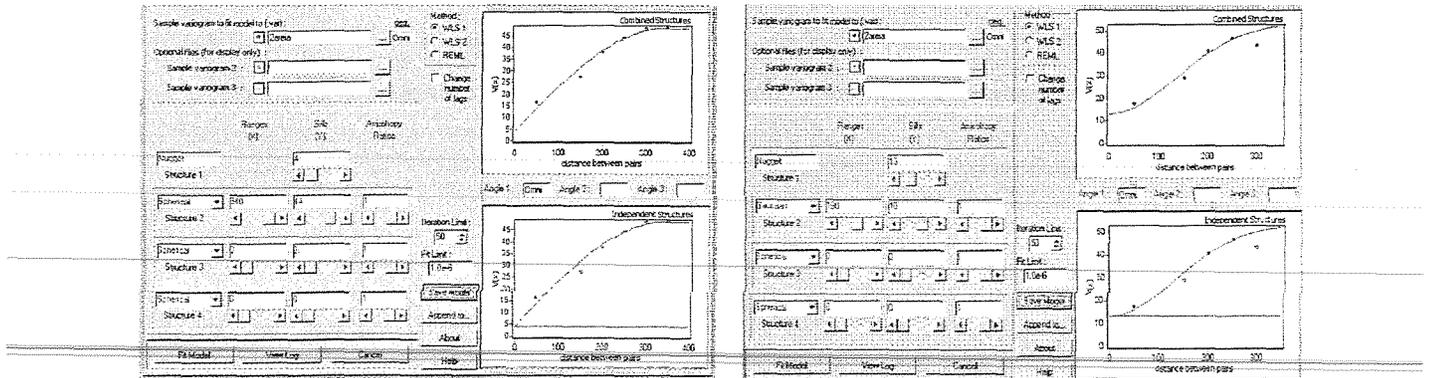


Figura 6.20 – Semivariogramas de Areia total de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

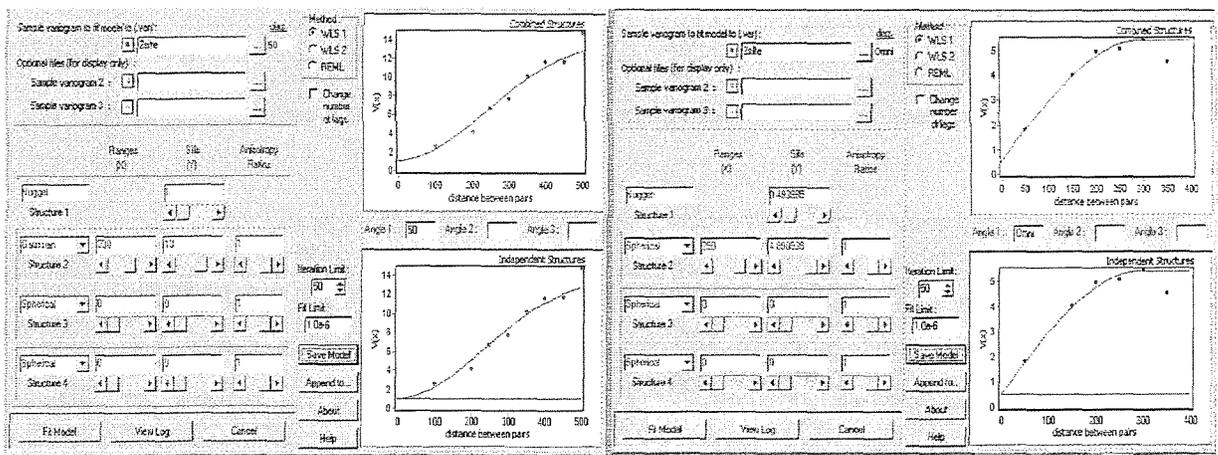


Figura 6.21 – Semivariogramas de Silte de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

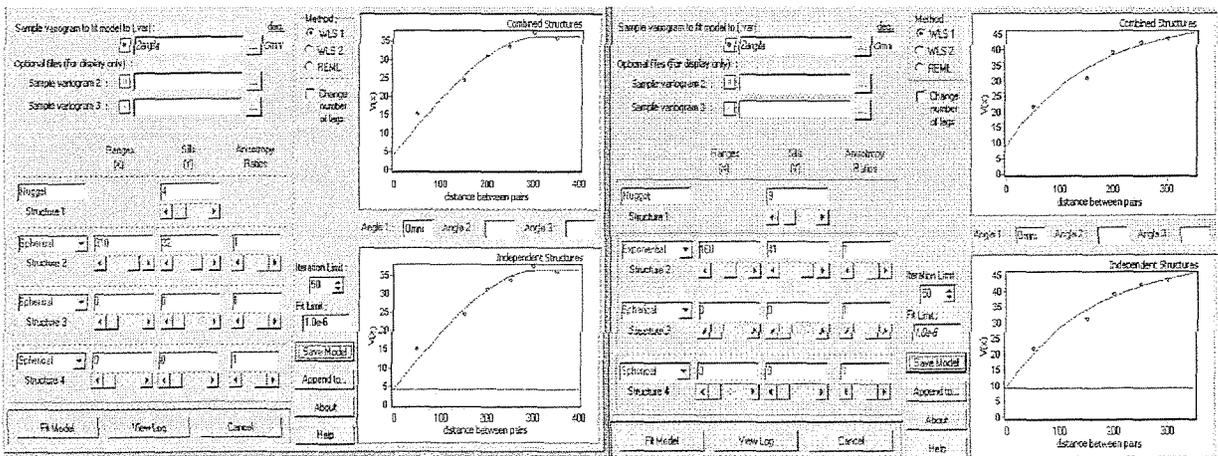


Figura 6.22 – Semivariogramas de Argila de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

A partir dos dados do semivariograma foram gerados mapas contínuos, de variabilidade a partir da krigagem. As Figuras 6.24, 6.25 e 6.26 mostram a espacialização das

variáveis. A Figura 6.24 mostra um acúmulo de areia na área delimitada pela cor verde, o que se reafirma, pela inspeção de campo, um canal natural por onde é drenada água de áreas mais altas que ao passar depositam uma fração de areia nesta região. Este acúmulo gerou então uma maior percentagem de areia nesta região alcançando 37% para 0-30 cm e 34% para 30-60 cm. Apesar de ser acusado um acúmulo de areia os valores dessas quantidades ainda são pequenos e os solos são classificados, em termos de textura, como argilosos, pois os teores de argila para as duas profundidades variam de aproximadamente 55% a 78%.

Quanto ao Silte, Figura 6.26, os mapas mostram que os teores diminuem com a profundidade, isto é, apresentaram valores de 8 a 14%, na profundidade de 0-30 cm, para aproximadamente 8% na profundidade de 30-60 cm. Comportamento normal para estes tipos de solos.

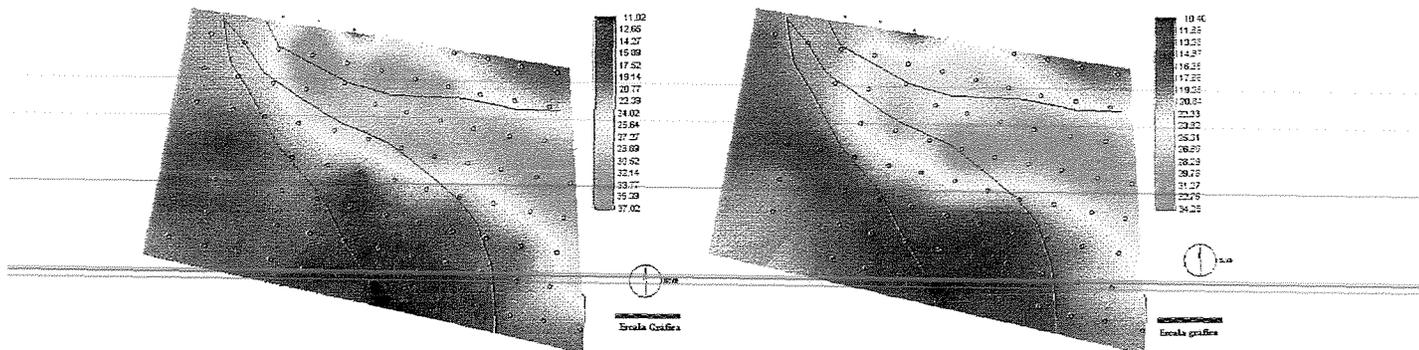


Figura 6.24 – Mapas de pontos gerados de Areia total de 0-30cm e de 30-60cm.

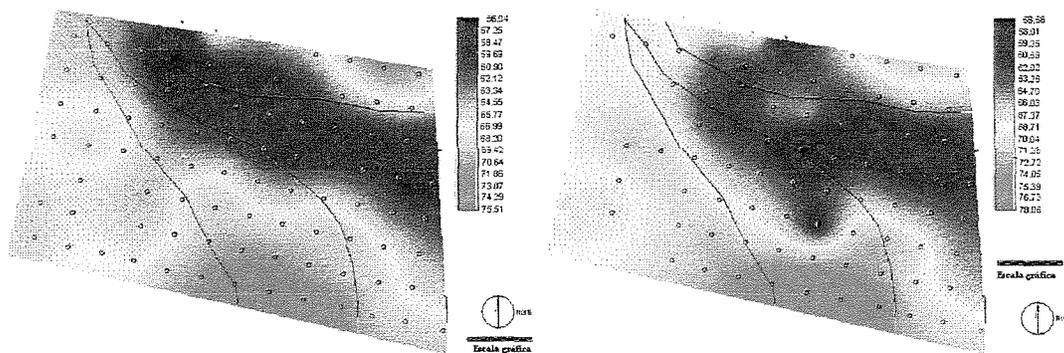


Figura 6.25 – Mapas de pontos gerados de Argila de 0-30cm e de 30-60cm.

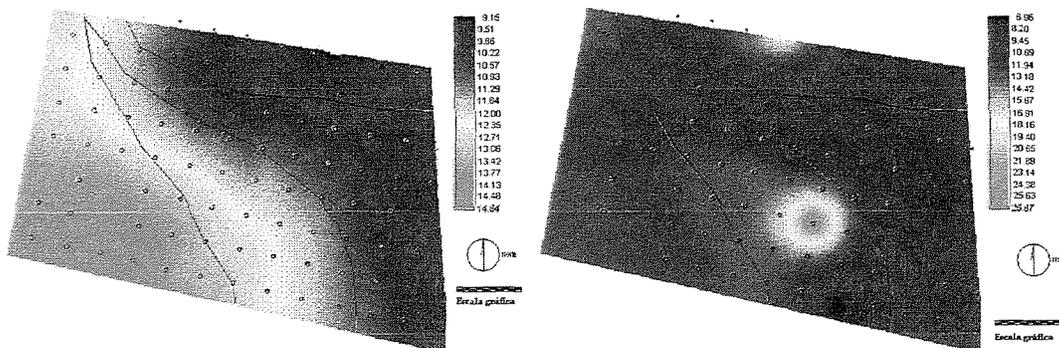


Figura 6.26 – Mapas de pontos gerados de Silte de 0-30cm e de 30-60cm

6.2.2 - VARIABILIDADE ESPACIAL DOS MICRONUTRIENTES

Os modelos ajustados e os parâmetros dos semivariogramas para os dados da análise de micronutrientes encontram-se na Tabela 6.14 abaixo.

Tabela 6.14 – Modelos e Parâmetros dos semivariogramas das variáveis micronutrientes.

Análise dos micronutrientes de 0-30cm					
Variável	Unidade	Modelo	Efeito Pepita	Alcance	Patamar
Cu	mg/dm ³	Gaussiano	0,1	480	0,69
Zn	mg/dm ³	Esférico	0,077	200	0,44
Mn	mg/dm ³	Linear	2	500	520
Fe	mg/dm ³	Esférico	36	317	118
B	mg/dm ³	Gaussiano	0,0022	380	0,013
Análise dos micronutrientes de 30-60cm					
Variável	Unidade	Modelo	Efeito Pepita	Alcance	Patamar
Cu	mg/dm ³	Gaussiano	0,24	390	0,51
Zn	mg/dm ³	Linear	0,024	420	0,17
Mn	mg/dm ³	Gaussiano	19	240	21
Fe	mg/dm ³	Esférico	8	265	48
B	mg/dm ³	Gaussiano	0,0012	180	0,013

A Tabela 6.14 mostra os modelos e seus respectivos parâmetros para as variáveis Cu, Zn, Mn, Fe e B. Pode-se notar que os modelos de ajuste para o Cu, Fe e B foram os mesmos, nas duas profundidade, significando que estas variáveis tiveram comportamento semelhante espacialmente. Os parâmetros do semivariograma, nestas variáveis, variaram com o aumento da profundidade. O mesmo comportamento das variáveis Cu, Fe e B.

As Figuras de 6.27 a 6.31 mostram os ajustes dos modelos para cada variável Cu, Zn, Mn, Fe e B, respectivamente. As Figuras 6.27 e 6.28 mostram os modelos para as variáveis Cu e Zn, os quais estão indicando uma capacidade infinita de dispersão sugerindo: ou amostragem insuficiente ou alguma tendência de direção na distribuição espacial do fenômeno. Isto acontece nas duas profundidades.

Na Figura 6.29 mostra o modelo para variável Manganês. De 0-30 cm, também esta variável mostra tendência a dispersão infinita sugerindo amostragem insuficiente ou tendência em uma determinada direção. Para a profundidade de 30-60 cm o modelo foi ajustado mesmo para um patamar tênue e assim demonstrando uma certa dependência espacial. As Figuras 6.30 e 6.31 mostram os ajustes para o Fe e B. Nestes dois elementos foi ajustado modelo bem definido exceto para o Boro na profundidade de 0-30 cm em que o patamar se apresenta bem

incipiente. Assim mesmo foi possível considerar dependência espacial para estes dois parâmetros, nas duas profundidades.

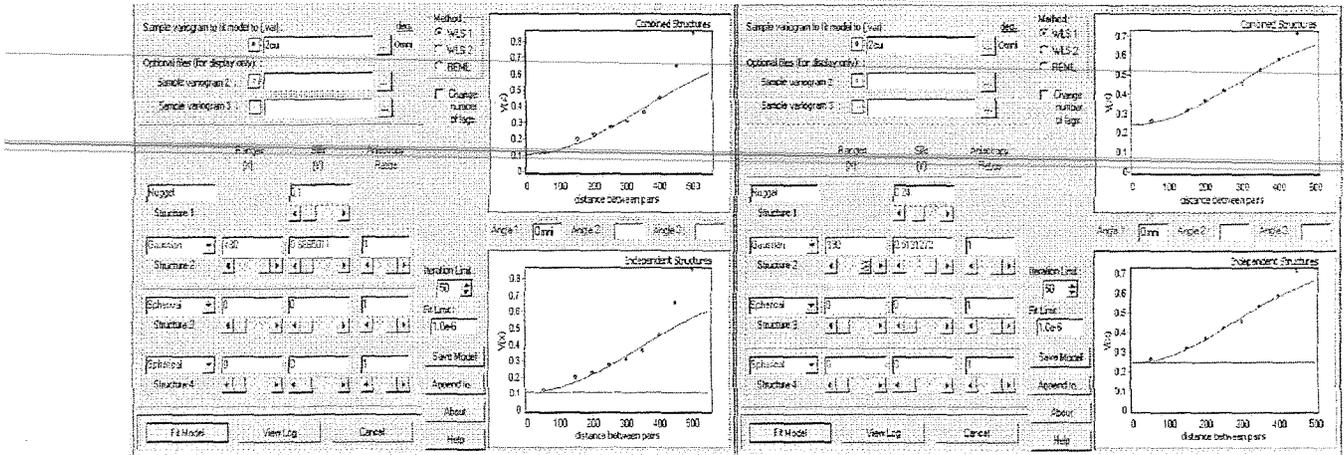


Figura 6.27 – Semivariogramas de Cu de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

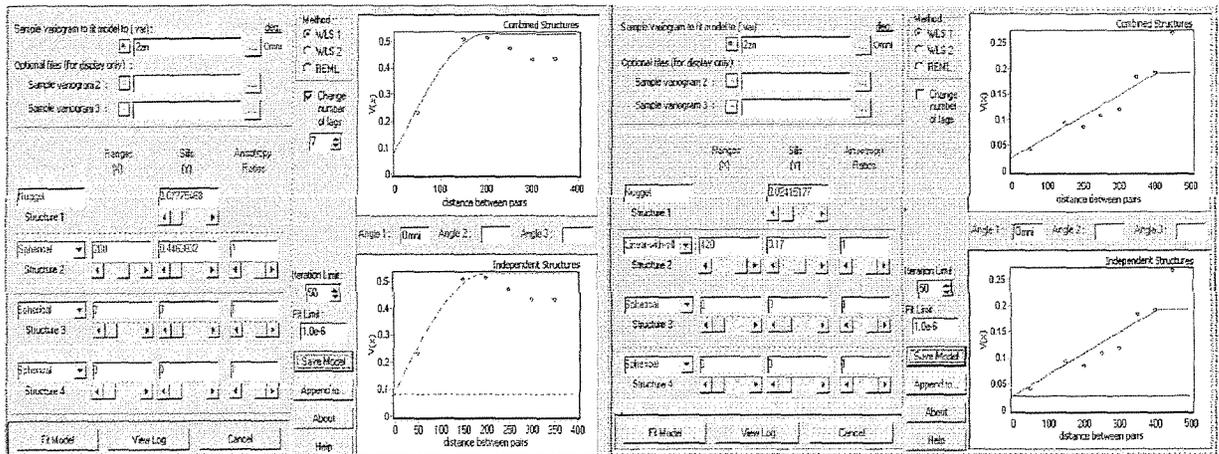


Figura 6.28 – Semivariogramas de Zn de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

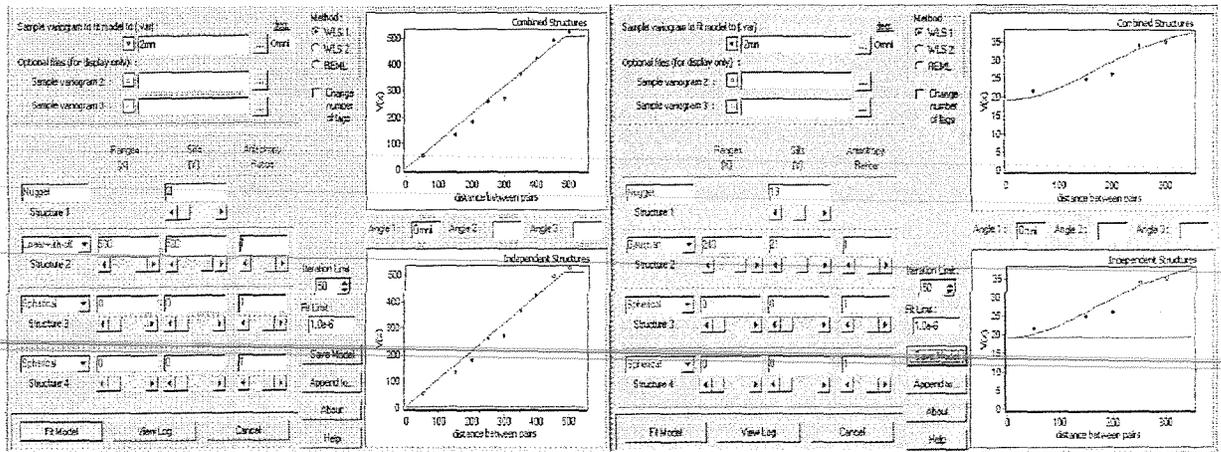


Figura 6.29 - Semivariograma de Mn de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

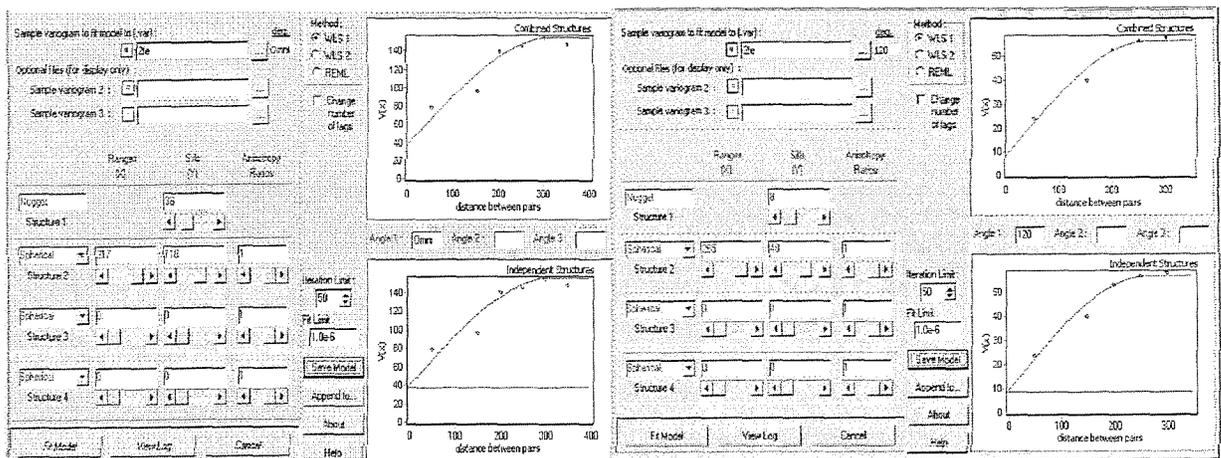


Figura 6.30 - Semivariograma de Fe de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

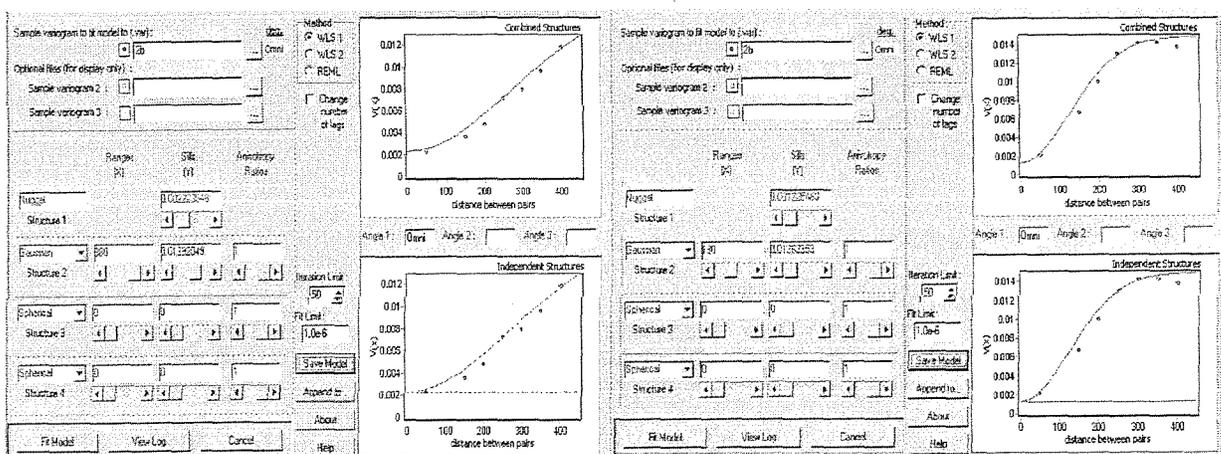


Figura 6.31 - Semivariograma de B de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

Os mapas de variabilidade, dos micronutrientes deste estudo, foram comparados com os valores de interpretação dos teores de micronutrientes para solos do Estado de São Paulo

dados por RAIJ et al.(1996) citado em IAC (2001). Estes valores estão divididos em três classes: baixo, médio e alto e apesar de serem gerais para o Estado são utilizados em recomendações práticas.

A comparação mostrou que as variações encontradas na espacialização por meio de amostragem apresentaram mais detalhes do que a proposição de Raij et al. (op citado), o que era de se esperar. Neste caso observou-se um mascaramento dos detalhes que podem ser importantes para grandes áreas em termos de aplicações diferenciadas. As Figuras de 6.32 a 6.36, parte inferior, mostraram os mapas gerados por geoestatística reclassificados segundo a proposição de Raij et al.(op citado). Exceto pelo Zn que mostrou-se, após a reclassificação três classes, os outros micronutrientes apresentaram somente duas ou uma classe. Isto mostra que com o detalhamento das análises de solos para aplicações em Agricultura de Precisão serão necessárias novas abordagens de classificação para atender esta defasagem.

Em análise de maiores detalhes o Cu, Figura 6.32, foi reclassificado segundo a proposição de Raij et al. (op citado). O mapa mostrou somente altos teores de Cu na profundidade de 0-30cm e de médio a alto na profundidade de 30-60cm de profundidade, portanto sem deficiência. Em termos de aplicação diferenciada de fertilizante, para o Cu, como possui única classe de alto pode-se aplicar uma taxa menor que atenda por exemplo quantidades mais próximas do valor de 1.00 mg/dm^3 do que 3.6 mg/dm^3 valor máximo encontrado na área na profundidade de 0-30 cm. Do mesmo modo é possível seguir este raciocínio para os outros micronutrientes conforme mostram as Figuras 6.33, 6.34, 6.35 e 6.36 correspondentes ao Zn, Mn, Fe e B respectivamente.

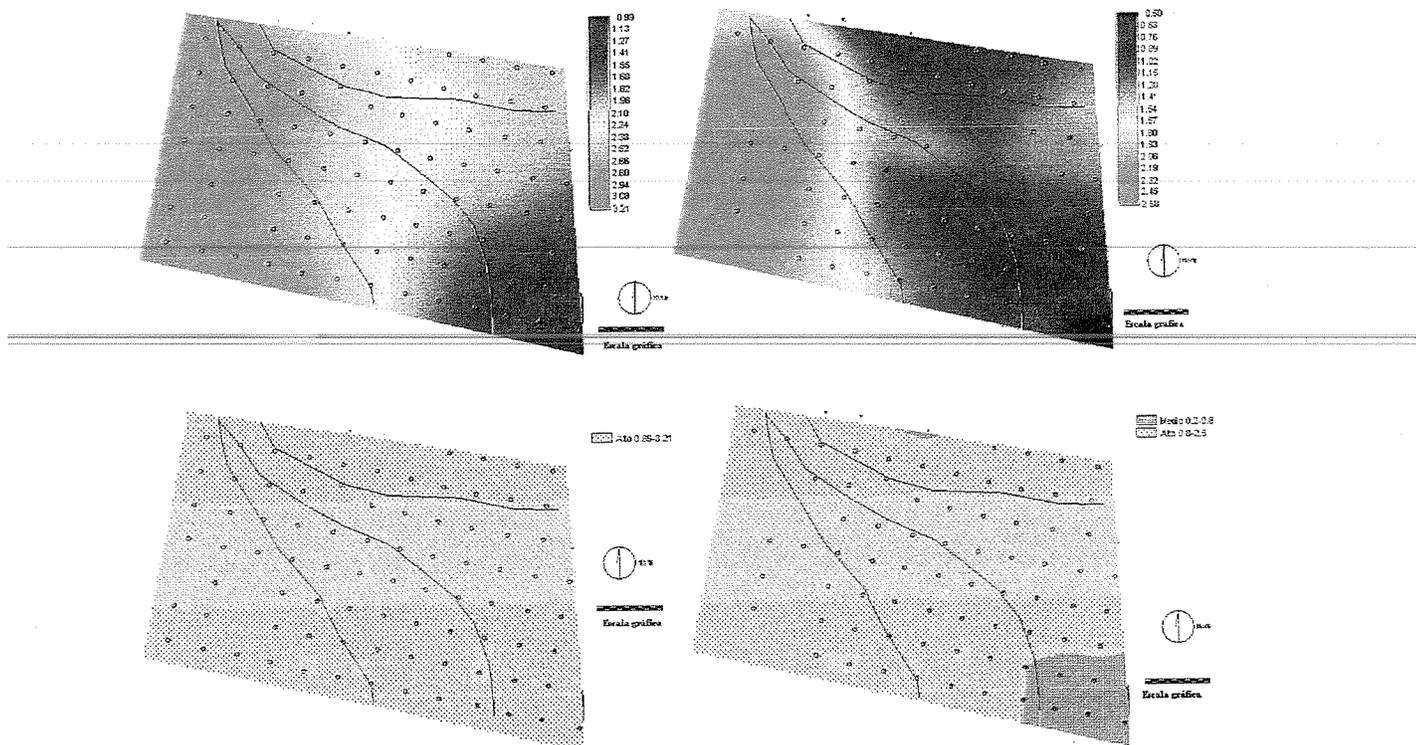


Figura 6.32– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Cobre em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60 (direita).

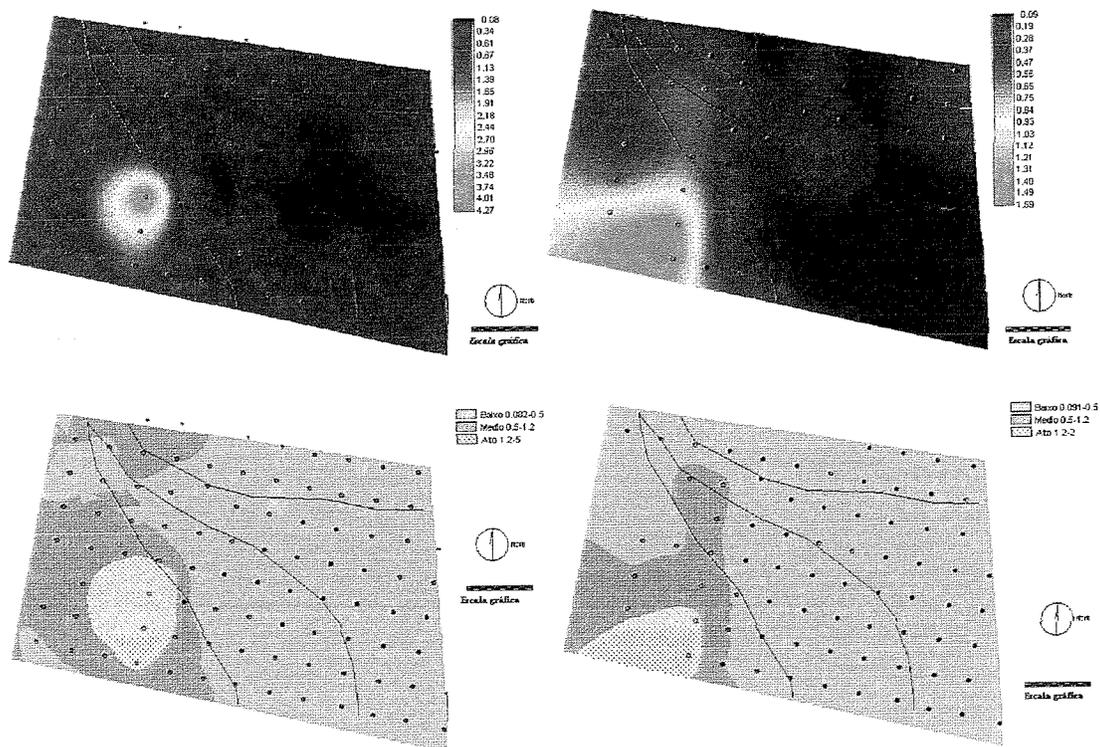


Figura 6.33– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Zinco em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60 (direita).

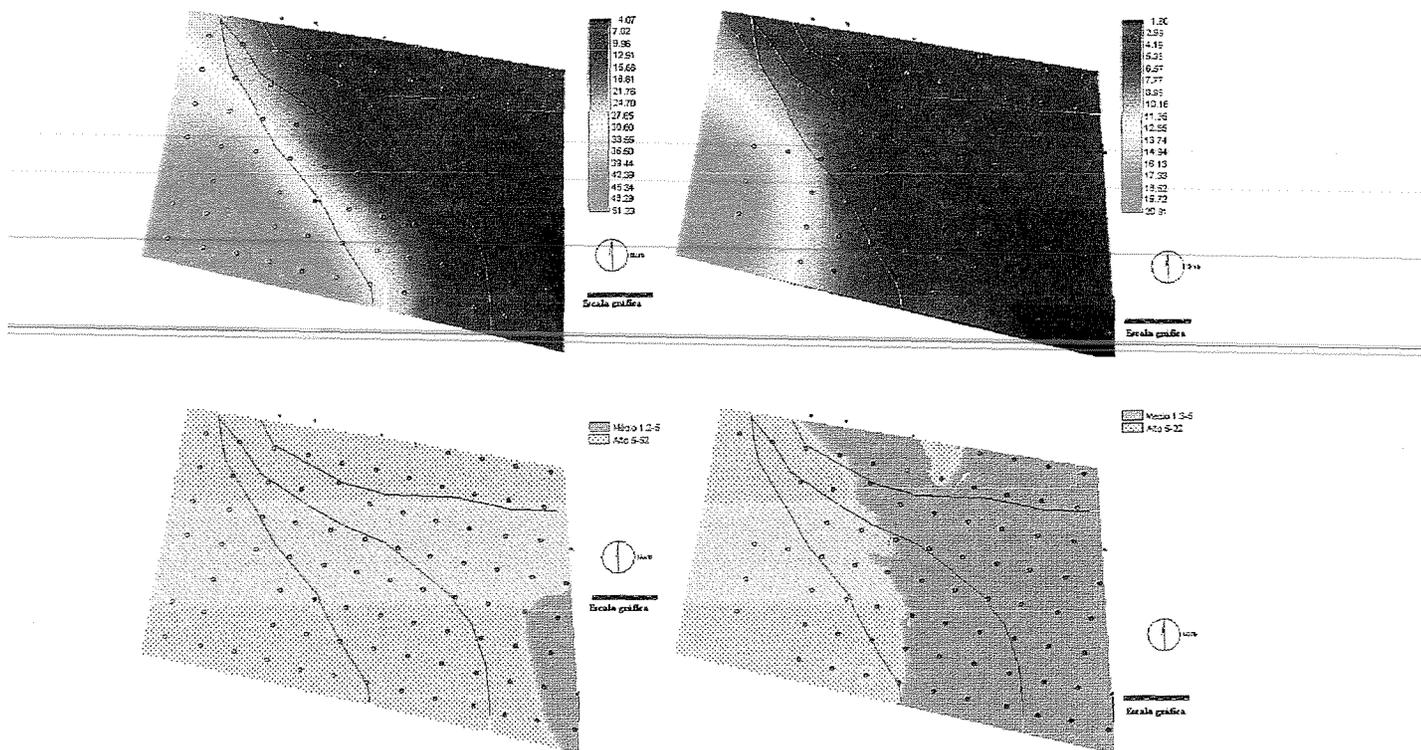


Figura 6.34– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Manganês em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).

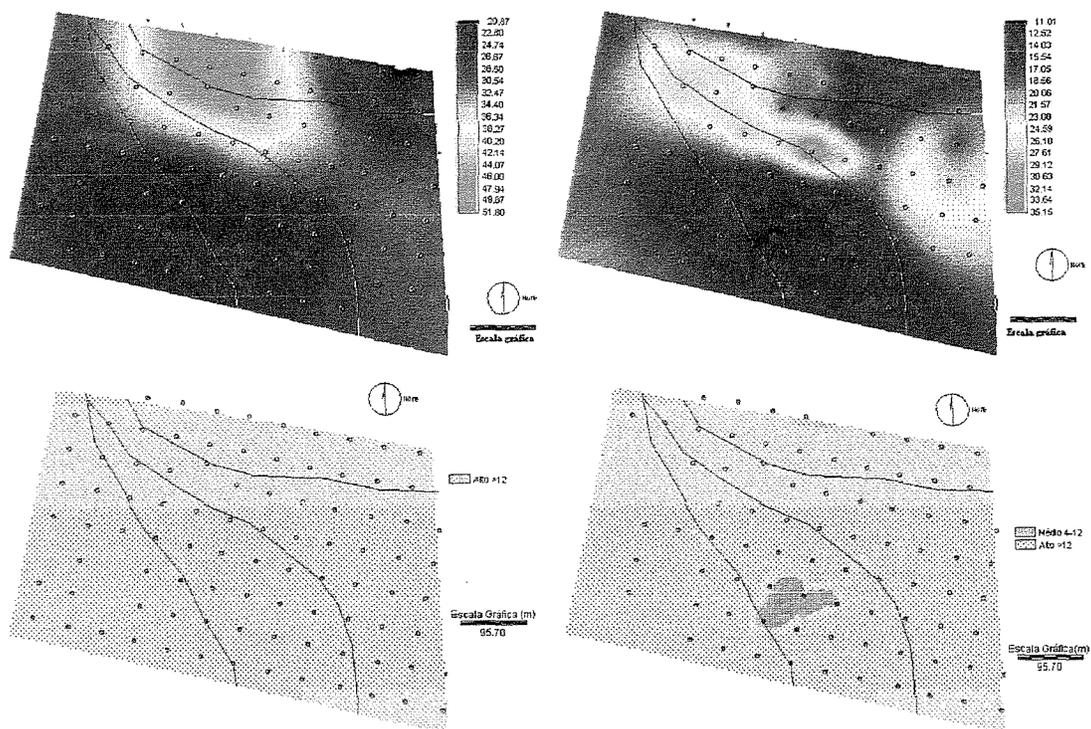


Figura 6.35– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Ferro em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).

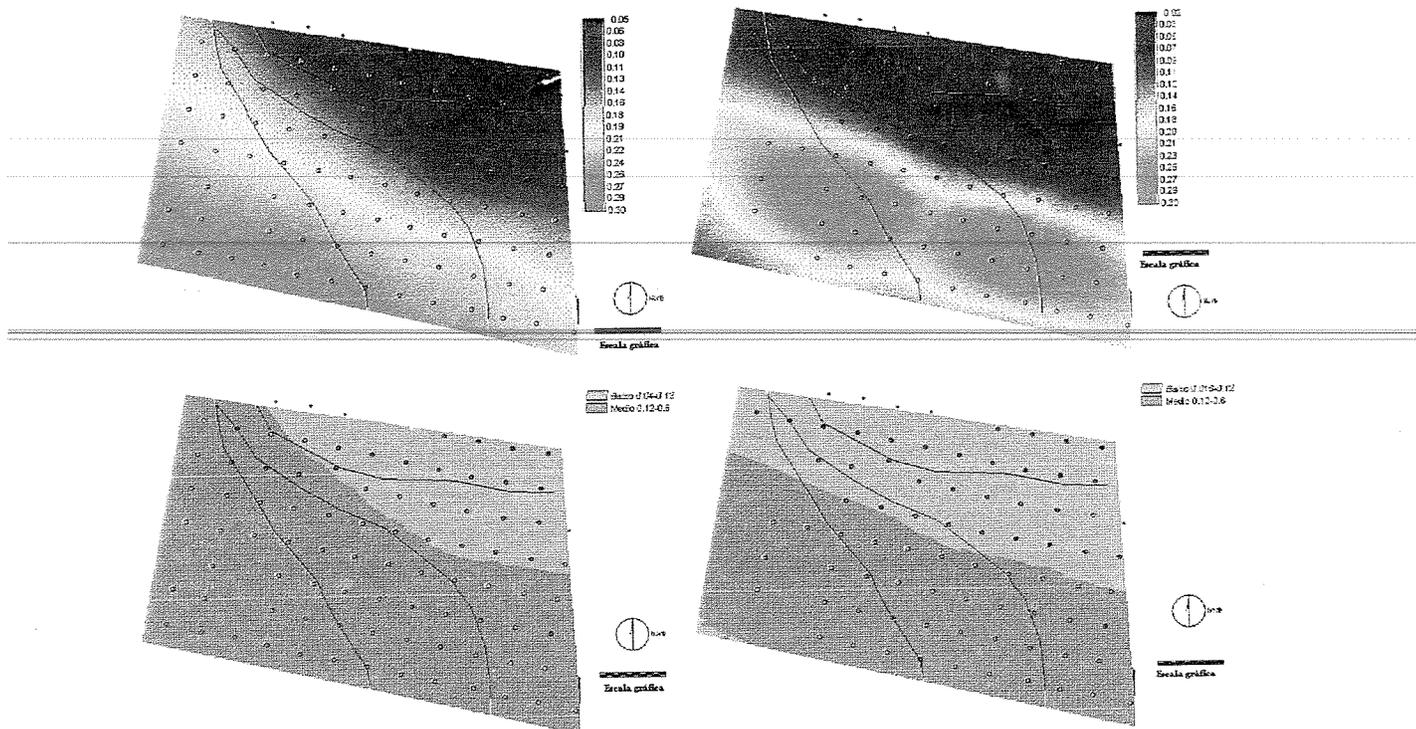


Figura 6.36– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Boro em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).

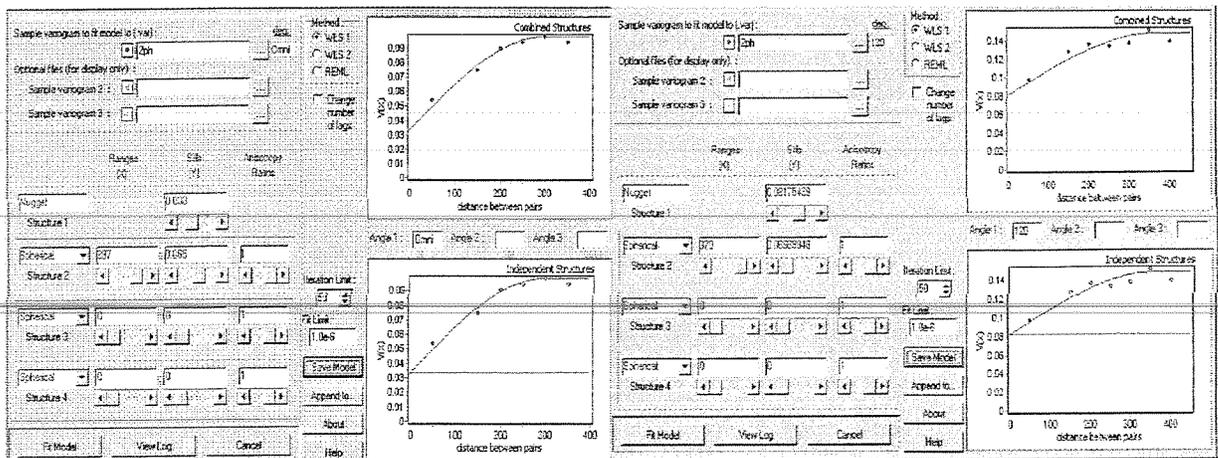
6.2.3 - VARIABILIDADE ESPACIAL DA FERTILIDADE

Os modelos ajustados e os parâmetros dos semivariogramas para os dados da análise de fertilidade se encontram na Tabela 6.15 abaixo.

Tabela 6.15 – Parâmetros dos modelos geoestatísticos da fertilidade de 0-30 e de 30-60 cm

Análise da Fertilidade de 0-30cm					
Variável	Unidade	Modelo	Efeito pepita	Alcance	Patamar
pH		Esférico	0,033	297	0,065
MO	g/dm ³	Esférico	9	290	10
P	mg/dm ³	Gaussiano	40	146	53
K	mmoldc/dm ³	Gaussiano	1,7	140	0,30
Ca	mmoldc/dm ³	Gaussiano	22	270	46
Mg	mmoldc/dm ³	Gaussiano	2,78	270	3,30
Al	mmoldc/dm ³	Gaussiano	11	220	15
H		Gaussiano	200	205	270
S		Esférico	800	255	760
SB	mmoldc/dm ³	Gaussiano	45	322	68
CTC	mmoldc/dm ³	Esférico	90	324	294
V	%	Gaussiano	55	200	52
Análise da Fertilidade de 30-60cm					
Variável	Unidade	Modelo	Efeito pepita	Alcance	Patamar
pH		Esférico	0,081	370	0,066
MO	g/dm ³	Esférico	18	245	6
P	mg/dm ³	Esférico	0,947	260	22
K	mmoldc/dm ³	Esférico	0,484	230	0,189
Ca	mmoldc/dm ³	Gaussiano	12	370	40
Mg	mmoldc/dm ³	Exponencial	2,6	360	1,31
Al	mmoldc/dm ³	Gaussiano	4,72	350	0,34
H		Gaussiano	80	210	30
S		Esférico	1100	300	350
SB	mmoldc/dm ³	Gaussiano	32	400	46
CTC	mmoldc/dm ³	Gaussiano	110	410	150
V	%	Gaussiano	65	520	88

A Tabela 6.15 apresenta os parâmetros dos semivariogramas ajustados para a fertilidade nas profundidades de 0-30cm e de 30-60cm. Pode-se observar que de modo geral os modelos se repetiram nas profundidades. Isto aconteceu para o Ca, Al, H, SB e V com o modelo gaussiano e para o pH, MO e S com o modelo esférico, o que está de acordo com a literatura que diz que os modelos mais apropriados para representar a variabilidade espacial são os modelos esférico e gaussiano. Em geral o alcance foi mais alto para as profundidades de 30-60 cm do que para 0-30 cm o contrário do que aconteceu para os micronutrientes.



Figuras 6.37 – Semivariogramas de pH de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

Para o pH, o modelo esférico se ajustou para as duas profundidades, e o efeito pepita, alcance e o patamar foram bem próximos, indicando que ocorreu uma homogeneidade de 0-30 e de 30-60cm, o que pode ser confirmado através de baixos valores do CV e baixa variância, além da distribuição uniforme dos gráficos de dispersão. Os dados mostram clara dependência espacial pelo ajuste dos modelos Figura 6.37.

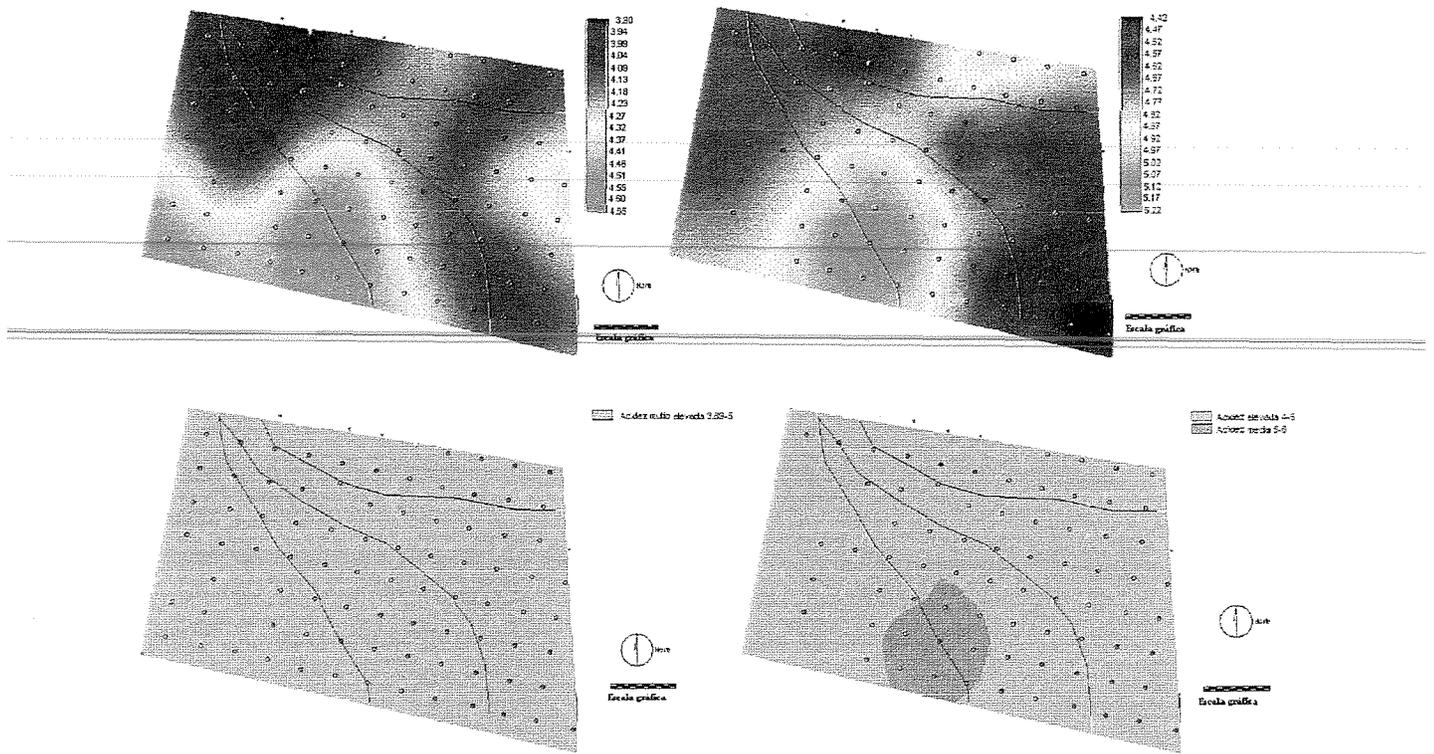
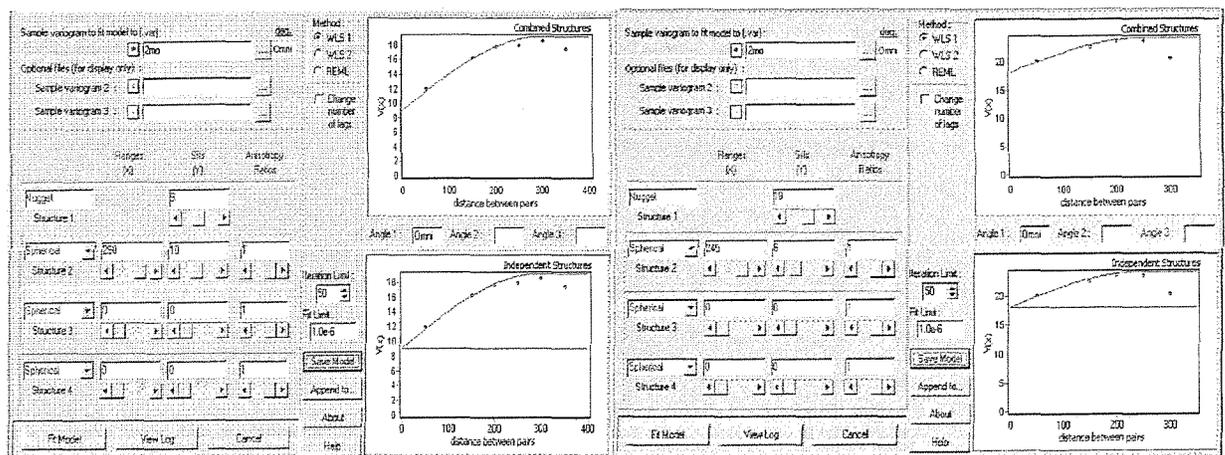


Figura 6.38– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do pH em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).

Os mapas de pH indicam uma pequena variação (3,90 a 5,00) para as duas profundidades, Figura 6.38, isto demonstra uma homogeneidade na área e reclassificação dos intervalos como acidez muito alta a média, o que se associa à deficiência de Fósforo, baixos teores de Mg e Ca, principalmente na profundidade de 0-30cm, se confirmando com os dados mostrados nas Figuras 6.46 e 6.48.



Figuras 6.39 – Semivariogramas de MO de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

A Figura 6.40 mostra a variável Matéria Orgânica com valores altos de 0-30 cm e mais baixos na profundidade de 30-60 cm. De acordo com Tomé Jr. (1997) MO e Fósforo possuem este mesmo comportamento, o que é comprovado pelos mapas mostrados nas Figuras 6.40 e 6.42, respectivamente à MO e Fósforo.

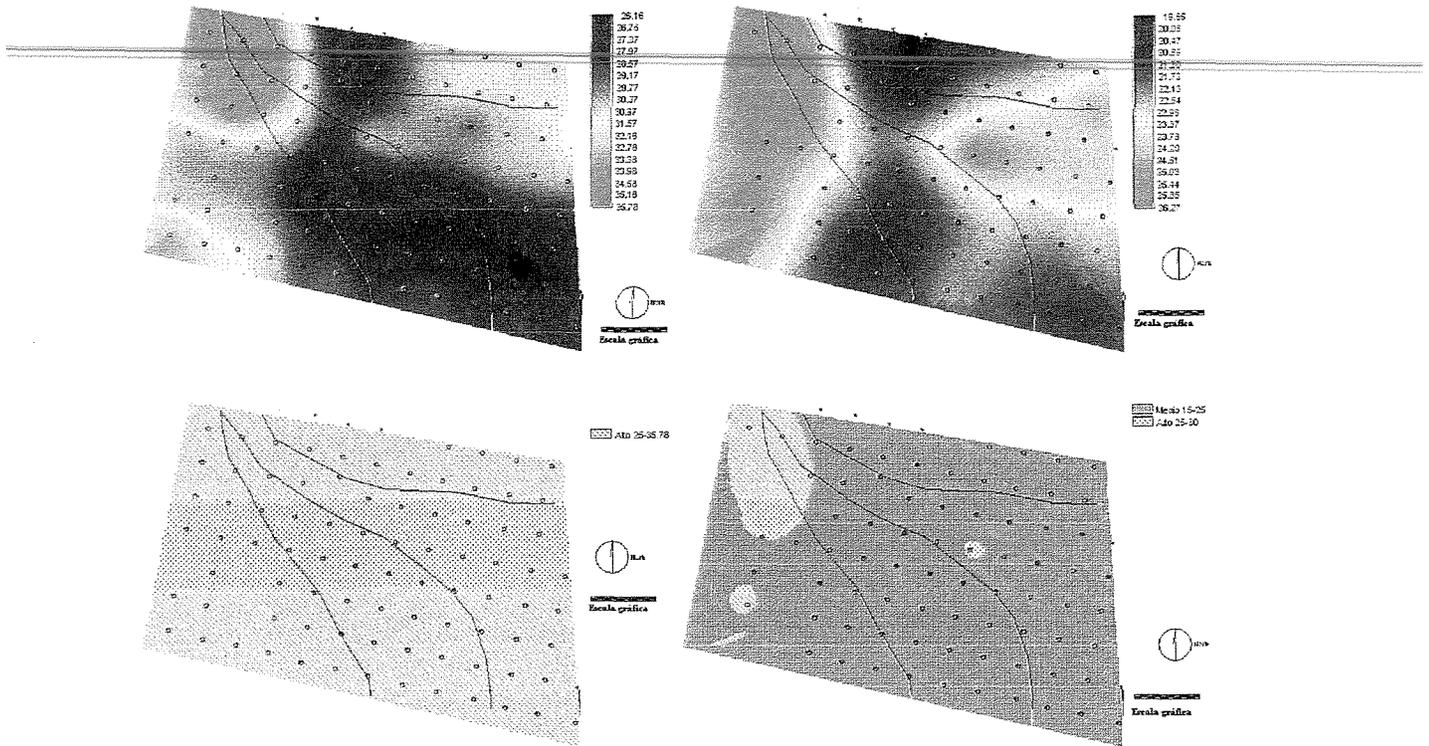
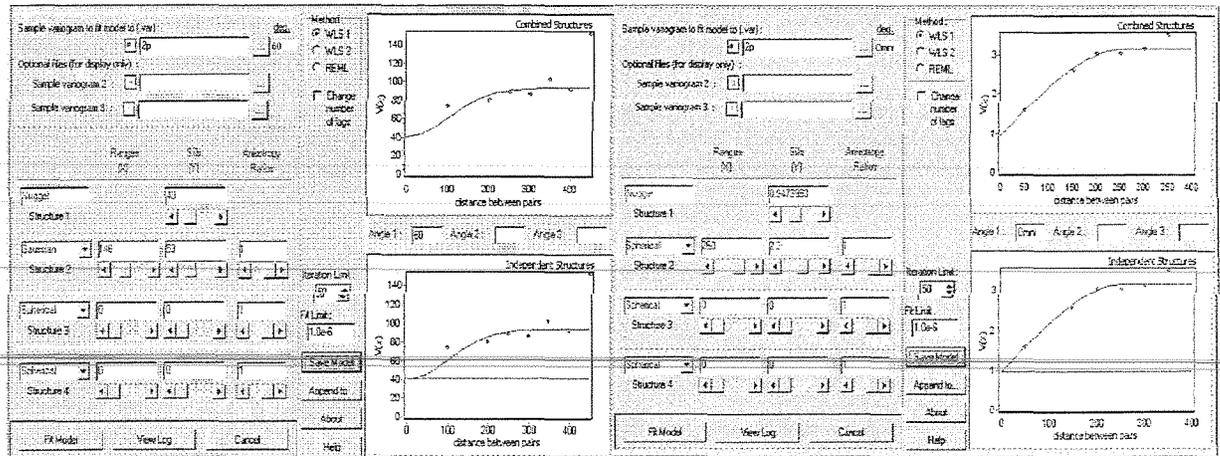


Figura 6.40– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do MO em 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).

A Matéria Orgânica é responsável por tornar os solos mais friáveis, mais fáceis de serem trabalhados por facilitarem a movimentação de ar, água na zona radicular, além de reter mais a umidade. Isto está bem representado na área, onde ocorreu a colheita mecanizada depositando-se os restos da cana (palha) no solo. Porém, ocorreu uma pequena parte queimada, mesmo assim a distribuição e implementação homogeneizaram a área, indicando altos teores de matéria orgânica na profundidade de 0-30cm e de 30-60cm onde houve uma redução.



Figuras 6.41 – Semivariogramas de P de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

O Fósforo, Figuras 6.41 e 6.42, apresentou modelos diferentes nas duas profundidades, e se diferenciou tanto no alcance, como no efeito pepita e patamar. Essas diferenças podem ser associadas ao alto CV (próximo de 100%) e alta variância, principalmente na profundidade de 0-30cm. O modelo 0-30 cm está com efeito pepita muito grande indicando que a amostragem talvez não esteja representando totalmente a variabilidade nesta profundidade. Já na profundidade de 30-60 cm é visualizado um bom ajuste demonstrando dependência espacial bem definida. A distribuição do fósforo apresenta um acúmulo (tons de verde) na parte mais alta do terreno com diminuição para a parte mais baixa.

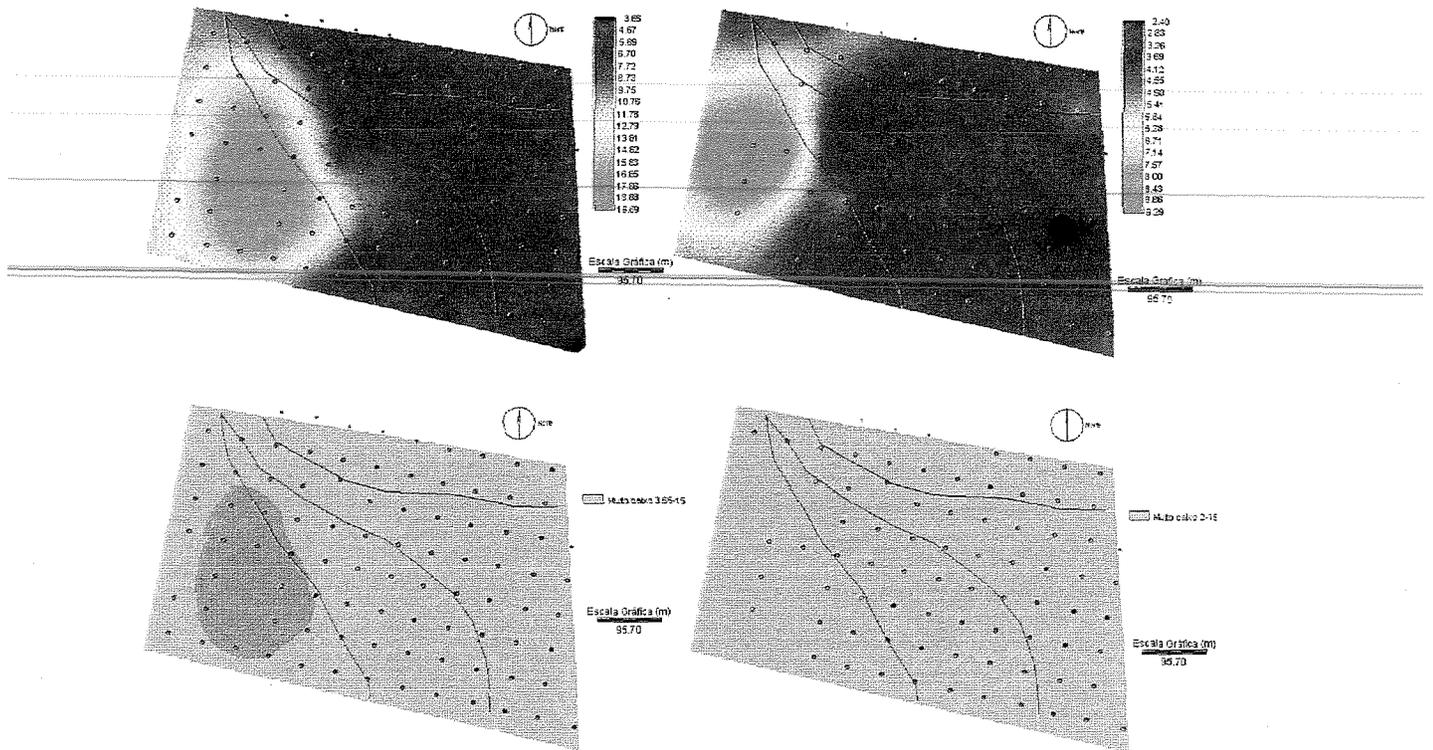


Figura 6.42– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do P em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).

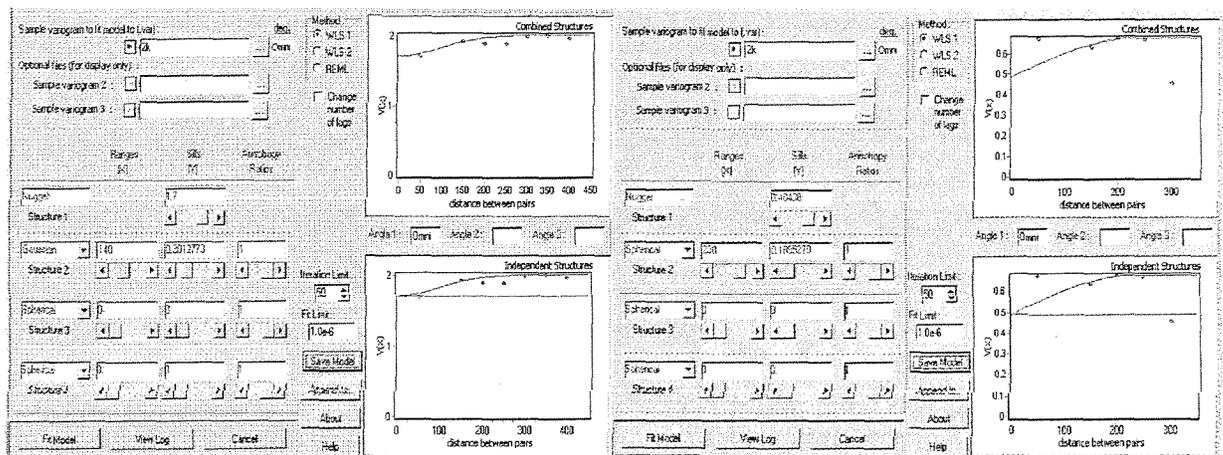


Figura 6.43 – Semivariogramas de K de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

A variabilidade espacial para o potássio mostrada na Figura 6.43 mostra um efeito pepita muito grande indicando que a variabilidade não está sendo representada adequadamente. Assim mesmo ajustou-se um modelo principalmente para a profundidade de 0-30 cm. Já na profundidade de 30-60 cm está mais para efeito pepita que para um suposto ajuste.

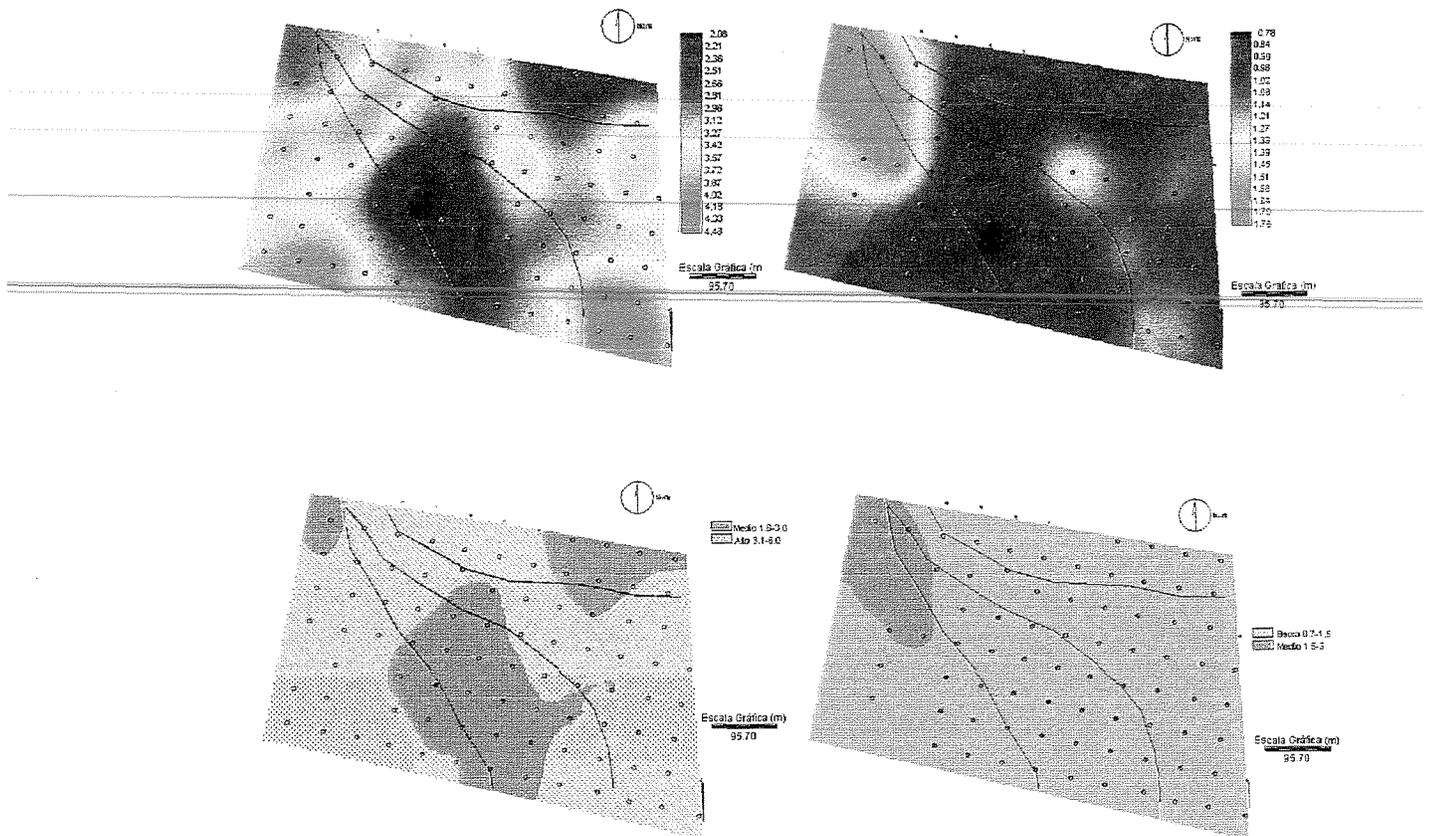


Figura 6.44— Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Potássio em, 0-30cm (esquerda) e em 30 (direita).

Nos mapas gerados pelos modelos geoestatísticos, Figura 6.44, observou-se uma diferença bem visível para os mapas das duas profundidades. O que foi confirmado pela reclassificação em intervalos. Na profundidade de 0-30cm, obteve-se uma classificação de médio a altos teores de potássio, o que pode ser devido à alta mobilidade deste no solo, porém reflete-se uma baixa quantidade nos teores na profundidade de 30-60cm o que irá refletir diretamente no Magnésio, prejudicando este na absorção pelas plantas.

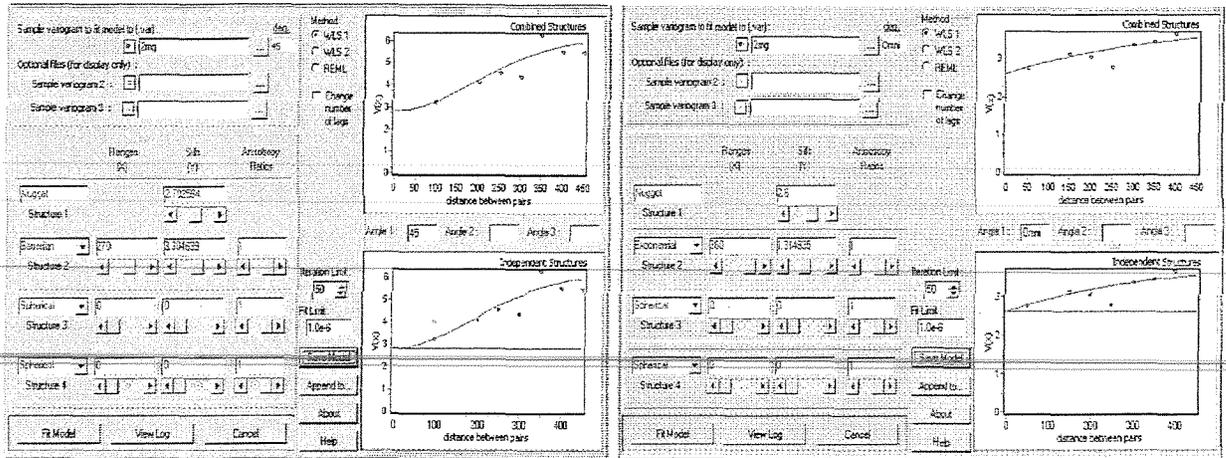


Figura 6.45 – Semivariogramas de Mg de 0-30cm e de 30-60cm.

A representação gráfica dos semivariogramas para Magnésio (Figura 6.45) apresentou a estruturas de modelos de ajustes bons, apesar do efeito pepita ser grande na profundidade de 30-60 cm. Mesmo assim houve um ajuste demonstrando dependência espacial bem clara dos dados.

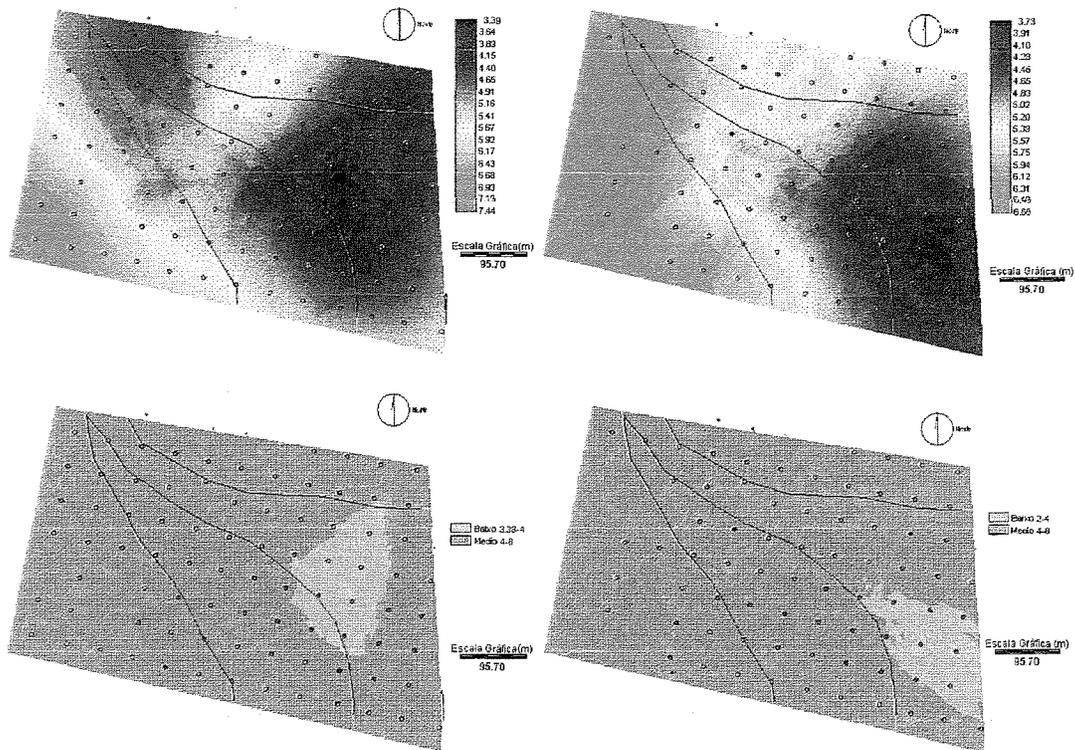


Figura 6.46– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Magnésio em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).

Como observado anteriormente para o Potássio, na profundidade de 0-30cm encontrou-se de médio a altos teores, e o contrário para o Magnésio, ou seja, onde ocorreu o excesso de Potássio houve deficiência de Magnésio. O inverso aconteceu na profundidade de 30-60cm onde ocorreram menores quantidades de Potássio refletindo-se na maior concentração de Magnésio, principalmente em manchas concêntricas, Figura 6.46.

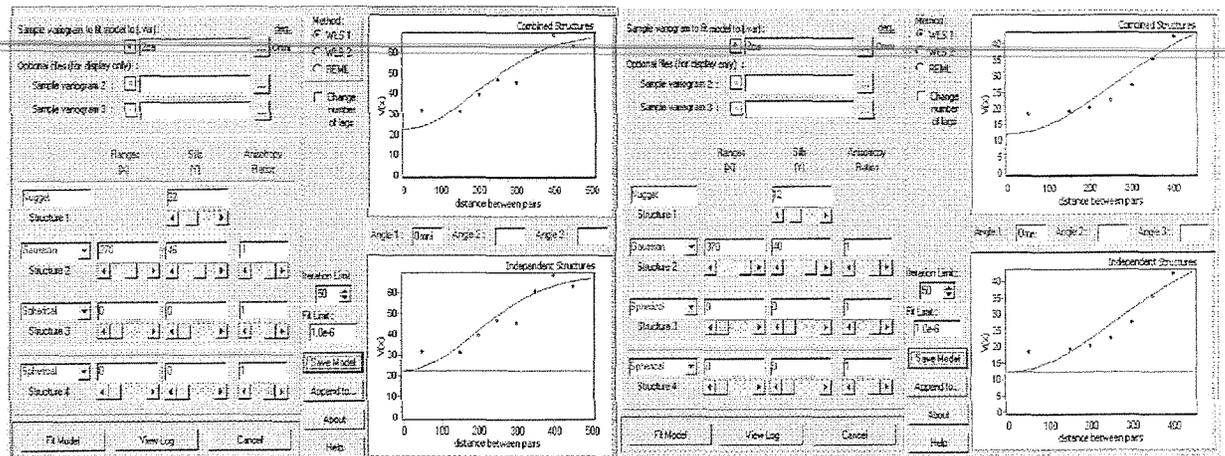


Figura 6.47 – Semivariogramas de Ca de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

Mesmo sendo as estruturas dos semivariogramas iguais para o Cálcio, o alcance e o efeito pepita diferenciaram-se bastante, (Figura 6.47), observando-se uma dispersão dos pontos em volta do modelo ajustado na profundidade de 0-30cm e tendência ao infinito para a profundidade de 30-60cm. Assim nesta profundidade (30-60cm) pode estar ocorrendo uma tendência em determinada direção ou número de amostras insuficientes para se representar a variabilidade do Cálcio.

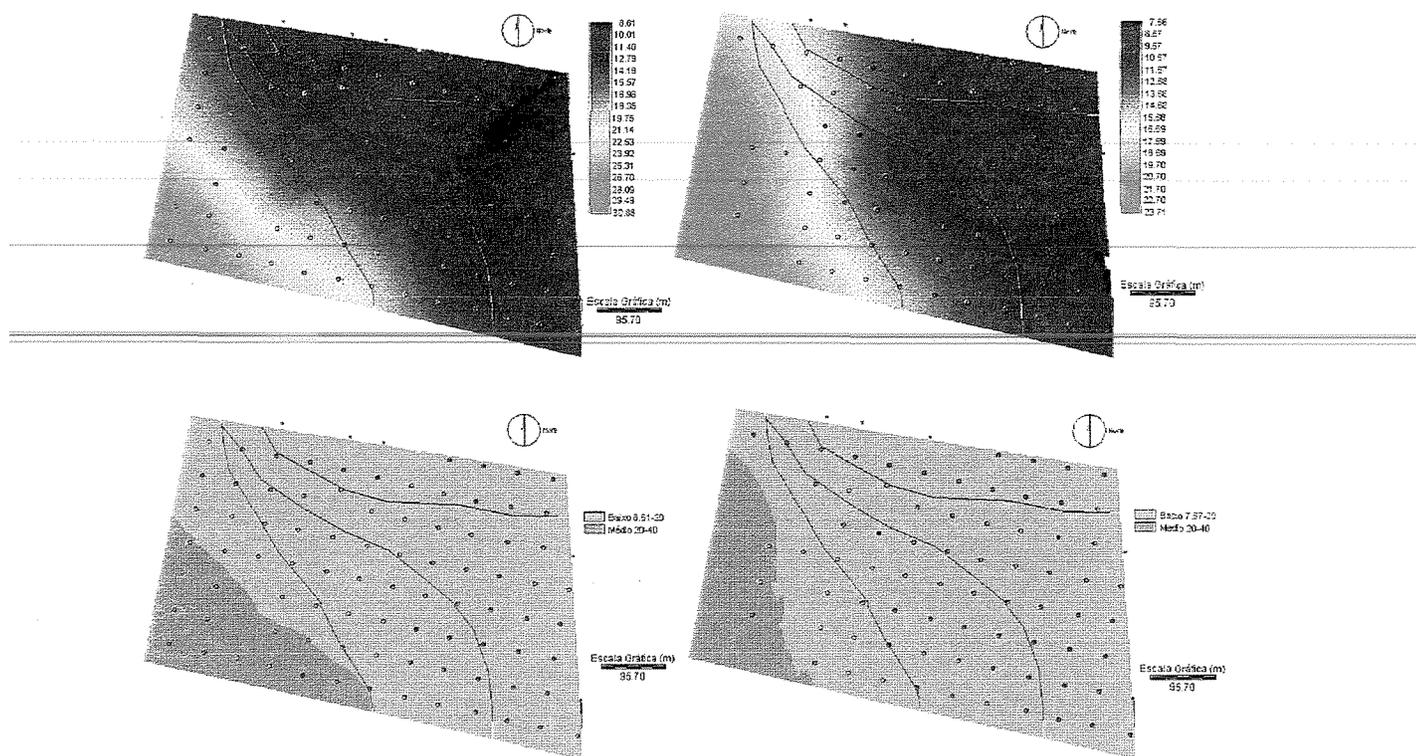


Figura 6.48– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Cálcio em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60 (direita).

Para o Cálcio o que ocorreu na área nas duas profundidades foi bem semelhante, tanto de 0-30cm como de 30-60cm, classificando-se entre os intervalos de baixo a médio valores (1 a 40 mmold/dm³), observando-se maiores concentrações na parte de cota mais alta da área, próximas aos carregadores. De qualquer maneira o que se pode observar (Figura 6.48) é que a variação de Cálcio pela área é muito pequena e está concentrada na classe de baixas concentrações, havendo bastante homogeneidade na área.

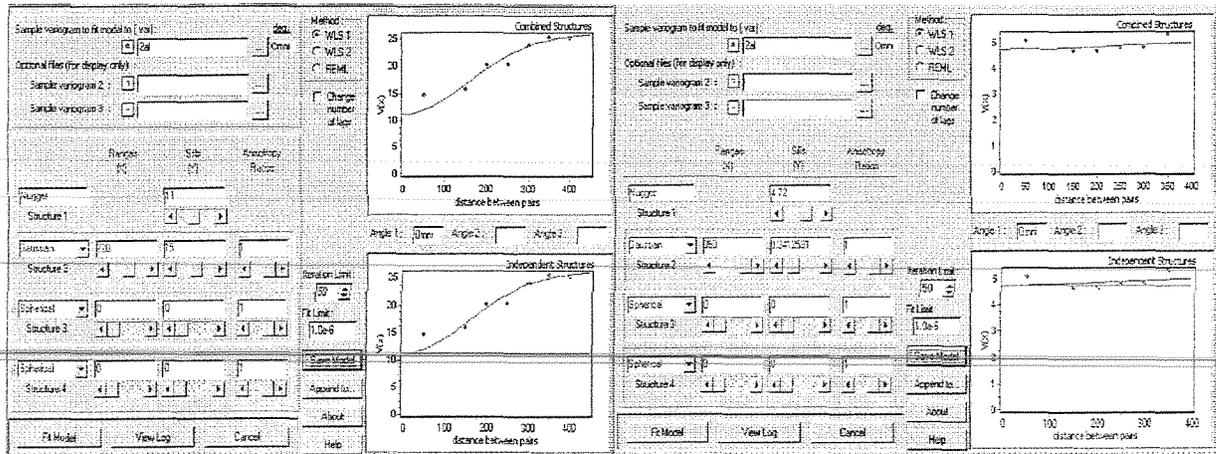


Figura 6.49 – Semivariogramas de Al de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

Os semivariogramas para Alumínio mostraram modelos bem diferentes, Figura 6.49. Para a profundidade de 0-30cm obteve-se um bom ajuste e alcance, já para a profundidade de 30-60cm mesmo tendo um ajuste pode-se dizer que este teve efeito pepita puro, pois ao invés de ser crescente e dependente de h , se mostrou constante e igual ao patamar para qualquer valor de h , indicando ausência de dependência espacial, talvez devido a amostragem ser insuficiente para representar o fenômeno.

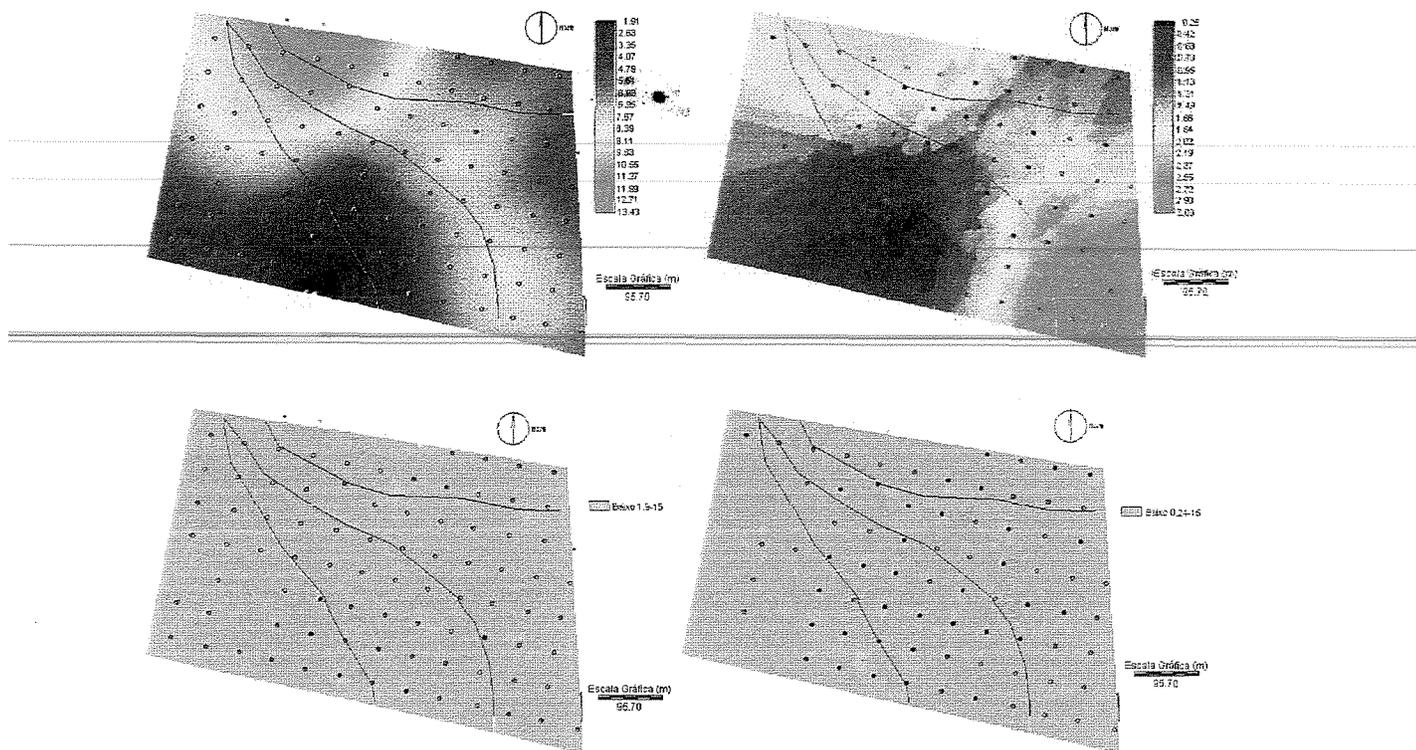


Figura 6.50 – Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do Alumínio em, 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).

O Alumínio de 0-30cm de profundidade obteve uma variação entre valores menores que 1,91 até 13,43 mmol/dm^3 , enquanto de 30-60cm, encontrou-se valores menores que 0,12 até 8,25 mmol/dm^3 , destacando-se manchas concentradas de maiores valores na parte de cotas mais baixas da área, contrastando-se nas duas profundidades (Figura 6.50 superior). Quando se reclassificam estes mapas segundo valores padronizados de estudos da literatura (Figura 6.50 – inferior), para as duas profundidades, os valores caem na classe baixa.

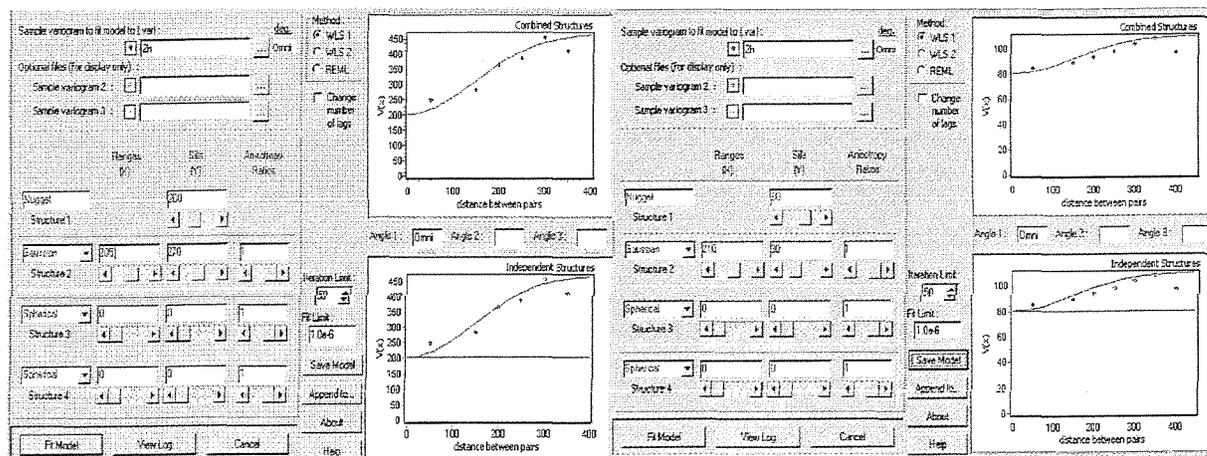


Figura 6.51 – Semivariogramas de H de 0-30cm de 30-60cm.

Para os semivariogramas de H os modelos obtiveram o mesmo ajuste, diferenciando-se bastante quanto ao efeito pepita e ao patamar (Figura 6.51). Os modelos geraram mapas muito semelhantes (Figura 6.52).

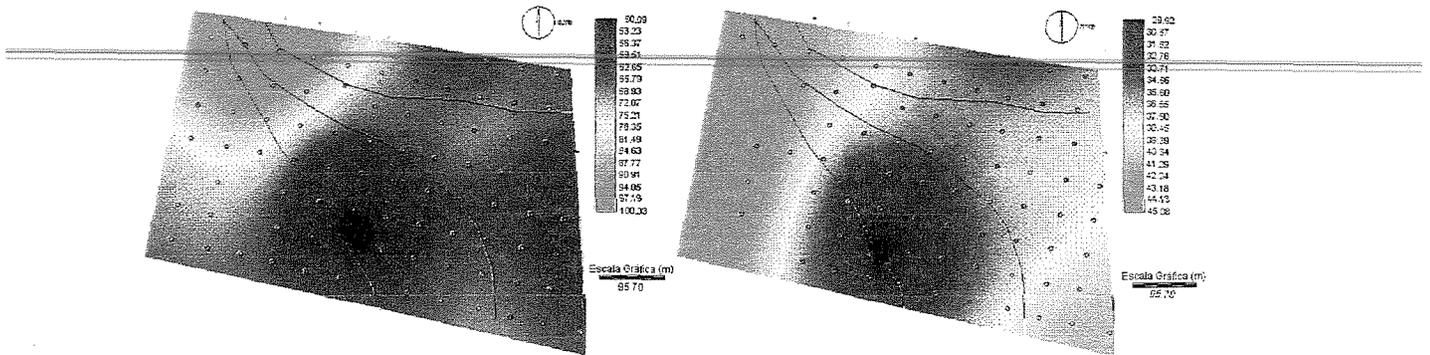


Figura 6.52– Mapas de classificação do H em 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).

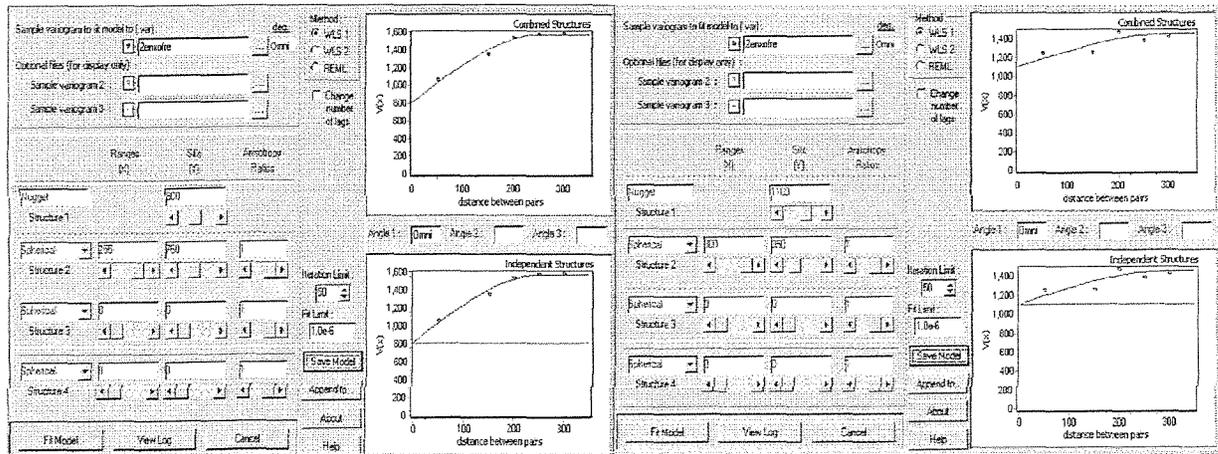


Figura 6.53 – Semivariogramas de Enxofre de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

No ajuste dos semivariogramas de Enxofre, Figura 6.53, foi observado valores altos para o patamar como para o efeito pepita principalmente para a profundidade de 30-60 cm.

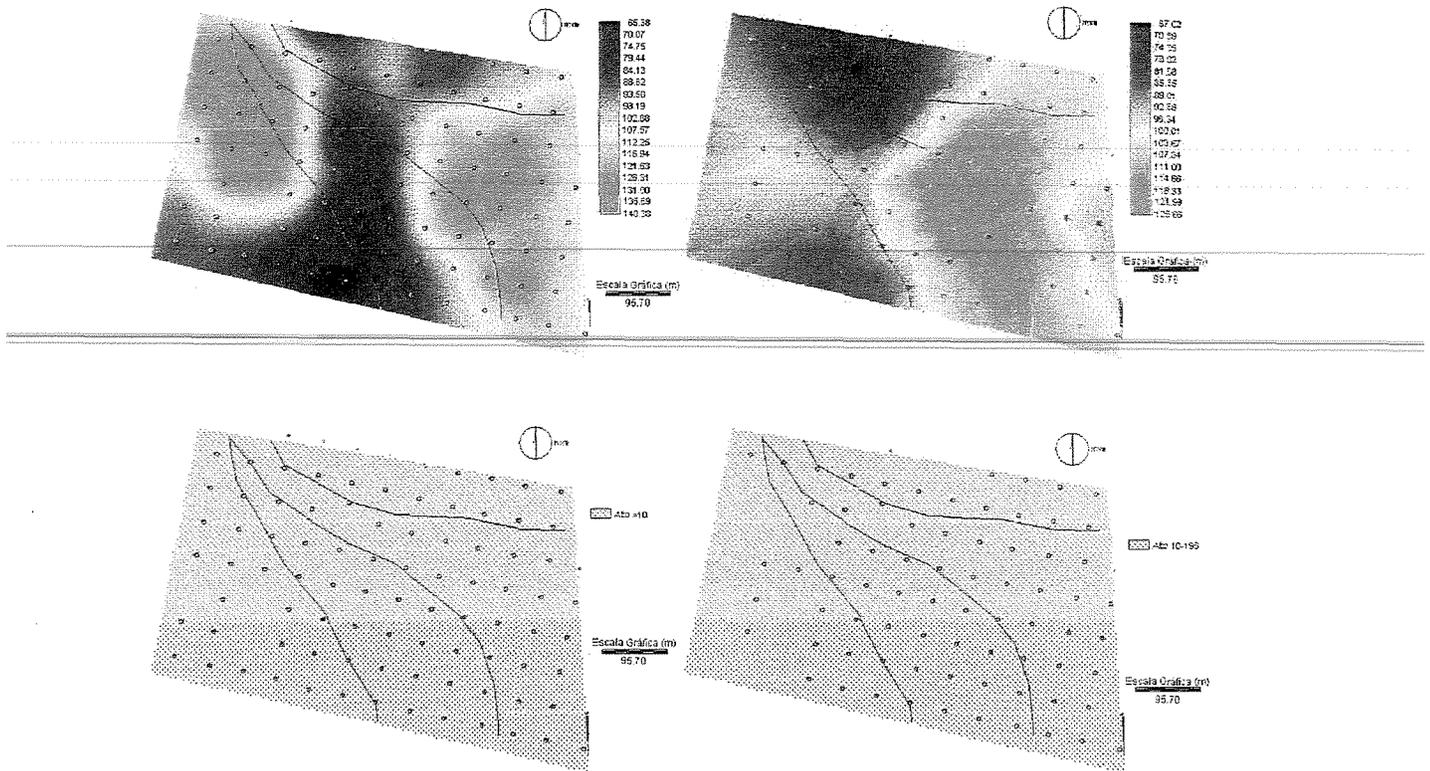


Figura 6.54— Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do S para 0-30cm (esquerda) e para 30-60cm (direita).

Para o Enxofre ocorreu uma homogeneidade na área, onde se classificou toda ela de 0-30cm como de 30-60cm com altos teores de Enxofre, destacando-se que para os gráficos gerados através dos modelos, os valores mínimos variaram de 65,38 (0-30cm) e 20,62 (30-60cm) sendo que, de acordo com a literatura, valores acima de 10 já são ditos altos (Figura 6.54). Portanto há grande concentração de Enxofre na área, nas duas profundidades.

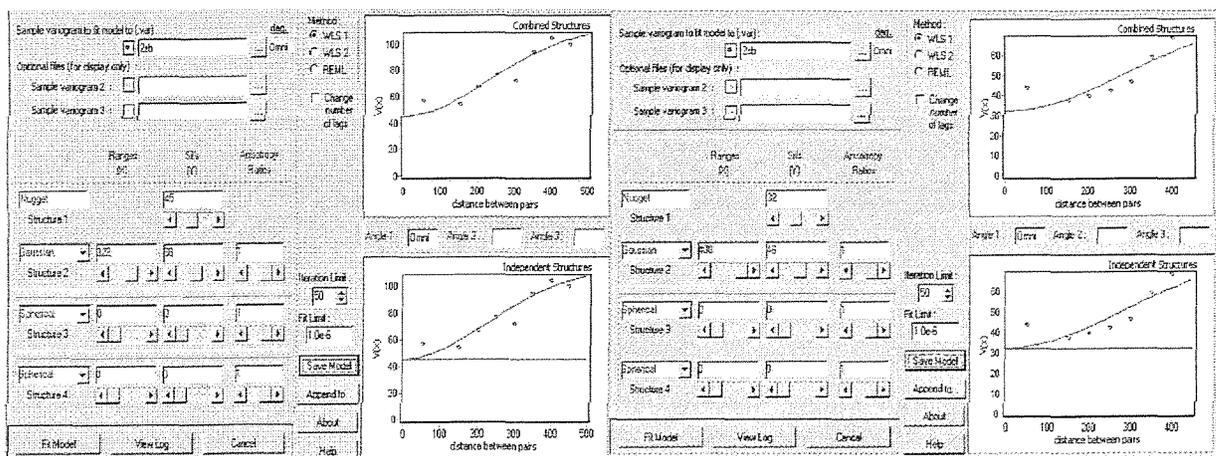


Figura 6.55 – Semivariogramas de SB de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

Mesmo com os modelos de ajustes iguais, os semivariogramas para Saturação de Bases, mostraram diferenças nas profundidades avaliadas (Figura 6.55). O semivariograma da profundidade de 30-60cm tende ao infinito, este semivariogramas indica a presença de fenômeno com capacidade infinita de dispersão, indicando que o tamanho do campo amostrado não foi suficiente para exibir toda a variância ou há uma possibilidade de que exista tendência nos dados em determinada direção, VIEIRA (1997). Assim mesmo foram gerados os mapas de variabilidade (Figura 6.56).

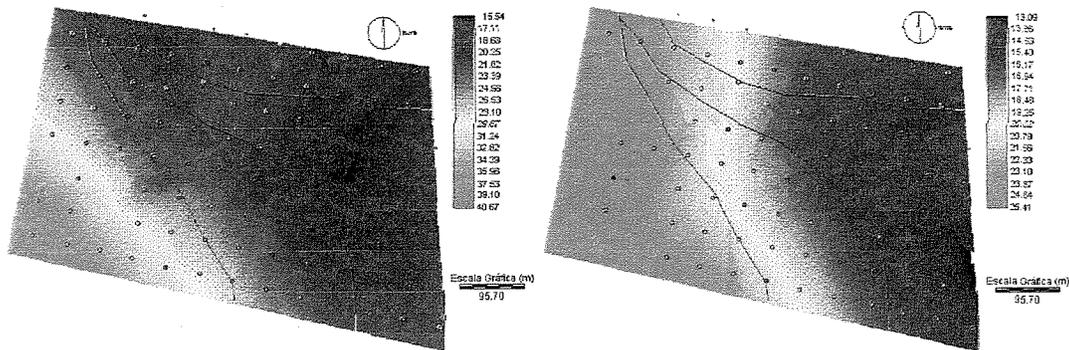


Figura 6.56– Mapas de classificação (superior) e reclassificação (inferior) do SB em 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).

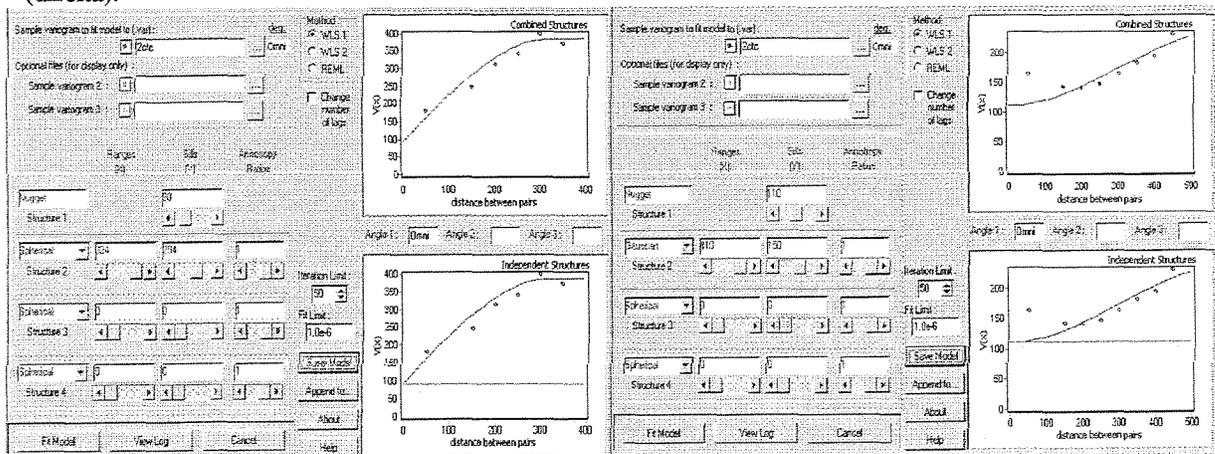


Figura 6.57 – Semivariogramas de CTC de 0-30cm (esquerda) e de 30-60cm (direita).

O mesmo comportamento ocorrido para Saturação de Bases ocorreu também para CTC, com a diferença do ajuste dos modelos, sendo esférico (0-30cm) e gaussiano (30-60cm), sendo que este tende também ao infinito. Pode-se observar na profundidade de 30-60 cm que os dados tem uma certa tendência a uma equação de segundo grau. Neste momento o melhor seria estar trabalhando com os resíduos eliminando assim esta tendência (Figura 6.57). Também aqui foi gerado o mapa dado pela Figura 6.58

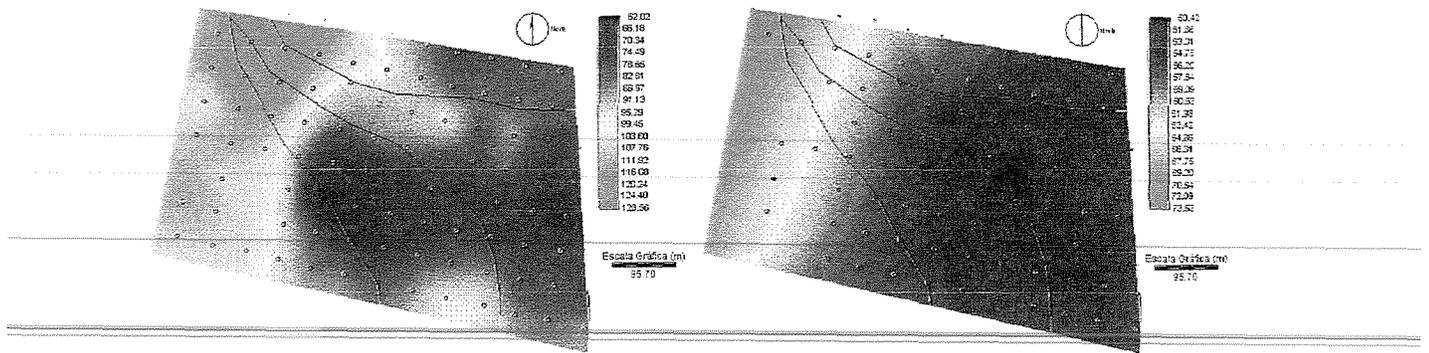


Figura 6.58– Mapas de classificação (superior) do CTC em 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).

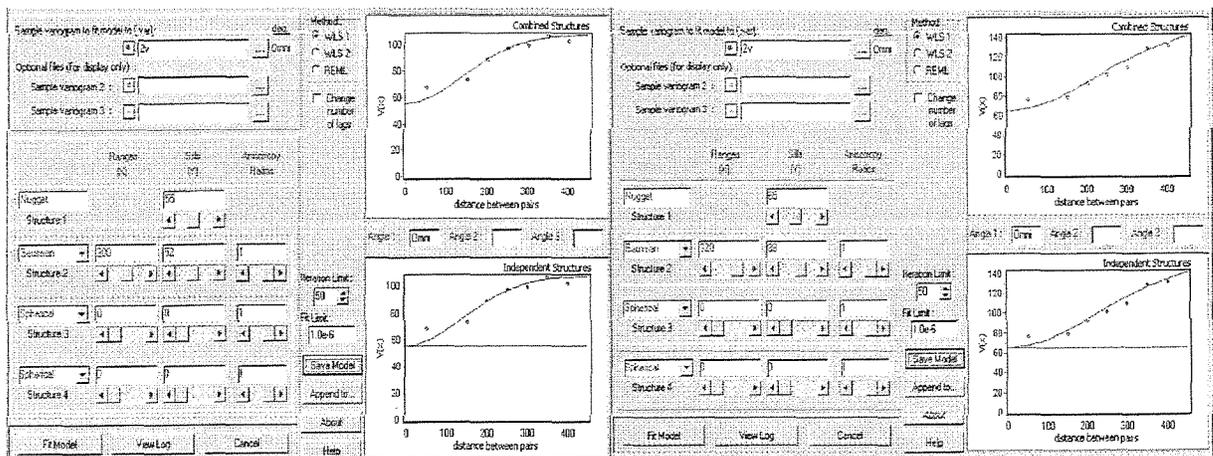


Figura 6.59 – Semivariogramas de V de 0-30cm e de 30-60cm.

Para Saturação de Bases que é a relação entre SB e CTC os ajustes nos modelos foram os mesmos diferindo-se bastante no efeito pepita, alcance e patamar (Figura 6.59). Os mapas dados pelos modelos são mostrados abaixo na Figura 6.60.

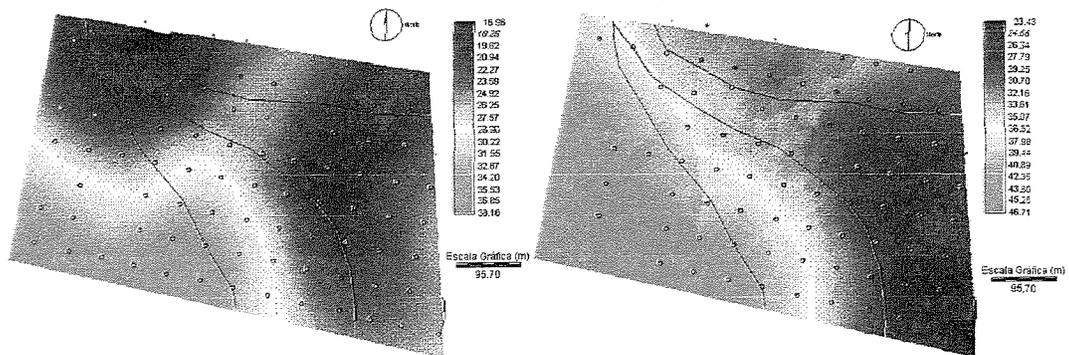


Figura 6.60– Mapas de classificação (superior) do V em 0-30cm (esquerda) e em 30-60cm (direita).

VII - CONCLUSÕES

- 1) Foi possível utilizar a geoestatística e a krigagem para mapear a variabilidade dos parâmetros do solo;
- 2) Foi possível encontrar nuances de variabilidade que não é possível encontrar de outra maneira, como a quantidade de areia acumulada no canal natural de escoamento, visto através da variabilidade da areia;
- ~~3) Constatou-se que a variabilidade mapeada através da geoestatística mostra mais detalhes que as classificações até hoje utilizadas, mostrando um descompasso;~~
- 4) A amostragem, para alguns parâmetros, não foi suficiente para mostrar a variabilidade deste, necessitando assim mais estudos nesta condição.
- 5) A Agricultura de Precisão se mostrou importante no levantamento de dados e informações, mas por outro lado também traz incertezas na explicação dos fenômenos de variabilidade que dependem de mais estudos, principalmente no que diz respeito ao aspecto temporal.

VIII - ANEXOS

Anexo 1 . Valores das análises Física, Micronutrientes e Química de 0-30 cm sem outliers.

IDENTIF	ATOTAL	SILTE	Argila	CU	ZN	MN	FE	B	PH	MO	P	K	CA	MG	AL	H	S	SB	CTC	V
2A1/0-30	21	14	65	3.2	0.5	35.6	27	0.31	4.6	39	13	3.2	30	8	3	64	85	41.2	105.2	39
2A2/0-30	19	14	67	3.4	0.7	56.2	21	0.33	4.7	30	14	5.2	33	7	2	58	94	45.2	103.2	44
2A3/0-30	18	14	68	3	0.7	49.2	29	0.31	4.3	32	11	6.2	18	5	4	80	78	29.2	109.2	27
2A4/0-30	21	14	65	2.6	1.6	48.2	26	0.3	4.4	34	8	2.9	23	7	3	64	42	32.9	96.9	34
2A5/0-30	15	14	71	2.4	0.5	49	28	0.29	4.3	25	6	2.4	13	3	4	64	67	18.4	82.4	22
2A6/0-30	15	14	71	2.6	0.6	44.4	23	0.31	5	34	5	4.5	34	9	0	47	62	47.5	94.5	50
2A7/0-30	10	14	76	2.6	0.3	45	24	0.22	4.4	26	4	1.7	16	5	4	52	64	22.7	74.7	30
2A8/0-30	12	10	78	2.3	0.3	13.8	29	0.26	4.5	30	4	2.9	20	7	0	58	74	29.9	87.9	34
2A9/0-30	11	16	73	1.9	0.3	12.6	32	0.24	4.2	33	7	3.2	19	6	6	80	99	28.2	108.2	26
2A10/0-30	15	10	75	1.3	0.2	7.2	25	0.23	4.1	28	5	1.5	10	4	10	88	97	15.5	103.5	15
2A11/0-30	22	10	68	1.3	0.2	5.4	30	0.24	4.1	29	3	4.6	12	5	6	64	102	21.6	85.6	25
2A12/0-30	21	10	69	0.9	0.2	3.8	27	0.24	4.2	25	5	6.5	12	5	7	58	134	23.5	81.5	29
2A13/0-30	19	10	71	1.1	0.2	4.6	34	0.21	4.1	29	4	3.2	15	8	5	72	106	26.2	98.2	27
2B1/0-30	18	17	65	3	0.9	36	29	0.24	4.5	28	15	3.3	35	10	3	72	76	48.3	120.3	40
2B2/0-30	18	15	67	2.7	0.5	34	21	0.23	4.4	31	13	2.9	27	8	3	72	95	37.9	109.9	34
2B4/0-30	19	16	65	3	2.3	57	27	0.18	4.2	31	49	3.4	21	5	3	72	102	29.4	101.4	29
2B5/0-30	21	14	65	3.1	0.9	51.8	28	0.29	4.6	29	18	2.8	29	7	0	47	57	38.8	85.8	45
2B6/0-30	19	12	69	2.4	0.4	40.4	24	0.23	4.4	29	8	3.2	16	4	2	47	79	23.2	70.2	33
2B7/0-30	17	12	71	2.5	0.3	47.8	21	0.19	4.6	22	5	1.4	21	7	1	42	62	29.4	71.4	41
2B8/0-30	16	13	71	2	0.2	13	22	0.19	4.2	25	4	2.1	13	4	7	64	78	19.1	83.1	23
2B9/0-30	20	11	69	1.9	0.2	13.2	25	0.24	4.3	28	5	4.8	15	6	5	52	85	25.8	77.8	33
2B10/0-30	22	11	67	1.4	0.2	4.8	27	0.23	3.9	27	3	4.3	7	3	15	80	160	14.3	94.3	15
2B11/0-30	20	11	69	1.1	0.2	4.6	24	0.19	4.2	24	6	5.9	9	4	9	52	174	18.9	70.9	27
2B12/0-30	25	10	65	1.3	0.2	6.4	31	0.2	4	28	6	4.3	11	5	10	72	102	20.3	92.3	22
2B13/0-30	29	8	63	1.2	0.2	4.2	29	0.17	4.3	25	3	2.7	11	4	5	47	88	17.7	64.7	27
2C2/0-30	22	13	65	3	0.9	70.6	27	0.16	4	30	15	2.4	13	3	10	80	168	18.4	98.4	19
2C4/0-30	22	15	63	2.9	5.8	61	28	0.18	4.2	31	28	2.4	23	7	7	72	141	32.4	104.4	31
2C5/0-30	21	10	69	1.1	0.1	2.6	11	0.17	5.5	19	3	0.2	11	4	0	20	85	15.2	35.2	43
2C6/0-30	16	13	71	2.6	0.2	16	24	0.24	4.7	28	8	3.1	18	6	2	42	41	27.1	69.1	39

Anexo 1 - Continuação

2C7/0-30	20	13	67	2.3	0.4	26.2	30	0.22	4.2	31	18	1.5	19	5	4	58	47	25.5	83.5	31
2C8/0-30	20	13	67	1.8	0.1	8.2	16	0.14	4.2	25	3	3.6	8	3	5	52	155	14.6	66.6	22
2C9/0-30	18	13	69	1.5	0.1	6.6	26	0.22	3.8	25	4	1.7	5	2	12	72	138	8.7	80.7	11
2C10/0-30	20	9	71	2.2	0.2	6.4	30	0.18	4.3	25	4	3.4	14	4	3	52	67	21.4	73.4	29
2C11/0-30	18	13	69	1.7	0.1	4.4	40	0.19	3.9	25	13	2.4	9	3	9	64	127	14.4	78.4	18
2C12/0-30	25	10	65	1.5	0.2	5.8	30	0.13	4.1	25	3	2.9	10	4	9	64	117	16.9	80.9	21
2D1/0-30	20	12	68	2.5	0.7	39.8	25	0.22	4.3	27	14	5.3	29	8	7	72	73	42.3	114.3	37
2D2/0-30	16	13	71	2.5	0.5	52	25	0.18	3.8	28	8	2.6	12	4	12	98	155	18.6	116.6	16
2D3/0-30	20	13	67	2.9	0.6	41.4	33	0.21	4	28	21	5	14	4	9	88	134	23	111	21
2D4/0-30	20	15	65	2.2	0.6	28	17	0.25	4.3	31	4	2.3	20	7	8	58	121	29.3	87.3	34
2D5/0-30	22	13	65	1.8	0.2	19.4	18	0.29	4.1	28	4	1.7	10	3	9	58	113	14.7	72.7	20
2D6/0-30	18	13	69	2.3	0.1	10.6	22	0.16	4.2	26	25	1.8	13	5	6	52	69	19.8	71.8	28
2D7/0-30	22	13	65	2.1	0.1	8	19	0.18	4.4	26	8	1.4	11	4	8	52	98	16.4	68.4	24
2D8/0-30	23	12	65	2	0.1	16.4	22	0.13	4.1	27	7	4.6	13	3	7	64	138	20.6	84.6	24
2D9/0-30	20	11	69	2	0.1	5.4	23	0.24	4.2	25	4	2.5	9	4	9	58	160	15.5	73.5	21
2D10/0-30	25	10	65	1.9	0.1	5.8	35	0.2	4.2	30	3	1.9	9	3	7	64	136	13.9	77.9	18
2D11/0-30	29	10	61	1.7	0.1	4.6	31	0.21	4.4	29	8	3.4	12	4	6	52	110	19.4	71.4	27
2D12/0-30	31	8	61	1.6	0.1	3.4	31	0.19	4.5	29	8	3.2	10	4	5	47	113	17.2	64.2	27
2E1/0-30	21	12	67	3.6	0.5	32.4	30	0.21	4.3	36	9	3.9	16	4	4	58	117	23.9	81.9	29
2E2/0-30	21	12	67	3.6	0.8	34.2	32	0.32	4.3	44	15	4.2	24	7	6	80	144	35.2	115.2	31
2E3/0-30	21	10	69	3.2	0.5	24.2	39	0.23	3.8	32	54	4.8	8	3	13	98	148	15.8	113.8	14
2E4/0-30	25	12	63	3.1	0.5	18.2	34	0.18	4	33	9	3.7	8	3	9	80	134	14.7	94.7	16
2E5/0-30	29	10	61	3	0.2	10.2	45	0.08	4.4	25	3	2.6	13	5	3	58	0	20.6	78.6	26
2E6/0-30	31	10	59	2.7	0.4	15.2	48	0.18	4.3	38	5	1.2	17	7	7	72	59	25.2	97.2	26
2E7/0-30	33	10	57	3.2	0.2	6.2	51	0.13	4.3	33	6	4.7	14	6	5	64	95	24.7	88.7	28
2E8/0-30	33	10	57	2.9	0.2	7.8	48	0.07	4	31	4	5.7	6	2	8	64	113	13.7	77.7	18
2E9/0-30	29	12	59	2.2	0.1	5.8	25	0.05	4.4	33	4	2.9	13	5	6	58	102	20.9	78.9	26
2E10/0-30	31	8	61	2.4	0.1	4.2	37	0.04	4	33	4	2.7	4	2	9	88	134	8.7	96.7	9
2E11/0-30	33	8	59	1.9	0.2	5.6	25	0.03	4.6	31	5	5.5	13	4	3	47	147	22.5	69.5	32
2E12/0-30	33	10	57	2	0.2	3.2	34	0.13	4.4	31	5	2.7	11	7	5	58	92	20.7	78.7	26
2F1/0-30	22	13	65	2.7	0.3	27.4	29	0.17	3.8	27	9	1.7	9	3	12	109	184	13.7	122.7	11
2F2/0-30	23	12	65	3.1	0.4	19.6	37	0.13	3.8	36	11	2.4	11	4	11	109	136	17.4	126.4	14
2F3/0-30	23	12	65	2.8	0.5	30.4	33	0.09	3.8	39	10	4.6	15	5	12	121	170	24.6	145.6	17

Anexo 1 - Continuação

2F4/0-30	32	10	58	2.9	0.3	13.4	41	0.13	4.2	32	5	3.7	19	7	8	72	76	29.7	101.7	29
2F5/0-30	29	10	61	2.4	0.2	7.6	42	0.06	4.4	25	4	1.7	26	9	6	52	64	36.7	88.7	41
2F6/0-30	27	10	63	2	0.2	10.2	42	0.13	4.2	27	4	1.7	14	6	8	64	110	21.7	85.7	25
2F7/0-30	27	8	65	1.9	0.2	7.4	33	0.06	4.3	29	4	4	16	7	6	64	95	27	91	30
2F8/0-30	27	10	63	1.4	0.1	7.4	40	0.09	3.8	30	4	3.8	6	3	18	109	181	12.8	121.8	11
2F9/0-30	31	12	57	2.1	0.1	2.2	23	0.06	4.3	25	3	1.9	7	3	4	58	105	11.9	69.9	17
2F10/0-30	33	10	57	2.7	0.2	7	33	0.03	3.9	30	4	4	6	3	11	88	154	13	101	13
2F11/0-30	31	12	57	2.1	0.2	7.2	25	0.04	4.4	30	4	3.7	9	5	2	52	99	17.7	69.7	25
2F12/0-30	31	14	55	2.1	0.2	5.2	31	0.11	4.3	34	4	3.4	13	6	4	58	106	22.4	80.4	28
2G1/0-30	22	13	65	2.7	0.6	30.2	32	0.2	4.2	38	18	2.7	20	7	6	80	100	29.7	109.7	27
2G2/0-30	22	13	65	2.6	0.4	23.8	30	0.1	3.9	38	6	3.2	17	7	12	109	148	27.2	136.2	20
2G3/0-30	27	12	61	2.9	0.7	33.2	33	0.18	4	35	5	2.7	9	3	10	109	117	14.7	123.7	12
2G4/0-30	41	10	49	3.2	0.5	8.4	71	0.23	3.9	32	6	6	7	3	16	98	124	16	114	14
2G5/0-30	31	10	59	2.2	0.2	5.2	59	0.05	3.8	25	5	3.8	7	4	18	98	99	14.8	112.8	13
2G6/0-30	35	10	55	2.4	0.4	13.4	57	0.11	3.7	25	4	4.6	5	3	16	98	138	12.6	110.6	11
2G7/0-30	33	10	57	2.2	0.3	24.8	45	0.08	4.5	30	6	4.3	26	12	2	47	54	42.3	89.3	47
2G8/0-30	33	10	57	2.4	0.2	5.8	49	0.05	4.4	33	6	1.9	16	5	3	52	67	22.9	74.9	31
2G9/0-30	25	10	65	2	0.2	8.4	26	0.07	3.9	33	7	1.6	6	2	13	80	106	9.6	89.6	11
2G10/0-30	25	8	67	2.1	0.2	4.6	26	0.09	4.1	32	10	3	10	4	6	64	90	17	81	21
2G11/0-30	21	10	69	1.7	0.2	7.2	20	0.05	4.1	32	5	6	8	3	6	72	155	17	89	19
2H3/0-30	22	13	65	2.5	0.6	19.4	22	0.13	4.1	35	6	2.8	14	5	6	72	78	21.8	93.8	23
2H4/0-30	33	10	57	2.3	1.9	8.6	72	0.03	3.5	24	6	4.8	3	1	24	135	0	8.8	143.8	6
2H5/0-30	12	10	78	1.8	0.1	1.8	36	0.03	4.1	27	5	1.7	9	5	14	80	102	15.7	95.7	16
2H6/0-30	27	10	63	2.3	0.4	10.2	54	0.02	4	26	5	6	8	5	12	72	124	19	91	21
2H7/0-30	25	8	67	2.8	0.2	16.8	37	0.02	4.6	35	5	2.4	22	9	0	52	78	33.4	85.4	39
2H8/0-30	22	11	67	2.1	0.2	15.8	19	0.12	4.2	30	6	1.4	12	5	2	52	71	18.4	70.4	26
2H9/0-30	21	8	71	1.8	0.2	9.6	18	0.03	4.1	31	5	2.4	9	5	6	64	108	16.4	80.4	20

Anexo 2 . Valores das análises Física, Micronutrientes e Química de 30-60 cm sem outliers.

IDENTIF	Atotal	Silte	Argila	CU	ZN	MN	FE	B	PH	MO	P	K	CA	MG	AL	H	S	SB	CTC	V
2A4/30-60	17	12	71	2	2.2	7.8	18	0.21	4.8	20	3	0.6	16	5	1	34	50	21.6	55.6	39
2A5/30-60	19	10	71	1.6	0.1	2.8	15	0.16	5.1	18	4	0.5	19	6	0	31	76	25.5	56.5	45
2A6/30-60	11	14	75	2.2	0.3	12	17	0.2	4.8	20	4	2	20	7	0	34	42	29	63	46
2A7/30-60	9	14	77	1.1	0.1	6	14	0.15	5.2	20	3	0.4	12	6	0	31	93	18.4	49.4	37
2A8/30-60	10	10	80	1	0.1	2	16	0.18	4.7	28	3	0.9	12	6	2	34	127	18.9	52.9	36
2A9/30-60	17	6	77	1.3	0.1	1.4	14	0.2	5.1	20	4	0.5	14	5	0	31	71	19.5	50.5	39
2A10/30-60	15	8	77	0.8	0.1	1.6	15	0.17	4.6	22	4	0.6	13	6	3	42	124	19.6	61.6	32
2A11/30-60	19	10	71	0.7	0.1	1.8	17	0.2	4.5	21	3	2.1	9	5	4	42	127	16.1	58.1	28
2A12/30-60	19	10	71	0.3	0.1	1.2	13	0.18	4.3	20	3	1.6	7	4	4	47	136	12.6	59.6	21
2A13/30-60	19	10	71	0.4	0.1	1.4	17	0.2	4.4	21	6	0.8	8	5	4	47	99	13.8	60.8	23
2B2/30-60	20	13	67	2.5	1.2	38	20	0.2	4.6	34	7	1.2	27	9	2	72	97	37.2	109.2	34
2B4/30-60	20	11	69	2.2	1.8	9.2	15	0.27	5	23	3	0.6	18	5	0	34	95	23.6	57.6	41
2B5/30-60	13	14	73	1.6	0.2	4.2	13	0.28	5.4	19	4	0.6	19	8	0	25	66	27.6	52.6	52
2B6/30-60	17	14	69	0.8	0.1	3	9	0.24	6.1	20	3	0.6	15	6	0	18	117	21.6	39.6	55
2B7/30-60	16	13	71	1.4	0.1	11	12	0.24	5.2	19	2	0.7	16	8	0	22	76	24.7	46.7	53
2B8/30-60	14	13	73	1.5	0.1	4.4	16	0.3	4.8	25	4	1.1	19	6	1	31	59	26.1	57.1	46
2B9/30-60	16	11	73	1	0.1	3.6	14	0.33	4.3	24	3	1.2	9	4	4	38	134	14.2	52.2	27
2B10/30-60	18	11	71	0.5	0.1	2	11	0.32	4	21	3	0.9	7	3	8	58	205	10.9	68.9	16
2B11/30-60	22	9	69	0.5	0.1	1.8	14	0.27	4.4	20	4	1.1	7	4	6	38	53	12.1	50.1	24
2B12/30-60	22	11	67	0.8	0.1	3.4	18	0.35	4.4	21	3	1.4	13	4	2	38	81	18.4	56.4	33
2B13/30-60	25	10	65	0.4	0.1	2.2	19	0.23	4.4	20	2	0.6	6	2	2	38	72	8.6	46.6	18
2C2/30-60	21	12	67	2.7	0.3	17	17	0.25	4.6	24	9	2.7	21	6	1	42	110	29.7	71.7	41
2C4/30-60	17	12	71	1.8	0.9	5.4	12	0.24	4.4	28	8	1.7	12	4	2	47	58	17.7	64.7	27
2C5/30-60	18	13	69	2.6	0.4	25	22	0.34	5	19	2	0.6	8	5	0	28	134	13.6	41.6	33
2C6/30-60	18	13	69	1	0.1	1.8	12	0.26	5.1	19	3	0.3	9	3	0	25	129	12.3	37.3	33
2C7/30-60	18	15	67	0.9	0.1	2.6	13	0.2	5.1	19	3	1.1	13	5	0	25	162	19.1	44.1	43
2C8/30-60	16	33	51	0.6	0.1	1.4	11	0.19	4.9	25	3	0.4	10	3	0	28	79	13.4	41.4	32
2C9/30-60	14	13	73	0.9	0.1	1.6	16	0.26	5	21	3	2.6	13	5	0	28	95	20.6	48.6	42
2C10/30-60	19	8	73	1.2	0.1	1.4	17	0.31	4.4	22	2	0.6	8	3	3	38	170	11.6	49.6	23
2C11/30-60	18	11	71	0.8	0.1	3.8	23	0.25	4.4	27	3	0.9	7	3	4	38	98	10.9	48.9	22
2C12/30-60	23	12	65	1.1	0.1	2.8	23	0.12	4.8	28	5	2.7	20	6	0	42	81	28.7	70.7	41

Anexo 2 - Continuação

2D2/30-60	16	11	73	2.8	0.3	20	18	0.23	4.6	25	12	4.4	15	4	3	42	123	23.4	65.4	36
2D3/30-60	16	11	73	2.4	0.2	11	18	0.26	4.8	28	3	0.8	20	7	0	38	100	27.8	65.8	42
2D4/30-60	18	13	69	2.3	0.8	9.6	13	0.26	5.3	21	3	0.5	13	4	0	22	85	17.5	39.5	44
2D5/30-60	22	13	65	1	0.1	4.2	14	0.32	5.2	17	4	0.8	12	6	0	22	148	18.8	40.8	46
2D6/30-60	20	15	65	0.6	0.1	1.6	10	0.21	4.8	19	4	0.6	9	4	1	31	131	13.6	44.6	30
2D7/30-60	25	12	63	1	0.1	1.4	12	0.14	4.8	20	3	0.9	10	4	0	31	167	14.9	45.9	32
2D8/30-60	22	13	65	0.9	0.1	1.2	11	0.25	4.5	22	4	0.9	7	3	4	42	170	10.9	52.9	21
2D9/30-60	20	11	69	0.8	0.1	2	16	0.18	5	20	3	0.7	10	4	0	34	78	14.7	48.7	30
2D10/30-60	22	13	65	0.9	0.1	2.4	25	0.13	4.9	23	2	0.9	9	3	0	34	64	12.9	46.9	28
2D11/30-60	25	10	65	1.1	0.1	2.2	25	0.16	4.7	23	2	0.7	7	3	3	34	42	10.7	44.7	24
2D12/30-60	27	10	63	0.7	0.1	1.8	24	0.16	5.2	29	9	2.3	34	14	0	31	50	50.3	81.3	62
2E4/30-60	27	10	63	1.8	0.7	6.4	26	0.07	4.7	20	3	0.4	5	2	2	34	42	7.4	41.4	18
2E5/30-60	31	8	61	1.6	0.1	2.8	33	0.03	4.9	26	3	0.6	11	7	0	38	74	18.6	56.6	33
2E6/30-60	27	10	63	1.6	0.1	3.2	30	0.04	4.6	29	5	1.2	8	4	2	42	67	13.2	55.2	24
2E7/30-60	41	8	51	2.6	0.3	3.4	45	0.03	4.1	43	5	4.7	9	5	9	64	120	18.7	82.7	23
2E8/30-60	31	10	59	1.8	0.3	12	34	0.03	5.1	28	3	0.7	11	6	0	31	100	17.7	48.7	36
2E9/30-60	29	10	61	1.3	0.1	2.2	18	0.02	4.5	25	2	0.8	6	3	4	42	120	9.8	51.8	19
2E10/30-60	31	10	59	1.6	0.1	3	29	0.02	4.6	28	4	1.9	8	4	2	38	110	13.9	51.9	27
2E11/30-60	31	10	59	1.4	0.1	2	20	0.04	4.6	23	4	0.9	8	7	3	42	110	15.9	57.9	27
2E12/30-60	29	10	61	1.5	0.1	1.6	25	0.03	4.2	28	8	0.8	14	5	9	72	141	19.8	91.8	22
2F3/30-60	21	12	67	3.1	0.7	13	30	0.07	5	20	3	0.5	19	6	0	34	54	25.5	59.5	43
2F4/30-60	25	12	63	2.1	0.8	1.6	23	0.03	5	19	4	0.5	22	6	0	31	47	28.5	59.5	48
2F5/30-60	27	12	61	1.3	0.1	1	22	0.09	5	19	3	0.9	14	8	0	31	95	22.9	53.9	42
2F6/30-60	22	11	67	1.1	0.1	5	15	0.04	4.8	20	4	0.6	10	7	0	38	141	17.6	55.6	32
2F7/30-60	21	10	69	0.6	0.1	0.8	15	0.03	4.4	21	3	0.8	9	4	2	42	158	13.8	55.8	25
2F8/30-60	25	12	63	0.4	0.1	2.4	10	0.05	4.8	20	3	0.6	11	6	0	34	113	17.6	51.6	34
2F9/30-60	31	12	57	1	0.1	0.8	14	0.04	4.3	24	3	1	5	2	3	38	105	8	46	17
2F10/30-60	31	10	59	1.7	0.1	4	28	0.03	4.6	20	4	1.4	9	5	0	31	99	15.4	46.4	33
2F11/30-60	31	11	58	0.9	0.1	2.6	14	0.06	4.7	25	3	1.1	9	7	0	38	85	17.1	55.1	31
2F12/30-60	27	12	61	1.6	0.1	1.8	24	0.03	4.7	26	4	3.1	8	4	0	38	124	15.1	53.1	28
2G1/30-60	18	13	69	1.3	0.1	2.6	15	0.05	4.5	34	5	1.4	27	9	2	47	69	37.4	84.4	44
2G2/30-60	22	11	67	2.9	0.2	7.4	28	0.03	4.7	28	6	1.7	27	8	1	42	74	36.7	78.7	47
2G3/30-60	18	11	71	2.7	0.5	12	23	0.03	4.2	18	6	0.9	11	4	4	47	25	15.9	62.9	25

Anexo 2 - Continuação

2G4/30-60	29	10	61	1.7	0.1	1.2	30	0.03	3.9	18	4	0.9	7	3	9	58	78	10.9	68.9	16
2G5/30-60	27	12	61	0.9	0.1	1.6	30	0.03	4.4	16	3	1	10	4	3	34	71	15	49	31
2G6/30-60	27	10	63	0.8	0.1	20	20	0.05	5.3	23	4	0.9	14	9	0	28	60	23.9	51.9	46
2G7/30-60	29	8	63	1.4	0.2	5.4	24	0.03	5.1	24	2	0.7	11	6	0	31	88	17.7	48.7	36
2G8/30-60	29	10	61	0.9	0.1	1	16	0.05	4.6	23	4	0.6	10	3	2	38	131	13.6	51.6	26
2G9/30-60	25	10	65	1.3	0.1	5	13	0.03	4.8	23	4	0.9	8	4	2	34	97	12.9	46.9	28
2G10/30-60	23	8	69	1.1	0.1	1.2	18	0.03	4.5	32	7	1.4	14	5	3	58	132	20.4	78.4	26
2G11/30-60	22	12	66	2.1	0.7	11	22	0.04	5.3	20	2	0.6	12	7	0	28	0	19.6	47.6	41
2H3/30-60	20	11	69	0.9	0.1	3.6	16	0.03	4.4	17	6	1	6	3	5	42	117	10	52	19
2H4/30-60	20	11	69	0.5	0.1	0.6	12	0.03	4.3	18	6	0.6	5	3	6	47	64	8.6	55.6	15
2H5/30-60	11	13	76	0.2	0.1	0.2	10	0.03	4.7	18	4	1.9	12	6	0	34	102	19.9	53.9	37
2H6/30-60	25	22	53	0.7	0.1	5.6	23	0.04	5.1	21	3	0.7	9	6	0	28	92	15.7	43.7	36
2H8/30-60	22	7	71	1.1	0.1	11	13	0.03	5.2	20	4	0.7	9	5	1	25	100	14.7	39.7	37
2H9/30-60	19	8	73	0.7	0.1	2.2	13	0.03	4.9	21	4	0.7	8	6	0	31	92	14.7	45.7	32
2H10/30-60	16	13	71	0.8	0.1	1.2	11	0.03	4.9	22	3	0.8	10	6	0	34	102	16.8	50.8	33

Anexo 3 – Granulometria, Micronutrientes e Fertilidade de 0-30cm.

	Areia	Silte	Argila	Cu	Zn	Mn	Fe	B	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H	S	SB	CTC	V
Desvio padrão	6.14	2.1	5.44	0.61	0.674	16.9	11.0	0.08	0.29	4.24	8.18	1.37	7.08	2.02	4.49	19.6	37.1	8.99	19.27	9.45
Média	23.3	11.4	65.3	2.29	0.426	18.7	31.1	0.16	4.21	29.7	8.26	3.23	14.1	4.97	6.99	68.7	104.	22.3	91.08	25.1
Erro padrão	0.64	0.22	0.57	0.06	0.071	1.77	1.15	0.00	0.03	0.44	0.86	0.14	0.74	0.21	0.47	2.06	3.89	0.94	2.02	0.99
Máximo	41	17	78	3.6	5.8	70.6	72	0.33	5.5	44	54	6.5	35	12	24	135	184	48.3	145.6	50
Mínimo	10	7	49	0.9	0.1	1.8	11	0.02	3.5	19	3	0.2	3	1	0	20	0	8.7	35.2	6
Coefficiente de variação	26.3	18.4	8.33	26.7	158.2	90.3	35.5	51.8	6.88	14.2	99.0	42.4	50.2	40.6	64.2	28.6	35.7	40.3	21.15	37.6
Variância da amostra	37.8	4.42	29.6	0.37	0.455	286	122.	0.00	0.08	18	67	1.89	50.2	4.08	20.1	387.	138	80.8	371.3	89.3

Anexo 4 – Granulometria, Micronutrientes e Fertilidade de 30-60cm.

	Areia	Silte	Argila	Cu	Zn	Mn	Fe	B	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H	S	SB	CTC	V
Desvio padrão	5.91	3.28	5.9	0.69	0.36	6.12	6.77	0.11	0.36	4.56	1.88	0.77	5.53	1.83	2.1	9.81	36.5	7.12	12.94	9.51
Média	21.6	11.5	66.9	1.31	0.24	5.04	18.5	0.14	4.75	22.7	3.96	1.05	12.1	5.15	1.7	37.0	97.8	18.2	55.3	32.9
Erro padrão	0.66	0.37	0.66	0.08	0.04	0.68	0.76	0.01	0.04	0.51	0.21	0.09	0.62	0.2	0.2	1.09	4.08	0.79	1.447	1.06
Máximo	41	33	80	3.1	2.2	37.6	45	0.35	6.1	43	12	4.7	30	11	9	72	205	43.2	109.2	55
Mínimo	9	6	51	0.2	0.1	0.2	9	0.02	3.9	16	2	0.3	5	2	0	18	0	7.4	37.3	15
Coefficiente de variação	27.36	28.52	8.81	52.6	150	121.	36.5	78.5	7.57	20	47.4	73.3	45.7	35.5	123.	26.4	37.3	38.8	23.4	28.8
Variância da amostra	34.9	10.7	34.8	0.47	0.13	37.5	45.9	0.01	0.13	20.8	3.53	0.59	30.6	3.34	4.6	96.3	133	50.7	167.6	90.5

IX - BIBLIOGRAFIA

CAMARGO, C. G. Eduardo. **Integração de geoestatística e sistemas de integração geográfica : uma necessidade.**1999.

<http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/gisbrasil99/geoest/gis>, 08/07/2000.

CARVALHO, O.S.;GASCÓ, J.M.; LOPÉZ, F.G.; REQUEJO, A S. **Variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 22:497-503,1998.

CORÁ,J.E.;MARQUES,J.,Jr. **Atributos do solo para Agricultura de Precisão .**In : Silva, F.M.da (coord). **Simpósio de Mecanização e Agricultura de Precisão . XXVII CONBEA.** Poços de Caldas. P.31-70.1998.

COUTO, E. G.; KLAMT, E. **Variabilidade espacial de micronutrientes em solo, sob pivô central no sul do estado de Mato Grosso.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, n. 12, pg. 2321-2329, Dez. 1999.

FRAISSE,C.W. **Agricultura de Precisão : a tecnologia de GIS/GPS chega às Fazendas.** Revista Fator GIS. Sagres Editora. Ano 5,n.21,p.28-31. Curitiba.1997.

HOSKINSON, R. L. **Using GIS in the national site-specific technologies for agriculture.** ASAE paper n° 953239, 8 p, 1995.

IAC. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais.** Editores: Bernardo VAN RAIJ, J.C. de Andrade, Heitor CANTARELLA, José Antonio QUAGGIO. Instituto Agrônômico de Campinas/ Campinas. 2001. 284p.

JAKOB, A. A E. **Estudo da correlação entre mapas de variabilidade de propriedades do solo e mapas de produtividade para fins de agricultura de Precisão.**_ UNICAMP (Dissertação de mestrado – FEAGRI).145 p.1999.

JOHNSON, R.C. **Target Farming - A Pratical Guide to Precision Farming Concepts and Tecnology.** 1996.

JONES, T. A . **Skewness and kurtosis as criteria of normality in observed frequency distributions.** Journal of Sedimentary Petrology. December, 1969. p.1622-1627.

KORTE, H.; YULE, I.J. **A comparison of Differential Global Positioning Systems for use in precision farm.** International Conference on Agricultural Engineering. Madri, 23 a 26 de set., V.2, p.1021-1022, 1996.

LIMA, CÍCERO A GRANGEIRO; SILANS, A P. de. **Variabilidade espacial da infiltração de água no solo.** Pesquisa Agropecuária brasileira, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2311-2320, dez. 1999.

MATHERON, G. **Principles of Geoestatistics. Economic geology.** El Paso, v.58.p.1246-1266, 1963.

MARTINHO, PAULO R. RODRIGUES. **Amostragem e análise geoestaística das propriedades dos solos em dois Latossolos vermelho sob plantio direto para aplicação em agricultura de precisão.** IAC , dissertação- novembro, 2000.

MILBY, R. (1996). **Precision Definitions.**
<http://www.precisionag.com/key.html>,05/08/2001.

OLIVEIRA, J.B.de; MENK, J.R.F., BARBIERI, J.L.; ROTTA C.L.; TREMOCOLDI, W. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de Araras.** Boletim Técnico Instituto Agrônômico, Campinas-SP, n°71, 180p, 1982.

SOUZA, E.G.; JOHANN, J.A.; ROCHA, J.V.; RIBEIRO, S.R.A.; SILVA, M.S.; URIBE-OPAZO, M.A.; MOLIN, J.P.; OLIVEIRA, E.F.; NÓBREGA, L.H.P.. **Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em um Latossolo roxo distrófico da região de Cascavel PR.** Revista de Engenharia Agrícola, 18(3): 80-82, Jaboticabal - SP. Março, 1999

STAFFORD, J.V. **Essential Technology for Precision Agriculture. Proceedings of 3rd International Conference. Minneapolis.** 23-26 de Junho, p.595-604, 1996

STAFFORD, J.V.; BOLAM, H.C. **Improving reliability of positin resolution using GPS for precision agriculture. International Conference on Agricultural Engineering.** Madri, V.2, p.985-986. 23 a 26 de Setembro de 1996.

TOMÉ Jr, J.B. **Manual para interpretação de análise de solo.** Guaíba- RS, editora: Agropecuária, 247p, 1997.

VIEIRA, S.R.. **Variabilidade espacial de argila, Silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo roxo de campinas (SP).** Bragantina, 56(1), 1997(a).

VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial.** Instituto Agrônômico de Campinas. 1997(b).

VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo.** Instituto Agrônômico de Campinas. Campinas/SP, 1999.

VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F.; MARIA, I. C. de; MARTINS, AL .M.; BORTOLETTO, N. **Mapeamento de atributos de solo e planta usando Geoestatística.** O estado da Arte da Agricultura de Precisão no Brasil, L .A Balastreire, pag.93-104, Fev.2000.

TORRES, F.P.; PROCHNOW, L.I. **Mapeamento de fertilidade do solo.** O estado da Arte da Agricultura de Precisão no Brasil, L.A Balastreire, pag.85-88, Fev.2000.