



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



Centro de Ciências  
e Tecnologia

**DISSERTAÇÃO**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE PARÂMETROS FÍSICO-  
HÍDRICOS NUM SOLO ALUVIAL DA MICROBACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIACHO SÃO PEDRO-PARAÍBA-BRASIL**

**ARISTÓTELES DE JESUS TEIXEIRA FILHO**

**Campina Grande - Paraíba**  
**FEVEREIRO - 2001**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE PARÂMETROS FÍSICO-HIDRÍCOS EM SOLO  
ALUVIAL DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO SÃO PEDRO-  
PARAÍBA, BRASIL.**

**ARISTÓTELES DE JESUS TEIXEIRA FILHO  
ENGENHEIRO AGRÔNOMO**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Paraíba – Campus II, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre (M.Sc.) em Engenharia Agrícola.

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

**ORIENTADORES: Prof. Dr. José Elias da Cunha Metri  
Prof. Dr. Tunkur Rajarao Gopinath**

**CAMPINA GRANDE - PB  
FEVEREIRO – 2001**



T266v Teixeira Filho, Aristóteles de Jesus  
Variabilidade espacial de parâmetros físico-hídricos num solo aluvial da microbacia hidrográfica do riacho São Pedro-Paraíba-Brasil / Aristóteles de Jesus Teixeira Filho.- Campina Grande: UFPB, 2001.  
101p.: il.  
Dissertação (Mestrado).UFPB/CCT  
Inclui Bibliografia  
1. Irrigação 2. Parâmetros Físico-hídricos 3. Variabilidade espacial 4. Dependência Espacial I. Título

DCU: 626.81/.84



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

ARISTÓTELES DE JESUS TEIXEIRA FILHO

Título: "Variabilidade espacial de parâmetros físico-hídricos num solo aluvial da microbacia hidrográfica do Riacho São Pedro-Paraíba-Brasil".

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Prof. Dr. José Elias da Cunha Metri-Orientador

APROVADO

Prof. Dr. Tunkur Rajarao Gopinath Co-Orientador

APROVADO

Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra-Examinador

Aprovado

Prof. Dr. Alain Marie Passerat de Silans-Examinador

Aprovado

FEVEREIRO - 2001

## Conceito

A ignorância ignóbil ultrapassa o sentido da fala  
Exprime o senso do horror robusto imaginário  
E, assim mesmo, os conceitos preestabelecidos ganham sentido  
Este sentido que nos falta acaba por sobrar em muitos inteligíveis  
Pois, o horror não figura medo sem conhecer  
O pavoroso não denota tranquilidade ao desconhecido  
Mais o conceito consensual expõe a loucura dos sóbrios  
E, ainda sim, conceito relato, relativo é relevante  
Como formas de modismos moderados  
Modere nas formas esdrúxulas de pinturas moldadas  
Pintura coloquial abastarda  
E mesmo depois formosura, relegate ao pensador a consciência  
E quem sabe, no afã de misericórdia, ele concorde que na loucura há prazer  
Prazer em magreza e em cada beleza que nossos olhos possam ver  
Prazer ao cego que consegue perceber a diversidade num toque  
E que de fato não se importa com pormenor  
Por entender que o chato não é enxergar  
E sim ver o que os olhos carnavais não podem alcançar  
Da sentido ao infimo inexato  
Ao cordial e ao formal mesmo desconhecendo a forma  
Mas, em tudo consenso há  
Por isso ao cego não lhe negue a vida  
Ao louco não menospreze a fala  
E a ti que ver, pode falar e sentir, seja menos preconceituoso,  
Algo que de fato não conseguimos ser, não somos.

(TEIXEIRA FILHO, Aristóteles de J.

In: Conceito, 17.10.2000)

**Ao nosso Deus por ter propiciado a essência de minha vida,  
E por estar comigo todo tempo o tempo todo,  
A Jesus Cristo pela ação por nós.**

### **DEDICO**

**A minha mãe Belinda Mária de Jesus  
Teixeira e a meu pai Aristóteles de  
Jesus Teixeira, e as inúmeras pessoas  
que de uma forma ou de outra,  
contribuíram para minha formação.**

### **OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade e encorajamento nas horas de alegria e de tristeza, e a Jesus Cristo por interceder nas minhas buscas e vitórias, pois está escrito em João 14:6 “Eu sou o caminho, a verdade e a vida. Ninguém vem ao Pai senão por mim”.

A Universidade Federal da Paraíba, e a Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências e Tecnologia, por propiciar a realização deste curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

A Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior (ABEAS) e a ETENE/ Banco do Nordeste, na pessoa do professor José Geraldo de Vasconcelos Baracuhy, pela colaboração e apoio.

Aos professores José Elias da Cunha Metri e Tumkur Rajarao Gopinath pelo apoio e orientação com que se dispuseram na condução do trabalho.

Ao Químico José Maria pela colaboração durante os trabalhos de laboratório, e aos demais funcionários pelo apoio até o final desta dissertação.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFPB, que contribuíram para minha formação profissional.

A Rivanilda S. de Almeida Diniz (secretária) pelo carinho e atenção durante esta jornada.

E a mim, pela existência na voz de meus pais, e de meu Pai, que caminha comigo todo tempo, o tempo todo.

## LISTA DE TABELAS

	<i>Págs.</i>	
Tabela 1	Intervalos de valores para densidade das partículas do solo.....	6
Tabela 2	Intervalos de valores para densidade global.....	7
Tabela 3	Intervalos de valores para porosidade total.....	9
Tabela 4	Momentos estatísticos dos dados de areia, silte e argila de 63 amostragens em transeto.....	35
Tabela 5	Parâmetros do modelo esférico ajustados a semivariogramas experimentais para o transeto.....	37
Tabela 6	Momentos estatísticos dos dados de areia, silte e argila obtidos de 25 determinações.....	38
Tabela 7	Parâmetros do modelo esférico ajustados a semivariogramas experimentais para a malha A.....	42
Tabela 8	Parâmetros do modelo esférico ajustado a semivariogramas experimentais para a malha B.....	43
Tabela 9	Momentos estatísticos dos dados de densidade real ( $D_r$ ) de 63 amostragens em transeto.....	47
Tabela 10	Momentos estatísticos dos dados de densidade real ( $D_r$ ) obtidos de 25 determinações.....	50
Tabela 11	Momentos estatísticos dos dados de densidade aparente ( $D_a$ ) de 63 amostragens em transeto.....	53
Tabela 12	Momentos estatísticos dos dados de densidade aparente ( $D_a$ ) obtidos de 25 determinações.....	56
Tabela 13	Momentos estatísticos dos dados da porosidade total ( $P_t$ ) de 63 amostragens em transeto.....	60
Tabela 14	Momentos estatísticos dos dados de porosidade total ( $P_t$ ) obtidos de 25 determinações.....	62
Tabela 15	Momentos estatísticos dos dados de capacidade de campo (CC) ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD) de 63 amostragens em transeto.....	66
Tabela 16	Momentos estatísticos dos dados de capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD) obtidos de 25 determinações.....	70
Tabela 17	Alcances e coeficientes de variação (CV) para o sistema de amostragens em transeto e nas malhas A e B.....	76



## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura</i>		<i>Página</i>
1	Classes texturais de solos propostas pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS).....	4
2	Representação da função semivariograma com patamar.....	18
3	Principais modelos de semivariogramas teóricos.....	19
4	Resumo das principais características dos semivariogramas. (A) cálculo por número de pares; (B) conceitos de zona de influência e efeito pepita.....	20
5a	Localização da microbacia do Riacho São Pedro no Estado da Paraíba, Brasil.....	24
5b	Local de amostragem do experimento no interior da microbacia hidrográfica do Riacho São Pedro.....	24
6	Croqui da área amostrada (c) o esquema de amostragem utilizado para o sistema transeto (t) e para as malhas A e B (m).....	30
7	Histogramas de freqüência das propriedades texturais do solo, em transeto.....	34
8	Semivariogramas teóricos ajustados aos semivariogramas experimentais com mais de um modelo variográfico para as propriedades texturais do solo, com as estimativas dos parâmetros efeito pepita, patamar e alcance, em transeto.....	36
9	Histogramas de freqüência para areia, silte e argila – malha A (a) e malha B (b).....	39
10	Semivariogramas experimentais para os dados reais das propriedades texturais do solo – malha A (a) e malha B (b).....	41
11	Semivariogramas teóricos ajustados à semivariogramas experimentais para as propriedades texturais do solo, com as estimativas dos parâmetros efeito pepita, patamar e alcance – malha A (a) e malha B (b).....	44
12	Histograma de freqüência para densidade real do solo, em transeto..	46
13	Semivariograma teórico ajustado ao semivariograma experimental	

	com mais de um modelo variografico para densidade real do solo com as estimativas dos parâmetros efeito pepita, patamar e alcance em transeto.....	48
<b>14</b>	Histogramas de freqüência para densidade real – malha A (a) e malha B (b).....	49
<b>15</b>	Semivariogramas experimentais para os dados originais de densidade real do solo – malha A (a) e malha B (b).....	51
<b>16</b>	Semivariogramas teóricos ajustados à semivariogramas experimentais para densidade real do solo com as estimativas dos parâmetros efeito pepita, patamar e alcance – malha A (a) e malha B (b).....	51
<b>17</b>	Histograma de freqüência para densidade aparente do solo, em transeto.....	53
<b>18</b>	Semivariograma teórico ajustado ao semivariograma experimental para densidade aparente do solo com efeito pepita puro ( $C_0 = 0,0065$ ) em transeto.....	54
<b>19</b>	Histogramas de freqüência para densidade aparente – malha A (a) e malha B (b).....	56
<b>20</b>	Semivariogramas experimentais para os dados originais de densidade aparente do solo – malha A (a) e malha B (b).....	57
<b>21</b>	Semivariogramas teóricos ajustados à semivariogramas experimentais para densidade aparente do solo com as estimativas dos parâmetros efeito pepita, patamar e alcance – malha A (a) e malha B (b).....	58
<b>22</b>	Histograma de freqüência para porosidade total do solo em transeto	59
<b>23</b>	Semivariograma teórico ajustado ao semivariograma experimental para porosidade total, com efeito pepita puro, em transeto.....	61
<b>24</b>	Histogramas de freqüência para porosidade total – malha A (a) e malha B (b).....	63
<b>25</b>	Semivariogramas experimentais para os dados reais de porosidade total do solo – malha A (a) e malha B (b).....	63
<b>26</b>	Semivariogramas teóricos ajustados à semivariogramas experimentais para porosidade total do solo e as estimativas dos	

	parâmetros efeito pepita, patamar e alcance – malha A (a) e malha B (b).....	64
27	Histogramas de frequência para capacidade de campo (CC) ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível para as plantas (AD) em transeito.....	67
28	Semivariogramas teóricos ajustados a semivariogramas experimentais com mais de um modelo variográfico para capacidade de campo (CC) ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível para as plantas (AD) com as estimativas dos parâmetros efeito pepita, patamar e alcance, em transeito.....	68
29	Histogramas de frequência para a capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas – malha A (a) e malha B (b).....	71
30	Semivariogramas experimentais para os dados reais de capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas – malha A (a) e malha B (b).....	72
31	Semivariogramas teóricos ajustados à semivariogramas experimentais para C.C., P.M.P. e A.D. com as estimativas dos parâmetros efeito pepita, patamar e alcance – malha A (a) e malha B (b).....	74

## SUMÁRIO

	<i>págs.</i>
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Parâmetros físico hídricos dos solos.....	3
2.1.1 Análise granulométrica ou distribuição do tamanho das partículas.....	3
2.1.2 Densidade real ou das partículas.....	4
2.1.3 Densidade global ou aparente.....	6
2.1.4 Porosidade total (Pt).....	8
2.1.5 Capacidade de campo (CC).....	9
2.1.6 Ponto de murcha permanente (PMP).....	11
2.1.7 Água disponível (AD).....	12
2.2 Análise geoestatística e variabilidade espacial das propriedades físico-hídricas do solo.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1. Localização do experimento.....	23
3.2. Descrição do ecossistema.....	25
3.2.1 Clima.....	25
3.2.2 Solo.....	25
3.2.3 Relevo.....	26
3.2.4 Vegetação.....	27
3.2.5 Hidrografia.....	27
3.2.6 Aspectos econômicos.....	27
3.3 Desenvolvimento do experimento.....	28
3.3.1 Coleta e preparo das amostras.....	28
3.3.2 Análise físico-hídricas.....	31
3.3.3 Ferramentas utilizadas nas análises dos dados.....	31
4 RESULTADO E DISCUSSÃO DE VARIABILIDADE ESPACIAL.....	33

4.1. Textura (distribuição do tamanho das partículas).....	33
4.1.1. Sistema de amostragem em transeto.....	33
4.1.2 Sistema de amostragem nas malhas A e B.....	38
4.2. Densidade real ( $D_r$ ).....	46
4.2.1 Sistema de amostragem em transeto.....	46
4.2.2. Sistema de amostragem nas malhas A e B.....	49
4.3. Densidade aparente ( $D_a$ ).....	52
4.3.1. Sistema de amostragem em transeto.....	52
4.3.2. Sistema de amostragem nas malhas A e B.....	55
4.4. Porosidade total ( $P_t$ ).....	59
4.4.1. Sistema de amostragem em transeto.....	59
4.4.2. Sistema de amostragem nas malhas A e B.....	61
4.5. Capacidade de campo (CC) ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível para as plantas (AD).....	65
4.5.1. Sistema de amostragem em transeto.....	65
4.5.2 Sistema de amostragem nas malhas A e B.....	69
5 CONCLUSÕES.....	77
6 BIBLIOGRAFIA.....	79
APÊNDICES.....	88

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade espacial de alguns parâmetros físico-hídricos do solo aluvial (classe textural média franco argilo-arenoso) da microbacia hidrográfica do Riacho São Pedro, do assentamento rural da comunidade de "Paus Branco", localizado na Região Fisiográfica da Borborema Oriental, da microregião homogênea do Cariri Paraibano, em Campina Grande – PB; com fins de solucionar problemas sobre o manejo da água de irrigação. Esses solos aluviais se caracterizam por estarem relacionados com o processo de deposição e sedimentação de material fluvial e são constituídos da alternância de camadas de sedimentos estratificados sem definida seqüência e evolução pedogenética. Na primeira etapa, deste trabalho, as amostras foram obtidas em transeto, espaçadas de 50 metros, em pontos equidistantes e totalizaram um número de 63 amostras, em um comprimento de terreno de 3,15 Km. Na segunda etapa, as amostras foram obtidas em duas malhas quadradas de 40 x 40 metros, espaçadas de 10 metros, sendo as mesmas coletadas em locais distintos, no sentido mais largo do terreno. As duas malhas A e B, foram amostradas ao longo do transeto, com a finalidade de se verificar detalhadamente o efeito da distância na variabilidade das amostras, no sentido bidimensional; já que, no transeto as amostras variam unidirecionalmente. Os dados foram interpretados pela estatística e geoestatística, tanto para o sistema de amostragem em transeto como para o sistema de amostragem nas malhas A e B. As variáveis areia, silte, argila, densidade real e aparente, porosidade total, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas, mostraram distribuição estatística de forma bimodal e/ou multinodal com pequena assimetria e curtose. A análise variográfica das variáveis areia, silte, argila, densidade real, porosidade total, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas, mostraram presença de estrutura variográfica na área de estudo. A presença de correlação e variância espacial, destacaram-se muito bem no transeto, devido o maior número de amostras e, também, devido a extensão da área, já que nas malhas A e B, a área e o número de amostras foram limitados. As propriedades texturais do solo (areia, silte e argila) apresentaram distâncias de dependência espacial em transeto e nas malhas A e B. Para amostragens aleatórias em transeto e nas malhas A e B, deve-se considerar a distância de dependência espacial para densidade real e porosidade total. A densidade aparente

apresentou efeito pepita puro no transeto e na malha B. Entre as propriedades hídricas do solo, a capacidade de campo foi a mais heterogênea, com CV da ordem de 44,8%. A capacidade de campo, o ponto de murcha permanente, e a água disponível para as plantas, apresentaram alcance de dependência espacial, no transeto e nas malhas A e B. Levando em consideração os limites estabelecidos por Warrick & Nielsen (1980) e Gomes (1984), a variabilidade das componentes densidade aparente, densidade real e porosidade total, tanto em transeto, como nas malhas A e B, foram muito pequenas. Os alcances ou áreas de influências obtidas através dos semivariogramas poderão ser utilizados em futuras amostragens com fins de elaboração de projetos de irrigação. Os alcances obtidos para a capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas, são importantes para os planos de irrigação que forem usados na área do estudo.

## ABSTRACT

The objectives of present work was to study the spatial variability of physical-hydrological parameters of an alluvial soil of the hydrological microbasin of the 'Riacho São Pedro' in 'Paus Branco' Rural Community, located in "Região Fisiográfica Borborema Oriental" of Cariri Paraibano homogeneous microregion, Campina Grande – PB and try to solve problems on irrigation water management. The alluvial class embraces soils characterized by depositional process and sedimentation of fluvial materials; they consist of alternate layers of stratified sediments without any sequence and pedogenetic evolution. Consequently, they usually form superposed layers of different texture, in agreement with the deposition cycle. Aiming the study of the spatial variability of some physical-hydrological parameters, in a first stage, samples were obtained in "transecto", spaced 50 meters, in equidistant points totalizing 63 samples along a line of 3.15 km. In a second stage, samples were obtained on two 40 x 40 meters grids, spaced 10 meters, in the widest direction of the land. The data was interpreted by the classical statistics and geostatistics, for general and spatial analysis, for the sampling system in transecto and sampling system in the grids A and B. The variables sand, silt, clay, real and global density, total porosity, field capacity, permanent wilting point and available water for the plants are of bimodal and/or multimodal form with small asymmetry and kurtoses. The variographic analysis of the variables sand, silte, clay, real density, total porosity, field capacity, wilting point permanent and available water, reveal presence of variographic structure in the study area. The spatial correlation and spacial variance, stands out better in the transecto, due the largest number of samples, and also, due to extension of the area, than in the grids A and B, where the area and the number of samples were limited. The textural properties of the soil (sand, silt and clay) presented space dependence in transecto and in the grids A and B. For casual samplings in the transecto and in the grids A and B, must be considered the distance of space dependence for real density and total porosity. The global density showed pure nugget effect in the transecto and in the grid B. Among the hydrological properties of the soil, the field capacity was the most heterogeneous, with a variation coefficient of the order of 44,8%. The field capacity, the permanent wilting point, and the available water for the plants showed a range of space dependence, in the transecto and in the meshes A and B. Considering the limits established by Warrick & Nielsen



(1980) and Gomes (1984), the variability of the global density, real density and total porosity were very small in the transecto, as well as in the grids A and B. A small variability was observed for the real and global density and for the total porosity in the transecto and in the grids A and B. The range or areas of influences obtained through the semivariogramas can be used in future samplings with the objective of elaboration of irrigation projects. The ranges obtained for the field capacity, permanent wilting point and available water, are important to decide which irrigation method should be implanted.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Reichardt (1985) o termo solo é considerado como sendo a camada externa e agriculturável da superfície terrestre. O solo é um corpo natural complexo e dinâmico resultante da ação conjunta de muitos fatores de formação, tais como, o clima (principalmente temperatura e precipitação pluviométrica), organismos vivos, material de origem, relevo e tempo. Pode-se dizer que o solo é o resultado da ação do clima e dos seres vivos, ao longo do tempo, sobre o material de origem situado no meio ambiente local. Dependendo da intensidade dos fatores de formação ou da predominância de outros fatores, os solos são formados com diferentes características químicas e físicas. O material de origem é o elemento passivo e a sua composição química é bem definida, mas, durante a pedogênese pode haver adição, remoção, transformação e translocação de elementos químicos no processo (Oliveira, 1972; Vieira, 1988). Estes fatores, em maior ou menor intensidade, determinam as características químicas e físicas dos solos. Portanto, apresentam grande variabilidade em suas características, dependendo de onde estão situados. Beckett & Webster (1971) citados por Sousa (1998), indicam as diferenças climáticas regionais, como um dos fatores responsáveis pela variação dos solos e ainda acrescentam a ação do homem como fator de variabilidade, principalmente nas características químicas do solo.

A variabilidade espacial das propriedades do solo vem sendo umas das preocupações dos pesquisadores, praticamente desde o início do século. A título de

exemplo, Vieira (1998) informa que Robinson e Lloyd em 1915 e Pendleton em 1919 estudaram os erros de amostragens e as diferenças entre solos do mesmo grupo. Muitos experimentos, não tiveram continuidade no tempo, porque a presença da variação espacial requer o uso de um tipo de estatística, chamada geoestatística, que surgiu na África do Sul, quando Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia encontrar sentido nas variâncias, se não levasse em conta a distância entre amostragens. Para este caso, a geoestatística possui um método de interpolação chamado krigeagem que usa a dependência espacial, entre amostras vizinhas, expressa em um semivariograma para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e variância mínima.

O conhecimento prévio da variabilidade espacial dos parâmetros físico-hídricos de um solo é de fundamental importância para o manejo de água de irrigação, permitindo o zoneamento de áreas em glebas com manejo diferenciado. Entretanto, o conhecimento dos parâmetros necessários para elaboração de projetos racionais de irrigação, leva em consideração a facilidade com que a água se movimenta no solo e sua disponibilidade para as plantas. A aeração e porosidade, entre outros parâmetros do solo, são também indispensáveis aos processos de planejamento e dimensionamento da irrigação e drenagem de terras agrícolas. Por isto, estes parâmetros são normalmente determinados em laboratórios, quais sejam: densidade global e real; capacidade de campo e ponto de murcha permanente; porosidade, curva característica da umidade do solo e água disponível para as plantas.

O presente trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade espacial de alguns parâmetros físico-hídricos (densidade real e aparente, porosidade total, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas) em um solo aluvial da Microbacia Hidrográfica do Riacho São Pedro, no assentamento rural da comunidade de Paus Branco, da cidade de Campina Grande – PB.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A caracterização dos solos, nos seus aspectos físico-hídricos, é de grande importância para o estudo do equilíbrio e das relações solo-água-planta-atmosfera, indispensável para o normal desenvolvimento das plantas e para uma racional elaboração dos projetos de irrigação (Vieira, 1986). Entre as características físico-hídricas devem-se considerar a distribuição do tamanho das partículas, densidade real ou da partículas, densidade global ou aparente, porosidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e condutividade hidráulica do solo (Carvalho, 1982).

### 2.1. Parâmetros físico hídricos dos solos

#### 2.1.1. Análise granulométrica ou distribuição do tamanho das partículas

A textura do solo é determinada pela análise granulométrica e as classes texturais (Figura 1) permitem classificar os componentes sólidos de acordo com seus diâmetros (Kiehl, 1979). A granulometria é a característica mais estável do solo, sofrendo modificações apenas com as práticas de manejo e cobertura vegetal (Baver *et al.*, 1973).

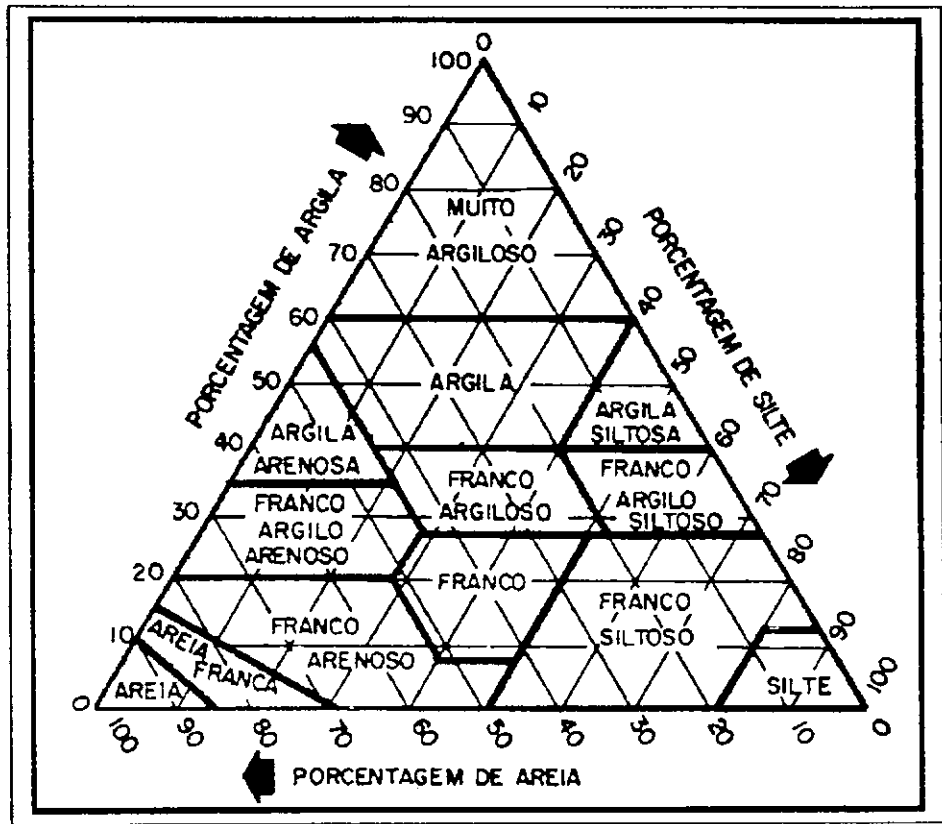


Figura 1. Classes texturais de solo, propostos pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) (Prevedello, 1996).

O uso mais importante da determinação da distribuição do tamanho das partículas refere-se à descrição, identificação e mapeamento de solos. No entanto, também é muito utilizado para prognosticar algumas propriedades físicas como é o caso da retenção de umidade, infiltração e condutividade hidráulica do solo, e algumas propriedades químicas do solo, como é o caso da capacidade de troca de cátions (Antônio & Dorfman, 1986).

2.1.2. Densidade real ou das partículas (Dr)

Segundo Kiehl (1979) a densidade real é definida como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solo e o volume ocupado pelas suas partículas

sólidas. Esta característica refere-se ao volume de sólidos de uma amostra de terra, sem considerar a porosidade. A densidade real do solo é calculada da seguinte forma:

$$Dr = \frac{Ms}{Vs} \quad (1)$$

Em que:

$Dr$  = densidade real,  $\text{g.cm}^{-3}$ ;

$Ms$  = massa do solo seco, g;

$Vs$  = volume dos sólidos ou das partículas do solo,  $\text{cm}^{-3}$ .

A importância da determinação da densidade real é devido ao seu uso nas expressões matemáticas, em que se calculam volumes ou massas de sólidos das amostras, no cálculo da porosidade total, utilizado na análise do tamanho das partículas baseada em sua taxa de sedimentação em líquido, segundo a lei de Stokes, e fornece uma idéia aproximada da composição mineralógica do solo, bem como, do seu conteúdo orgânico (Forsythe, 1973; Kiehl, 1979). A densidade das partículas depende de sua constituição e como esta varia relativamente pouco de solo para solo, ela não deverá variar excessivamente em um mesmo solo. Reichardt (1985) e Brady (1989), especificam a constituição das partículas do solo como sendo a composição química e a estrutura cristalográfica de partícula mineral. Pesquisas tem mostrado que a densidade das partículas será tanto menor quanto maior for o conteúdo da matéria orgânica no solo (Silva & Duarte, 1980).

Em 1981 Frazão citado por Andrade (1997) diz que a variação da densidade das partículas com a profundidade é, na maioria dos casos, uma decorrência da variação do conteúdo orgânico e da constituição mineralógica dos diversos horizontes do solo.

A massa específica dos minerais do solo varia de  $1,90 \text{ g.cm}^{-3}$  (opala) e  $5,30 \text{ g.cm}^{-3}$  (hematita, monazita), mas o valor  $2,6 \text{ g.cm}^{-3}$  é normalmente assumido como médio para a densidade das partículas, exceto para propósitos científicos (Prevedello, 1996). Estes intervalos são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Intervalos de valores para densidade das partículas minerais do solo (Prevedello, 1996).

Minerais	Densidade real (g.cm <sup>-3</sup> )
Caulinita	2,60 – 2,68
Hematita	4,90 – 5,30
Magnetita	5,18
Mica	2,70 – 3,00
Quartzo	2,65 – 2,66
Média	2,65

### 2.1.3. Densidade global ou aparente (Da)

Buckman e Brady (1983) definiram a densidade global como sendo a massa do solo contida numa unidade de volume de solo em seu estado natural de arranjo. A densidade global do solo é calculada da seguinte forma:

$$Da = \frac{M_s}{V_{Total}} \quad (2)$$

Em que:

Da = densidade aparente, g.cm<sup>-3</sup>;

M<sub>s</sub> = massa do solo seco, g;

V<sub>Total</sub> = volume total do solo, cm<sup>-3</sup>.

A densidade global é uma propriedade física do solo de grande importância para a verificação da condição estrutural, compactação e manejo do solo (Wilde, 1959, citado por Cirino, 1992). Este parâmetro não é constante, varia com a textura e estrutura do solo. Quanto maior a porosidade do solo menor o valor do seu peso específico aparente. Esta densidade aumenta com a profundidade devido o maior adensamento das camadas do solo, diminuição da matéria orgânica nas camadas inferiores, menor agregação e penetração das raízes (Kiehl, 1979; Reichardt, 1985, Prevedello, 1996).

A importância da densidade global é devido a sua utilização no cálculo da porosidade total, na transformação de dados analíticos obtidos em peso para volume, na verificação do grau de compactação e na elaboração de recomendações de manejo de solo e água (Kiehl, 1979; Reichardt, 1985).

A variação dos valores de densidade global são mais amplos do que os das partículas. Os solos soltos e porosos têm densidade global baixa ao passo que os densos e compactados, assim como os arenosos, devido as partículas estarem em contato mais íntimo, apresentam altos valores de densidade das partículas (Fernandez, 1987). Os intervalos de valores mostrados na Tabela 2, tem sido encontrados na superfície dos solos cultivados.

Tabela 2. Intervalos de valores para densidade aparente (Carvalho Guerra, 2000)

Classe textural	Da (g.cm <sup>-3</sup> )
Areia	1,3 - 1,6
Silte	1,1 - 1,5
Argila	0,9 - 1,1

De acordo com Fernandez *et al.* (1977) a maioria das culturas são seriamente afetadas quando a densidade global do solo ultrapassa 1,50 g.cm<sup>-3</sup>, essencialmente por duas razões: primeiro, devido a falta de O<sub>2</sub> para a respiração das raízes e, segundo, devido ao impedimento mecânico para o crescimento das raízes, limitando-se a zona de absorção de água e nutrientes.

Em seus estudos Gavande (1972) constatou que a movimentação de implementos agrícolas durante as diversas etapas da produção aumenta a densidade global e, conseqüentemente, produzem redução da porosidade total que, por sua vez, exercerá influência na capacidade de retenção de água, aeração, drenagem e condutividade hidráulica, afetando assim, a produtividade das culturas.

A determinação da densidade aparente dos horizontes de um perfil, desde a superfície até a de rocha, permite avaliar certas propriedades do solo, como a drenagem, a porosidade, a condutividade hidráulica, a permeabilidade ao ar e à água, a capacidade máxima de armazenamento de água (capacidade de saturação), o volume de sedimentação, a erodibilidade eólica e, finalmente, é o conhecimento da densidade aparente que fornece



informações para a recomendação da terra para determinadas culturas, como por exemplo, as produtoras de raízes e tubérculos, que preferem solos pouco densos (Kiehl, 1979).

#### 2.1.4. Porosidade total (Pt)

A porosidade total é definida como a percentagem do volume total do solo não ocupado por partículas sólidas (Soil Science Society of America, 1965). Expressando este mesmo parâmetro Baver *et al.* (1973) definiram esta porosidade como o volume de espaço poroso por volume total de solo. A porosidade total do solo pode ser obtida através da equação de Veihmeyer, da seguinte forma:

$$Pt = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) * 100 \quad (3)$$

Em que:

Pt = porosidade total, %;

Da = densidade aparente do solo, g.cm<sup>-3</sup>;

Dr = densidade real do solo, g.cm<sup>-3</sup>;

Pesquisadores tais como: Baver (1938) Rowles (1948) Wiersum (1957) Kiehl (1979) Prevedello (1996) reconhecem o papel do espaço poroso na retenção de água, aeração e no desenvolvimento do sistema radicular, ressaltando que mais importante que a porosidade total é a distribuição dos poros por seus tamanhos. Vomocil (1965) afirma que para muitos objetivos, tais como; movimento e armazenamento de água e gases, fluxo e retenção de calor, e desenvolvimento do sistema radicular, a simples determinação da porosidade total fornece informações de limitada importância, sendo mais importante a medição da distribuição dos poros por seu tamanho, visto que uma distribuição deficiente dos diferentes tamanhos dos poros pode provocar uma lenta movimentação de fluido ou, pelo contrário, pode proporcionar uma ótima difusão de ar como também da água, além dos limites aceitáveis. A medida da porosidade total indica a somatória de todos os poros, não dando nenhuma informação ou esclarecimento sobre seu tamanho e distribuição. Para

Grohmann (1960) dependendo da natureza da distribuição das partículas, o solo pode ter uma porosidade mínima de cerca de 30% e uma máxima de 80%. Normalmente, valores da porosidade do solo são da ordem de 40-60%, devido à reunião das partículas unitárias em microagregados e agregados do solo. Os intervalos de valores mostrados na Tabela 3, têm sido encontrado na superfície dos solos cultivados.

Tabela 3. Intervalos de valores para porosidade total (Prevedello, 1996).

Classes de Solo	Pt (%)
Arenosos	35 – 50
Siltosos e Francos	30 – 55
Argilosos	40 – 65
Húmiferos	60 – 80
Turfosos	80 – 85

De acordo com Gavande (1972) a porosidade total está formada pela soma das porcentagens de poros de diferentes tamanhos que atuam da seguinte forma: os poros grandes servem para a aeração e infiltração; os poros medianos para a condução de água e os poros pequenos para o armazenamento de água disponível para as plantas. A esse respeito Prevedello (1996) afirma que os diversos processos de transporte que ocorrem nos poros estão relacionados ao tamanho dos mesmos; os macroporos, por exemplo, são mais importantes para a drenagem da água do solo após a ocorrência de fortes chuvas ou inundações. Quando a água contida nos macroporos é drenada, os mesoporos ganham importância na redistribuição da água, sem haver uma diferenciação nítida nessa passagem. A partir daí esse movimento continua a se processar, muito mais lentamente, dentro dos microporos, e parte dessa água remanescente é que garante a sobrevivência de muitas espécies vegetais.

#### 2.1.5. Capacidade de campo (CC)

Em 1922 Israelsen e West citados por Ramirez e López (1993) definiram a capacidade de campo como a quantidade de água, de um solo que tenha sido molhado

abundantemente por irrigação ou por chuva e depois deixado drenar livremente, evitando as perdas por evapotranspiração, até que a intensidade de drenagem seja desprezível. O tempo que se considera para que a drenagem seja desprezível, se tem fixado arbitrariamente, em 48 horas após umidecimento do solo. Segundo Veihmeyer & Hendrickson citados por Black (1975) a capacidade de campo pode variar desde menos de 10% em solos de textura grossa a mais de 30% para solos de textura fina.

A capacidade de campo não é um valor único do solo. O sistema dinâmico de remoção de água por meio de drenagem, evaporação e transpiração, e a água que se agrega por meio da chuva ou de irrigação, são fatores diversos, que nunca se obtém equilíbrio, incluindo a histerese, temperatura do solo, textura, estrutura, etc. Como consequência do sistema dinâmico e dos muitos fatores modificantes, a capacidade de campo deve considerar-se como característica das condições de campo e, portanto, só se pode determinar com exatidão no campo (Gavande, 1972; Black, 1975; Ramírez e López, 1993).

A capacidade de campo pode ser determinada por dois métodos clássicos: o de campo e o de laboratório. O método de campo consiste em saturar um solo e deixá-lo drenar livremente até que a taxa de drenagem seja desprezível. O método de laboratório mais aceito na prática é um método indireto que consiste em se retirar amostras do solo, a profundidades convenientes, e submetê-las, em um aparelho especial, a tensões de 0,3 atmosferas (para solos argilosos) e a 0,1 atmosfera (para solos arenosos) e, em seguida, determinar o teor de umidade presente nas amostras após ter sido drenada toda a água com tensões interiores às citadas (Silva e Duarte, 1980).

A capacidade de campo, como limite superior de água disponível, é influenciada não somente pela textura, matéria orgânica, porosidade e densidade aparente, mas também pela classe de solo, pela seqüência de horizontes pedogenéticos, pelas espessuras dos horizontes ou seções e pelos contrastes texturais entre os horizontes. Além disso, podem também ser relevantes as condições existentes de umidade inicial e de natureza dos poros (Salter & Williams, 1965<sub>a</sub>; Oliveira e Queiroz, 1975; Boedt & Verheeye, 1985<sub>a</sub>; Vieira, 1986).

Procurando correlacionar a capacidade de campo com a curva de retenção de água do solo, Vieira (1986) propõe para obter a capacidade de campo, os seguintes critérios:

- a) solos muito argilosos e orgânicos: teor de umidade sob tensão de 1 bar;
- b) solos argilosos e barrentos: teor de umidade sob tensão de 0,33 bar;
- c) solos limosos e arenosos: teor de umidade sob tensão de 0,10 bar.

#### 2.1.6. Ponto de murcha permanente (PMP)

Em 1929 Veihmeyer & Hendrickson, citados por Salter & Haworth (1961), definiram o ponto de murcha permanente como sendo o conteúdo de umidade de um solo, quando as folhas das plantas em crescimento atingem um estado de murcha, a partir do qual não se recuperam quando colocadas em uma atmosfera saturada sem adição de água no solo.

Em 1973 Gairon descreveu uma completa metodologia para determinação do ponto de murcha permanente utilizando plantas de girassol nanico (*Helianthus annuus*). Trabalhos de pesquisa indicam que a umidade retida na tensão de 15 atm (determinada com o placa de pressão) tem sido amplamente usada como sendo o ponto de murcha permanente de diferentes solos agrícolas (Vieira, 1986).

Loveday (1974) Ramirez e López (1993) afirmaram que a murcha das plantas sob condição de campo depende não só da tensão da umidade do solo, mas também da taxa de evapotranspiração, da capacidade de desenvolvimento das raízes das plantas no solo e da condutividade hidráulica do solo. A murcha não ocorre a uma tensão fixa de umidade do solo para todas as plantas, porém, ao longo de uma escala de tensões que, para plantas de regiões temperadas, pode ocorrer entre 8-30 atm. Quinze atmosferas foi o valor escolhido como um número médio adequado em que, pode-se dizer, ocorre a murcha permanente.

Bernardo (1995), afirma que é muito difícil determiná-lo em condições de campo, por que o teor de umidade no solo, ou a sua tensão, varia com a profundidade, e sempre haverá movimento d'água de outros pontos para a zona do sistema radicular da planta indicadora do ponto de murcha. Segundo Gavande (1972) o ponto de murcha permanente é característica do perfil do solo que inclui não somente a quantidade de água no solo a varias profundidades, como também, a velocidade com que a água se movimenta

para as raízes da planta. Neste caso, considera-se não só a superfície do solo, mas todo solo em que crescem as raízes das plantas.

### 2.1.7. Água disponível (A.D)

Veihmeyer & Hendrickson citado por Boedt & Verheye (1985) conceituaram a “Água Disponível” do solo, para as plantas, como sendo a percentagem de umidade retida entre um limite superior e um limite inferior de disponibilidade de água para as culturas, respectivamente chamados de “Capacidade de Campo” e “Ponto de Murcha Permanente”. De acordo com Vieira (1986) o conhecimento desse valor é de muita importância para os projetos de irrigação.

Muitos pesquisadores tem discutido sobre a disponibilidade de água entre os limites da capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Assim Veihmeyer e Hendrickson (1950) salientam que a água presente neste intervalo, está igualmente disponível para as plantas, e o crescimento, e a transpiração das mesmas não é reduzido, mesmo que a umidade do solo diminua, sempre que se mantenha entre os limites citados. Outros estudiosos (Richards e Wadleigh, 1952; Stanhill, 1957, entre outros) sustentam que a água está menos disponível conforme o conteúdo de água diminui abaixo da capacidade de campo.

Outros experimentos tem demonstrado que nem toda a percentagem de umidade, contida neste intervalo, está igualmente disponível às plantas. Isto é, existe um ponto de umidade crítica, próprio de cada cultura, além do qual as disponibilidades diminuem, consideravelmente, a ponto de comprometer, seriamente, o rendimento da cultura (Doorenbos e Kassam, 1979). Desta forma, o Boletim 33 da FAO recomenda o cálculo das lâminas de água para projetos de irrigação, onde se pretende obter os máximos rendimentos dos cultivos, a partir do produto da lâmina de água disponível total pelo coeficiente de esgotamento limite ou limiar de água do solo, disponível para as plantas.

A água que um solo retém depende diretamente da distribuição do tamanho das partículas e é afetada pela textura e estrutura do solo (Salter & Williams, 1965<sup>b</sup>; Miranda, 1999). Fontes & Oliveira (1982) informaram que ao se comparar valores de disponibilidade de água de vários solos, devem-se levar em conta outros parâmetros, além

dos utilizados na sua obtenção, como por exemplo, as percentagens de areia, silte, argila, valor da CTC e matéria orgânica.

## 2.2. Variabilidade espacial das propriedades físico-hídricas do solo

Reichardt (1986) concluiu em sua pesquisa que o estudo sobre o comportamento da água no sistema solo-planta, precisam assumir observações e considerações sobre a variabilidade espacial e temporal das condições de campo. A representatividade dos dados obtidos em experimentos tem apresentado dificuldades nas diversas áreas da Ciência, devido à variabilidade espacial. Quando se trata da Ciência do Solo, as dificuldades tornam-se maiores, porque, sendo o solo resultante de uma série de fatores pedogenéticos o produto final é bastante heterogêneo com relação às características e propriedades físico-hídricas dos mesmos.

Medidas de parâmetros do solo e da planta, muitas vezes apresentam irregularidades que podem ou não estar distribuídas ao acaso em relação à sua distribuição espacial no campo. É, portanto, importante estabelecer critérios que definam espaçamentos entre medidas, frequência de observações e número necessário de observações para que o valor médio obtido caracterize o local estudado. Classicamente, os pesquisadores tem procurado alcançar estes objetivos por meio das mais diversas técnicas estatísticas, sem levar em conta sua distribuição espacial no campo (Reichardt, 1996).

Em 1986 Reichardt *et al.*, comentaram que a variabilidade espacial do solo não é um problema recente, tendo sido analisada sob vários ângulos distintos, desde o início do século. Outros pesquisadores (Cadina *et al.*, 1980; Vieira & Muzilli, 1984; Anjos *et al.*, 1994) também demonstraram as diferenças de várias ordens de magnitude entre valores de determinadas características em locais muito próximos, demonstrando assim a existência de variabilidade espacial do solo. A recente ênfase para a variabilidade espacial do solo, reside principalmente no fato de ser possível tirar proveito dela e, pela aplicação de técnicas modernas de análise estatística, compreender melhor os processos físicos que ocorrem no solo (Villagra *et al.* em 1988, citado por Andrade, 1997).

A técnica clássica ou “casual” e a técnica geoestatística ou “espacial” se completam, de maneira que, perguntas respondidas por uma, muitas vezes não podem ser

respondidas pela outra. A diferença básica entre a estatística clássica e a geoestatística, consiste em que, a primeira considera os valores das amostras sendo independentes espacialmente, enquanto que a segunda supõe que os valores das amostras são correlacionadas no espaço. Por esta característica, a geoestatística vem sendo aplicada na engenharia, principalmente para efetuar estimativas e/ou simulações de variáveis em locais não avaliados (Ricardo, 1995).

Quando o delineamento experimental para as estatísticas clássicas “casuais” é de parcelas (ou medidas) distribuídas de forma completamente irregular, a distância entre parcelas e sua distribuição, apesar de serem importantes e as mais variadas possíveis, não entram na análise. Por isso, nesses experimentos, o número de parcelas (ou medidas) é relativamente pequeno. Já o delineamento experimental para técnicas geoestatísticas, “espaciais” possui geralmente as parcelas (ou medidas) distribuídas em faixas (“transects”) ou malhas (“grids”) sendo cada uma espaçada da outra por uma medida constante. O resultado disso é que experimentos delineados segundo o modelo casual só podem ser analisados por técnicas geoestatísticas com muitas dificuldades. O contrário é possível, pois o número de observações de experimentos casuais é geralmente muito grande e uma certa porcentagem pode ser escolhida ao acaso para tratamento casual (Reichardt, 1996).

Os métodos estatísticos que utilizam os procedimentos considerados como pertencentes à estatística clássica (Fisher, 1956) encontram-se muito bem descritos e podem ser consultados em vários textos e trabalhos de aplicação da estatística clássica (Nielsen *et al.*, 1983; Gomes, 1984). A análise básica dos dados através dos métodos clássicos, constitui-se em uma etapa praticamente obrigatória, quando se trabalha com amostragem e processamento de uma quantidade significativa de dados e de variáveis. Estes métodos, além de analisar os dados quanto a sua variabilidade espacial, possibilitam também análise interpretativa quanto aos modelos de distribuição de probabilidades, correlações e ajustes de funções de regressão. Para o caso do estudo de variabilidade de valores numéricos, a análise é feita pela estimativa da variância, desvio-padrão, e, conseqüentemente, pelo coeficiente de variação. Warrick & Nielsen (1980) consideram que um coeficiente de variação (CV)  $\geq 52\%$  indica elevada variabilidade do parâmetro físico do solo estudado.

Libardi *et al.* (1986) comentaram que na ampla diversidade da ciência do solo, a estatística sempre se fez necessária, na avaliação das propriedades físico-hídricas do solo. Os métodos da estatística clássica baseiam-se em determinadas hipóteses que

concorrem para procedimentos generalizados, tais como, selecionar local representativo, retirar amostras ao acaso para controle das tendências, evitar locais espacialmente variáveis para controle dos erros e trabalhar somente com um conjunto de amostras, sem levar em consideração os espaços geográficos entre amostras, aos quais elas possam pertencer. A característica principal desses métodos estatísticos é que eles permitem medir o erro cometido ao se fazer as estimativas das variáveis, já que além de calcular o valor representativo desta variável, permite conhecer, de acordo com um grau de precisão, a variação esperada em torno do valor verdadeiro da variável estudada. Outra vantagem adicional deste método é que ele permite constatar se existe ou não correlação entre diferentes variáveis. Por exemplo, se o fato de uma delas crescer implica no crescimento da outra, ou vice-versa.

Outra técnica usada nos estudos de variabilidade espacial é a análise geoestatística, concebida e idealizada por Matheron (1962) que constitui um critério científico moderno de interpretação e estudo do processo de variabilidade espacial das variáveis regionalizadas, tais como, propriedades físicas do solo, caracterizada pela distribuição no espaço de uma amostra para outra. Ou seja, enquanto na estatística clássica as amostras são coletadas ao acaso, ignorando-se a sua posição geográfica, na geoestatística os locais de amostragem são de grande importância. Isto acontece devido ao fato de que uma função que varia de um lugar para outro, no espaço, com certa aparência de continuidade, são variáveis cujos valores estão relacionados de algum modo com a posição espacial que ocupam. Tais variáveis são conhecidas como variáveis regionalizadas (David, 1977; Journel & Huijbregts, 1975).

A geoestatística é baseada nos conceitos das funções aleatórias, variáveis regionalizadas e estacionaridade. É importante, antes de qualquer consideração sobre geoestatística, o conhecimento desses conceitos (Trangmar *et al.*, 1985).

Gonçalves em 1997, citado por Coelho Filho (1998) afirma que uma variável aleatória pode ser entendida como uma função que associa a cada valor "s" em um espaço amostral "S", um número real "Z(s)". Ou seja, uma medida qualquer no espaço amostral corresponde a apenas uma realização de uma variável aleatória, a qual deve variar segundo alguma lei de distribuição de probabilidades. Uma variável regionalizada "Z(s)" é definida por Journel & Huijbregts (1978) como sendo uma realização particular de uma variável aleatória "z" que assume um valor qualquer em função da sua localização espacial dentro de uma determinada região. Considerando-se todos os valores possíveis de uma



variável regionalizada “Z(s)”, amostrando-se todos os pontos de uma região, a variável regionalizada “Z(s)” passa a ser pertencente a um conjunto de infinitas variáveis aleatórias dentro de uma região. O conjunto de todas as variáveis aleatórias em uma região é chamado de uma função aleatória “Z(s)”.

Com uma única amostragem não se pode fazer inferências estatísticas, pois a variável regionalizada é resultado único de uma função aleatória “Z(s)”. Então, quando se quer estimar valores para os locais não amostrados, certas hipóteses devem ser assumidas ou seja, a variável deve ser estacionária estatisticamente. Uma variável regionalizada é estacionária se os momentos estatísticos de “Z(s)” e “Z(s+h)” forem os mesmos para qualquer vetor “h”. No entanto, esta afirmação pode ser muito rígida para a geoestatística, basta apenas assumir alguns momentos estatísticos.

A hipótese de estacionaridade de primeira ordem é satisfeita se os incrementos dos momentos de primeira ordem da variável aleatória for igual em toda região estudada. De acordo com Trangmar *et al.* (1985):

$$E[Z(s)] = m \quad (5)$$

Cuja média advém da estatística clássica, e:

$$E[(Z(s) - Z(s+h))] = 0 \quad (6)$$

Em que: h é o vetor de separação de dois locais de amostragem.

A estacionaridade de segunda ordem é satisfeita se, além de atender à hipótese anterior, a covariância “C(h)” entre duas variáveis, existir e for independente da posição em que as amostras estão situadas na região, dependendo apenas da distância “h” que as separa (Vauclin *et al.*, 1983):

$$C(h) = E[Z(s) - m][Z(s+h) - m] \quad (7)$$

Satisfeita a hipótese de estacionaridade de ordem 2, a covariância e a semi variância são ferramentas equivalentes na caracterização de uma autocorrelação entre duas variáveis separadas por uma distância “h”. A existência da estacionaridade permite a

repetição de um experimento mesmo que as amostras sejam coletadas em pontos diferentes, pois, todas as amostras são consideradas pertencentes a uma população com os mesmos momentos estatísticos (Vieira *et al.*, 1983).

A estacionaridade de segunda ordem implica na existência de variância finita dos valores, ou seja, "VAR [Z(s)] = C(o)". Segundo Vieira *et al.* (1983) e Vauclin *et al.* (1983) esta hipótese é muito rigorosa e, para muitos fenômenos físicos, ela não é satisfeita. Neste caso, é necessário assumir uma hipótese que seja menos restritiva, hipótese intrínseca (Journel & Huijbregts, 1978). Segundo Trangmar *et al.* (1985) a hipótese de segunda ordem implica na hipótese intrínseca, sendo que a recíproca não é verdadeira. Além da hipótese de primeira ordem ter que ser definida, a hipótese intrínseca requer apenas que a variância do incremento [Z(s) - Z(s+h)] seja finita, não dependendo da posição que esteja e sim do vetor "h" que as separa:

$$\text{VAR} [Z(s) - Z(s+h)] = E[Z(s) - Z(s+h)]^2 = 2\gamma(h) \quad (8)$$

Assumindo-se a hipótese intrínseca, a função semivariância deve ser utilizada para caracterizar a correlação espacial. O semivariograma informa o grau de dependência que existe entre amostras pertencentes a um processo estocástico e fornece os parâmetros necessários para realização do processo de interpolação pela "krigeagem". Define-se, então, a semivariância [ $\gamma(h)$ ], como a metade do quadrado das diferenças dos pares de amostras Z(s) e Z(s+h):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z(s_i) - Z(s_i + h)]^2 \quad (9)$$

Considerando todos os pares possíveis, que irão depender da malha amostrada, a semivariância pode ser calculada pela equação a seguir:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2r(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(s_i) - Z(s_i + h)]^2 \quad (10)$$

Em que:  $n(h)$  é o número de pares de valores medidos " $Z(s_1)$ ", " $Z(s_1+h)$ ", separados por um vetor " $h$ ". O semivariograma experimental é construído graficamente, plotando-se os valores da semivariância em relação aos diferentes valores de " $h$ " (Figura 2).

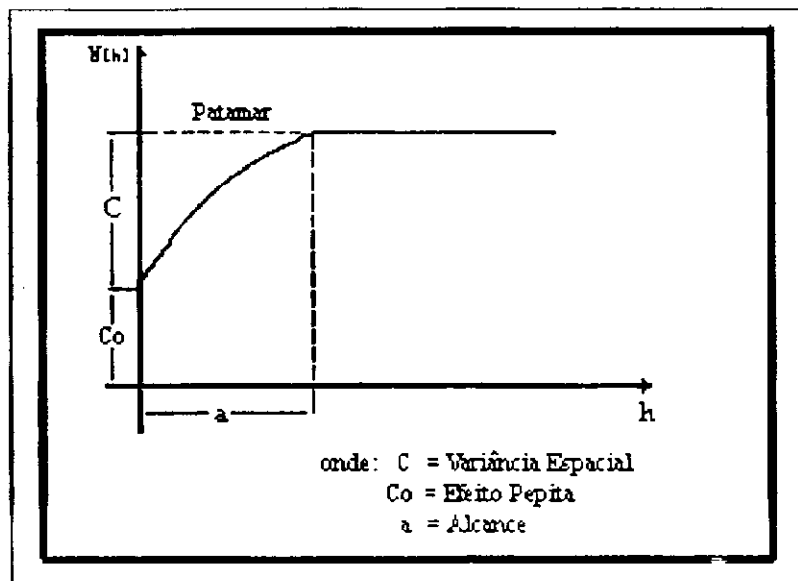


Figura 2. Representação da função semivariograma com patamar.

Para Valente (1982) essa função matemática trás consigo toda uma ferramenta estruturante. O variograma expressa, por exemplo, a correlação espacial entre pares de pontos das V.R., a partir de pontos do espaço distanciados de sucessivos valores " $h$ ". A construção de um variograma "honesto" só se consegue quando para um dado fenômeno existir estruturação detectável, em determinada escala (para uma dada malha de amostragem).

Existem três tipos de variogramas a saber: Experimental, Teórico e o Verdadeiro. O *variograma experimental ou observado*, é o único conhecido por que provém do conjunto de amostras obtidas durante a amostragem. O variograma que melhor se ajusta ao variograma experimental e que, a partir dele, se realiza inferências com relação ao variograma verdadeiro, é conhecido como *variograma teórico*. O dito *variograma verdadeiro* é aquele variograma real do depósito, matematicamente correto, sendo para nós desconhecido.

Durante o estudo variográfico tenta-se chegar ao variograma teórico que mais se ajusta ao variograma experimental, pois desta maneira, pode-se realizar inferências

diante de um possível variograma real. Entre os modelos teóricos conhecidos estão os semivariogramas: esféricos, exponencial, parabólico, logarítmico e linear (Figura 3).

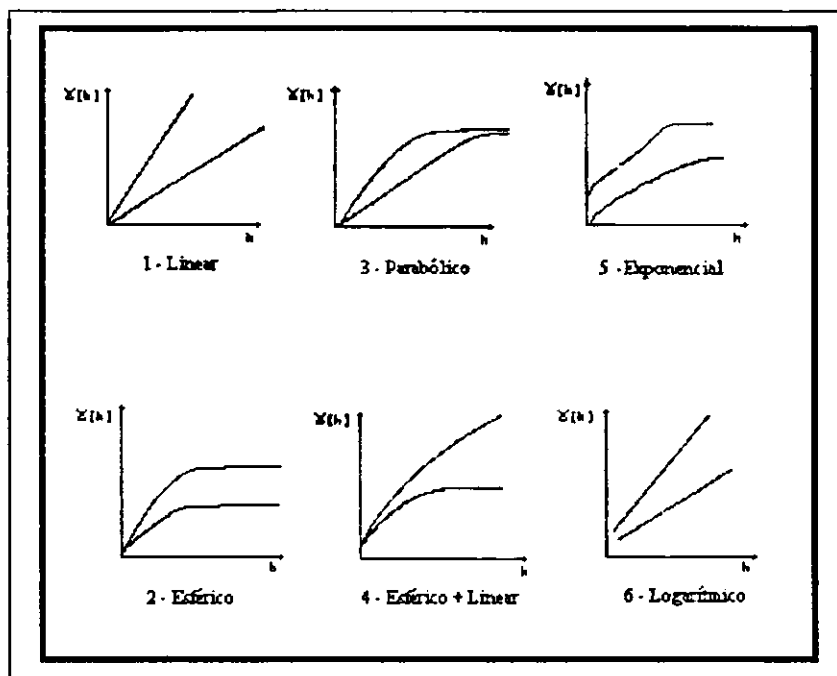


Figura 3. Principais modelos de variogramas teóricos.

O ajuste poderá ser feito visualmente, procurando-se uma melhor aproximação para os primeiros pontos do semivariograma, pois estes representam a melhor estrutura de dependência (Guerra, 1988). Ainda é possível ser utilizado os semivariogramas obtidos a partir de dados de semivariâncias originais e escalonados (Souza, 1998).

De acordo com Journel & Huijbregts (1978), a expressão matemática dessa função de distribuição pode ser representada como:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right], \quad \forall h \in [0, a] \quad (11)$$

$l = \text{patamar}, \quad \forall h \geq a$

Em que:  $h$  = distância,  $C_0$  = efeito pepita;  $C$  = patamar e  $a$  = área de influência

A dependência das observações é avaliada pelo semivariograma que são ajustados à funções simples, segundo um modelo matemático. Essa função é caracterizada por três grandezas principais (Figura 4). A distância na qual estas observações começam a ficar independentes, próxima da variância da população, é chamado de alcance ou amplitude “ $a$ ” (range) ou grau de influência, que geralmente é considerado como a distância na qual a função atinge o patamar “Sill”. O efeito pepita “ $C_0$ ” (nugget effect) representa a descontinuidade do semivariograma próximo da origem, e abrange flutuações no solo que ocorrem a distâncias mais curtas que o intervalo de amostragem, definindo a precisão da interpolação. Esse parâmetro é obtido pela intercessão da reta inicial com o eixo das ordenadas y “ $h$ ” (Prevedello, 1987). A variância espacial “ $C$ ” é obtido de “ $C = (C_0 + C) - C_0$ ”.

O alcance estabelece o limite de dependência espacial entre as amostras, isto é, pode-se empregar a estatística clássica para distâncias maiores que o alcance. O patamar é atingido quando a variância dos dados torna-se constante com o aumento da distância entre as amostras, este parâmetro expressa a variância da população estudada (Reichardt, 1985).

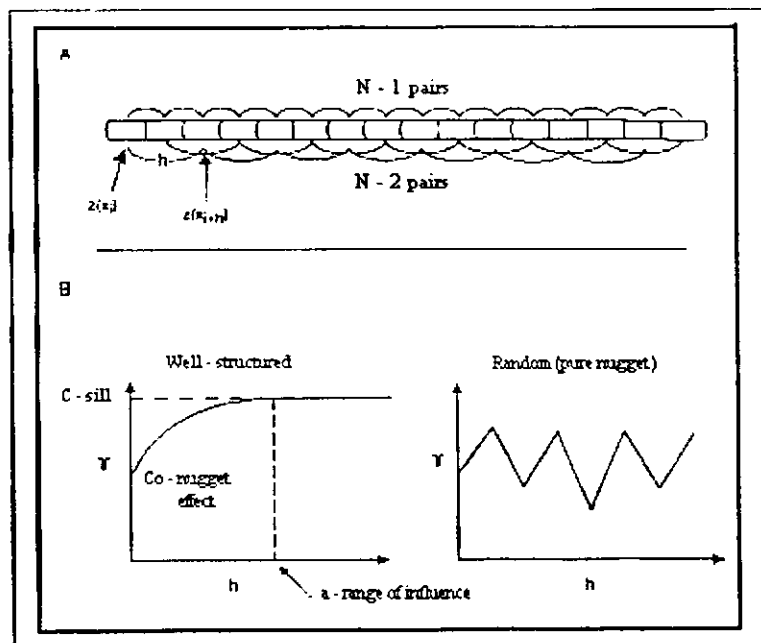


Figura 4. Resumo das principais características dos semivariogramas. Cálculo por número de pares (A); conceitos de zona de influência e efeito pepita (B) (Fonte: Newton *et al.*, 1997).

Na utilização da geoestatística, há necessidade de se conhecer a localização relativa das amostras no espaço e/ou no tempo, a partir da qual se pode calcular a estrutura da variância que expressa a dependência espacial entre as variáveis em estudo. Para expressar a variabilidade espacial destas variáveis, em função do espaço físico, três técnicas são utilizadas pela geoestatística (Silva *et al.*, 1989);

(a) Auto-correlação: processo de “auto-comparação” que expressa a correlação linear entre uma série espacial (ou tempo) e a mesma série num intervalo de espaço (ou tempo), onde se procura definir a distância (ou tempo) de separação entre observações além da qual não existe correlação espacial entre pares de valores (Vieira *et al.*, 1981).

(b) Variogramas: outra forma equivalente de expressar a dependência espacial (ou temporal) entre observações vizinhas de uma mesma série (Afonso, 1988);

(c) Análise espectral: ferramenta de grande utilidade quando se deseja estudar propriedades que variam de maneira cíclica no espaço ou no tempo (Vauclin, 1982; Nielsen, *et al.*, 1983). Através da densidade espectral, pode-se conhecer a repartição da variância total de um conjunto de observações entre diferentes frequências e então avaliar se essas frequências têm algum significado para o problema (Silva *et al.*, 1989). A densidade espectral pode ser calculada através da Série de Fourier (Davis, 1973).

Anjos *et al.* (1994) estudaram a variabilidade espacial das propriedades físico-hídricas, densidade global e real do solo, porosidade total, umidade gravimétrica condutividade hidráulica e velocidade de infiltração de água sob diferentes sistemas de manejo de solo e observaram diferentes graus de variabilidades espaciais com aumento da profundidade, indicadas pelo altos valores de variância, desvio-padrão e coeficiente de variação, destas mesmas propriedades analisadas. Carvallo Guerra & Gheyi (1984) também fizeram observações semelhantes ao estudarem a variabilidade espacial de solos minerais recuperados e mostraram a tendência do aumento da variabilidade espacial com o aumento da profundidade do solo.

Andrade (1997) cita que Vachaud e outros em 1985 apresentaram um estudo da estabilidade temporal da variabilidade espacial das medidas de umidade. Neste trabalho, demonstraram que determinados pontos de observação de umidade do solo sempre apresentam um desvio mínimo do valor médio do campo experimental, independentemente da época do ano e das condições de cultivo. Reichardt *et al.* (1984) e Kird *et al.* (1986) demonstraram que a variabilidade espacial da umidade do solo pode ser utilizada com

vantagem nos estudos da influência da umidade do solo sobre certos parâmetros, tais como, a absorção de nutrientes, produtividade e fixação biológica do nitrogênio.

No estudo da caracterização física de três solos do município de Areia - PB, Carvalho (1978), observou variações bastantes acentuadas, na capacidade de retenção de água em três amostragens a diferentes profundidades do solo. A explicação para tal variabilidade está no fato de que a retenção de água no solo depende da distribuição do tamanho dos poros. Assim, qualquer mudança nessa distribuição, originada por modificações na estrutura do solo, provocará, por sua vez, mudanças na curva de retenção. Nielsen *et al.* (1973) em trabalho sobre a variabilidade das propriedades da água no solo, enfatizaram que o teor de água tem distribuição normal com a profundidade, enquanto que os valores de sua condutividade hidráulica apresentam uma distribuição normal logarítmica.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Localização do experimento**

O experimento foi desenvolvido no assentamento “Paus Branco” da microbacia hidrográfica do Riacho São Pedro, localizado na Região Fisiográfica da Borborema Oriental, da microregião homogênea do Cariri Paraibano, em Campina Grande – PB ( Figura 5a). Esta microbacia está localizada entre as coordenadas geográficas  $7^{\circ} 24' 0''$  e  $7^{\circ} 22' 0''$  de latitude sul e  $36^{\circ} 00' 0''$  e  $36^{\circ} 03' 0''$  de longitude oeste do meridiano de Greenwich, ocupa uma área de 2.309,70 hectares, e a Figura 5b mostra a localização deste experimento.



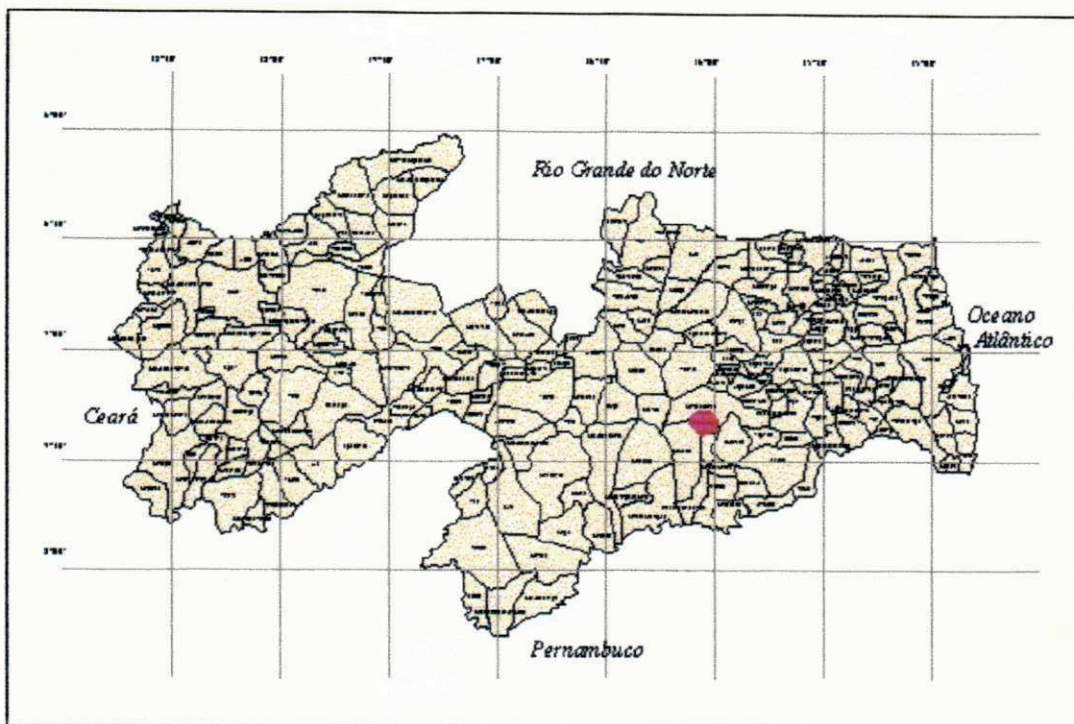


Figura 5a. Localização da Microbacia do Riacho São Pedro no Estado da Paraíba, Brasil.

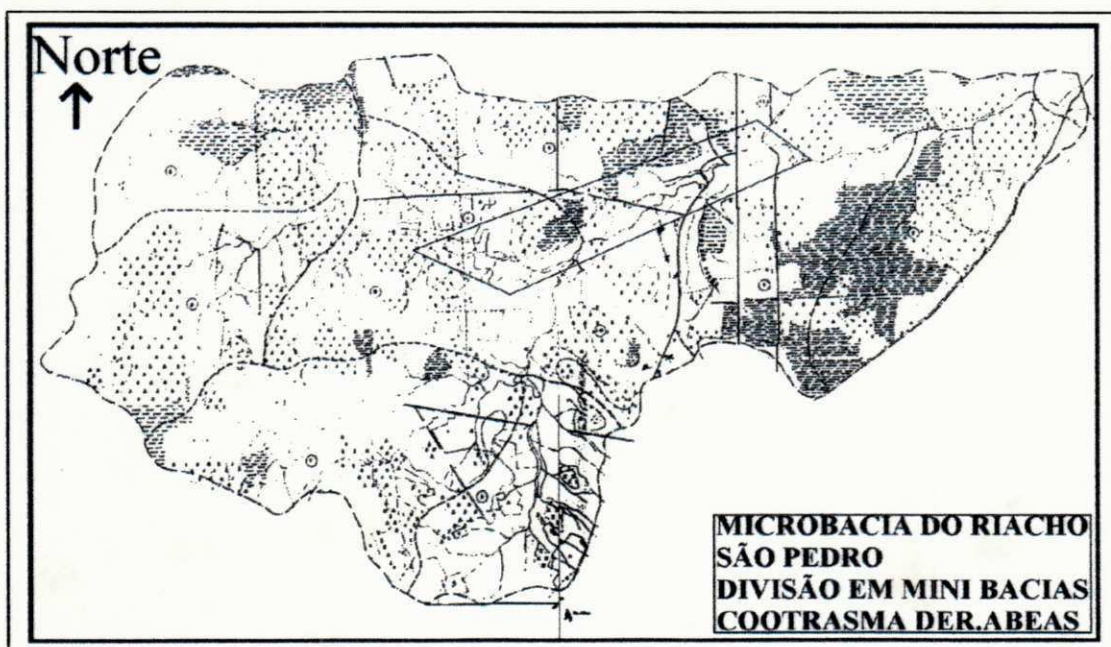


Figura 5b. Local de amostragem do experimento no interior da micro bacia hidrográfica do Riacho São Pedro (□).

## 3.2. Descrição do Ecossistema

### 3.2.1. Clima

O clima da microregião do Cariri Paraibano é do tipo “muito árido” de acordo com a classificação proposta em 1975, por Hargreaves, apresenta alto nível de radiação, grande variação de temperatura ao longo do dia, baixa umidade relativa, baixo índice pluviométrico e chuvas intensas, com grande variabilidade espacial e temporal; caracterizando alta taxa de transporte de sedimentos e solos rasos.

No que tange aos aspectos pluviométricos, esta região caracteriza-se por apresentar chuvas concentradas em um único período (3 a 5 meses) com médias anuais variando de 400 a 800mm. A umidade relativa média anual é de 50% e a evaporação média anual é de 2.000mm.ano<sup>-1</sup>. A temperatura média da região, é geralmente elevada, variando entre 26 ° e 28 °C, o que faz causar uma grande perda de água por evaporação dos açudes e por evapotranspiração (IBGE, 1993 citado por Duarte, 1999).

### 3.2.2. Solo

Os solos da região se caracterizam por serem rasos, pedregosos e quase sempre descobertos. Além dos aluviais formados nos leitos dos riachos secos, os tipos de solos mais encontrados são: *brunos não-cálcicos*, *planossolo*, *cambissolos*, *regossolo*, *vertissolos* e *aluviais*. Os *brunos não-cálcicos* apresentam elevado potencial nutricional, em virtude das altas quantidades de nutrientes disponíveis às plantas. A maior parte desses solos se encontram em relevo suave ondulado, contudo, ocorrem também em relevo mais movimentado, chegando a forte ondulado. Sua principal limitação quanto ao uso agrícola decorre da falta d'água. Os *planossolos* na sua maioria, apresentam altos valores de soma e de saturação por bases, além de apreciáveis quantidades de minerais primários facilmente intemperizáveis, o que lhe confere importante capacidade nutricional, porém, o adensamento do horizonte Bt pode ser tão intensos que dificulta a drenagem interna da

água, apesar das restrições que apresentam, tais solos são muito usados com pastagens. Os *cambissolos* apresentam uma adversidade tão grande, que torna difícil o exame coletivo e apreciações generalizadas, porém, os eutróficos, com boa reserva de nutrientes, são mais facilmente encontrados quando originados de materiais provenientes de fontes ricas de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , sob condições de clima moderadamente seco e até semi árido. Em particular, os *regossolos*, em decorrência da sua composição granulométrica, possuem um bom aproveitamento das águas de chuvas, devido sua permeabilidade ser muito rápida, embora não tenham elevada capacidade de retenção de umidade e não perdam água por evaporação. Além disso, é comum os *regossolos* predominantemente arenosos apresentarem alta erodibilidade, especialmente quando o relevo se torna mais declivoso. Os *vertissolos* tem elevada capacidade de retenção de umidade, são susceptíveis à erosão, mesmo em terrenos pouco inclinados, podendo ser utilizados no cultivo de culturas temporárias e permanentes desde que bem manejados. Os *Aluviais* são solos pouco desenvolvidos, moderadamente a bem drenados, algumas vezes mal drenados, pouco profundos a profundos, argilosos, silte-argilosos ou de textura média, amarelados, avermelhados, brunados ou acinzentados, moderadamente a bem intemperizados sem diferenciação aparente de horizontes (aparecem camadas) e desprovidos de horizonte sub-superficial com evidência de acumulação de argila. Podem apresentar propriedades muito variáveis, dado o seu desenvolvimento em sedimentos aluviais e por se apresentarem pouco evoluídos (Vieira, 1983). Estes solos, em quase todo o mundo, são considerados de grande potencialidade agrícola. Não obstante a sua origem, são muito homogêneos quanto a textura e outras propriedades físicas e também no que diz respeito as propriedades químicas, o que fatalmente vai influenciar no seu uso. Na zona semi-árida do Nordeste, os Solos Aluviais, por oferecerem melhor condição de umidade, são dos mais importantes para a região, não só pelo uso de várias culturas sobre regime de irrigação, como também pelas culturas de sequeiro, como milho, feijão e algodão (Oliveira *et al.*, 1992).

### 3.2.3. Relevo

O relevo da região varia de suave a acentuado, onde os solos são predominantemente pouco desenvolvidos, rasos e pedregosos. Segundo dados da ABEAS

(1997a) o relevo da região nordestina compõe-se de amplas planícies ou baixadas litorâneas e vales baixos, geralmente inferiores a 500m de altitude.

#### 3.2.4. Vegetação

A vegetação dominante é a caatinga (mato branco) de predominância xerófitas, que está organizada para suportar os longos períodos de seca, graças as reservas de substâncias nutritivas e hídricas das raízes.

#### 3.2.5 Hidrografia

Quanto a hidrografia, a microbacia do Riacho São Pedro está situada na região em que ocorre a divisão dos dois grandes coletores de água do Nordeste, entre os rios Parnaíba e São Francisco. No que tange a hidrologia, é pobre em seus amplos aspectos, de maneira que as condições hídricas são insuficientes para sustentar os rios caudalosos que se mostram perenes nos longos períodos de ausência de precipitação.

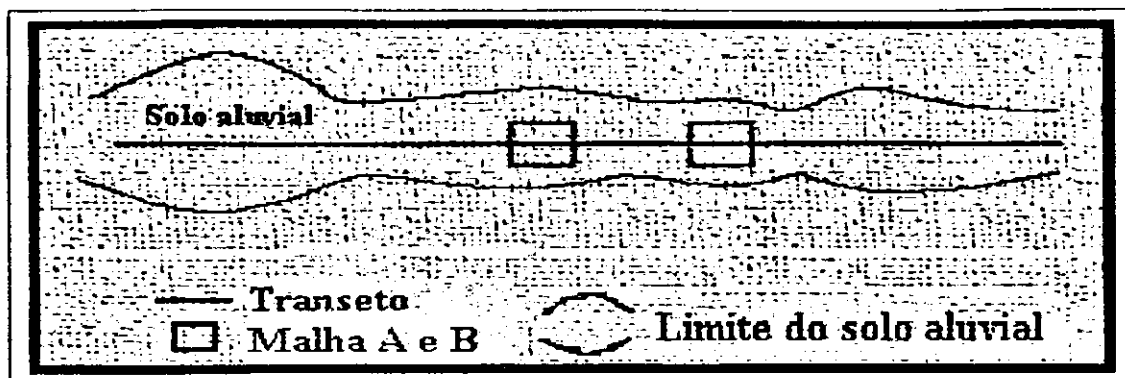
Segundo informações da ABEAS (1997b) os rios e lagos do semi-árido são irregulares, de características intermitentes, onde a água superficial desaparece durante o período de estiagem. A paisagem dos rios e lagos temporários onde a presença da água superficial é mais permanente ao longo do ciclo hidrológico, apresenta um período de seca estacional bem marcado.

#### 3.2.6. Aspectos econômicos

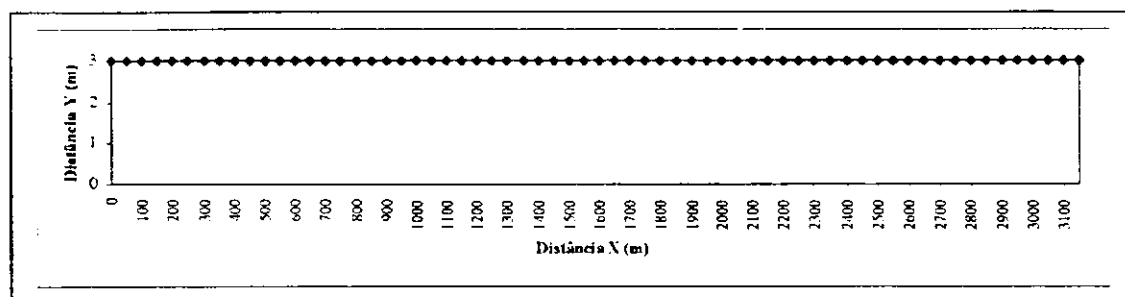
Alguns aspectos gerais e de importância que caracterizam a microbacia como um todo são: baixa produtividade das culturas; reduzidas opções de cultivos (97% ocupado com milho e feijão); baixa tecnologia utilizada em sementes, conservação do solo,

comprimento de terreno de 3,15 Km (Figura 6t). Na Segunda etapa, as amostras foram obtidas em duas malhas quadradas de 40 x 40 metros, espaçadas de 10 metros, sendo as mesmas coletadas em locais distintos, no sentido mais largo do terreno (Figura 6m). As duas malhas A e B, foram realizadas ao longo do transeto, com a finalidade de verificar detalhadamente o comportamento do efeito da distância entre amostras na variabilidade no sentido bidimensional, já que, o transeto informa unidirecionalmente (Figura 6c). As malhas A e B, foram distanciadas de aproximadamente 1000m.

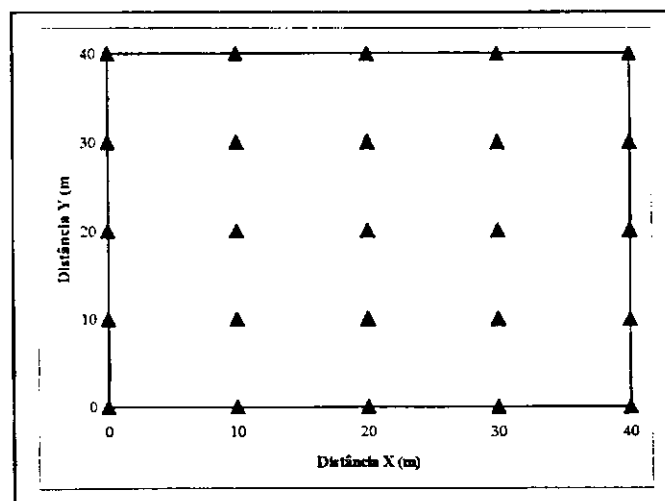
Todas as amostras foram retiradas das camadas de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e de 40 a 60 cm de profundidades. Em seguida, o solo dessas três camadas foram misturados, homogeneizados e, desta mistura, retirou-se uma porção representativa deste “todo”, ou seja, uma única amostra, obtida através da mistura das três, foi considerada como representativa dos primeiros 60 cm deste solo (camada efetivamente explorada pelas raízes das plantas). Após coleta das amostras, as mesmas foram encaminhadas para o Laboratório de Irrigação e Salinidade do DEAG/CCT/UFPB, onde foram secas, destorroadas, peneirada e homogeneizadas, segundo manual de procedimentos recomendados pela EMBRAPA (1979) e determinada as propriedades físico-hídricas do solo.



(c)



(t)



(m)

Figura 6. Croqui da área amostrada (c), esquema de amostragem utilizado para o sistema transecto (t) e para as malhas A e B (m).

### 3.3.2. Análises físico-hídricas

No Laboratório de Irrigação e Salinidade do DEAG/CCT/UFPA as amostras foram submetidas as seguintes análises físico-hídricas: análise granulométrica, densidade real ou das partículas, densidade global ou aparente, porosidade total, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas.

A análise granulométrica foi determinada pelo *Método do Hidrômetro* segundo recomendação de Bouyoucos (1951). Quanto a análise textural, a dispersão foi obtida de forma mecânica (agitação) e o reagente utilizado foi o hidróxido de sódio 1N.

A densidade real foi determinada pelo *Método do Balão Volumétrico*, enquanto que a densidade global foi determinada pelo *Método da Proveta*, de acordo com o Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (1979).

A porosidade total foi determinada pela relação entre a densidade global e a densidade das partículas do solo através da equação Veihmeyer citada por Black (1965).

A capacidade de campo e o ponto de murcha permanente foram obtidos usando-se o *Método do Extrator de umidade de Richards*, segundo o Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (1979) e a água disponível para as plantas foi determinada pela diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente.

### 3.3.3. Ferramentas utilizadas nas análises dos dados

Todos os dados da pesquisa provenientes das análises físico-hídricas foram armazenados e processados com auxílio de um microcomputador Pentium – MMX de 200 MHz com 32.0MB de RAM, operando com sistema operacional *Windows 98*.

O aplicativo *Geo-EAS (geostatistical environmental assessment software)*, versão 1.2.1, foi escolhido para efetuar o tratamento dos dados. Este aplicativo, trata-se de um *software* interativo contendo ferramentas que executam análises geoestatísticas nos dados disponíveis. O *Geo-EAS* que é de domínio público e distribuído livremente, foi desenvolvido pela *U.S. Environmental Protection Agency, the Environmental Monitoring*

*Systems Laboratory*, situado em Las Vegas, e *Computer Sciences Corporation*, em cooperação com o Departamento de Ciências Aplicadas da Terra, da Universidade de Stanford. Ele realiza as operações: Dataprep, Prevar, Conrec, Trans, Vario, Xygraph, Postplot, Stat1, Xvalid, Hpplot, Scatter, Krige, View. Além deste software, utilizou-se também, o software GS+ for Windows, versão 3.11, para checar a presença de anisotropia nas malhas A e B. Os ajustes dos semivariogramas experimentais foram checados aos modelos exponencial, gaussiano e esférico, entretanto, o melhor ajuste se conseguiu com o modelo esférico.



#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO VARIABILIDADE ESPACIAL**

Os resultados da variação espacial das variáveis textura, densidade real e aparente, porosidade total, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas, seguem a seguinte ordem de discussão:

- 1 – Sistema de amostragem em transeto;
- 2 – Sistema de amostragem em malhas quadradas.

Os dados obtidos no sistema em transeto são apresentados nos apêndices 1 e 2. Os dados obtidos no sistema de amostragem nas malhas A e B, constam nos apêndices 3 a 6.

##### **4.1. Textura (Distribuição do tamanho das partículas)**

###### **4.1.1. Sistema de amostragem em transeto**

A Figura 7 apresentam-se os histogramas de frequência das propriedades texturais do solo (percentagem de areia, de silte e de argila) das 63 amostras, que apresentam classe textural média franco argilo-arenoso.

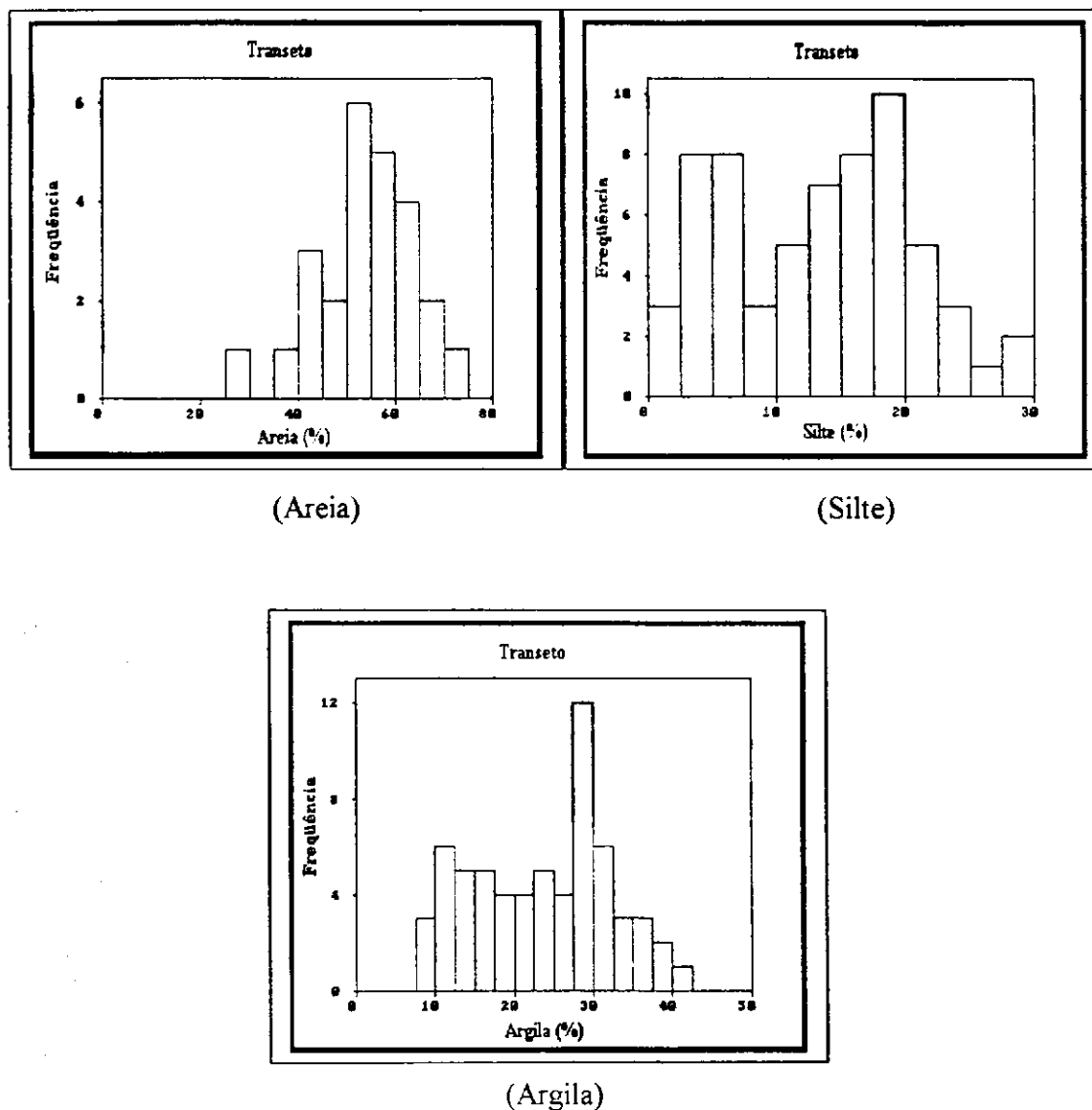


Figura 7. Histogramas de frequência das propriedades texturais do solo, em transecto.

Analisando-se a Figura 7, identifica-se uma tendência de distribuição bimodal, multimodal e multimodal, para areia, silte e argila, respectivamente, sendo suas frequências máximas em torno de 55%, 18,75% e 28,75%, respectivamente. Estas propriedades apresentam variação de 36,07% a 89,55% (2,5 vezes). Observando os valores das médias e das medianas, obtidos para areia, silte e argila (Tabela 4), nota-se que não estão próximas uma da outra, e que os valores de assimetria estão distantes de 0 e 3, portanto, os dados analisados seguem uma distribuição não normal, concordando com os resultados encontrados por Robaina (1997) em solo ferralítico roxo de Cuba.

Tabela 4. Momentos estatísticos dos dados de areia, silte e argila de 63 amostragens em transeto.

Momentos Estatísticos	Transeto		
	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Média	63,132	13,360	23,509
Mediana	58,590	13,830	24,790
Variância ( $S^2$ )	229,620	52,020	74,168
Desvio-padrão (S)	15,153	7,213	8,612
CV (%)	24,003	53,987	36,634
Assimetria (Cs)	0,158	0,064	-0,055
Curtose (Cr)	1,788	1,957	1,977
Mínimo	36,070	1,900	8,490
Máximo	89,550	28,430	40,110

Entre as propriedades texturais analisadas (Tabela 4) a areia é a que apresenta maior desvio padrão (15,153%), no entanto, seu coeficiente de variação é o menor (24,003%). Essas variáveis seguem a seguinte ordem de variabilidade: silte > argila > areia. Assim, os valores do coeficiente de variação entre 24,003% e 53,987% permitem classificar os resultados como de média variabilidade, de acordo com os apresentados por Sousa *et al.* (1999) que trabalhou em solo aluvial do Estado da Paraíba. Andrade (1997) em solo aluvial eutrófico, franco arenoso, obteve média a alta variabilidade para areia e média para silte e argila.

Os crescimentos das semivariâncias entre pares de amostras, observados para areia (80 a 400m), silte (80 a 250m) e argila (80 a 200m) Figura 8 indicam a existência de uma estrutura variográfica e correlação espacial entre pares de amostras. Esta semivariância é importante na caracterização da dependência espacial da variável analisada, bem como, estabelece o campo de influência da geoestatística. Os semivariogramas experimentais da Figura 8 são direcionais e apresentam as seguintes situações: direção 0°, tolerância 90° e distância (h) de 158,291m.

Os semivariogramas da Figura 8 apresentam os seguintes ajustes ao modelo teórico: efeito pepita de 100, patamar de 343 e alcance de 1.564m para areia; efeito pepita de 22,3, patamar de 82,97 e alcance de 1.931m para o silte; efeito pepita de 40, patamar de

120 e alcance de 1.813m para a argila. Assim, o modelo esférico apresentou o melhor ajuste entre os testados (experimental, gaussiano, linear e esférico) e tem sido usado para ajustar muitos semivariogramas de propriedades do solo (Webster, 1985).

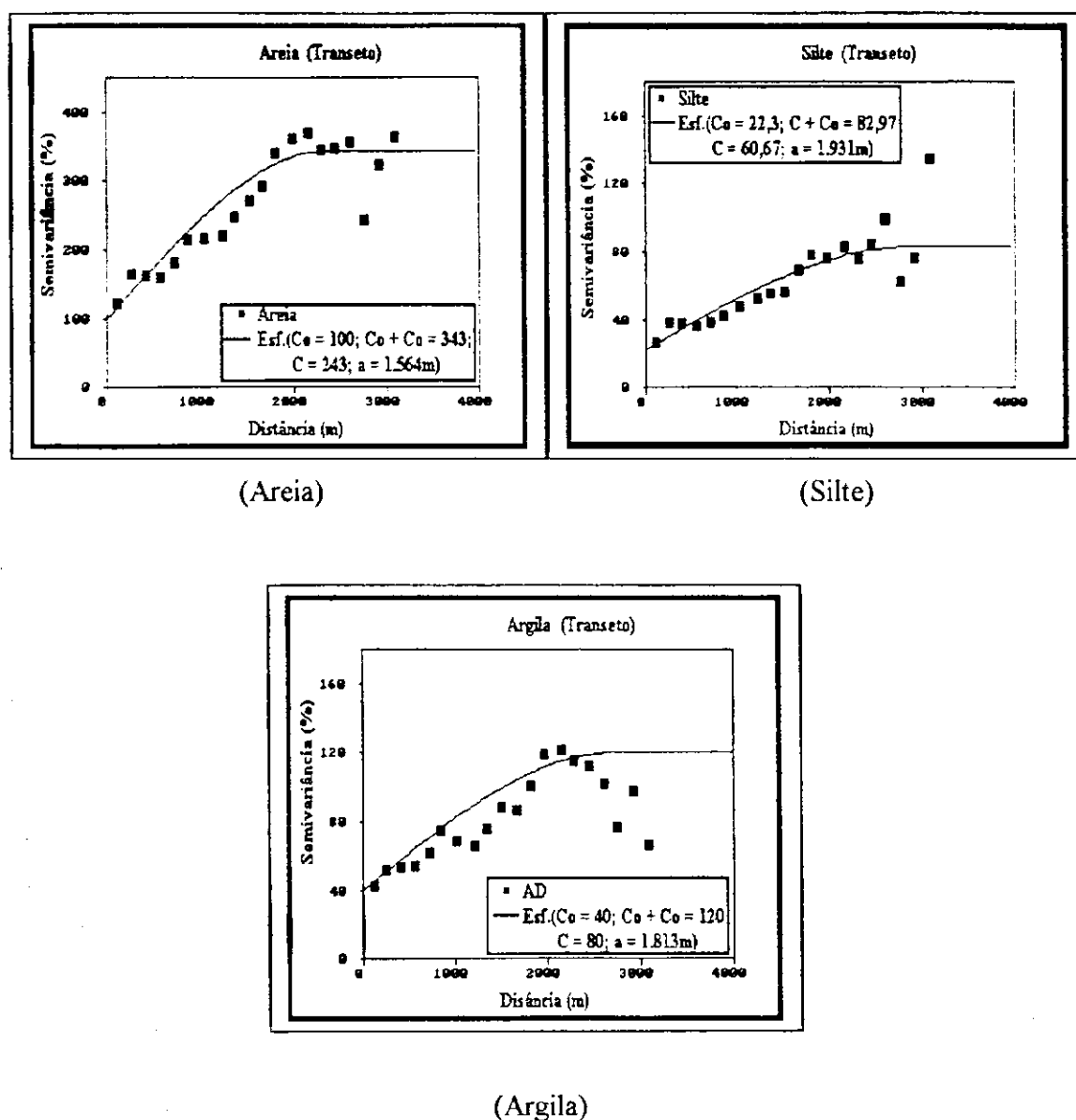


Figura 8. Semivariogramas teóricos ajustados aos semivariogramas experimentais com mais de um modelo variográfico para as propriedades texturais do solo com as estimativas dos parâmetros efeito pepita, patamar e alcance, em transecto.

O semivariograma da Figura 8 mostra claramente mistura de mais de um modelo variográfico com patamares diferentes. Isto porque ao longo do transecto amostrado, pode ter ocorrido transporte de sedimentos de forma, desuniforme, resultado assim, semivariogramas com mais de uma estrutura variográfica.

Entre as propriedades texturais que constam na Tabela 5, a percentagem de areia apresenta o menor alcance de dependência espacial (1.564m), enquanto que a percentagem de silte o maior (1.931m). Os valores do efeito pepita que estão contidos na Tabela 5, expressos como efeito de pepita relativo ( $\epsilon = C_0/C$ ) indicam que as percentagens de areia, silte e argila apresentam componente aleatória bastante importante, variando de 0,37 a 0,50. Entretanto, quando expressos em percentagem do patamar ( $k = [C_0/(C_0+C_1)]*100$ ) apresentam moderadas dependências espaciais, para areia, silte e argila.

Observado os valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) na Tabela 5, nota-se que as variáveis que apresentaram boa estrutura variográfica, o valor de  $R^2$  é maior, confirmando assim, a existência de correlação espacial. Portanto, as variáveis areia, silte e argila, indicaram bom ajuste de regressão. Albuquerque *et al.* (1996) trabalhando Podzólico Vermelho-Amarelo, franco arenoso e franco argiloso, encontrou coeficiente de determinação de 0,95 para argila.

Tabela 5. Parâmetros do modelo esférico ajustados a semivariogramas experimentais em transeito.

Vaiáveis	Transeito						Modelo	$R^2$
	$C_0$	$C_0 + C_1$	C	a (m)	$\epsilon$	$\kappa$		
Areia (%)	100	343	243	1.564	0,41	0,29	Esférico	0,89
Silte (%)	22,3	82,97	60,67	1.931	0,37	0,27	Esférico	0,95
Argila (%)	40	120	80	1.813	0,50	0,33	Esférico	0,87
Dr (g.cm <sup>-3</sup> )	0,00039	0,0025	0,00211	2.000	0,18	0,16	Esférico	0,95
Da (g.cm <sup>-3</sup> )	0,0065	—	—	—	—	—	EPP	0,35
Pt (%)	8,71	—	—	—	—	—	EPP	0,46
CC (%)	39,64	70,71	31,07	1.500	1,27	0,56	Esférico	0,87
PMP (%)	14	21	7	667	2,00	0,67	Esférico	0,82
AD (%)	6,77	11,41	4,64	360	1,46	0,59	Esférico	0,88

Nota:  $C_0$  - efeito pepita/  $C_0 + C_1$  - patamar/ C - variância de dispersão; alcance (a) (m)  $\epsilon = \frac{C_0}{C}$  - efeito pepita relativo/

$$\kappa = \frac{C_0}{C_0 + C_1} - \text{índice de Royle e EPP - efeito pepita puro}$$

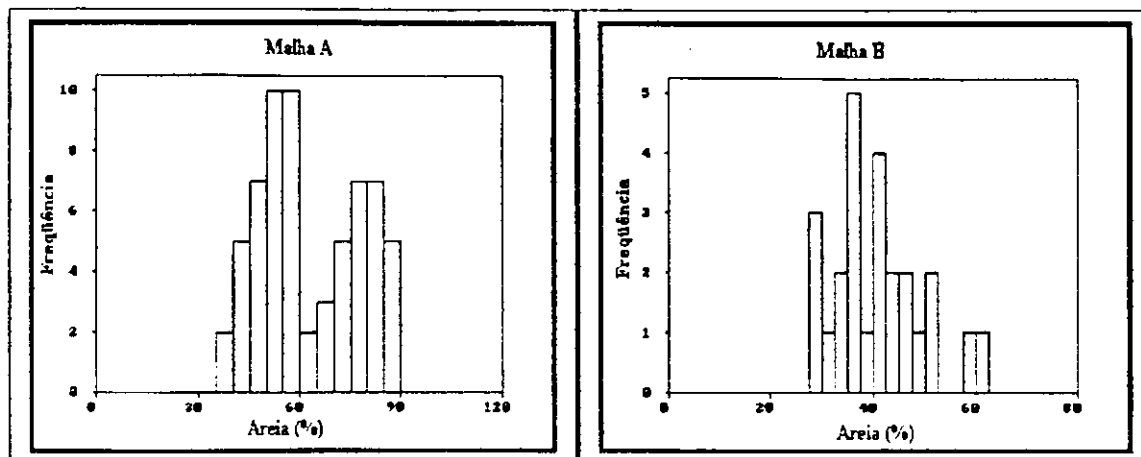
## 4.1.2. Sistema de amostragem nas malhas A e B

Os resultados das análises dos dados médios para as malhas A e B, em percentagem dos separados texturais (areia, silte e argila) encontram-se nos Apêndices 3 a 5.

Na Tabela 6, apresentam-se os momentos estatísticos das variáveis areia, silte e argila das duas malhas A e B. Os valores médios obtidos dessas variáveis, quando plotados no triângulo textural, indicam que a classe textural do solo da malha A é franco argilo-arenoso e da malha B franco argiloso. Analisando os coeficientes de variação para as duas malhas, constata-se que a variabilidade segue a seguinte ordem: silte > areia > argila e areia > argila > silte. De acordo com Warrick & Nielsen (1980) os valores de CV entre 19,133 a 29,757% e entre 13,442 a 21,156% da Tabela 6, são classificados como de média variabilidade, para as duas malhas A e B, respectivamente.

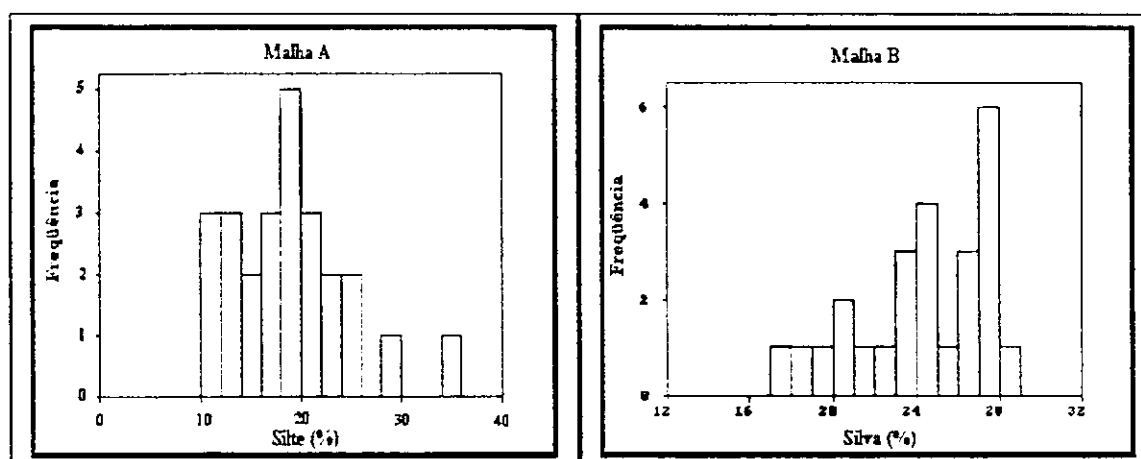
Tabela 6. Momentos estatísticos dos dados de areia, silte e argila obtidos de 25 determinações para a malha A e 25 para a malha B.

Momentos Estatísticos	Malha A			Malha B		
	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Média	53,468	18,916	27,616	40,826	24,373	34,825
Mediana	54,270	18,320	26,880	40,250	24,190	35,900
Variância (S <sup>2</sup> )	111,505	31,682	27,918	74,605	10,734	33,339
Desvio-padrão (S)	10,560	5,629	5,284	8,637	3,276	5,774
CV (%)	19,750	29,757	19,133	21,156	13,442	16,580
Assimetria (Cs)	-0,526	0,805	0,157	0,625	-0,541	-0,586
Curtose (Cr)	3,131	3,485	2,883	2,811	2,255	2,946
Mínimo	26,840	11,360	17,090	27,970	17,650	21,260
Máximo	70,920	34,140	39,020	61,090	28,980	43,050



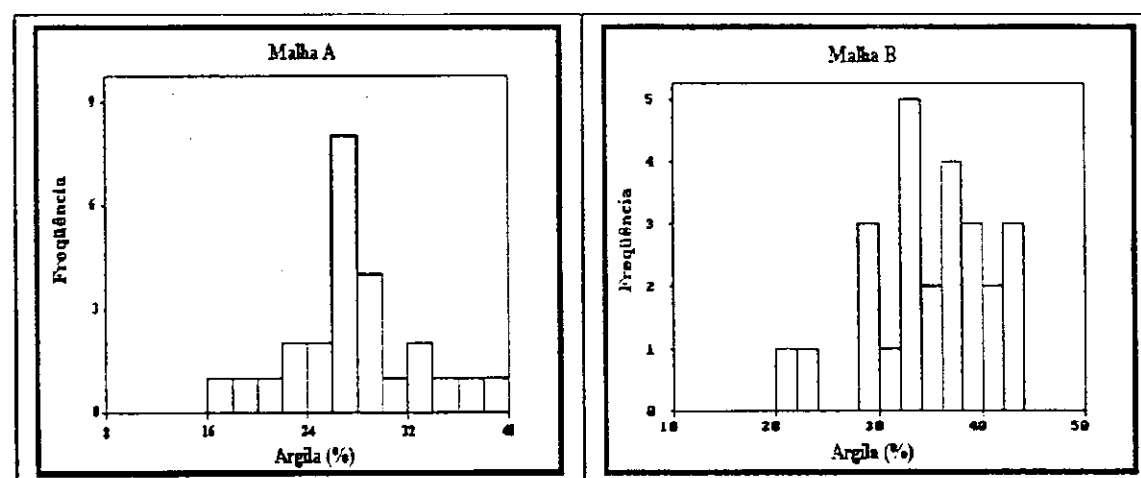
(a)

(b)



(a)

(b)



(a)

(b)

Figura 9. Histogramas de frequência para areia, silte e argila – malha A (a) e malha B (b).

Observando os valores das médias e medianas, bem como, os dados de assimetria e curtose (Tabela 6) pode-se dizer que estas variáveis não seguem uma distribuição normal. Este fato pode ser também confirmado visualizando-se os histogramas de frequência das malhas A e B (Figura 9) que tendem a ser do tipo multimodal e multimodal para areia, multimodal para o silte e bimodal e multimodal para a argila, respectivamente. Albuquerque *et al.* (1996) em Podzólico Vermelho-Amarelo, encontrou distribuição de frequência normal para argila, não mencionando nada a respeito da areia e do silte. Já Lima e Silans (1999) em solo arenoso, obteve distribuição normal para a combinação da percentagem de areia + silte. A variação apresentada por estas variáveis, denota certa heterogeneidade das propriedades, própria de solos aluviais, que está relacionada com sua origem e que é provenientes de depósitos sucessivos de diferentes materiais. Oliveira *et al.* (1999) afirmam que esta heterogeneidade pedológica é devido a distribuição e o acúmulo desses materiais, a topografia da área, o manejo químico e, ou, físico e o processo de lixiviação ao longo do tempo; fato que pode ser constatado quando realizou-se abertura de perfis do solo para sua classificação.

Os semivariogramas experimentais apresentados na Figura 10, foram baseados na situação direção  $0^\circ$ , tolerância  $90^\circ$  e  $h = 2,843\text{m}$ . Nesta figura identifica-se um crescimento de "h" para areia de 10 a 28m e de 10 a 14m; para silte de 10 a 20m e de 10 a 14m; para argila de 15 a 28m e de 10 a 14m, para as malhas A e B, respectivamente. Este crescimento demonstra a presença de uma estrutura e uma certa correlação espacial entre pares de amostras analisados.

Variando a direção, tolerância e distância "h" (Figura 11) entre os pares de amostras, chegou-se a uma melhor estrutura variográfica, bem como, se verificou presença de anisotropia (Apêndices 7 e 8). Portanto, na malha A, os variogramas experimentais escolhidos para areia apresentam direção  $60^\circ$ , tolerância  $80^\circ$  e distância 2,8m; para silte: direção  $45^\circ$ , tolerância  $80^\circ$  e distância 2,8m e para argila: direção  $0^\circ$ , tolerância  $90^\circ$  e distância 2,5m. Na malha B os variogramas escolhidos para areia apresentam direção  $0^\circ$ , tolerância  $90^\circ$  e distância de 2m; para silte: direção  $90^\circ$ , tolerância  $45^\circ$  e distância 2,843m e para argila: direção  $0^\circ$ , tolerância  $75^\circ$  e distância 2,8m.



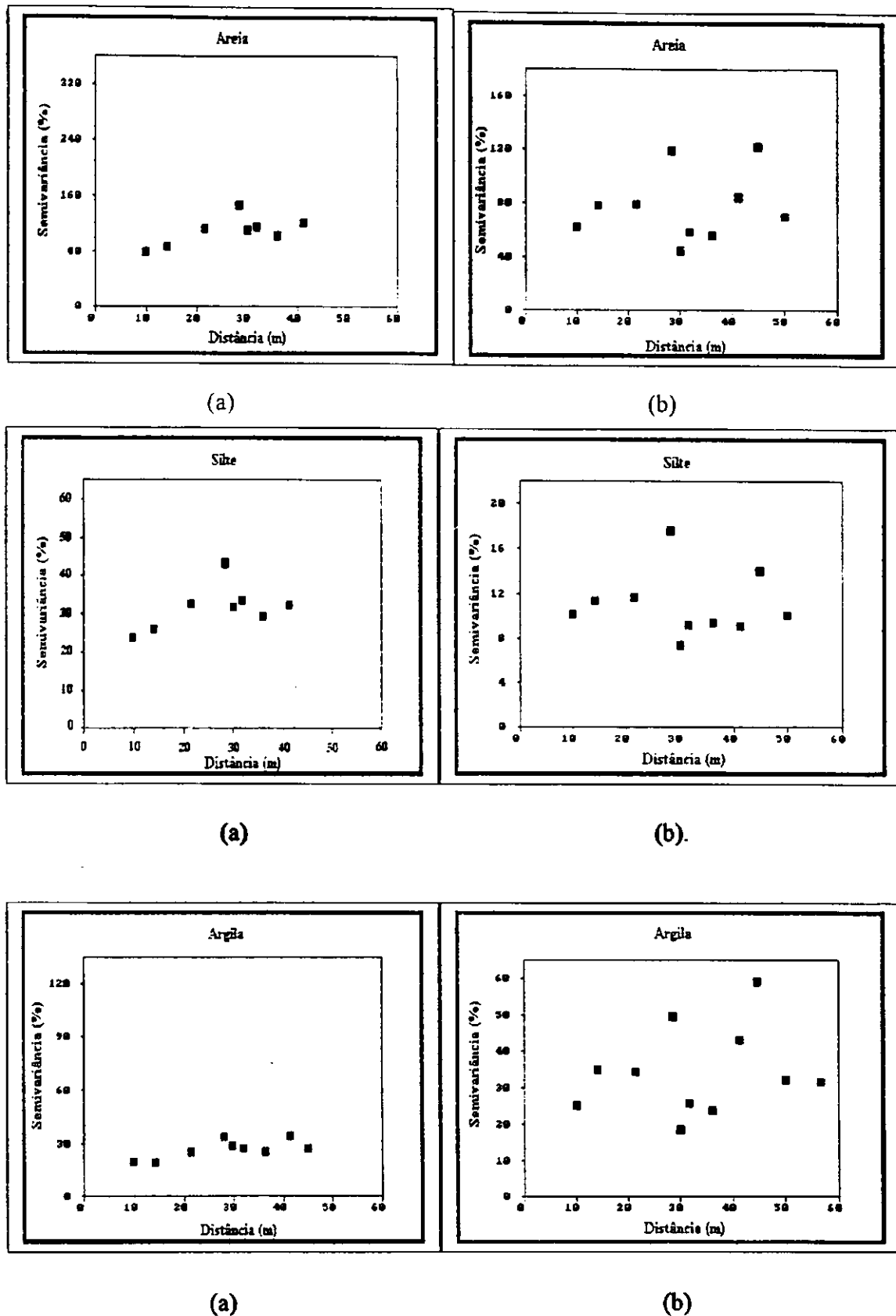


Figura 10. Semivariogramas experimentais para os dados reais das propriedades texturais do solo – malha A (a) e malha B (a).

Os semivariogramas teóricos ajustados pelas regras de Guerra (1988) apresentaram os parâmetros: efeito pepita, patamar e alcance (a) que constam na Tabela 7 e 8. Resultados semelhantes também foram encontrados por Sousa (1998) em solo aluvial com amostragem malha, obtendo alcances de 25 a 40m. Já Coelho Filho (1998) obteve alcance de 8,5 a 14,4m para o ajuste exponencial. Os modelos dos semivariogramas teóricos ajustados são apresentados nas Figuras 11. O efeito pepita relativo ( $< 0,15$ ) indica pequena aleatoriedade para areia na malha A e o valor (0,38) indica que a componente aleatória é bastante importante na malha B. O silte apresenta uma componente aleatória bastante importante (0,59 e 0,57). Os valores (0 e 0,10) indicam que a componente aleatória é pequena para argila para as malhas A e B, respectivamente. O índice ( $C_0/[C_0+C_1]$ ) de 0 e 0,28 para areia, 0,37 e 0,36 para silte, 0 e 0,09 para argila, implica dizer que a componente espacial supera a componente aleatória.

Tabela 7. Parâmetros do modelo esférico ajustados a semivariogramas experimentais para a malha A.

Vaiáveis	Malha A							R <sup>2</sup>
	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> + C <sub>1</sub>	C	a (m)	ε	k	Modelo	
Areia (%)	0	122,35	122,35	18	0,00	0,00	Esférico	0,81
Silte (%)	12,38	33,33	20,95	17	0,59	0,37	Esférico	0,85
Argila (%)	0	30	30	20	0,00	0,00	Esférico	0,76
Dr (g.cm <sup>-3</sup> )	0	0,0027	0,0027	27	0,00	0,00	Esférico	0,72
Da (g.cm <sup>-3</sup> )	0	0,007	0,007	31	0,00	0,00	Esférico	0,78
Pt (%)	0,6	6,0	5,4	27	0,11	0,10	Esférico	0,97
CC (%)	0	25	25	27	0,00	0,00	Esférico	0,72
PMP (%)	0	13,13	13,13	29	0,00	0,00	Esférico	0,85
AD (%)	1,0	2,7	1,7	31	0,59	0,37	Esférico	0,53

Nota: C<sub>0</sub> - efeito pepita/ C<sub>0</sub> + C<sub>1</sub> - patamar/ C - variância de dispersão/ alcance (a) (m)  $\epsilon = \frac{C_0}{C}$  - efeito pepita relativo/

$k = \frac{C_0}{C_0+C_1}$  - índice de Royle e EPP - efeito pepita puro.

Os valores dos coeficientes de determinação apresentados nas Tabelas 7 e 8 para os componentes texturais, indicam presença de estrutura variográfica. Na malha A, os semivariogramas mostram melhor estrutura do que na malha B. Libardi *et al.* (1986)

encontraram coeficiente de determinação da ordem de 0,97 (areia) 0,99 (silte) e 0,96 (argila) em Terra Rocha Estruturada, mostrando portanto, maior correlação entre as propriedades analisadas. A melhor correlação obtida para os dados de Libardi *et al.* (1986) pode ter sido devido maior número de amostras e pequena variância.

Tabela 8. Parâmetros do modelo esférico ajustados a semivariogramas experimentais para a malha B.

Vaiáveis	Malha B							R <sup>2</sup>
	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> + C <sub>1</sub>	C	a (m)	ε	k	Modelo	
Areia (%)	22,22	80	57,78	14	0,38	0,28	Esférico	0,41
Silte (%)	4,80	13,2	8,40	20	0,57	0,36	Esférico	0,79
Argila (%)	3,64	40	36,36	15	0,10	0,09	Esférico	0,78
Dr (g.cm <sup>-3</sup> )	0	0,001	0,001	29	0,00	0,00	Esférico	0,77
Da (g.cm <sup>-3</sup> )	0,00113	-	-	-	-	-	EPP	0,46
Pt (%)	0,20	1,56	1,36	13	0,15	0,13	Esférico	0,53
CC (%)	0	35,11	35,11	17	0,00	0,00	Esférico	0,90
PMP (%)	0	18,89	18,89	29	0,00	0,00	Esférico	0,95
AD (%)	0	3,27	3,27	14	0,00	0,00	Esférico	0,55

Nota: C<sub>0</sub> - efeito pepita/ C<sub>0</sub> + C<sub>1</sub> - patamar/ C - variância de dispersão/ alcance (a) (m),  $\epsilon = \frac{C_0}{C}$  - efeito pepita relativo/

$\kappa = \frac{C_0}{C_0 - C_1}$  - índice de Royle e EPP - efeito pepita puro.

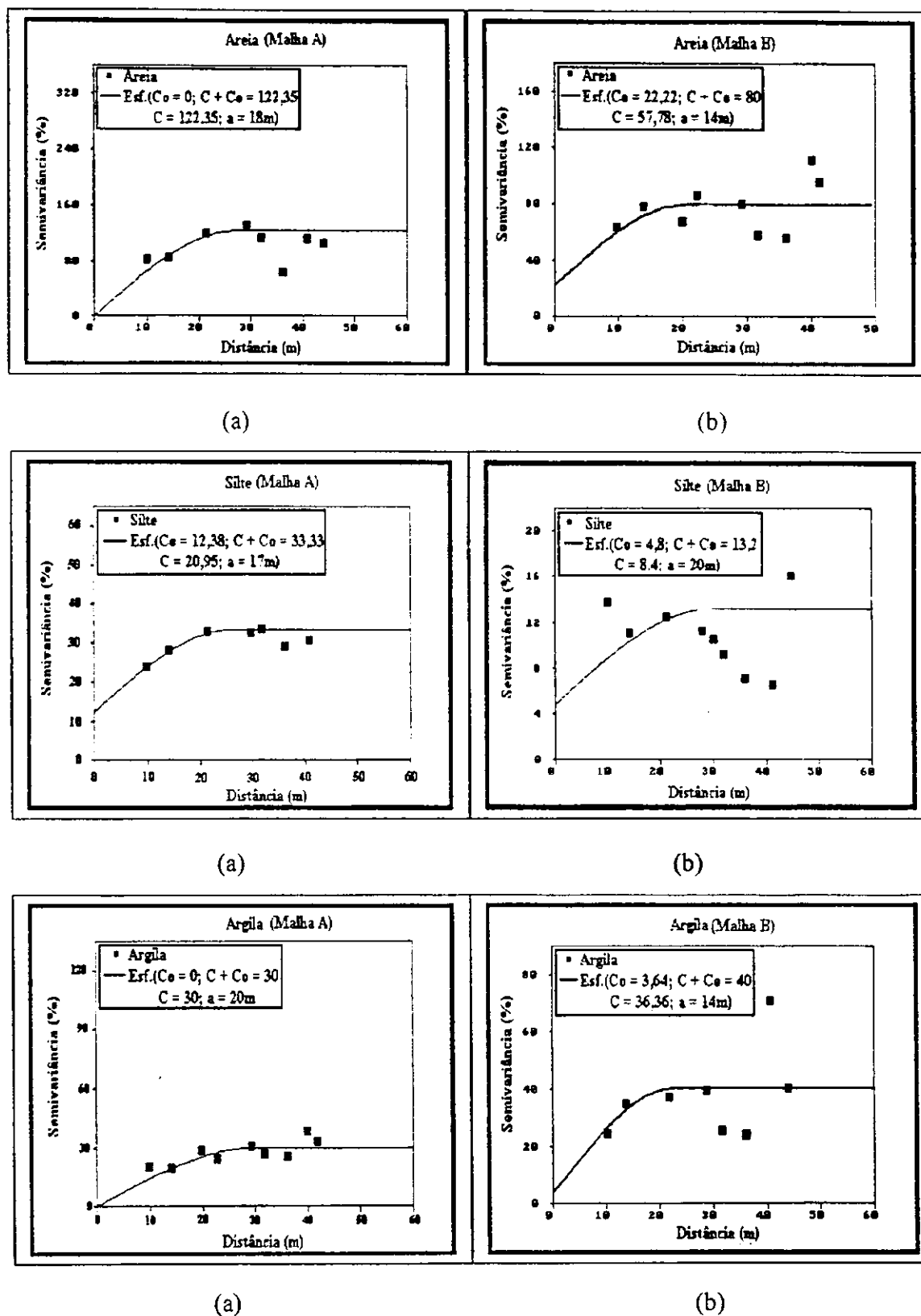


Figura 11. Semivariogramas teóricos ajustados à semivariogramas experimentais para as propriedades texturais do solo, com as estimativas dos parâmetros efeito pepita patamar e alcance – malha A (a) e malha B (b).

Em resumo, os resultados dos momentos estatísticos obtidos tanto para o sistema de amostragens em transeto como para malhas A e B, das propriedades texturais constam na Tabela 4 e 6. Assim, pode-se discutir que em transeto e nas malhas A e B, as propriedades areia, silte e argila apresentaram média variabilidade, e que os intervalos encontrados foram de  $24,003\% < CV < 53,987\%$ ,  $19,133\% < CV < 29,759\%$  e  $13,442\% < CV < 21,156\%$ , respectivamente. No transeto verifica-se a seguinte ordem de variabilidade: silte > argila > areia, sendo que a percentagem de areia apresentou menor variação (CV de 24,003%) e a maior variação foi observada para a percentagem de silte (CV de 53,987%). Na malha A verifica-se a seguinte ordem de variação: silte > areia > argila. Nesta malha, a argila apresentou menor variação (CV de 19,133%), tendo a percentagem de silte apresentado maior variação (CV de 29,757%). A malha B segue a seguinte ordem de variabilidade: areia > argila > silte. O silte apresenta menor variação (CV de 13,442%) e a areia maior variação (CV de 21,156%). As médias amostrais dos três componentes texturais permite classificar o solo aluvial do Riacho São Pedro, como franco argiloso (malha B), concordando com a classificação de Sousa (1998), e franco argilo-arenoso em transeto e na malha A. Analisando o efeito pepita expresso em percentagem do patamar, nota-se que os semivariogramas apresentam grau de dependência espacial moderada, forte e moderada para areia em transeto e nas malhas A e B. O silte apresenta grau de dependência moderada nos três sistemas de amostragens. A argila apresenta grau de dependência moderada, forte e forte, para o transeto e nas malhas A e B, respectivamente.

No transeto o menor alcance de dependência espacial (Tabela 5) apresentou valor de 1.564m para a percentagem de areia, e maior alcance para a percentagem de silte com valor de 1.931m. Nas malhas (Tabelas 7 e 8), o menor alcance apresentou valor de 14m para a percentagem de areia e maior alcance de dependência espacial observou-se para argila (malha A) e silte (malha B) com valor de 20m. Estes alcances, indicam a amplitude de correlação espacial entre as observações, que não podem ser consideradas independentes dentro dos domínios mencionados.

## 4.2. Densidade Real (Dr)

### 4.2.1. Sistema de amostragem em transeito

O histograma de frequência para a densidade real, encontra-se na Figura 12, indicando tendência bimodal, com ocorrência de frequência máxima próximo de  $2,765\text{g.cm}^{-3}$ .

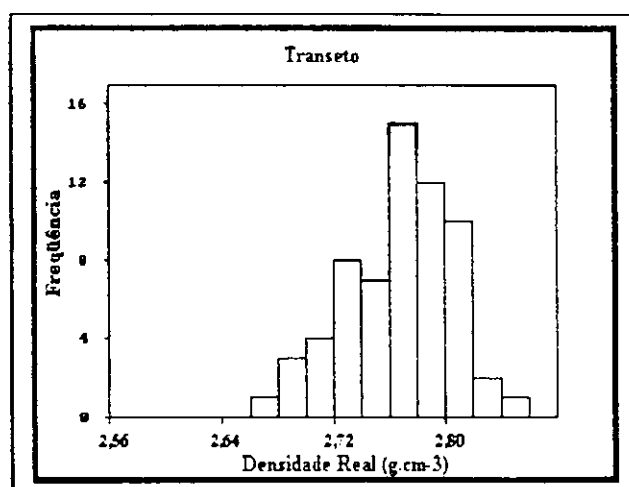


Figura 12. Histograma de frequência para densidade real do solo em transeito.

O histograma da Figura 12 está de acordo com os encontrados por Robaina (1997). Analisando os momentos estatísticos da média de  $2,761\text{g.cm}^{-3}$ , mediana de  $2,77\text{g.cm}^{-3}$ , bem como, os coeficientes de assimetria ( $-0,51\text{g.cm}^{-3}$ ) e curtose ( $2,832\text{g.cm}^{-3}$ ) (Tabela 9), pode-se dizer que a Figura 12 sugere um comportamento quase normal, embora bimodal, discordando com os valores encontrados por Libardi *et al.* (1986) no solo classificado como Terra Roxa Estruturada, em São Paulo. Visto tal consideração, a determinação do número de amostras necessárias para estimar o valor médio dessas variáveis pode ser feita por um dado nível de probabilidade (Warrick & Nielsen, 1980).

A densidade real apresenta variação de  $2,66$  a  $2,84\text{g.cm}^{-3}$  (1,1 vezes) sendo seu coeficiente de variação de 1,416% (Tabela 9). Portanto, esta variável sofre pouca variação, indicando assim, baixa variabilidade conforme Warrick & Nielsen (1980) e Gomes (1984).

Tabela 9. Momentos estatísticos dos dados de densidade real ( $D_r$ ) de 63 amostragens em transeto.

Momentos Estatísticos	Transeto
	Densidade real ( $\text{g. cm}^{-3}$ )
Média	2,761
Mediana	2,770
Variância ( $S^2$ )	0,002
Desvio-padrão (S)	0,039
CV (%)	1,416
Assimetria ( $C_s$ )	-0,510
Curtose ( $C_r$ )	2,832
Mínimo	2,660
Máximo	2,840

A partir do semivariograma da Figura 13, observa-se claramente que a densidade real apresenta correlação espacial entre pares de amostras analisados. Os dois primeiros pares amostrais passa por um pequeno decréscimo, o que não compromete os demais pares, portanto, a semivariância cresce de 400 a 2.200m aproximadamente; confirmando então a presença de estrutura variográfica e/ou variação espacial desses dados.

O semivariograma analisado (Figura 13) para as amostras em transeto é direcional e a única possível, conforme Webster (1985) Warrick *et al.* (1986). Então, o semivariograma experimental é uni-direcional com as seguintes situações: direção  $0^\circ$ , tolerância  $90^\circ$  e distância (h) de 158,291m. Os parâmetros provenientes do ajuste do semivariograma teórico são: efeito pepita de 0,00039, patamar de 0,0025 e alcance de 2.000m (Tabela 5). O modelo que melhor se ajustou aos valores de semivariância foi o esférico (Figura 13).

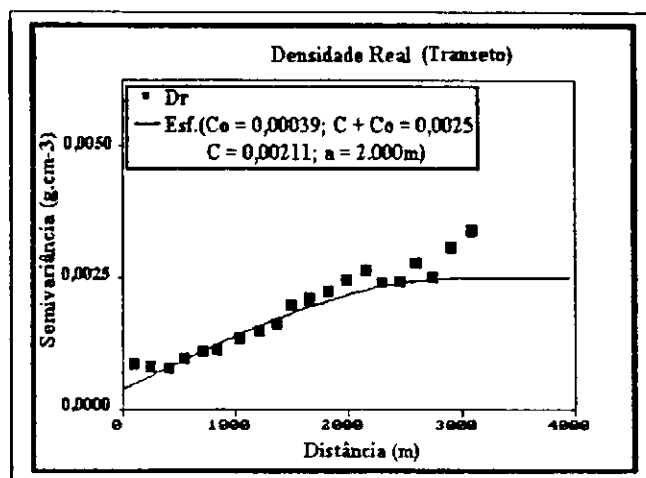


Figura 13. Semivariograma teórico ajustado ao semivariograma experimental com mais de um modelo variográfico para densidade real do solo com as estimativas dos parâmetros efeito pepita, patamar e alcance, em transeito.

No semivariograma (Figura 13) nota-se a formação de vários patamares com alcances diferentes, indicando assim, mistura de mais de um modelo variográfico. Já que, ao longo do transeito amostrado, pode ter ocorrido transporte de sedimentos nos períodos das chuvas, resultando assim, semivariogramas com mais de uma estrutura variográfica.

O semivariograma foi ajustado ao modelo esférico, entretanto, foram testados outros (linear, exponencial, gaussiano e esférico). O modelo esférico é normalmente utilizado para ajustar semivariogramas do solo, e apresenta alcance menor que os demais modelos, oferecendo assim, maior segurança. A análise do efeito pepita relativo de 0,18 indica que a componente aleatória é importante, já o índice  $[C_0/(C_0+C_1)]$  de 0,19 sugere presença maior da componente espacial, do que da componente aleatória (Tabela 5). Desta maneira, o valor do alcance da densidade real, possui dependência de 2.000m (Tabela 5) e garante que todos os valores vizinhos, situados ao longo do transeito amostrado, são tão semelhantes que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles. Vieira & Lombardi (1995) confirmaram que o alcance de dependência espacial também é importante no estudo do semivariograma, significando a distância máxima que uma variável está correlacionada espacialmente.

A densidade real apresentou  $R^2$  de 0,95 (Tabela 5) indicando forte correlação dos amostrais analisados. Resultado similar foi encontrado por Libardi *et al.*



(1986). A existência de correlação é importante na construção do semivariograma e na escolha do modelo a ser adotado.

#### 4.2.2. Sistema de amostragem nas malhas A e B

A análise estatística desta variável apresenta-se na Tabela 10 para as malhas A e B, cujos dados médios foram extraídos dos Apêndices 3 e 5. Nos histogramas da Figura 14, observa-se que as distribuições de frequência tendem a ser multimodal, para a malha A, e bimodal para a malha B, com frequência máxima ao redor de  $2,68\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  e  $2,78\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . A proximidade de valores entre média e mediana e os valores de assimetria e curtose próximos de 0 e 3, respectivamente, sugerem distribuição normal segundo Spiegel (1985). Esta hipótese não pode ser evidenciada com os resultados das médias  $2,675\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  e  $2,748\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  e das medianas  $2,69\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  e  $2,76\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , e nem mesmo, com os valores de assimetria de  $-0,656$  e  $-0,739$  e curtose de  $2,396$  e  $2,660$ , respectivamente. Isto indica que os dados não seguem uma distribuição de frequência normal, mesmo apresentando pequenas variâncias de  $0,002$  e  $0,001$  (Tabela 10). Nas malhas investigadas os coeficientes de variação de  $1,7\%$  e  $1\%$  indicam que as variações são muito pequenas. Estes resultados são similares aos encontrados por Robaina (1997).

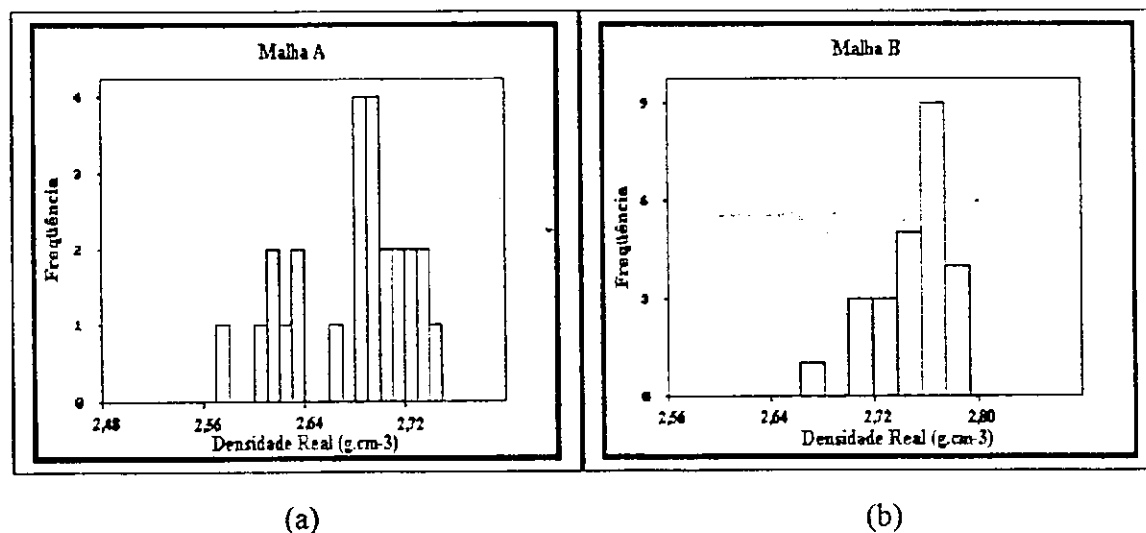


Figura 14. Histogramas de frequência para densidade real – malha A (a) e malha B (b).

Tabela 10. Momentos estatísticos dos dados de densidade real (Dr) obtidos de 25 determinações para a malha A e 25 para a malha B.

Momentos Estatísticos	Malha A	Malha B
	Densidade real (g.cm <sup>-3</sup> )	Densidade real (g.cm <sup>-3</sup> )
Média amostral	2,675	2,748
Mediana	2,690	2,760
Variância (S <sup>2</sup> )	0,002	0,001
Desvio-padrão (S)	0,046	0,027
CV (%)	1,731	1,000
Assimetria (Cs)	-0,656	-0,739
Curtose (Cr)	2,396	2,660
Mínimo	2,570	2,680
Máximo	2,740	2,780

As pesquisas sobre correlações espaciais entre pares de amostras nas malhas foram cheçadas com auxílio do Geo-EAS (1991), e os primeiros semivariogramas que foram examinados para a direção = 0°, tolerância = 90° e h = 2,843m (Figura 15), são semivariogramas médios, onde se nota um decréscimo de 10 a 15m e crescimento de 15 a 28m para a malha A. Já a malha B, inicia com um crescimento suave entre 10 a 15m e aumenta sua inclinação até 40m aproximadamente. Esta observação indica que há presença de uma estrutura variográfica e correlação espacial entre os pares de amostras (h) analisadas.

A melhor estrutura variográfica foi obtida variando-se os parâmetros direção, tolerância e distância entre pares de amostras. Dessa maneira, os semivariogramas experimentais escolhidos para as duas malhas, possuem direção 0° e 0°, tolerância de 80° e 90°, distância de 2,5 e 2,8m, para as malhas A e B, respectivamente (Figuras 16). A presença de anisotropia foi confirmada (Apêndices 7 e 8).

A densidade real foi melhor ajustada ao modelo esférico. Este fato foi confirmado depois de testar os ajustes exponencial e gaussiano. Os semivariogramas teóricos ajustados (Figura 16) consideram o efeito pepita de 0 e 0, patamar de 0,0027 e 0,001 e alcance de 27 e 29m, para as malhas A e B, respectivamente. As malhas investigadas apresentam efeito pepita relativo menor do que 0,15; significando que a

componente aleatória é pequena com relação a variação espacial (Tabela 7 e 8). Nas malhas A e B, os coeficientes de determinação foram semelhantes (Tabela 7 e 8) confirmando, dessa forma, a existência de variação espacial nas malhas investigadas.

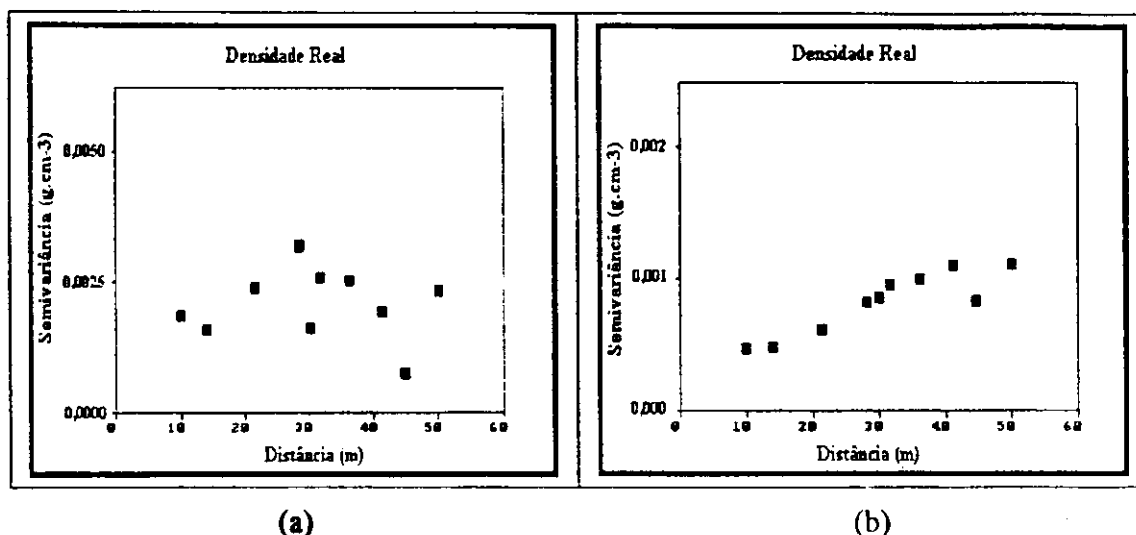


Figura 15. Semivariogramas experimentais para os dados originais de densidade real do solo – malha A (a) e malha B (b).

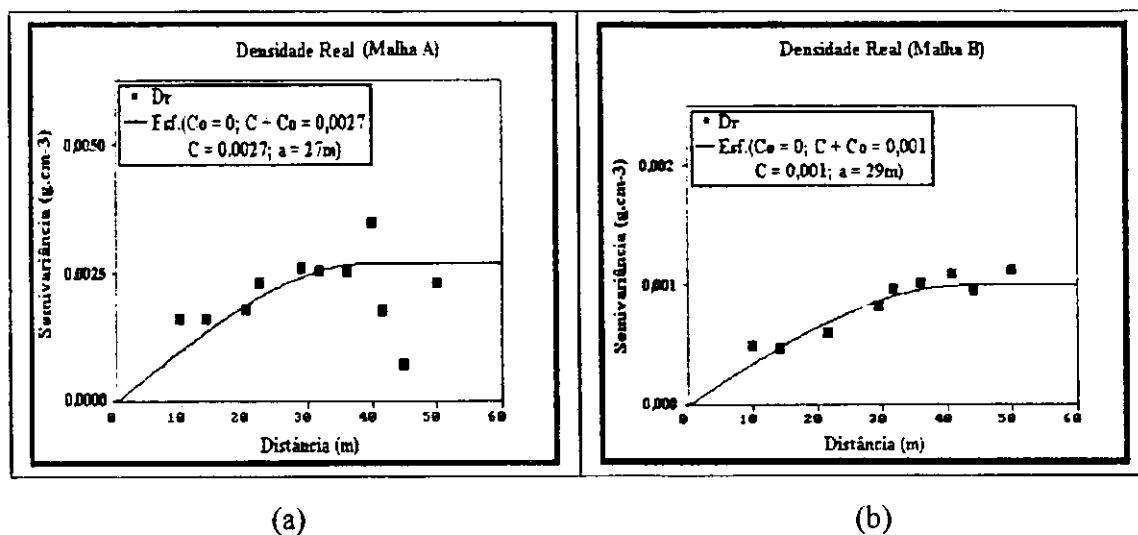


Figura 16. Semivariogramas teóricos ajustados à semivariogramas experimentais para densidade real do solo com as estimativas dos parâmetros efeito pepita, patamar e alcance – malha A (a) e malha B (b).

Resumindo, a análise dos valores estatísticos obtidos para a variável densidade real (Tabela 9 e 10) apresentaram baixa variabilidade ( $CV < 12\%$ ) em transeito e média variação ( $12\% < CV < 60\%$ ) nas malhas A e B. As amostragens em transeito apresentam média amostral de  $2,761g.cm^{-3}$ , e valores de  $2,675g.cm^{-3}$  na malha A e

2,748g.cm<sup>-3</sup> na malha B. Estas médias amostrais estão de acordo com os intervalos de (2,30 – 2,90g.cm<sup>-3</sup>) abordados por Klar (1988). O feito pepita em percentagem do patamar foi responsável por apenas 16% das variações totais para a densidade real em transeto, 0% na malha A e 0% na malha B. Estes resultados podem ser considerados de forte dependência em transeto, nas malhas A e B, segundo escala utilizada por Cambardella *et al.* (1994). Com relação aos alcances encontrados, os resultados para o transeto foi de 2.000m, para a malha A foi de 27m e para a malha B foi de 29m. Quanto a aleatoriedade da regionalização, a densidade real apresentada nas Tabelas 5, 7 e 8, apresentam componente aleatória importante em transeto (0,16), e pequena na malhas A e B (< 0,15).

#### 4.3. Densidade aparente (Da)

##### 4.3.1. Sistema de amostragem em transeto

O conhecimento da natureza de distribuição estatística dos dados de uma variável tem importantes conseqüências, porque a análise da variância e os testes de significância normalmente usados em estatísticas (F, t, Tukey, etc.) baseiam-se na distribuição normal. Assim, dados que sugerem uma distribuição de freqüência normal devem ser transformados antes da análise de variância (Gomes, 1984). Com base no exposto, realizou-se a análise estatística para 63 amostras de solo em transeto (Tabela 11) a partir das quais elaborou-se o histograma da variável densidade aparente (Figura 17), cujos dados médios foram extraídos do Apêndice 1.

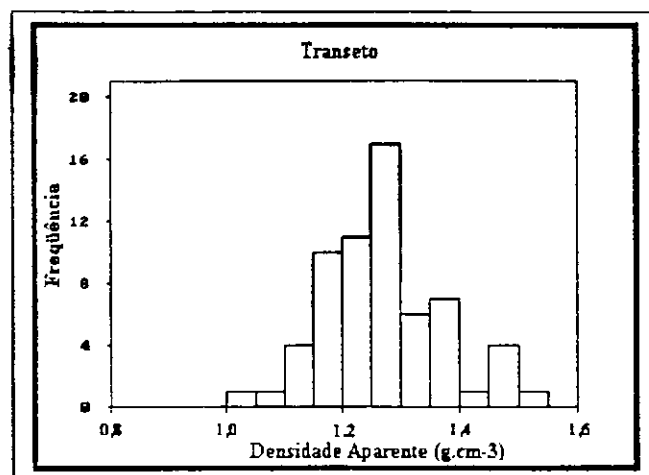


Figura 17. Histograma de frequência para densidade aparente do solo em transecto.

Na Figura 17 observa-se que a distribuição de frequência da densidade aparente foi do tipo multimodal com ocorrência de frequência máxima próximo de  $1,27 \text{ g.cm}^{-3}$ . Por outro lado, observa-se uma variação para a densidade aparente de 1,04 a  $1,52 \text{ g.cm}^{-3}$  (1,5 vezes), com média de  $1,264 \text{ g.cm}^{-3}$ , mediana de  $1,26 \text{ g.cm}^{-3}$ , desvio padrão da ordem de  $0,101 \text{ g.cm}^{-3}$ , variância de  $0,10 \text{ g.cm}^{-3}$  e coeficiente de variação de 7,987%.

Tabela 11. Momentos estatísticos dos dados de densidade aparente (Da) de 63 amostragens em transecto.

Momentos Estatísticos	Transecto
	Densidade aparente ( $\text{g.cm}^{-3}$ )
Média	1,264
Mediana	1,260
Variância ( $S^2$ )	0,010
Desvio-padrão (S)	0,101
CV (%)	7,987
Assimetria (Cs)	0,415
Curtose (Cr)	3,036
Mínimo	1,040
Máximo	1,520

Os valores da média e mediana (Tabela 11) indicam uma aparente distribuição normal devido a semelhança dos coeficientes de assimetria (0,415) e curtose

(3,036) como os valores de 0 e 3, respectivamente, critérios citados por Snedecor & Cochran (1967). De acordo com Guerra (1988) quando o coeficiente de assimetria for positivo, significa dizer que a frequência de ocorrência de valores baixos é maior do que a frequência de valores altos, e que o coeficiente de curtose maior que 3 indica distribuição mais agudizada que a distribuição normal. O coeficiente de variação de 7,987% indica baixa variabilidade dos dados, conforme Gomes (1984). Coelho Filho (1998) encontrou resultado similar da ordem de 5,6%, indicando pequena variação em torno da média.

A variável densidade aparente do solo foi analisada com a finalidade de se verificar a presença ou ausência de correlação espacial entre as amostras estudadas. O semivariograma baseia-se na seguinte situação: direção  $0^\circ$ , tolerância  $90^\circ$  e distância (h) de 158,291m (Figura 18); portanto trata-se de um semivariograma oní-direcional que apresenta estrutura variográfica e/ou variação espacial entre os pares analisados, pois, nota-se um crescimento na origem, nas distâncias de 100 a 290m.

Considerando que os dados coletados foram em transecto, o semivariograma é direcional, elaborado ao longo da linha de amostragem. Nestas condições, o semivariograma experimental é uni-direcional com direção de  $0^\circ$ , tolerância de  $90^\circ$  e distância de 158,291m (Figuras 18). O semivariograma experimental ajustado, apresenta efeito pepita puro ( $C_0 = 0,0065$ ) (Figura 18).

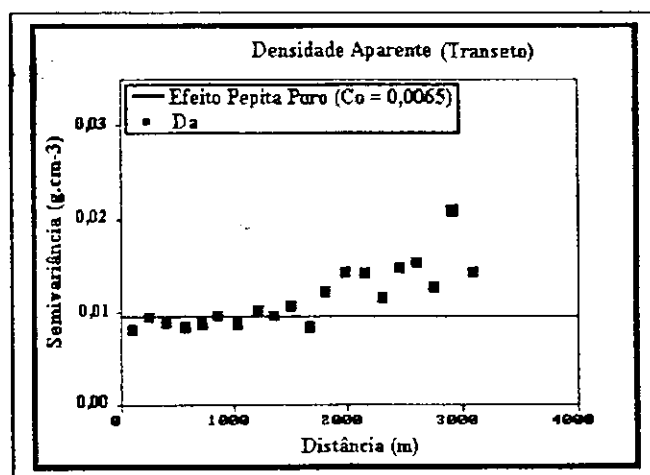


Figura 18. Semivariograma teórico ajustado ao semivariograma experimental para densidade aparente do solo com efeito pepita puro ( $C_0 = 0,0065$ ) em transecto.

O efeito pepita é um parâmetro importante do semivariograma e indica a variabilidade não explicada, que pode ser devida a erros de medidas ou microvariação não detectada, considerando a distância de amostragem utilizada (Cambardella *et al.*, 1994; Paz

*et al.*,1996). Entretanto, é impossível quantificar a contribuição individual dos erros de medições ou da variabilidade (Guerra, 1988; Arzeno, 1990). Segundo Trangmar *et al.* (1985) citado por Souza *et al.* (1999) quando expresso como percentagem da semivariância total (patamar), possibilita melhor comparação entre as variáveis quanto ao grau de dependência espacial.

De acordo com o modelo do semivariograma teórico ajustado Figura 18, observa-se que a densidade aparente apresenta efeito pepita puro, indicando assim que o fenômeno é totalmente aleatório. Ainda, a densidade aparente apresentou baixo coeficiente de determinação da ordem de 0,35 (Tabela 5). Este resultado é justificável, uma vez que esta variável demonstrou uma distribuição aleatória, portanto, não apresentou nenhuma estrutura variográfica.

#### 4.3.2. Sistema de amostragem nas malhas A e B

Os valores médios para a densidade aparente são apresentados nos Apêndices 3 a 5. A partir da análise estatística (Tabela 12) realizada com as 25 amostras de solo de cada malha A e B, foram elaborados histogramas da variável densidade aparente conforme mostra a Figuras 19.

Nesta figura observam-se que as duas distribuições tendem a ser multimodal com frequência máxima ao redor de  $1,3 \text{ g.cm}^{-3}$  e  $1,28 \text{ g.cm}^{-3}$ , para as malhas A e B, respectivamente. Andrade (1997) trabalhando em solo aluvial eutrófico, franco arenoso, obteve uma distribuição normal, entretanto, seus histogramas de frequência apresentam modas diferentes, indicativo de não normalidade dos dados. Na Tabela 12 observa-se que as médias são estimadas em  $1,208 \text{ g.cm}^{-3}$  e  $1,271 \text{ g.cm}^{-3}$  com pequenas variâncias de 0,006 e 0,001, respectivamente. Os coeficientes de variação de 6,353% e 2,287% e as variâncias de 0,006 e 0,0001, indicam que a variação da densidade aparente, nessas duas malhas, são muito pequenas. Lima e Silans (1999) em solo arenoso, encontraram resultados similares para esta variável, sendo sua média de  $1,35 \text{ g.cm}^{-3}$  e desvio padrão de 0,093. Coelho (1974) e Alves (1979) obtiveram resultados coerentes para esta variável, sendo classificada como de baixa variabilidade. Gonçalves (1997) em Podzólico Vermelho-Escuro, trabalhando

com amostragem em malha, obteve coeficiente de variação em torno de 4% para os dados referentes em transeção.

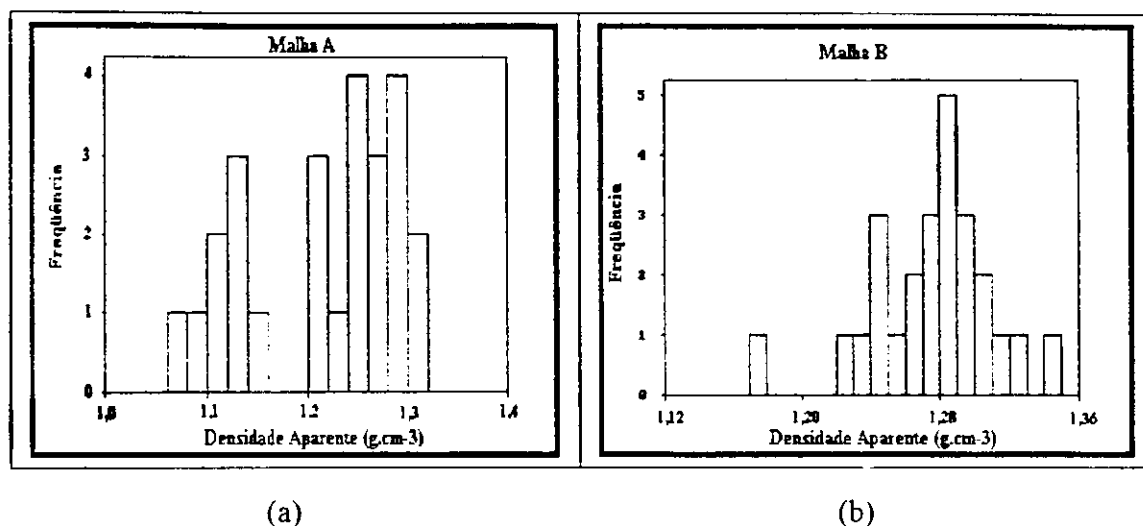


Figura 19. Histogramas de frequência para densidade aparente – malha A (a) e malha B (b).

Tabela 12. Momentos estatísticos dos dados de densidade aparente ( $D_a$ ) obtidos de 25 determinações para a malha A e 25 para a malha B.

Momentos Estatísticos	Malha A	Malha B
	Densidade aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Densidade aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )
Média amostral	1,208	1,271
Mediana	1,240	1,280
Variância ( $S^2$ )	0,006	0,001
Desvio-padrão (S)	0,077	0,034
CV (%)	6,353	2,687
Assimetria ( $C_s$ )	-0,509	-0,493
Curtose (Cr)	1,835	3,619
Mínimo	1,060	1,180
Máximo	1,310	1,340

Utilizando o programa Geo-EAS (1991) para pesquisar a existência de correlações espaciais entre pares de amostras das malhas A e B elaborou-se diversos



com amostragem em malha, obteve coeficiente de variação em torno de 4% para os dados referentes em transeção.

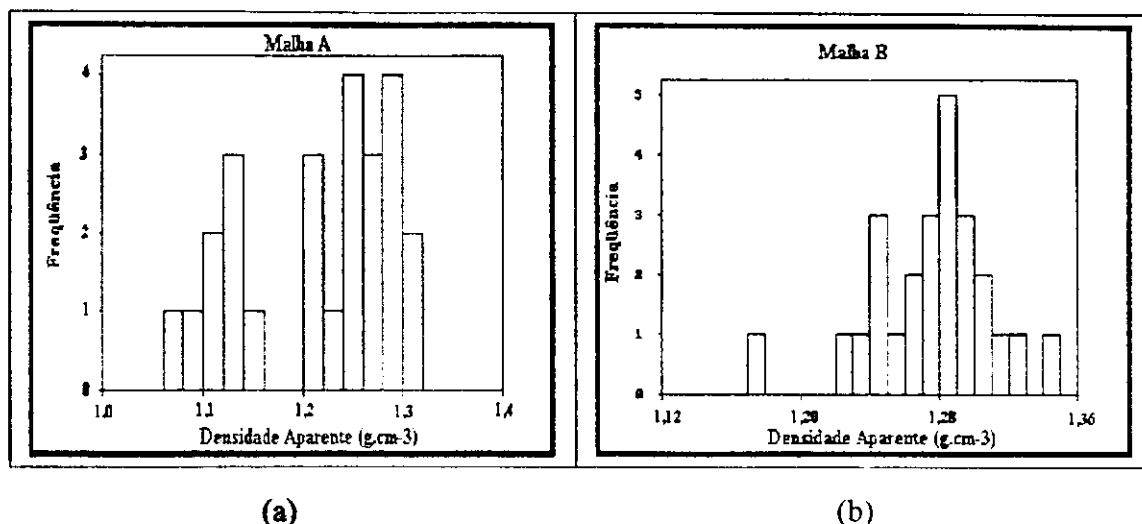


Figura 19. Histogramas de frequência para densidade aparente – malha A (a) e malha B (b).

Tabela 12. Momentos estatísticos dos dados de densidade aparente (Da) obtidos de 25 determinações para a malha A e 25 para a malha B.

Momentos Estatísticos	Malha A	Malha B
	Densidade aparente (g.cm <sup>-3</sup> )	Densidade aparente (g.cm <sup>-3</sup> )
Média amostral	1,208	1,271
Mediana	1,240	1,280
Variância (S <sup>2</sup> )	0,006	0,001
Desvio-padrão (S)	0,077	0,034
CV (%)	6,353	2,687
Assimetria (Cs)	-0,509	-0,493
Curtose (Cr)	1,835	3,619
Mínimo	1,060	1,180
Máximo	1,310	1,340

Utilizando o programa Geo-EAS (1991) para pesquisar a existência de correlações espaciais entre pares de amostras das malhas A e B elaborou-se diversos

semivariogramas, sendo os primeiros examinados para a direção =  $0^\circ$ , tolerância =  $90^\circ$  e  $h = 2,843\text{m}$  (Figura 20).

Os semivariogramas da Figura 23 são oni-direcionais. Esta figura demonstra que há estrutura variográfica e/ou variação espacial e observa-se a presença de crescimento no semivariograma, na origem, nas distâncias entre pares amostrais de 10 a 28m e de 10 a 15m. Esta tendência de semivariograma sugere a presença de uma estrutura e uma certa correlação espacial entre pares de amostras. O melhoramento da estrutura variográfica e a presença de anisotropia poderão ser examinados variando os parâmetros direção, tolerância e distância entre pares de amostras ( $h$ ), durante a elaboração dos semivariogramas (Apêndices 7 e 8). Portanto, os semivariogramas experimentais escolhidos foram com direção de  $0^\circ$ , tolerância de  $90^\circ$ , comuns as áreas, e distância entre pares de 2,8m e 2,843m, respectivamente (Figura 20).

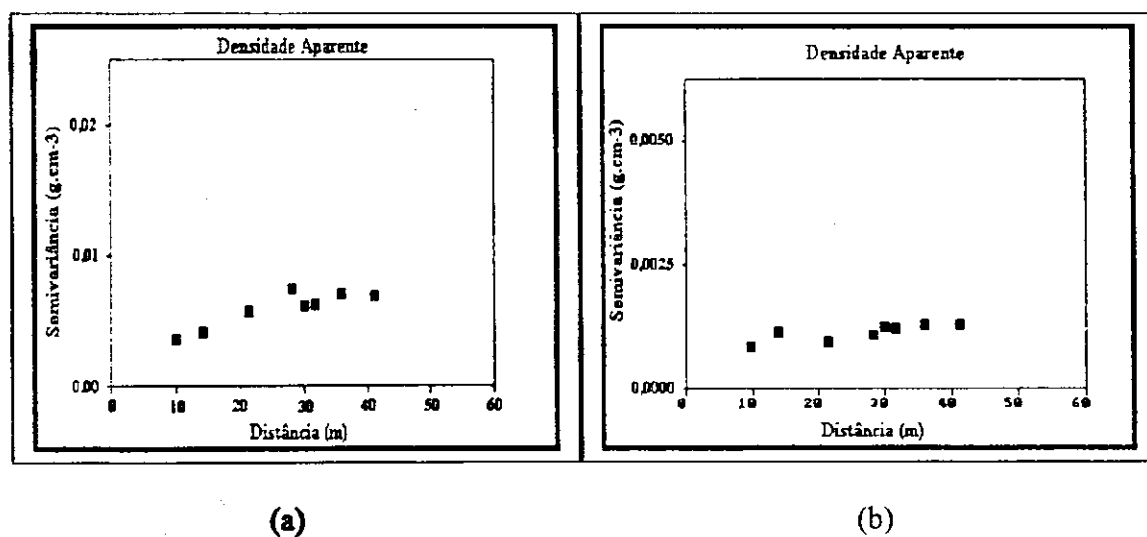


Figura 20. Semivariogramas experimentais para os dados originais de densidade aparente do solo – malha A (a) e malha B (b).

Analisados e testados vários modelos para a densidade aparente (malha A) decidiu-se pelo esférico, visto que, apresentou melhor ajustamento, refletindo assim, no alcance de dependência espacial. Na malha B, ocorreu efeito pepita puro. Portanto, os semivariogramas teóricos foram ajustados seguindo as regras de Guerra (1988) onde os parâmetros considerados são: efeito pepita de 0, patamar de 0,007 e alcance de 31m para a malha A (Tabela 7). Na malha B, a densidade aparente apresentou efeito pepita puro, não havendo portanto, nenhuma restrição na análise estatística clássica, pois o fenômeno é

aleatório puro (Tabela 8). A Figura 21 apresenta os modelos dos semivariogramas teóricos ajustados a modelos esféricos. A variância aleatória do valor 0 é muito menor que a variância espacial 0,007, para a malha A. Este fato também é comprovado com o índice de  $(C_0/[C_0 + C_1])$  do Journel (1975). Segundo este autor, quando essa razão é maior que 0,80, não há diferença significativa entre a estatística e a geoestatística, e assim sendo, a componente aleatória supera a componente espacial. Ainda de acordo com Cambardella *et al.* (1994) o efeito pepita expresso como percentagem de patamar, tem como finalidade facilitar a comparação do grau de dependência espacial da variável em estudo. Assim, a densidade aparente apresenta forte dependência espacial ( $k = 0\%$ ) para a malha A. Já a malha B, apresenta efeito pepita puro ( $C_0 = 0,00113$ ).

Observa-se nas Tabelas 7 e 8, que os  $R^2$  indicam correlação espacial na malha A e ausência na malha B. O semivariograma para densidade aparente (malha A, Figura 21) indica boa estrutura variográfica dos pares analisados até o limite do alcance de dependência espacial, entretanto, na malha B, o comportamento é totalmente aleatório.

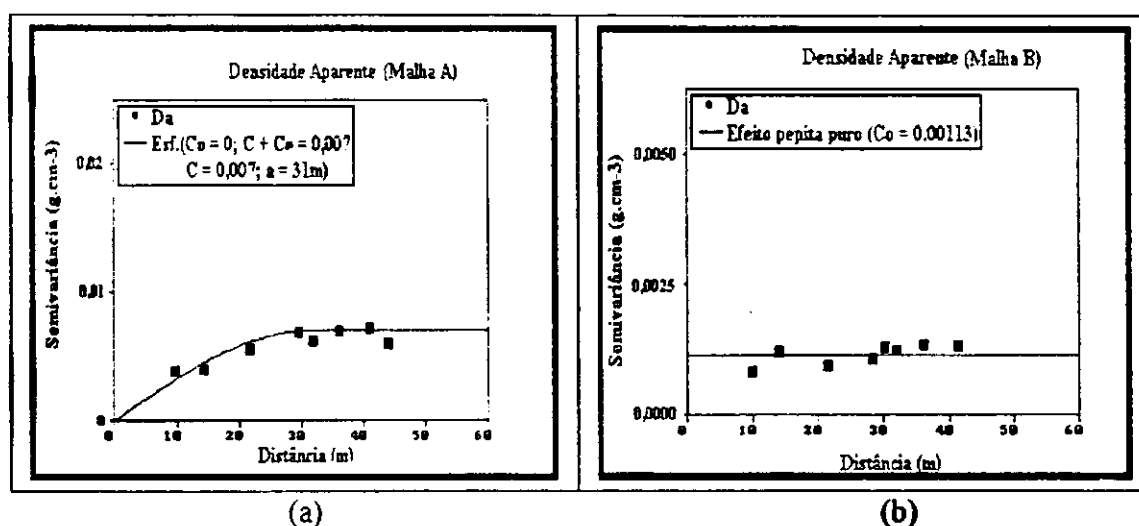


Figura 21. Semivariogramas teóricos ajustados à semivariogramas experimentais para densidade aparente do solo com as estimativas dos parâmetros efeito pepita, patamar e alcance para a malha A (a) e efeito pepita puro para a malha B (b).

Dos resultados, tanto em transecto como nas malhas A e B (Tabela 11 e 12), pode-se discutir que segundo Warrick & Nielsen (1980) e Gomes (1984) que a variabilidade da componente densidade aparente foi muito pequena. O valor da média de  $1,264\text{g.cm}^{-3}$  no transecto,  $1,208\text{g.cm}^{-3}$  na malha A e de  $1,271\text{g.cm}^{-3}$  da malha B, estão localizados na faixa de abrangência das classes de solos arenosos, argilosos e francos,

segundo Prevedello (1996) respectivamente. A densidade aparente apresentou efeito pepita puro em transeto e na malha B. Já na malha A, o efeito pepita relativo de 0, indica que a componente aleatória é pequena. A análise do efeito pepita expresso em percentagem de 0% para a malha A, apresenta forte grau de dependência espacial. Com alcance de dependência espacial de 31m, corresponde ao raio das áreas consideradas homogêneas.

#### 4.4. Porosidade total (Pt)

##### 4.4.1. Sistema de amostragem em transeto

No histograma de frequência para a porosidade total, em percentagem (Figura 22), verifica-se através dos dados provenientes da análise estatística (Tabela 13) que a distribuição tende a ser multimodal com frequência máxima ao redor de 54%. Esta variável apresenta variação mínima de 46,6% e máxima de 61,52% (1,3 vezes), variância de 11,92%, desvio padrão de 3,453% e coeficiente de variação de 6,366%.

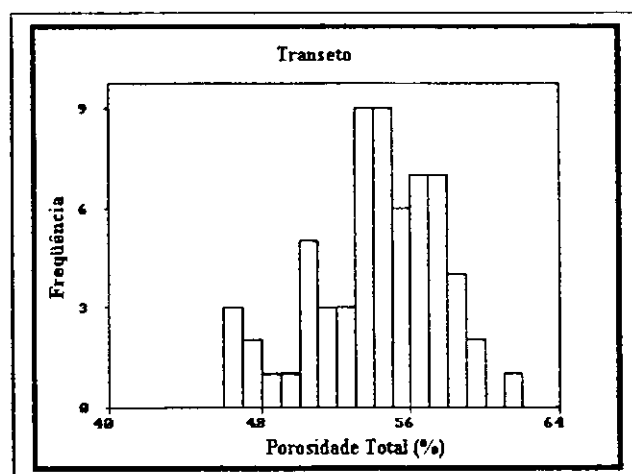


Figura 22. Histograma de frequência para porosidade total do solo em transeto.

Os resultados dos valores médios da porosidade total encontram-se no Apêndice 1. Os valores da média de 54,235%, mediana de 54,29%, apesar de próximos um do outro, bem como, os coeficientes de assimetria (-0,454) e curtose (2,765) (Tabela 13) indicam proximidade normal, entretanto, a Figura 22, indica que a curva de distribuição

sugere a não normalidade dos dados. Estes resultados não concordam com os encontrados por Robaina *of. cit.*, que encontrou uma distribuição normal para esta variável. Anjos *et al.* (1994) encontraram uma distribuição de frequência normal para a porosidade total.

Tabela 13. Momentos estatísticos dos dados da porosidade total (Pt) de 63 amostragens em transeto.

Momentos Estatísticos	Transeto
	Porosidade total (%)
Média	54,235
Mediana	54,290
Variância ( $S^2$ )	11,920
Desvio-padrão (S)	3,453
CV (%)	6,366
Assimetria (Cs)	-0,454
Curtose (Cr)	2,765
Mínimo	46,600
Máximo	61,520

Através da Tabela 13 confirma-se que o coeficiente de variação de 6,366% indica baixa variabilidade, significando que o ensaio apresenta alta precisão, visto que Gomes (1984) afirma que CV inferior a 10% é considerado baixo. Andrade (1997) também observou pequena variação dessa variável, em solo aluvial, franco arenoso.

Examinando o semivariograma experimental para a porosidade total (Figura 23), nota-se que os primeiros dois pontos do semivariograma apresentam crescimento entre 70 a 200, esta tendência confirma a existência de uma fraca estrutura variográfica, bem como, correlação espacial entre as amostras e seus pares vizinhos, uma vez que, na sua maior parte os pares estão tendendo a aleatoriedade.

Neste semivariograma não se pode constatar presença de anisotropia, desde que se trata de um semivariograma uni-direcional com parâmetros: direção 0°, tolerância 90° e distância (h) de 158,291m (Figura 23). O semivariograma experimental apresenta efeito pepita puro 12, conforme a Figura 23 e Tabela 5.

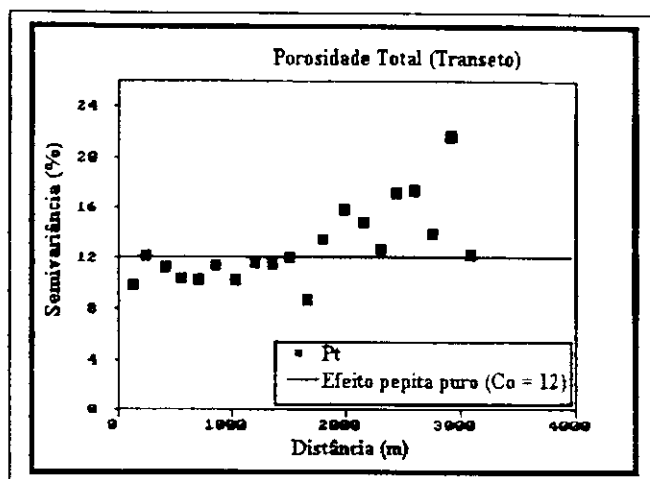


Figura 23. Semivariograma teórico ajustado ao semivariograma experimental para porosidade total, com efeito pepita puro, em transeito.

A porosidade total apresenta comportamento totalmente aleatório, não havendo dependência espacial entre pares amostrais, o que significa dizer, que tanto a estatística clássica como a geoestatística não se diferem estatisticamente, portanto, podem ser aplicadas na análise dos dados (Tabela 5). O  $R^2$  de 0,46 (Tabelas 5) indicam pequena correlação espacial, ou seja, confirma a pura aleatoriedade para a porosidade total.

#### 4.4.2. Sistema de amostragem nas malhas A e B

Os dados da variável porosidade total expressos em percentagem para as malhas A e B, foram submetidas as medidas estatísticas (Tabela 14), cujos dados médios foram extraídos dos Apêndices 3 e 5. Nesta tabela, observa-se variação da ordem de 51,59 a 59,5% (1,2 vezes) e 51,26 a 57,63% (1,1 vezes) com médias de 54,883 e 53,773%, medianas 54,08 e 53,82%, desvio-padrão de 2,255 e 1,245%. Estes resultados estão dentro dos limites normalmente encontrados em solos argilosos, argilo-arenosos, tais como os de Pizarro (1978). As médias de porosidade total com variâncias de 5,087 e 1,551% sugerem que tal variável varia mais na malha A do que na malha B. Os coeficientes de variação de 4,11 e 2,316% indicam baixa variabilidade dos dados de acordo com Warrick & Nielsen (1980) e Gomes (1984). Uma variação dessa ordem de grandeza, obtida por Queiroz *et al.*

(1999) em um Gleissolo eutrófico, horizonte A moderado, textura argilosa à média. Também, foi encontrado por Machado (1994) em um solo de várzea tipo orgânico (HO).

Tabela 14. Momentos estatísticos dos dados de porosidade total (Pt) obtidos de 25 determinações para a malha A e 25 para a malha B.

Momentos Estatísticos	Malha A	Malha B
	Porosidade total (%)	Porosidade total (%)
Média amostral	54,883	53,773
Mediana	54,080	53,820
Variância ( $S^2$ )	5,087	1,551
Desvio-padrão (S)	2,255	1,245
CV (%)	4,110	2,316
Assimetria (Cs)	0,536	0,820
Curtose (Cr)	2,037	5,402
Mínimo	51,590	51,260
Máximo	59,500	57,630

A distribuição da porosidade total nessas duas malhas são do tipo multimodal (Figura 24) e a maioria das amostras possuem frequência máxima em torno de 53%. Queiroz *et al.* (1999) obteve distribuição de frequência normal para a porosidade drenável. Analisando estas figuras, pode-se afirmar que o solo é heterogêneo com relação a esta variável.

Os coeficientes de assimetria e curtose, para uma distribuição normal, tem valores 0 e 3, respectivamente e tomando como referência estes valores (Guerra, 1988; Vieira, 1998) é possível afirmar que os resultados analisados seguem a não normalidade dos dados (Tabela 14).

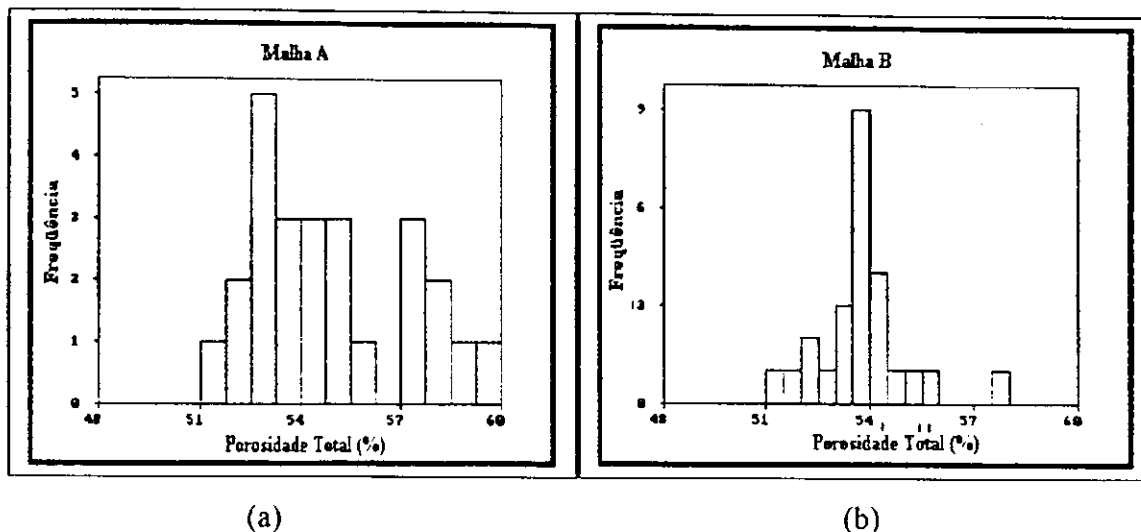


Figura 24. Histogramas de frequência para porosidade total – malha A (a) e malha B (b).

As pesquisas sobre correlações espaciais entre pares de amostras (Geo-EAS, *of. cit.*), foram realizadas para as duas malhas que seguem os critérios vistos anteriormente, de modo que os primeiros semivariogramas examinados para a direção =  $0^\circ$ , tolerância =  $90^\circ$  e  $h = 2,843m$ , são semivariogramas oni-direcionais (Figuras 25) onde observa na malha A, crescimento de 10 a 15m e, na malha B, crescimento de 10 a 28m. Isto permite dizer que existe uma estrutura e correlação espacial entre os pares de amostras analisadas.

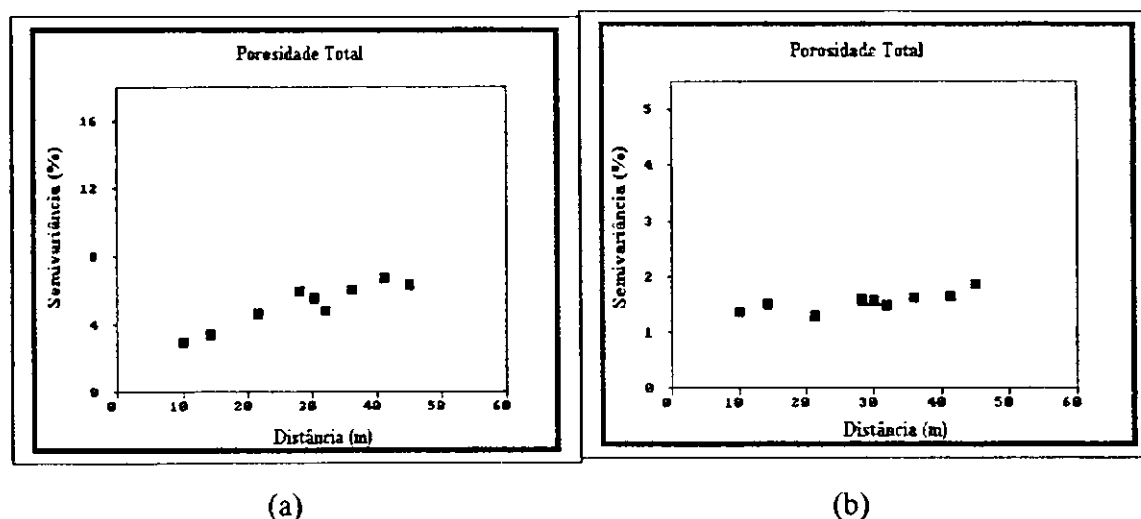


Figura 25. Semivariogramas experimentais para os dados reais de porosidade total do solo – malha A (a) e malha B (b).

Variando os parâmetros direção, tolerância e distância entre pares de amostras (h), conseguiu-se melhorar a estrutura variográfica (Figura 26), bem como, se



verificou presença de anisotropia (Apêndices 7 e 8). Assim, escolheu-se os semivariogramas experimentais multidirecionais com as seguintes características: direção  $90^\circ$  e  $0^\circ$ , tolerância de  $70^\circ$  e  $60^\circ$  e distância de 2,8m e 2,843m para as duas malhas, respectivamente.

Os semivariogramas para a porosidade total (malha A) foram ajustados a modelos esféricos, após comparar com o linear. Já na malha B, nota-se uma tendência a efeito pepita puro, porém se verifica correlação dos primeiros pares amostrais, sendo assim, ajustado ao modelo esférico. O semivariograma teórico foi ajustado ao modelo esférico e apresentam efeito pepita de 0,6, patamar de 6 e alcance de 27m (malha A). Já a malha B, apresenta efeito pepita de 0,20, patamar de 1,56 e alcance de 13m (Figura 26). Os valores dos modelos dos semivariogramas teóricos ajustados constam na Tabela 7 e 8.

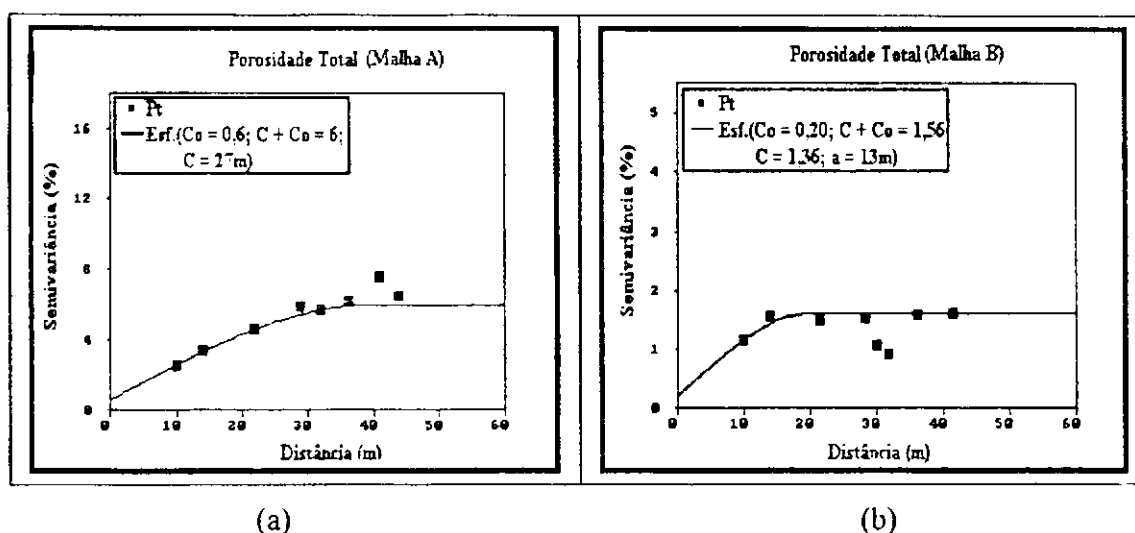


Figura 26. Semivariogramas teóricos ajustados à semivariogramas experimentais para porosidade total do solo e as estimativas dos parâmetros efeito pepita, patamar e alcance – malha A (a) e malha B (b).

Os parâmetros variância aleatória (0,60 e 0,20) e variância espacial (6,0 e 1,56) permite afirmar que o efeito de pepita relativo (0,11 e 0,15) sugere que a componente aleatória é pequena em relação a variação espacial (Royle, 1979). O efeito pepita expresso em porcentagem do patamar, tem como finalidade comparar o grau de dependência espacial da variável em estudo. Segundo a classificação proposta por Cambardella (1994) o resultado obtido de 0,10% e 0,13% é considerado de forte dependência espacial, para as malhas A e B, respectivamente.

A porosidade total (malha A) apresentou  $R^2$  de 0,99 (Tabelas 7 e 8) indicando forte correlação espacial e bom ajuste de regressão, entretanto, na malha B, o valor de 0,53 correlação pequena. Este comportamento são freqüentes nas malhas, uma vez que o número de amostras analisadas forma bem menor do que o número de amostras analisados no sistema de amostragem em transeto. A análise conjunta dos dados obtidos em transeto e nas malhas A e B (Tabela 13 e 14) para a porosidade total, indicam médias de 54,235%, 54,883% e 53,773% muito próximas. Os valores das médias amostrais estão dentro do intervalo de 30% – 55% da classe de solos siltosos e francos em acordo com Prevedello (1996). A porosidade total apresenta CV de 6,366%, 4,11% e 2,316%, indicando, assim, baixa variabilidade dos dados, respectivamente na mesma ordem. Como a porosidade total foi calculada pela relação  $[1-(D_a/D_r) * 100]$ , ou seja, baseado nos valores médios da densidade aparente e densidade real, a variabilidade espacial também se mostrou pequena em acordo com Andrade (1997) que trabalhou em solo aluvial na Paraíba. O estudo do efeito pepita em percentagem do patamar mostrou que os semivariogramas são de dependência espacial moderada no transeto e forte nas duas malhas investigadas. O efeito pepita relativo, indicou que a aleatoriedade é bastante importante no transeto e pequena nas malhas A e B. O alcance de dependência espacial no estudo do semivariograma, significa a distância máxima que uma variável está correlacionada espacialmente. A porosidade total apresenta alcance de 220m, 27m e 13m, respectivamente em transeto e nas malhas A e B.

#### 4.5. Capacidade de campo (C.C.), ponto de murcha permanente (P.M.P.) e água disponível (A.D.)

##### 4.5.1. Sistema de amostragem em transeto

Os dados dos momentos estatísticos da capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas constam na Tabela 15, cujos dados foram extraídos do apêndice 2. A partir destas informações obteve-se o histograma de distribuição de freqüência que tende para o tipo multimodal (Figura 27) com ocorrência de

freqüência máxima de 21,5%, 4,5% e 8%. Os valores observados apresentam variação de 2,86 a 27,5% (9,6 vezes), de 1,73 a 17,08 (9,9 vezes) e 1,13 a 11,08% (9,8 vezes). A média situa-se em torno de 15,174%, 9,058% e 6,117% com variância de 46,304%, 16,441% e 8,503%, mediana de 15,94%, 9,07% e 6,57%, desvio padrão de 6,805%, 4,055% e 2,916%.

Tabela 15. Momentos estatísticos dos dados de capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível de 63 amostragens em transeto.

Momentos Estatísticos	Transeto		
	C.C. (%)	P.M.P. (%)	A.D. (%)
Média	15,174	9,058	6,117
Mediana	15,940	9,070	6,570
Variância ( $S^2$ )	46,304	16,441	8,503
Desvio-padrão (S)	6,805	4,055	2,916
CV (%)	44,845	44,765	47,675
Assimetria (Cs)	-0,102	0,099	-0,206
Curtose (Cr)	1,952	2,121	1,779
Mínimo	2,860	1,730	1,130
Máximo	27,500	17,080	11,080

Analisando os histogramas de freqüências (Figura 27) observa-se que as variáveis não seguem uma distribuição normal. Isto pode ser confirmado pelas distâncias observadas entre os valores das médias e medianas, bem como, pelos valores dos coeficientes de assimetria (-0,102, 0,099 e -0,206) que devem estar próximos de 0 e dos de curtose (1,952, 2,121 e 1,779) que devem estar próximos de 3.

Os coeficientes de variação de 44,845% (CC) 44,765% (PMP) e 47,675% (AD) possuem magnitude de variabilidades bastantes semelhantes. Pelos limites do coeficiente de variação propostos por Warrick & Nielsen (1980) a CC, PMP e AD apresentam variabilidade média ( $44,765\% < CV < 47,675\%$ ) (Tabela 15). Coelho Filho (1998) obteve baixa variabilidade para a CC e PMP. Observam-se crescimentos entre os dois primeiros pares de amostras de 80 a 200m, confirmando portanto, correlação espacial nas situações: direção 0°, tolerância 90° e distância (h) de 158,291m e, bem como, presenças de estruturas variográficas e/ou variações espaciais. Também se observa uma

sucessão de alcances e patamares, onde cada uma das estruturas aparecem como um fenômeno de transição particular, determinando-se, para cada uma delas, seus alcances e, bem como seus graus de variabilidade. A Figura 28 apresenta os semivariogramas das variáveis capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível, como os próprios semivariogramas experimentais direcionais (Figura 28).

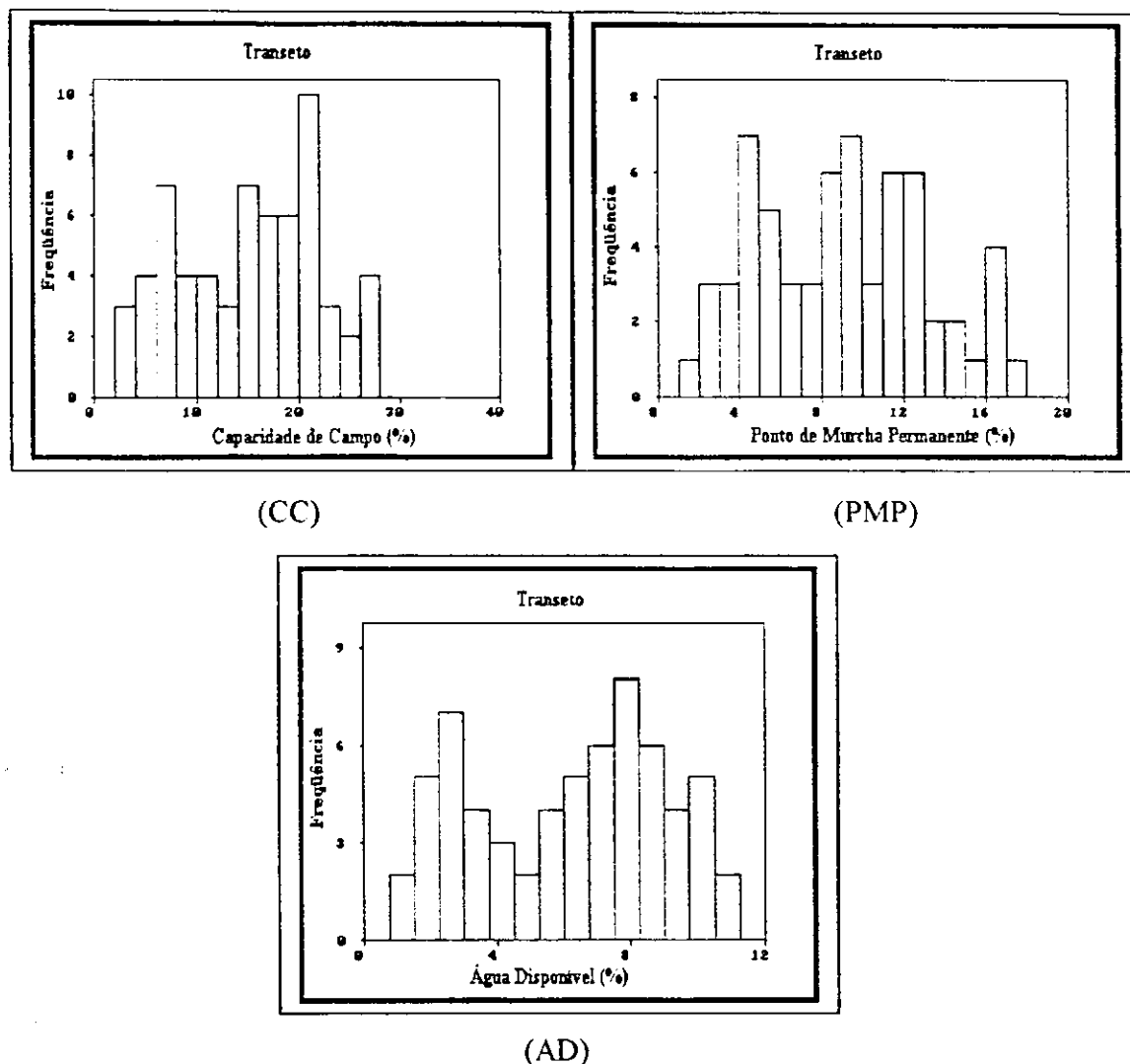


Figura 27. Histogramas de frequência para capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD) em transecto.

Todos os semivariogramas foram verificados, porém o modelo que melhor de ajustou foi o esférico. Portanto, os ajustes dos semivariogramas experimentais aos modelos teóricos apresentam os seguintes parâmetros: efeito pepita de 39,64, patamar de 70,71 e alcance de 1.500m para a capacidade de campo, efeito pepita de 14, patamar de 21

e alcance de 667m para o ponto de murcha permanente e efeito pepita de 6,77, patamar de 11,41 e alcance de 360m para a água disponível (Figuras 28 e Tabela 5).

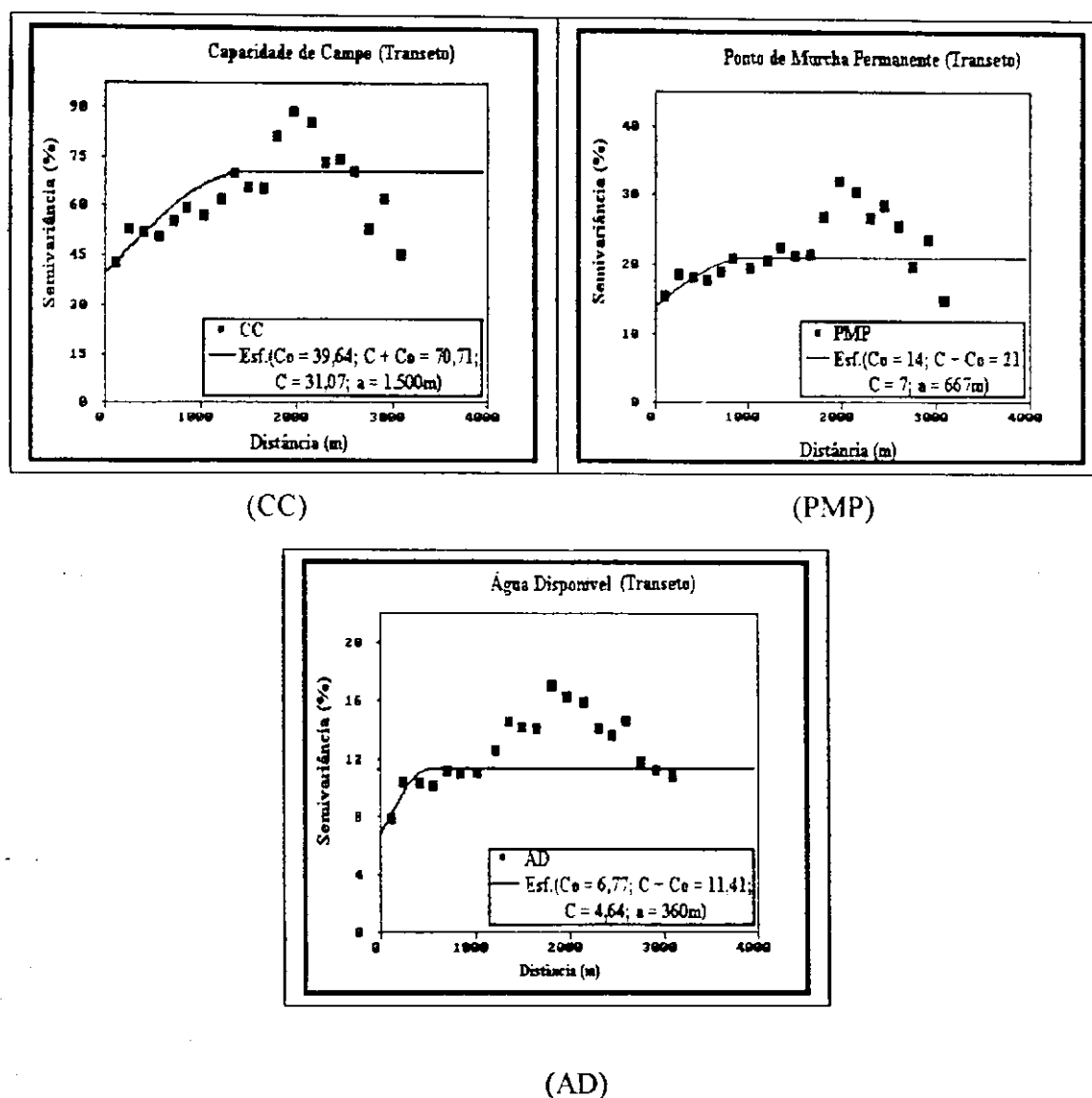


Figura 28. Semivariogramas teóricos ajustados a semivariogramas experimentais com mais de um modelo variográfico para capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD), com as estimativas dos parâmetros efeito pepita, patamar e alcance, em transeto.

De acordo com os critérios propostos por alguns autores, semivariogramas com efeito pepita  $< 25\%$  apresentam forte dependência espacial, entre  $25\%$  e  $75\%$  moderada e  $> 75\%$  fraca. Assim, os valores encontrados expressos como uma percentagem do patamar  $[C_0/(C_0 + C_1)] \cdot 100$  de  $56\%$ ,  $67\%$  e  $59\%$ , possuem moderada dependência

espacial, para a capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas, respectivamente.

Todos os semivariogramas das variáveis analisadas ao longo do transeto na área de estudo, indicam presença de mais de uma estrutura variográfica. Isto porque ao longo do transeto amostrado, pode ter ocorrido transporte de sedimentos de forma, desuniforme, resultando assim, semivariogramas com mais de uma estrutura variográfica. Segundo Vieira *et al.* (1997), não é comum as variáveis de solo apresentarem proporcionalidade. Esse comportamento, é típico de solos aluviais que são mais variáveis que os demais, e está sujeito a distúrbios provocados pelo manejo do campo. Este comportamento se confirma analisando os valores dos coeficientes de determinação (Tabela 5) que são de 0,87 (CC) 0,82 (PMP) e 0,88 (AD). Apesar de variável, confirma a presença de estrutura variográfica das variáveis analisadas.

#### 4.5.2. Sistema de amostragem nas malhas A e B

A análise estatística dos valores da capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível calculada para as plantas, em percentagem, para as malhas A e B, são apresentadas na Tabela 16. Nos Apêndices 4 a 6 constam os dados, obtidos no laboratório. Através da Tabela 16 observa-se variações para CC, PMP e AD, de 15,59 a 35,47% (2,3 vezes), 8 a 22,91% (2,9 vezes) e 7,59 a 12,56% (1,7 vezes) para a malha A e, na malha B, nota-se variações de 19,19 a 39,94% (2,1 vezes), 9,76 a 24,28% (2,5 vezes) e 9,28 a 15,84 (1,7 vezes). Observa-se também, para CC, PMP e AD, os valores das médias 23,639%, 13,816% e 9,821 (malha A) 31,804%, 18,68% e 13,124% (malha B), os valores das medianas de 23,639%, 13,77% e 9,84; 31,75%, 18,92% e 13,14%, e o desvio-padrão de 4,597, 3,261 e 1,502; 5,426, 3,893 e 1,646, para as malhas A e B, respectivamente.

A proximidade entre mediana e média aritmética (Tabela 16), é indicativo de uma provável distribuição normal. A análise estatística dessas variáveis, sugerem que a distribuição tende a bimodal para os dados de capacidade de campo (malha A) com frequência máxima de 25% e as demais distribuições tendem a multimodal com ocorrência de frequência máxima ao redor de 32% (CC), 14% e 19% (PMP) e 7,5 e 14% (AD) para as malhas A e B, respectivamente (Figura 29).

Os coeficientes de variação entre 17,06% e 19,447% para a CC, entre 20,842% e 23,605% para o PMP e 15,298% e 12,541% para a AD, permitem classificar esses resultados como de média variabilidade em conformidade com Warrick & Nielsen (1980) para as malhas A e B, respectivamente. Sousa (1998) encontrou variabilidade média para a CC, PMP e AD e Robaina (1997) também obteve média variabilidade para a CC e PMP.

Tabela 16. Momentos estatísticos dos dados de capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD) obtidos de 25 determinações para a malha A e 25 para a malha B.

Momentos Estatísticos	Malha A			Malha B		
	CC (%)	PMP (%)	A.D. (%)	CC (%)	PMP (%)	A.D. (%)
Média	23,639	13,816	9,821	31,804	18,680	13,124
Mediana	23,620	13,770	9,840	31,750	18,920	13,140
Variância ( $S^2$ )	21,133	10,636	2,257	29,438	15,158	2,709
Desvio-padrão (S)	4,597	3,261	1,502	5,426	3,893	1,646
CV (%)	19,447	23,605	15,298	17,060	20,842	12,541
Assimetria ( $C_s$ )	0,335	0,613	0,001	-0,707	-0,705	-0,463
Curtose ( $C_r$ )	3,092	3,840	1,877	3,204	3,065	3,059
Mínimo	15,590	8,000	7,590	19,190	9,760	9,280
Máximo	35,470	22,910	12,560	39,940	24,280	15,840

Analisando os semivariogramas médios (Figura 30) constata-se que existe presença de estrutura variográfica e/ou variação espacial, apesar das Figuras 30a apresentarem decréscimo nos dois primeiros pares amostrais, que cresce entre 15m a 29m e de 10m a 15m para a CC, entre 15m a 30m e de 10m a 15m para o PMP e de 15 a 30m e 10 a 15m para AD, para as malha A e B, respectivamente.

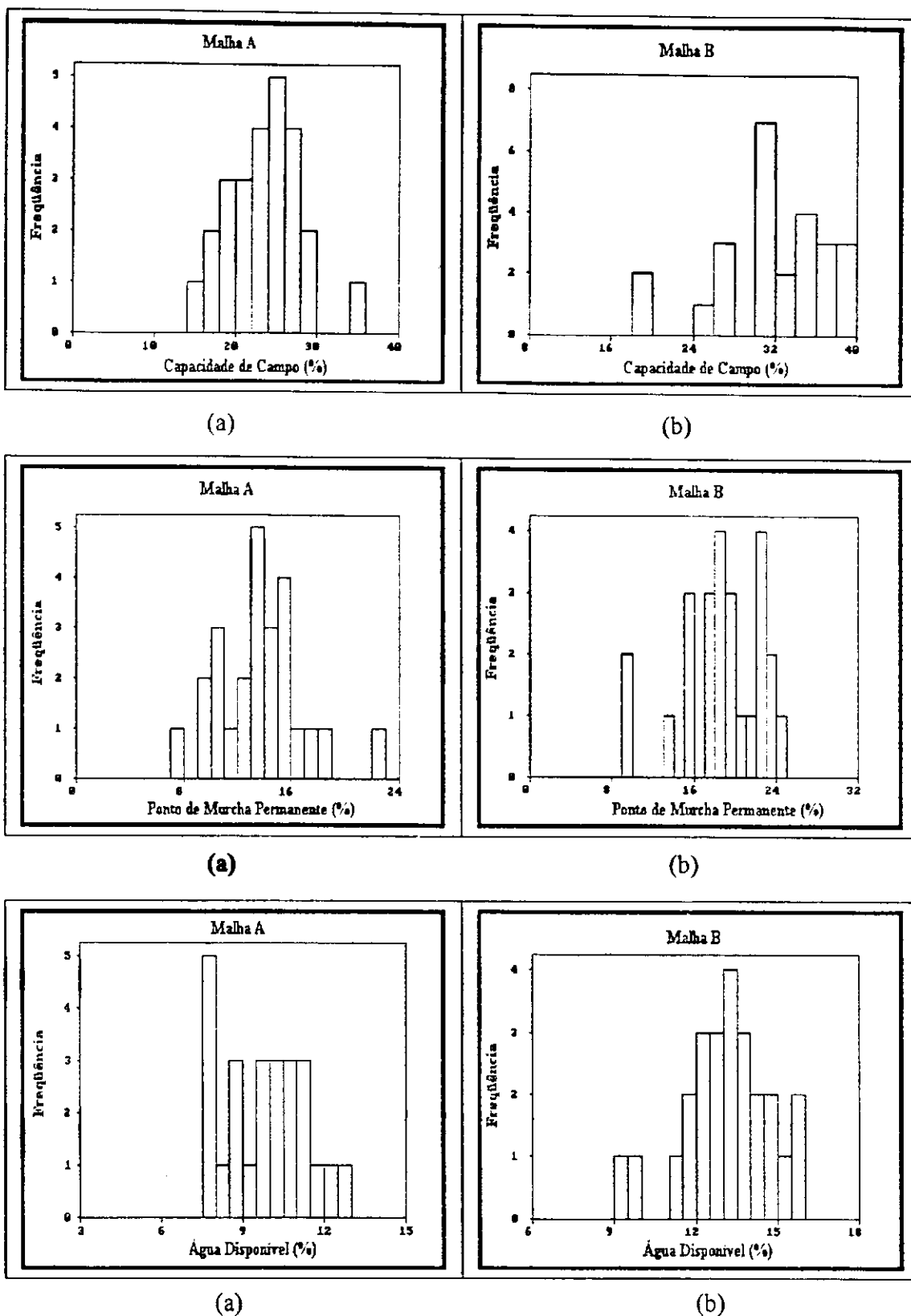


Figura 29. Histogramas de frequência para a capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas – malha A (a) e malha B (b).



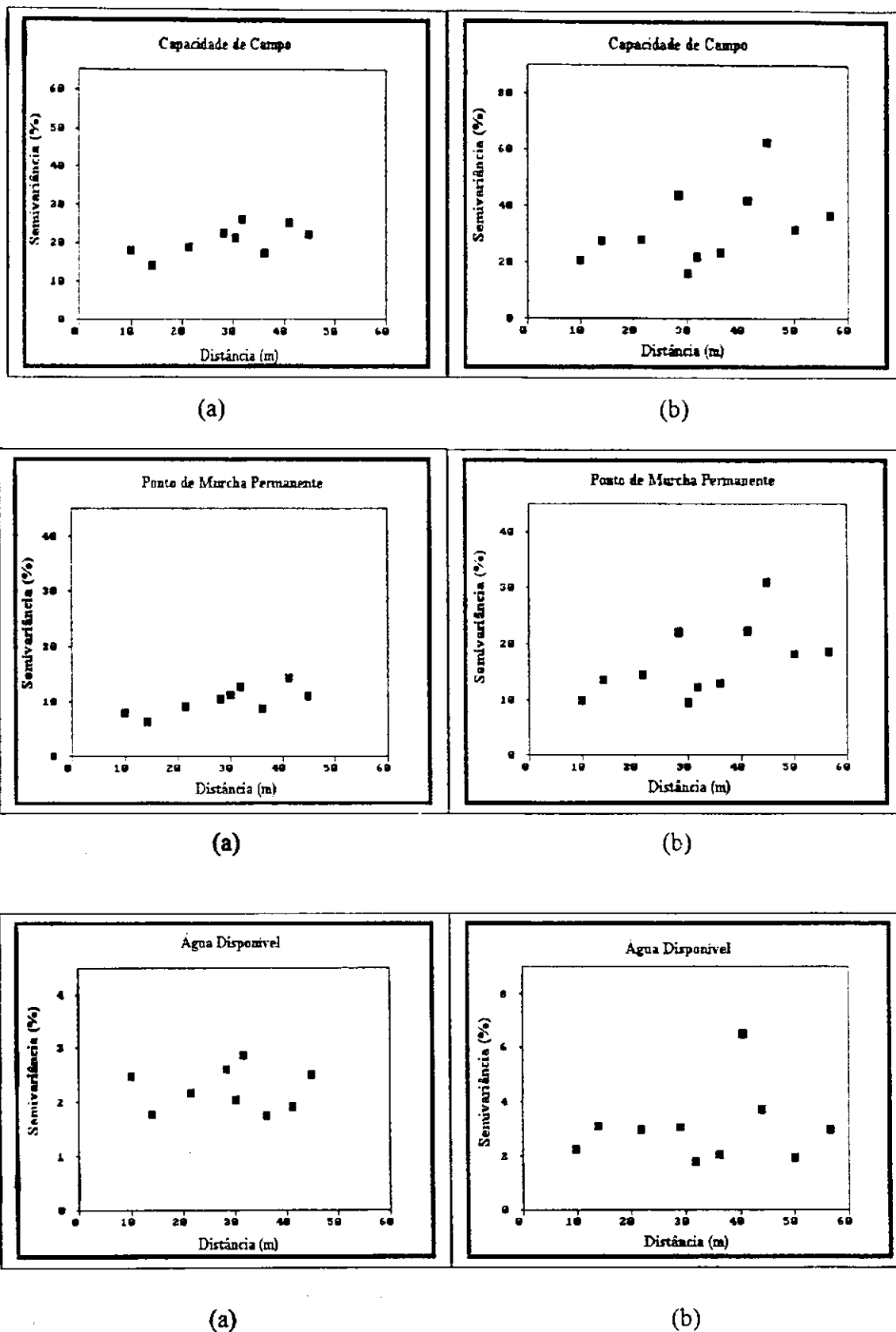


Figura 30. Semivariogramas experimentais para os dados reais de capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas-- malha A (a) e malha B (b).

Partindo deste princípio, confirma-se a presença de variação espacial, nas malhas investigadas, chegando-se as características dos semivariogramas experimentais escolhidos com direção 0°, tolerância 90° e distância 3,2m para a CC; direção 0°, tolerância 90° e distância 2,8m para o PMP, direção 90°, tolerância 75° e distância 3,2m para a AD (malha A). Para a malha B, direção 0°, tolerância 75° e distância 2,8m para a CC; direção 0°, tolerância 80° e distância 2,8m para o PMP, direção 0°, tolerância 75° e distância 2,8m para AD (Figura 30). Nos semivariogramas investigados foi confirmado presença de anisotropia (Apêndices 7 e 8).

O melhor modelo foi o esférico, portanto, os semivariogramas foram ajustados ao modelo esférico (Figura 31). Na Tabela 7 estão as estimativas dos parâmetros do modelo ajustado considerados para a malha A, cujos resultado são efeito pepita 0, patamar 25 e alcance de 27m para a CC; efeito pepita 0, patamar 13,13 e alcance de 29m para a PMP e efeito pepita 1,0, patamar 2,7 e alcance de 31m para a AD. Na Tabela 8 apresentam-se as estimativas dos parâmetros considerados para a malha B, cujos resultados são efeito pepita 0, patamar 35,11 e alcance de 17m para a CC; efeito pepita 0, patamar 18,89 e alcance de 29m para o PMP, efeito pepita 0, patamar 3,27 e alcance de 14m para a AD, respectivamente. Sousa (1998) obteve alcance de dependência espacial da ordem de 38 a 45m (CC) 35 a 40m (PMP) e 40 a 45m (AD). Já Robaina chegou a alcance de 15m para o PMP.

O efeito pepita reflete a variabilidade não explicada ou variações não detectadas pela distância insuficiente da malha de amostragem (Cambardella *et al.*, 1994). Quando expresso como porcentagem da semivariância total (patamar), possibilita melhor comparação entre as variáveis quanto ao grau de dependência espacial (Trangmar *et al.*, 1985). De acordo com os critérios propostos por Cambardella *et al.* (1994) semivariogramas com efeito pepita < 25%, entre 25 e 75% e > 75%, são considerados com forte, moderada e fraca dependência espacial, respectivamente. Assim, o índice  $[C_0/(C_0+C_1)]*100$  de 0% indica que a C.C. e A.D., apresentam forte dependência espacial, e o P.M.P., apresenta moderada dependência espacial, para a malha A. Já os resultados da malha B, indicam que a C.C., o P.M.P. e A.D., apresentam forte dependência espacial. Dos parâmetros hídricos analisados, a A.D. foi quem apresentou o menor e o maior alcance de dependência espacial de 14m e 31m.

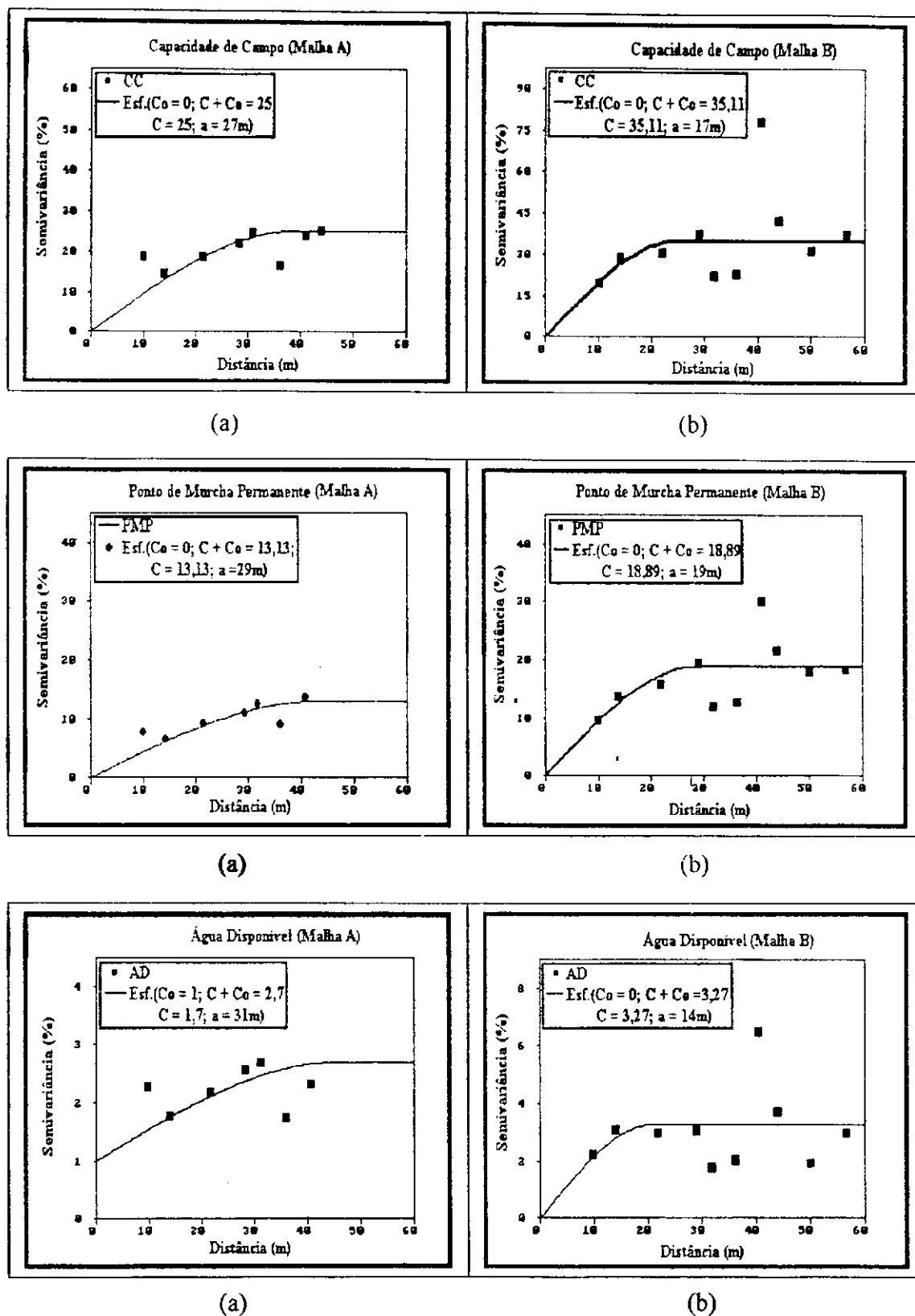


Figura 31. Semivariogramas teóricos ajustados à semivariogramas experimentais para C.C., P.M.P. e A.D. com as estimativas dos parâmetros efeito pepita, patamar e alcance – malha A (a) e malha B (b).

Os coeficientes de determinação contidos nas Tabelas 7 e 8 indicam boa estrutura variográfica nas malhas A e B. Na malha A, o PMP apresenta a melhor estrutura, sendo que a AD mostra menor correlação. Também, na malha B, o PMP apresenta a melhor estrutura, enquanto que a AD, mostra uma estrutura mais fragilizada. Entretanto, estes valores estão coerentes com os obtidos por Robaina (1997) da ordem de 0,56 a 0,85 para a CC e de 0,45 a 0,81 para o PMP.

Em síntese, as observações realizadas, tanto no sistema de amostragens em transecto, quanto nas malhas A e B (Tabela 15 e 16) para as propriedades hídricas do solo, mostram a seguinte ordem de variabilidade:  $AD > CC > PMP$  em transecto e  $PMP > CC > AD$  nas malhas. As propriedades hídricas apresentam média variabilidade espacial dos dados, sendo que a água disponível apresentou maior variação (CV de 47,675%) em transecto, já nas malhas, o ponto de murcha permanente apresentou maior variação (CV de 20,842 – 23,605%). O efeito pepita expresso em percentagem do patamar, mostra que a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente e a água disponível possui moderada dependência espacial no transecto. Na malhas A, a CC. e o PMP, apresentam forte dependência espacial, e a AD apresenta moderada dependência. Já na malha B, os parâmetros analisados apresentaram forte dependência espacial. A variável hídrica que apresentou o menor alcance no transecto foi a AD com valor de 360m, sendo que o maior alcance foi de 1.500m para a CC. Nas malhas, o menor alcance de dependência espacial foi 14m para a AD. e o maior foi de 31m para a AD.

A Tabela 17 mostra resumidamente, os resultados mais importantes das variáveis textural (areia, silte e argila), densidade real e aparente, porosidade total, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas, no sistema de amostragem em transecto e nas malhas A e B.

Tabela 17. Alcances (m) e coeficientes de variação (%CV) para o sistema de amostragens em transeto e nas malhas A e B.

Vaiáveis	Transeto		Malha A		Malha B	
	Alcance (a) (m)	CV (%)	Alcance (a) (m)	CV (%)	Alcance (a) (m)	CV (%)
Areia (%)	1.564	24,003	18	19,750	14	21,156
Silte (%)	1.931	53,987	17	29,757	20	13,442
Argila (%)	1.813	36,634	20	19,133	15	16,580
Dr (g.cm <sup>-3</sup> )	2.000	1,416	27	1,731	29	1,000
Da (g.cm <sup>-3</sup> )	–	7,987	31	6,353	–	2,687
Pt (%)	–	6,366	27	4,110	13	2,316
CC (%)	1.500	44,845	27	19,447	17	17,060
PMP (%)	667	44,765	29	23,605	29	20,842
AD (%)	360	47,675	31	15,298	14	12,541

## 5 CONCLUSÕES

1. A análise granulométrica indica que o solo aluvial, apresenta classe textural média franco argilo-arenoso nos sistemas de amostragens em transeto e na malha A, e franco argiloso na malha B.
2. Todas as variáveis mostram distribuição estatística de forma bimodal e/ou multimodal com pequena assimetria e curtose.
3. A análise variográfica das variáveis areia, silte, argila, densidade real, porosidade total, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível, mostram presença de estrutura variográfica na área de estudo. A presença de correlação e variância espacial, destaca-se bem no transeto, devido o maior número de amostras, e também, a extensão da área, do que nas malhas A e B, onde a área e o número de amostras foram limitadas.
4. As propriedades texturais do solo (areia, silte e argila) apresentaram distâncias de dependência espacial em transeto e nas malhas A e B.
5. A variabilidade das componentes densidade aparente, densidade real e porosidade total, tanto em transeto, como nas malhas A e B, foram muito pequenas.

6. Para amostragens aleatórias em transecto e nas malhas A e B, deve-se considerar a distância de dependência espacial para densidade real e porosidade total.
7. A densidade aparente apresentou efeito pepita puro no transecto e na malha B.
8. Entre as propriedades hídricas do solo, a capacidade de campo foi a mais heterogênea, com CV da ordem de 44,8%.
10. A capacidade de campo, o ponto de murcha permanente, e a água disponível para as plantas, apresentaram alcance de dependência espacial, no transecto e nas malhas A e B.
11. Os alcances ou áreas de influências obtidas através dos semivariogramas poderão ser utilizados em futuras amostragens com fins de elaboração de projetos de irrigação.

## 6. BIBLIOGRAFIA

AFONSO P.G. *Geoestatística operacional*. Departamento Nacional da Produção Mineral, Brasília-DF, 1988. 135 p.

ALBUQUERQUE, J. A., REINERT, D. J., FIORIN, J. E. Variabilidade de solo e planta em podzólico vermelho-amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas-SP, 20:151-157, 1996.

ALVES, F. P. *Variabilidade da condutividade hidráulica saturada, densidade aparente e da distribuição do tamanho das partículas de um podzólico vermelho-amarelo*. 1979, 55p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa-UFV, Minas Gerais.

ANDRADE, A. R. S. de. *Características físico-hídricas dos solos da estação experimental da embrapa algodão. Variabilidade espacial*. 1997. 100 p. (Dissertação de Mestrado) – Centro de Ciências e Tecnologia, Campus II, Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, PB.

ANJOS, J. T.; UBERTI, A.; VIZZOTTO, J. V.; LEITE, S. G; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas-SP, 1(18): 139-145, 1994.

ANTONIO, F.C & DORFMAN, R. *Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem*. Editora Nobel, 1986. 125-146 p.

ARZENO, J.L. *Avaliação física de diferentes manejos de solo em um Latossolo Roxo-Distrófico*. 1990. 259 p. (Tese de Doutorado) – Escola Superior “Luís de Queiroz”/USP. Piracicaba, SP.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO AGRÍCOLA SUPERIOR, ABEAS. *Manejo e conservação de recursos naturais renováveis*. Universidade Federal da Paraíba-UFPB, 1997a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO AGRÍCOLA SUPERIOR, ABEAS. *Ecologia e aproveitamento sustentado dos riachos e lagos temporários do Semi-Árido Nordeste*. Universidade Federal da Paraíba-UFPB, 1997b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: *Informação e documentação – referências – elaboração*. Rio de Janeiro, 2000.

BAVER, L.D. Soil permeability in relation to noncapillary porosity. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 3:52-4. 1938.

BAVER, L. D., GARDNER, W. H., GARDNER, W. R. *Soil physics*. 4 ed. Ney York, U.S.A., 1973. 498p.

BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 6. ed. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1995. 657p.: il.

BLACK, C. Methods of soil analysis. Physical and Mineralogical Properties Including Statistics. *Inc., Agronomy Monograph (09) Part. 1*, 26 p. 1965.

BLACK, O. *A relaciones suelo-planta*. 1. ed. México/Buenos Aires, 1975. 444p.

BOEDT, L. & VERHEEYE, W. Evaluation of profile available water capacity. 1. The conceptual approach. *Pedologie*. 35 (1): 55-65, 1985.

BOEDT, L. & VERHEEYE, W. Evaluation of profile available water capacity. 2. Application to irrigation on soils with different properties. *Pedologie*, 35 (1)V 67-89. 1985.

BOUYOUCOS, G.J. The hydrometer method for studying. *Soil Sci*, 5 (25): 367-371. 1951.

BRADY, N. C. *Natureza e propriedades dos solos* / Nyle C. Brady "nature and properties of soils". Trad. Antônio B. Neiva Figueiredo F.º 7. ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989. 898 p. il. 23cm.

BUCKMAN, H. O., BRADY, N. C. *Natureza e propriedades dos solos*. 6 ed. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1983. P. 51-57, 171-203.

CADINA, Z. A.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica em um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média no campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas-SP, 4: 63-66, 1980.

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

CARVALHO, E. A. *Caracterização física de três solos do Município de Areia-Paraíba*, 1978. 102p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba-UFPB, Campina Grande-PB.

CARVALLO, H. O. *Características dos solos importantes na irrigação*. Planejamento Agrícola a nível de propriedade. [s.l.]: SUDENE / UFPB, Abr. / 1982.

CARVALLO GUERRA, H. O. & GHEYI, H. R. *Spatial variability of soil properties in reclaimed strip-mired lands*. Pesq. Agrop. Bras., Brasília, 11(18): 1249-1256. 1984.

CARVALLO GUERRA, H. O. *Física dos solos*. Campina Grande, Pb, 2000. 175p. Departamento de Engenharia Agrícola - Centro de Ciência e Tecnologia CCT-UFPB.

CIRINO, C. G. *Utilização das relações energia/umidade na caracterização físico-hídrica dos solos*. 1992. 68 p. (Dissertação de Mestrado) - Centro de Ciências e Tecnologia, Campus II, Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, PB.

COELHO, L. M. *Spatial variability of water related soil physical properties*. Tucson, 130p. (Tese Ph.D). The University of Arizona.

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

DAVID, M. *Geostatistical ore reserve estimation*. Amsterdam Elsevier Publishing Company, 1977. 364p.

DAVIS, J. C. *Statistics and data analysis in geology*. New York - John Wiley, 550 p. 1973.

DOORENBOS, J. e KASSAM, A. H. *Yield response to water*. FAO-Rome, Copyright © FAO. 1979.

DUARTE, S. M. A. *Diagnóstico físico-conservacionista para o manejo integrado da microbacia hidrográfica do Riacho São Pedro*. 1999, 47p.(Relatório de Estágio Supervisionado) Campina Grande, Pb.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Manual de métodos de análises de solo*. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Rio de Janeiro, 1v. 1979.

ENGLUND E., SPARKS A. *Geo-EAS geostatistical enviromental assessment software*. U.S. Environmental Protency Agency, Las Vegas, 1988. (EPA/600/4-88/033<sup>a</sup>).

FERNANDEZ, B.M.; CAVALCANTE, F.L.; BORGES, E. A. Comparação entre os valores condutividade hidráulica calculados e medidos. *Agropecuária. Técnica*, 1: 94-103. 1977.

- FERNANDEZ, B.M. *Prática de física de solo-programa de treinamento e capacitação de recurso humanos em agricultura irrigada*. Escola Superior de Agricultura de Mossoró-RN, 1987. 98 p.
- FISHER, R.A. *Statistics methods and scientific inference*. Edinburg Oliveira and Boyd., 1956. 175 p.
- FONTES, L.E.F. & OLIVEIRA, L.B. *Curvas de retenção de umidade de solos do norte de Minas Gerais, área de atuação da SUDENE EMBRAPA.SNLCS*. Bolctim de pesquisa, nº4. Rio de Janeiro, 1982.
- FORSYTHE, W. *Densidad de las partículas del suelo, metodo com água y com kerosene*. In: Curso de Física de Suelo-Turrialba, IICA, 1973. 14p.
- GAIRON, S. *Important soil characteristics relevant to irrigation*. In: Yarn, et al. *Arizona irrigation*. Ecological Studies, 4, Springer-verlag, New York, 227-27p. 1973.
- GAMMA DESING SOFTWARE. *GS+ demonstration version geostatistics for the environmental sciences*. Copyright © 1989-1999. P.O. Box 201, Plainwell, MI 49080 USA.
- GAVANDE, S. A. *Física de suelos: principios y aplicaciones*. Ed Limusa-Wiley, 1972.
- GOMES, E.P. *A estatística moderna na pesquisa agropecuária*. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa na Potassa e do Fósforo, 1984.
- GONÇALVES, A. C. A. *Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo da irrigação*. 1997. 118p. (Tese de Doutorado). Piracicaba – Escola Superior “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- GROHMANN, F. *Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solo do Estado de São Paulo*. *Bragantia*, 21 (19): 320-327. 1960.
- GUERRA, P. A. G. *Geoestatística operacional*. Brasília: Ministério da Minas e Energia - Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília, 1988. 145p. il. 27cm.
- HARGREAVES, G. H. *Precipitation dependability and potentials for agricultural production in Northeast Brazil*. Utah State University Logan, Utah, september, 1974.
- JOURNAL A.G., HUIJBREGTS C.J. *Mining Geostatistics*, Centre the Geostatistique, Fontainebleau, France. Academic Press, London New York, San Francisco, 1975. 600 p.
- JOURNAL A.G., HUIJBREGTS C.J. *Mining Geostatistics*. New York, Academic Press. 1978. 600 p.
- KIEHL, E. J. *Manual de edafologia e relações solo-planta*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KIRD, C.; HARDARSON, F.; ZAPATA, J.; REICHARDT, K. *Spatial variability of root water status and symbiotic N<sub>2</sub> fixation*. In: Proceeding of Regional Workshop on Nuclear techniques, São Paulo, 239-246 p. 1986.

KLAR, A. E. *Água no sistema solo-planta-atmosfera*. Editora Nobel, São Paulo, 1988. 408 p.

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

LIBARDI, P. L.; PREVEDELLO, C. C.; PAULETTO, E. A. & MORAES, S. O. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas-SP, 2(10): 85-90. 1986.

LIMA, C. A. G., SILANS, A. P. Variabilidade espacial da infiltração de água no solo. *Pesq. Agropec. Bras., Brasília*, v.34, n.12, p. 2311, dez. 1999.

LOVEDAY, J., ed. *Water retention and the moisture characteristic*. In: \_\_\_\_\_. Methods for analysis of irrigated soils: Cayton, C. A. B., cap. 6, p. 43 - 62. 1994 (Technical Communication, 54).

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

MATHERON, G. *Traite de geostatistique appliquée*. Bur. Rech. Geolog. et Min. n°. 14, tome I e II, 1962. 357 p.

MIRANDA, R. J. A. *Caracterização da água disponível a partir de parâmetros físico-hídricos em solos das zonas da mata e agreste do Estado de Pernambuco*. 1999. Viii, 79 p.: il. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE.

NIELSEN, D. R.; BIGGAR, W.; ERN, K. T. *Spatial variability of field measures soil-water properties*. *Hilgardia* 7(42): 215-259. 1973.

NIELSEN, D. R.; TILLOTSON, P. M.; VIEIRA, S. R. Analyzing field measured soil-water properties. *Agr. Management*, 6: 93-109. 1983.

NEWTON P.G.N., RIDLEY J.R., GROVES D.I. et al. *Integration of directional variography and structural geology: an example from the Santa-Craze BIF-hosted Au deposit, near Kalgoorlie, Western Australia*. *Chronique De La Recherche Minière*, n°59, p.105-125. Nov.1997.

OLIVEIRA, J. B., Princípios básicos para classificação e sinopse dos principais grandes grupos de solos do mundo. In: Muniz, A. C., ed. *Elementos de pedologia*. São Paulo: Editora Universitária de São Paulo/Pigono, 1972. P. 351-362.

OLIVEIRA, J. B. de. *Classes gerais de solo do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento* por João Bertoldo de Oliveira, Paulo K. T. Jacomine e Marcelo Nunes Camargo. 1992. 2. ed. Jaboticabal, FUNEP, SP.

OLIVEIRA, J. J., CHAVES, L. H. G., QUEIROZ, J. E., LUNA, J. G. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23: 783-789, 1999.

OLIVEIRA, L.B. & QUEIROZ, E.N. *Curvas características de retenção de umidade de solos do nordeste do Brasil*. Pesquisa Agropecuária Brasileira Série Agronomia, 10(11): 69-75, 1975.

PAZ, A., TABOADA, M.T., GÓMEZ, M.J. Spatial variability in topsoil micronutrients contents in a one-hectare cropland plot. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.27, n.3/4, p.479-503, 1996.

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

PREVEDELLO, C. L. *Física do solo com problemas resolvidos*. Curitiba, Paraná, 1996. 446 p.

QUEIROZ, J. E., CRUCIANI, D. E., LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial da porosidade drenável de um solo de várzea, no município de Piracicaba, Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V.3, n.2, p.135-139, 1999. Campina Grande, PB, DEAg./UFPB.

RAMÍREZ, A.A., LÓPEZ, R.G. *El agua em el suelo*. In: MAÑAS, F.M. de S.O.; VALERO, J.A. De J. *Agronomía del riego*. Espanha: Madrid, 1993. Cap. 1, p. 49-51.

REICHARDT, K.; ZAPATA, F.; HARDARSON, G.; AXMANN, H. (1984). *Evaluation of soil-water and plant nitrogen status by nuclear techniques*. In: Crop Proceeding of Regional Workshop on Nuclear Techniques – in Crop Production, CENA, Piracicaba-SP, 1984. 239-246 p.

REICHARDT, K. *Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera*. 1985. 4 ed. rev. e ampl. Campinas, SP. Fundação Cargill.

REICHARDT, K., VIEIRA, S. R., LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas – SP, 1 (10): 1-6. 1986.

REICHARDT, K. *Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas*. Piracicaba: USP/ESALQ. Depto. Física e Meteorologia, 1993. 2ª. edição 1996. 505 p.

RICARDO, S. R. *Mapeamento geoestatística de propriedades obtidas em sondagens de simples reconhecimento*. 1995. 185 p. (Tese) EESC-USP, São Carlos-SP.

RICHARDS, L.A., WADLEIGH, C.H. *Soil water and plant growth*. In: "Soil physical conditions and plant growth". B.T. Shaw, Ed. Am. Soc. Agron. Monograph, vol. 2. ed. Academic Press, New York. 1952.

ROBIANA, L. F. G. *Variabilidade espacial y moderación de las principales propiedades de un suelo ferralítico rojo compactado de la llanura Habana-Matanzas*. 1997. 54 p. (Tese Mestrado) - Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de la Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez", Habana - Cuba.

ROWLES, W. *Physical properties related to structure of saint rosalia clay and their seasonal variation*. Sci. Agr., 178: 558-73. 1948.

ROYLE, A.G. *A practical introduction to geostatistics*. vol. 1, 2 e 3, Dept. of Mining and Mineral Sciences, Leeds University, England. 1979.

SALTER, P.J. & HAWORTH, F. The available-water capacity of a sandy loam soil. I. A critical comparison of methods of determining moisture content of soil at field capacity and at the permanent wilting percentage. *Journal of Soil Science*, 2 (12): 326-334, 1961.

SALTER, P.J. & WILLIAMS, J.B. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. I. A critical comparison of techniques for determining the available-water capacity and moisture characteristic curve of a soil. *Journal of Soil Science*, 16 (1): 1-15, 1965.

SALTER, P.J. & WILLIAMS, J.B. The influence of texture on the moisture characteristics of soils II Available-water capacity and moisture release characteristics. *Journal of Soil Science*, 16 (2): 310-317, 1965.

SILVA, A. T. da, DUARTE, E. F. *Irrigação: fundamentos e métodos*. [Itaguaí]: UFRRJ, Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, 1980. 179p.: il; 23cm.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da resistência à proteção de um solo Latossolo Vermelho-Escuro ao longo de uma transição. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas-SP, 1(13): 1-15. 1989.

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

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICAN. *Committee Report. Glossary of Soil Science Terms*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. v. 29, n. 3, p. 330-351, 1965.

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

SOUSA, J. R. de., QUEIROZ, J. E., GHEYL, H. R. Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido paraibana. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.2, p.140, 1999.

SOUZA, J.R. de, QUEIROZ, J.E., GHEYI, H. R. Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido paraibana. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.2, p.140-144, 1999. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

SOUZA, L. da S., COGO, N. P., VIEIRA, S. R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22: 77-86, 1998.

SPIGUEL, M.R. *Estatística*. 2 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1985.

STANHILL, G. The effect of differences in soil moisture status on plant growth: a review and analyses of soil moisture regime experiments. *Soil Sci.* 84, 205-214. 1957.

TRANGMAR, B. B., YOST, R.S., UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in soil science*, v.38, p. 45-94, 1985.

VALENTE J.M.G.P. *Geomatemática (Lições de Geoestatística)*. Ouro Preto, Fundação Gorceix, 1982. 8v.

VAUCLIN, M., VIEIRA, S.R., BERNARD, R., HATFIELD, J.L. *Spatial variability of surface temperature along two transects of a bare Soil*. Water Resources Res., Washington, 18: 1677-1686. 1982.

VAUCLIN, M., VIEIRA, S.R., VACHAUD, G., NILSEN, D. R. The use of cokriging with limited soil observations. *Soil Science Society of America Journal*, v.47, n.2, p.175-184, 1983.

VEIHMEYER, F.J., HENDRICKSON, A. H. Soil moisture in relation to plant growth. *Annual Rev. Plant Physiol.* 1:285-304. 1950.

VIEIRA, L.S., VIEIRA, M. de N.F. *Manual de morfologia e classificação de solos*. Editora Agronômica Ceres Ltda. S. Paulo 2. ed., 1983, 1. ilustr.

VIEIRA, D. B. *Relação água, solo e planta*. In: PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO (PRONI). Curso de Elaboração de Projetos de Irrigação. Brasília, PNI / Fundação CTH, 1986. p. 1-39.

VIEIRA, M. J. & MUZILLI, O. *Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo*. Pesq. Agrop. Bras., Brasília, 7 (19): 873-882. 1984.

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Spatial variability of field measured infiltration rate. *Soil Science of America*, 45: 140-8. 1981.

VIEIRA, S.R. & LOMBARDI NETO, *Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo*. Bragantia, 54:405-412, 1995.

VIEIRA, S. R., TILLOTSON, P. M., BIGGAR, J. W., NILSEN, D. R. Scaling of semivariograms and krigging estimation of field-measured properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa. V.21, p. 525-533, 1997.

VIEIRA, S. R. *Geoestatística aplicada à agricultura de precisão*. Instituto Agronômico de Campinas – São Paulo, 1998. 53 p.

VOMOCIL, J. A. Porosity. In: BLACK, C. A. et al (ed.). *Methods of Soil Analysis*. Madison, Wisconsin: American Society Agronomy, 1965. Part. 1, p. 299-314. (Agronomy, n. 9).

WARRICK, A. W. & NIELSEN, D. R. *Spacial variability of soil physical properties in the field*. In: Hillel, D. ed. *Application of soil physics*, New York: Academic Press, 13: 139-4. 1980.

WARRICK, A. W., D. E. Myers y D. R. Nielsen. *Geostatistical methods applied to soil science*. SSSA, Agronomy Monograph No. 9/ 1986.

WEBSTER, R. *Quantitative spatial analysis of soil in the field*. *Advances in Soil Sci.* 3:1-70, 1985.

WIERSUM, L.K. *The relationship of the size and structural of rigidity of their penetration by roots*. *Plants and Soil*, 9: 75-85. 1957.



## APÊNDICES

Apêndice 1. Dados médios de densidade real, densidade aparente, porosidade total e percentagens dos separados texturais (areia, silte e argila) para a profundidade do solo de 0 a 60 cm.

Número de Amostras	Transeto						Classe Textural
	Resultado Médio de Três Repetições						
	Dr (g.cm <sup>-3</sup> )	Da (g.cm <sup>-3</sup> )	Pt (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	
1	2,72	1,10	59,50	37,75	26,45	35,80	Franco Argiloso
2	2,70	1,04	61,52	36,07	24,45	39,48	Franco Argiloso
3	2,68	1,07	59,87	48,87	18,74	32,39	Franco Argilo-Arenoso
4	2,75	1,13	58,93	40,22	19,67	40,11	Argila
5	2,72	1,14	57,88	53,96	20,21	25,83	Franco Argilo-Arenoso
6	2,66	1,15	56,82	40,45	20,06	39,49	Franco Argiloso
7	2,73	1,18	56,88	46,88	18,61	34,51	Argila Arenosa
8	2,71	1,29	52,46	48,32	21,07	30,61	Franco Argilo-Arenoso
9	2,76	1,45	47,45	53,67	21,79	24,55	Franco Argilo-Arenoso
10	2,74	1,35	50,68	54,99	19,33	25,68	Franco Argilo-Arenoso
11	2,68	1,26	53,09	43,02	28,43	28,55	Franco Argiloso
12	2,68	1,18	56,17	44,14	27,61	28,26	Franco Argiloso
13	2,73	1,28	53,32	44,59	23,49	31,92	Franco Argiloso
14	2,80	1,28	54,29	53,53	18,41	28,06	Franco Argilo-Arenoso
15	2,71	1,22	54,92	59,17	16,64	24,19	Franco Argilo-Arenoso
16	2,74	1,26	54,03	48,49	21,16	30,35	Franco Argilo-Arenoso
17	2,78	1,27	54,15	62,56	13,69	23,75	Franco Argilo-Arenoso
18	2,76	1,18	57,38	57,65	14,66	27,68	Franco Argilo-Arenoso
19	2,70	1,24	54,08	64,16	13,30	22,54	Franco Argilo-Arenoso
20	2,73	1,26	53,77	70,27	11,75	17,97	Franco Arenoso
21	2,78	1,37	50,84	87,78	2,26	9,96	Areia Franca
22	2,76	1,39	49,69	89,55	1,90	8,55	Areia

Em que: Dr = densidade real; Da = densidade aparente; Pt = porosidade total.

Continuação.

Número de Amostras	Transecto						Classe Textural
	Resultado Médio de Três Repetições						
	Dr (g.cm <sup>-3</sup> )	Da (g.cm <sup>-3</sup> )	Pt (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	
23	2,77	1,14	58,66	71,50	8,04	20,46	Fraco Argilo-Arenoso
24	2,74	1,26	54,21	55,18	15,86	28,96	Fraco Argilo-Arenoso
25	2,79	1,34	51,82	57,38	14,67	27,95	Fraco Argilo-Arenoso
26	2,81	1,20	57,13	59,91	15,30	24,79	Fraco Argilo-Arenoso
27	2,74	1,41	48,68	56,80	15,99	27,21	Fraco Argilo-Arenoso
28	2,77	1,30	52,79	51,79	18,13	30,09	Fraco Argilo-Arenoso
29	2,72	1,26	53,77	45,73	23,38	30,88	Franco Argiloso
30	2,73	1,27	53,44	54,62	17,41	27,96	Fraco Argilo-Arenoso
31	2,77	1,15	58,31	78,32	<b>6,42</b>	15,27	Franco Arenoso
32	2,80	1,37	51,07	73,35	<b>8,31</b>	18,34	Franco Arenoso
33	2,82	1,25	55,73	71,83	<b>8,37</b>	19,80	Franco Arenoso
34	2,76	1,34	51,62	80,62	<b>5,32</b>	14,06	Franco Arenoso
35	2,77	1,24	55,27	77,90	<b>6,34</b>	15,76	Franco Arenoso
36	2,79	1,22	56,40	66,61	11,12	22,27	Fraco Argilo-Arenoso
37	2,80	1,22	56,45	83,44	3,60	12,96	Areia Franca
38	2,77	1,28	53,78	57,41	16,72	25,88	Fraco Argilo-Arenoso
39	2,79	1,26	54,85	66,74	10,85	22,41	Fraco Argilo-Arenoso
40	2,78	1,30	53,09	77,66	6,41	15,93	Franco Arenoso
41	2,80	1,38	50,56	67,96	11,39	20,65	Fraco Argilo-Arenoso
42	2,79	1,38	50,33	78,97	<b>6,58</b>	14,45	Franco Arenoso
43	2,80	1,48	47,19	83,30	<b>4,81</b>	11,89	Areia Franca
44	2,81	1,25	55,61	76,12	6,53	17,36	Franco Arenoso

Em que: Dr = densidade real; Da = densidade aparente; Pt = porosidade total.

*Continuação.*

Número de Amostras	Transeto						
	Resultado Médio de Três Repetições						
	Dr (g.cm <sup>-3</sup> )	Da (g.cm <sup>-3</sup> )	Pt (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe Textural
45	2,79	1,25	55,04	83,83	3,83	12,34	Areia Franca
46	2,84	1,52	46,60	71,50	17,36	11,13	Franco Arenoso
47	2,80	1,21	56,86	82,12	4,86	13,02	Areia Franca
48	2,77	1,25	54,72	78,89	5,93	15,18	Franco Arenoso
49	2,78	1,19	57,19	53,11	18,64	28,25	Franco Argilo-Arenoso
50	2,80	1,16	58,46	51,70	18,31	29,99	Franco Argilo-Arenoso
51	2,75	1,37	50,22	87,16	2,48	10,35	Areia Franca
52	2,78	1,33	52,29	88,73	2,78	8,49	Areia
53	2,77	1,47	46,81	83,78	3,85	12,37	Areia Franca
54	2,76	1,23	55,40	58,59	13,83	27,58	Franco Argilo-Arenoso
55	2,79	1,29	53,81	81,18	5,28	13,54	Franco Arenoso
56	2,77	1,16	57,95	57,85	13,40	28,75	Franco Argilo-Arenoso
57	2,73	1,20	55,89	51,90	19,97	28,13	Franco Argilo-Arenoso
58	2,83	1,22	56,97	45,31	18,71	35,98	Franco Argiloso
59	2,77	1,18	57,57	48,26	16,59	35,14	Argila Arenosa
60	2,76	1,47	46,69	85,95	3,22	10,84	Areia Franca
61	2,75	1,24	54,94	54,12	12,87	33,02	Franco Argilo-Arenoso
62	2,81	1,30	53,74	77,51	4,10	18,39	Franco Arenoso
63	2,78	1,19	57,20	56,58	10,43	32,99	Franco Argilo-Arenoso

*Em que: Dr = densidade real; Da = densidade aparente; Pt = porosidade total.*

Apêndice 2. Dados médios de umidade do solo em percentagem, expresso em base volumétrica ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ), para a profundidade de 0 a 60cm (amostragem em linha reta - transeto).

Número de Amostras	Transeto		
	Resultado Médio de Três Repetições		
	C.C. (%)	P.M.P. (%)	AD (%)
1	26,35	15,44	10,91
2	28,53	17,03	11,50
3	21,82	13,00	8,82
4	29,49	17,57	11,92
5	18,89	10,27	8,63
6	30,65	18,59	12,06
7	25,61	15,20	10,41
8	26,86	14,05	12,81
9	21,07	9,68	11,39
10	24,52	13,43	11,09
11	28,10	15,55	12,54
12	25,34	14,99	10,36
13	26,87	15,85	11,02
14	21,81	12,51	9,29
15	17,49	10,79	6,70
16	21,81	14,13	7,68
17	20,11	9,95	10,16
18	18,97	11,47	7,50
19	18,95	10,37	8,58
20	14,97	8,55	6,42
21	4,69	3,15	1,55
22	3,97	2,40	1,57
23	15,43	8,76	6,67
24	24,89	13,73	11,16
25	29,30	15,28	14,02
26	20,94	11,93	9,01
27	23,79	12,70	11,09
28	23,97	13,92	10,05
29	27,75	15,99	11,76
30	23,76	13,74	10,01
31	17,27	9,88	7,39

Em que: C.C. = capacidade de campo; P.M.P. = ponto de murcha permanente; A.D. = água disponível.

*Continuação.*

Número de Amostras	Transeto		
	Resultado Médio de Três Repetições		
	C.C. (%)	P.M.P. (%)	AD (%)
32	7,32	5,18	2,14
33	14,91	9,62	5,29
34	9,33	5,75	3,59
35	11,13	6,74	4,38
36	18,32	10,96	7,35
37	8,46	5,71	2,76
38	23,37	14,34	9,03
39	17,19	11,43	5,76
40	11,27	7,61	3,65
41	17,31	11,22	6,08
42	9,80	6,36	3,44
43	8,32	5,94	2,38
44	13,20	8,22	4,98
45	8,26	5,29	2,97
46	17,07	8,14	8,93
47	9,30	5,55	3,76
48	11,23	7,39	3,84
49	24,56	13,48	11,09
50	24,18	14,37	9,82
51	6,33	3,82	2,50
52	5,24	3,18	2,06
53	9,66	5,66	4,01
54	22,94	13,77	9,17
55	9,52	6,42	3,10
56	18,57	11,63	6,94
57	30,31	19,46	10,85
58	30,19	19,77	10,42
59	31,93	20,10	11,83
60	7,35	4,54	2,81
61	26,09	17,72	8,36
62	11,45	7,34	4,11
63	24,39	16,49	7,90

*Em que: C.C. = capacidade de campo; P.M.P. = ponto de murcha permanente; A.D. = água disponível.*

Apêndice 3. Dados médios de densidade real, densidade aparente, porosidade total e percentagens dos separados texturais (areia, silte e argila) para a profundidade do solo de 0 a 60 cm.

Número de Amostras	Malha A						Classe Textural
	Dr (g.cm <sup>-3</sup> )	Da (g.cm <sup>-3</sup> )	Pt (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	
1	2,68	1,26	53,21	51,65	22,25	26,11	Franco Argilo-Arenoso
2	2,69	1,23	54,30	51,06	19,51	29,42	Franco Argilo-Arenoso
3	2,70	1,26	53,41	50,60	20,19	29,21	Franco Argilo-Arenoso
4	2,61	1,15	56,09	49,38	21,45	29,17	Franco Argilo-Arenoso
5	2,70	1,31	51,59	70,92	11,98	17,09	Franco Arenoso
6	2,74	1,28	53,37	58,61	14,51	26,88	Franco Argilo-Arenoso
7	2,69	1,20	55,36	64,15	12,88	22,96	Franco Argilo-Arenoso
8	2,66	1,25	53,04	60,22	15,57	24,20	Franco Argilo-Arenoso
9	2,69	1,24	54,01	56,28	17,43	26,29	Franco Argilo-Arenoso
10	2,68	1,26	52,86	69,54	11,99	18,47	Franco Arenoso
11	2,73	1,28	53,23	66,03	12,83	21,14	Franco Argilo-Arenoso
12	2,68	1,24	53,76	55,28	17,69	27,03	Franco Argilo-Arenoso
13	2,60	1,09	58,10	35,02	29,20	35,78	Franco Argiloso
14	2,69	1,20	55,22	54,27	18,92	26,81	Franco Argilo-Arenoso
15	2,72	1,25	54,08	50,15	18,10	31,75	Franco Argilo-Arenoso
16	2,63	1,12	57,20	41,47	25,64	32,89	Franco Argiloso
17	2,68	1,20	55,07	56,89	16,43	26,68	Franco Argilo-Arenoso
18	2,61	1,10	57,85	42,92	24,42	32,66	Franco Argiloso
19	2,62	1,12	57,13	53,13	19,85	27,02	Franco Argilo-Arenoso
20	2,71	1,29	52,33	64,73	13,24	22,04	Franco Argilo-Arenoso
21	2,71	1,10	59,50	41,76	21,81	36,43	Franco Argiloso
22	2,57	1,06	58,63	26,84	34,14	39,02	Franco Argiloso
23	2,63	1,12	57,53	47,30	23,18	29,51	Franco Argilo-Arenoso
24	2,73	1,30	52,38	55,55	18,32	26,13	Franco Argilo-Arenoso
25	2,72	1,28	52,83	62,94	11,36	25,70	Franco Argilo-Arenoso

Apêndice 4. Dados médios de umidade do solo em percentagem, expresso em base volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ), para a profundidade de 0 a 60cm.

Número de Amostras	Malha A		
	Resultado Médio de Três Repetições		
	C.C. (%)	P.M.P. (%)	AD (%)
1	23,33	13,27	10,06
2	25,52	14,56	10,97
3	27,30	15,25	12,04
4	23,37	13,75	9,63
5	15,59	8,00	7,59
6	23,62	13,78	9,84
7	18,28	10,46	7,82
8	20,81	11,85	8,96
9	25,21	13,82	11,39
10	17,20	9,32	7,88
11	19,35	10,50	8,85
12	22,90	13,41	9,49
13	27,63	16,84	10,79
14	20,18	12,47	8,19
15	28,94	17,38	11,57
16	26,25	15,86	10,39
17	21,34	12,70	8,64
18	25,02	15,32	9,70
19	25,33	14,81	10,52
20	17,26	9,54	7,72
21	29,12	18,70	10,42
22	35,48	22,91	12,56
23	26,80	15,45	11,35
24	25,45	14,25	11,20
25	19,01	10,82	8,19

Em que: C.C. = capacidade de campo; P.M.P. = ponto de murcha permanente; A.D. = água disponível.



Apêndice 5. Dados médios de densidade real, densidade aparente, porosidade total e percentagens dos separados texturais (areia, silte e argila) para a profundidade do solo de 0 a 60 cm.

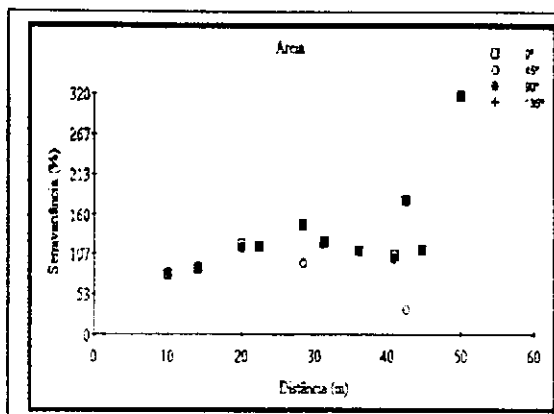
Número de Amostras	Malha B						Classe Textural
	Resultado Médio de Três Repetições						
	Dr (g.cm <sup>-3</sup> )	Da (g.cm <sup>-3</sup> )	Pt (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	
1	2,78	1,18	57,63	35,50	25,62	38,88	Franco Argiloso
2	2,68	1,24	53,85	46,55	23,97	29,48	Franco Argiloso
3	2,72	1,24	54,40	58,01	19,34	22,66	Franco Argilo-Arenoso
4	2,71	1,23	54,77	36,12	27,98	35,90	Franco Argiloso
5	2,72	1,31	51,93	61,09	17,65	21,26	Franco Argilo-Arenoso
6	2,76	1,27	54,04	40,66	22,50	36,84	Franco Argiloso
7	2,74	1,28	53,43	47,53	21,79	30,68	Franco Argilo-Arenoso
8	2,71	1,30	52,25	40,25	26,84	32,91	Franco Argiloso
9	2,71	1,25	53,73	35,87	27,87	36,26	Franco Argiloso
10	2,77	1,24	55,02	41,55	24,17	34,28	Franco Argiloso
11	2,73	1,26	53,83	27,97	28,98	43,05	Argila
12	2,77	1,27	54,16	51,90	18,23	29,86	Franco Argilo-Arenoso
13	2,74	1,26	53,99	29,20	28,00	42,79	Argila
14	2,75	1,22	55,63	29,26	27,71	43,03	Argila
15	2,76	1,28	53,40	34,19	26,49	39,31	Franco Argiloso
16	2,76	1,28	53,54	43,30	24,45	32,26	Franco Argiloso
17	2,76	1,32	52,30	50,82	20,39	28,79	Franco Argilo-Arenoso
18	2,74	1,34	51,26	44,40	23,58	32,02	Franco Argiloso
19	2,78	1,29	53,64	35,76	27,58	36,66	Franco Argiloso
20	2,78	1,28	53,84	42,18	24,19	33,63	Franco Argiloso
21	2,77	1,29	53,52	47,04	20,41	32,55	Franco Argilo-Arenoso
22	2,78	1,28	53,82	38,81	23,71	37,49	Franco Argiloso
23	2,77	1,27	54,04	32,19	27,23	40,59	Argila
24	2,75	1,30	52,84	32,60	26,58	40,82	Argila
25	2,77	1,29	53,48	37,31	24,07	38,62	Franco Argiloso

Apêndice 6. Dados médios de umidade do solo em percentagem, expresso em base volumétrica ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ), para a profundidade de 0 a 60cm.

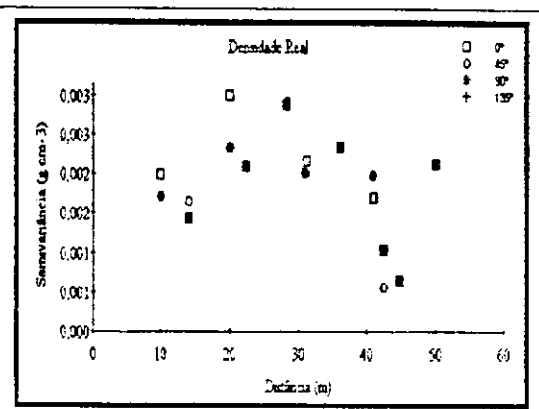
Número de Amostras	Malha B		
	Resultado Médio de Três Repetições		
	C.C. (%)	P.M.P. (%)	AD (%)
1	32,44	19,37	13,07
2	25,09	13,49	11,60
3	19,19	9,91	9,28
4	31,76	18,46	13,29
5	19,49	9,77	9,72
6	32,63	19,65	12,98
7	27,73	15,58	12,15
8	31,56	17,33	14,24
9	34,28	19,29	14,99
10	30,17	17,27	12,91
11	39,94	24,28	15,66
12	27,05	15,31	11,74
13	38,74	23,48	15,27
14	36,65	22,90	13,74
15	36,25	22,13	14,12
16	30,24	17,76	12,48
17	27,24	15,88	11,36
18	30,97	18,18	12,80
19	34,15	20,37	13,77
20	30,95	18,92	12,03
21	31,34	18,19	13,14
22	35,50	22,14	13,36
23	39,27	23,41	15,85
24	37,78	22,82	14,96
25	34,72	21,12	13,60

Em que: C.C. = capacidade de campo; P.M.P. = ponto de murcha permanente; A.D. = água disponível

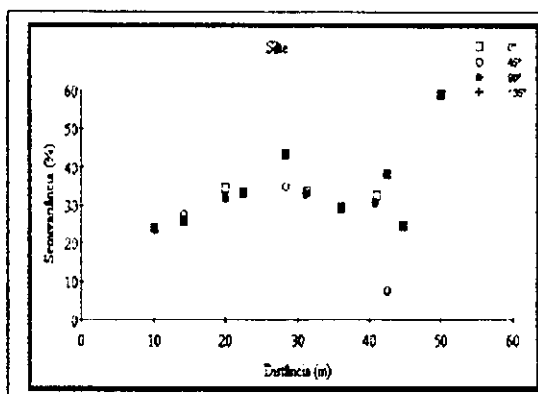
Apêndice 7. Semivariograma anisotrópico das propriedades físico-hídricas (areia, silte, argila, capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível para as plantas (AD)) para as direções 0°, 45°, 90° e 135°, para o sistema de amostragem da malha A.



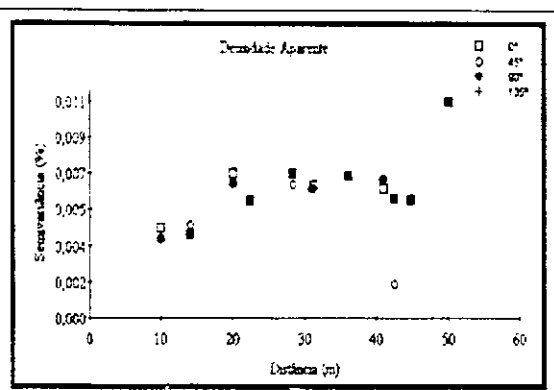
(Areia)



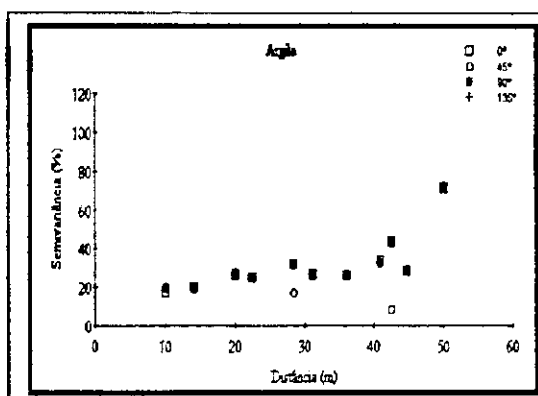
(Dr)



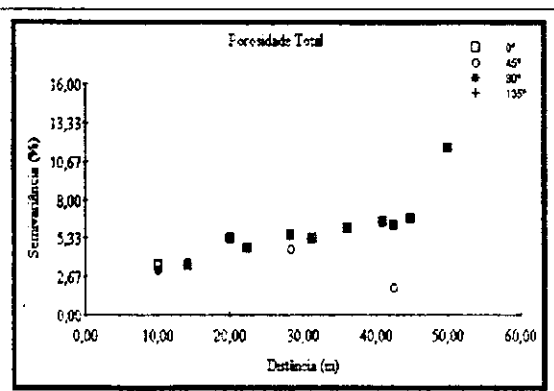
(Silte)



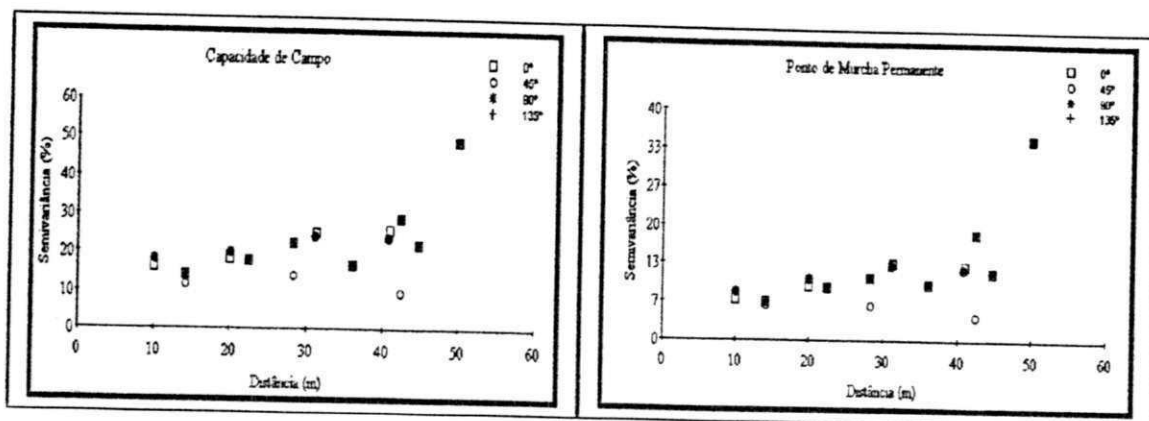
(Da)



(Argila)

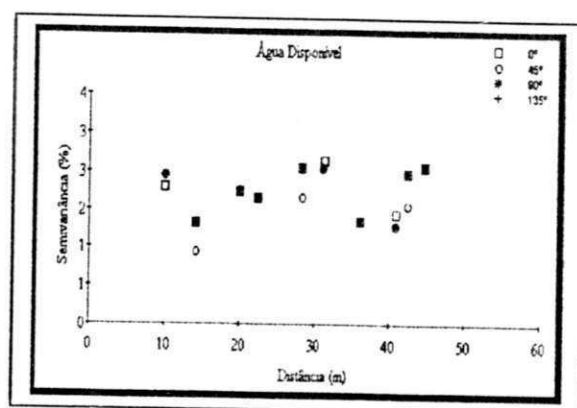


(Pt)



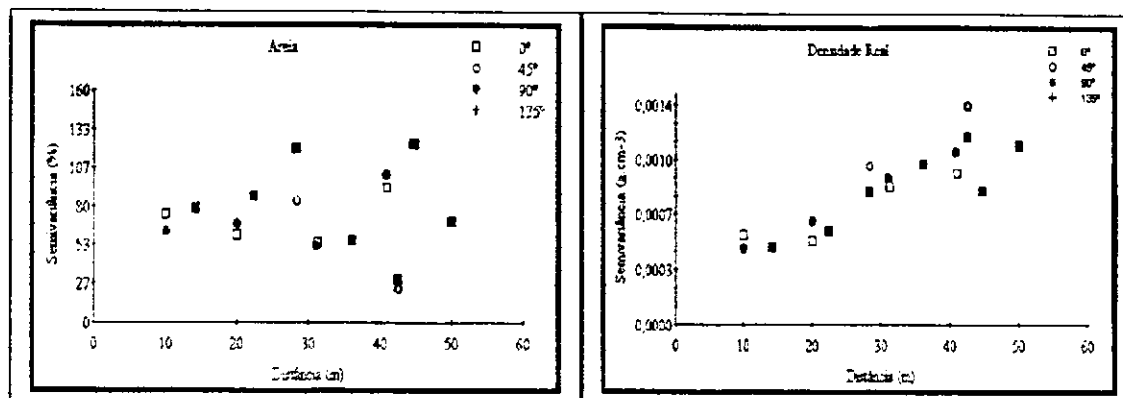
(CC)

(PMP)



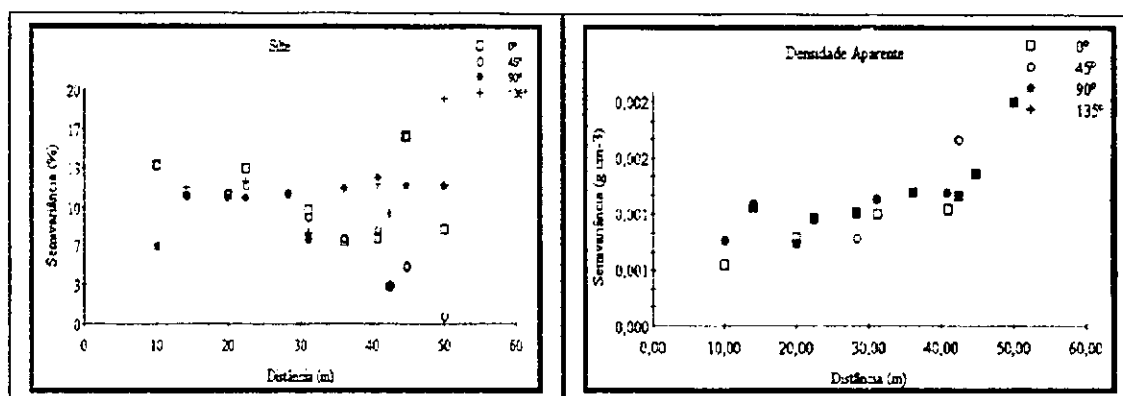
(AD)

Apêndice 8. Semivariograma anisotrópico das propriedades físico-hídricas (areia, silte, argila, capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível para as plantas (AD)) para as direções  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  e  $135^\circ$ , para o sistema de amostragem da malha B.



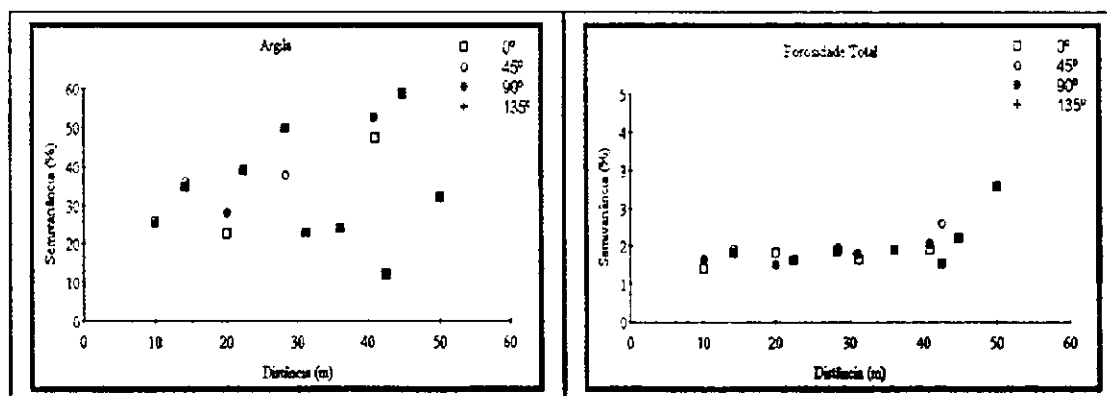
(Areia)

(Dr)



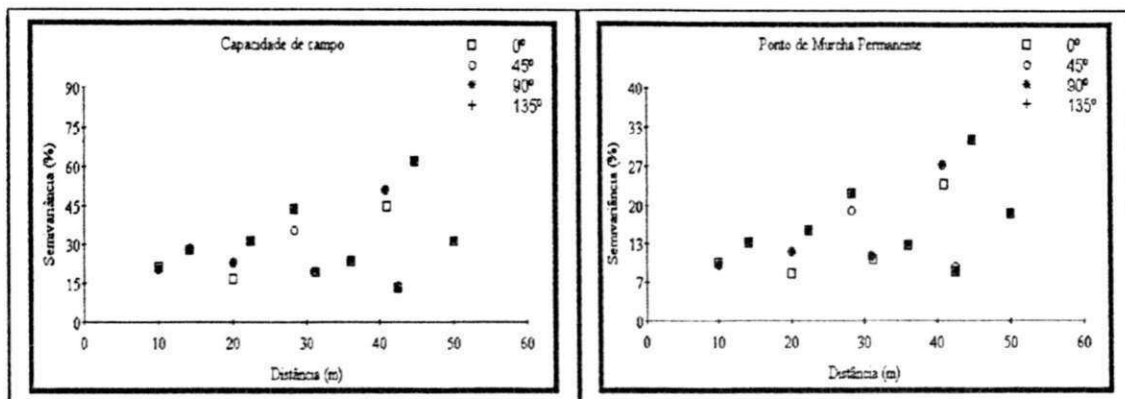
(Silte)

(Da)



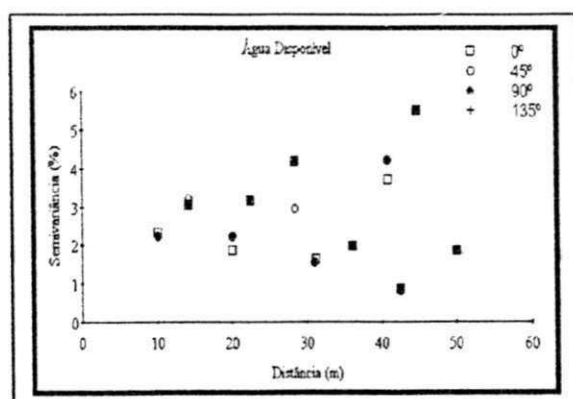
(Argila)

(Pt)



(CC)

(PMP)



(AD)