INSTITUTO AGRONÔMICO

PÓS-GRADUAÇÃO

DISSERTAÇÃO

VARIABILIDADE DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DETERMINADOS POR MÉTODOS DIVERSOS

GLÉCIO MACHADO SIQUEIRA

Campinas, SP

2006

INSTITUTO AGRONÔMICO

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL

VARIABILIDADE DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DETERMINADOS POR MÉTODOS DIVERSOS

GLÉCIO MACHADO SIQUEIRA

Orientador: Dr. Sidney Rosa Vieira

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Agricultura Tropical e Subtropical
Área de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais.

Campinas, SP
Fevereiro 2006

Ficha elaborada pelo Núcleo de Informação e Documentação do
Instituto Agronômico

S618v Siqueira, Glécio Machado
Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos/ Glécio Machado Siqueira. Campinas, 2006.
163 fls.; il.

Orientador: Dr. Sidney Rosa Vieira.
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico

1. Física do solo – amostragem. 2. Geoestatística. 3. Água, clima e solo - conteúdo. I. Vieira, Sidney Rosa. II. Instituto Agronômico. III. Título.

CDD 631.4

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA
DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO AGRONÔMICO
Pós-Graduação
Av. Barão de Itapura 1481 Caixa Postal 28
13001-970 Campinas, SP - Brasil
(019) 3231-5422 ramal 194
pgiac@iac.sp.gov.br

INSTITUTO AGRONÔMICO

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: **Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos**

Aluno(a): **Glécio Machado Siqueira**
Processo SAA nº **18025/04**

Orientador(a): **Dr(a). Sidney Rosa Vieira**

Aprovado pela Banca Examinadora:

Dr(a). Marcos Bacis Ceddia
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Instituto de Agronomia – Departamento de Solos

Dr(a) Marcelo Bento Paes de Camargo
IAC

Dr(a). Sidney Rosa Vieira
IAC

Data de Realização: 21/2/2006

Sueli dos Santos Freitas
Vice - Coordenadora
Pós - Graduação IAC

Ao INSTITUTO AGRONÔMICO pela
oportunidade de contribuir para a pesquisa
agrícola,
DEDICO

Ao meu pai que sempre
acreditou em meu sonho,
OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

- Ao pesquisador, amigo e orientador Dr. Sidney Rosa Vieira, pela parceria, paciência e incentivo para realização deste trabalho. Obrigado por me ensinar que os momentos simples da vida são os que mais importam...
- À pesquisadora Drª. Sonia Carmela Falci Dechen pelas sugestões, ensinamentos, amizade e auxilio nos momentos mais difíceis.
- Aos pesquisadores e funcionários do Centro de Solos e Recursos Agroambientais do IAC pela ajuda e imprescindível amizade.
- A *FUNDAG* - Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola pela concessão bolsa de estudos.
- Aos pesquisadores Dr. Orlando Melo de Castro e Drª. Lucia Helena Signori Melo de Castro, pelo companheirismo.
- Ao Comitê de Pós-Graduação e aos funcionários da PG-IAC, pela dedicação ao curso e contribuição para minha formação profissional, porque muito aprendi com vocês.
- Aos professores Dr. Antonio Paz González (UDC – Universidade da Coruña/Espanha) e Dr. Jorge Dafonte Dafonte (USC - Universidade de Santiago de Compostela/Espanha), pelo incentivo para continuação de meus estudos.
- Aos professores Dr. Marcos Bacis Ceddia e Dr. Daniel de Carvalho da UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela paciência, acolhida e ensinamentos durante minha estada nesta universidade.
- Ao pesquisador Marcelo Bento Paes de Camargo, pela atenção apoio e sugestões que muito contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.
- Ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica do IAC - Instituto Agronômico, pela concessão de dados climáticos utilizados neste estudo.
- Ao CNPM – Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite da Embrapa, pela concessão de imagens de satélite utilizadas para ilustrar este trabalho.
- Aos amigos Luciano, Henrique, João Ricardo, Walison, Robson e Raquel, obrigado pela acolhida na UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- Aos meus primos Francis, Jucimara e Marivalda, obrigado por participarem diretamente na minha vida como amigos e irmãos.
- Aos meus tios José Pipa, Maria Salomé e Maria da Glória, pela lição de vida que só vocês poderiam me ensinar.

- Às professoras Nair Machado e Teresinha Cabral, por me ensinarem que a matemática está além da sala de aula.
- Às amigas e professoras Joana D'Arc Mariano e Neuza Maria de Lima, por me ensinarem a viver no mundo da ciência.
- Aos professores do CEFET – Centro Federal de Educação Tecnológica de Urutaí/GO, pela cumplicidade, paciência, dedicação e entusiasmo, e principalmente por me ensinarem que o magistério está além da sala de aula.
- Aos amigos de Campo do Meio (MG), porque a lembrança de vocês sempre me deixa mais feliz, obrigado por terem feito parte de minha vida.
- Aos amigos de Goiás pela acolhida e imprescindível amizade: Alessandro, Aníbal, Adriana, Cida, Dalcio, Donizete Borges, Eduardo, Eneides, Forlann, Gilson, Juliano, Laézio, Lúcia, Machado, Marchito, Marly, Rachel, Victor, Wilson Maruyama e Zélia. Vocês fazem parte de uma fase inesquecível de minha vida.
- Aos amigos e colegas do curso de PG-IAC Alceu, Aline, Ana Karina, Andressa, Ângela, Átila, Carlos, Charleston, Fernanda, Giovana, Giuliana, Isabel, Julio, Luciana, Marcelo, Marcos, Mario, Mary, Matheus, Paula, Rafael, Rhuanito, Thaís, Waldenilza e Waldiney, pelo apoio, confiança e contribuição, porque juntos construímos uma PG melhor.
- A todos que contribuíram para que este trabalho pudesse ser um sonho realizado.

BIOGRAFIA

Glécio Machado Siqueira – nascido em 16 de janeiro de 1978, em Campos Gerais/MG. Viveu e teve toda a sua formação básica na cidade de Campo do Meio/MG. No ano de 1999 ingressou no curso Técnico Agrícola-Agropecuária da EAFMz - Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho (MG). Em março de 2001 ingressou no curso superior de Tecnologia em Irrigação e Drenagem do CEFET - Centro Federal de Educação Tecnológica de Urutaí (GO), obtendo o título de Tecnólogo em Irrigação e Drenagem. Estagiou em diversas instituições entre elas o CEFET Urutaí (GO) na Faculdade de Irrigação e Drenagem, na UFV – Universidade Federal de Viçosa no Departamento de Engenharia Agrícola, no IAC – INSTITUTO AGRONÔMICO no Centro de Recursos Genéticos Vegetais e na Ipanema Agrícola Ltda empresa pioneira na produção de cafés especiais no Brasil e uma das grandes exportadoras deste produto atualmente. Em março de 2004 ingressou no curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, com área de concentração em Gestão de Recursos Agroambientais, nível de mestrado no INSTITUTO AGRONÔMICO, Campinas (SP), com término em fevereiro de 2006 e obtendo o título de Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS x
ÍNDICE DE FIGURAS xi
RESUMO xvi
ABSTRACT xviii
1 INTRODUÇÃO 1
2 REVISÃO DE LITERATURA 4
2.1 Sistema de Plantio Direto 4
2.1.1 Características físico-hídricas do solo em plantio direto 6
2.1.2 Armazenamento de água no sistema de plantio direto 12
2.2 Interferência do Clima no Armazenamento de Água 15
2.3 Variabilidade Espacial de Atributos Físico-Hídricos do Solo 18
2.3.1 Geoestatística 20
2.3.2 Variabilidade espacial do armazenamento de água no solo 26
3 MATERIAL E MÉTODOS 28
3.1 Descrição da Área Experimental 28
3.2 Amostragens 36
3.2.1 Densidade do solo 36
3.2.2 Densidade de partículas 38
3.2.3 Porosidade do solo 39
3.2.4 Umidade do solo 41
3.2.4.1 Métodos diretos 42
3.2.4.2 Métodos indiretos 43
3.2.5 Armazenamento de água no solo 45
3.2.6 Elementos climáticos 46
3.3 Estatística Descritiva..... 56
3.4 Análise Geoestatística 57
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 57
4.1 Análise Exploratória 57
4.1.1 Análise da hipótese intrínseca da geoestatística 57
4.1.2 Análise da variabilidade espacial de atributos físicos do solo 82
4.1.3 Variabilidade espacial do armazenamento de água no solo 103
5 CONCLUSÕES 125
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 126
7 ANEXOS 146
7.1 Anexo 1 146
7.2 Anexo 2 151
7.3 Anexo 3 156
7.4 Anexo 4 161

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição geral do solo para a área de estudo 30

Tabela 2 - Descrição morfológica do solo para a área de estudo 31

Tabela 3 - Características físicas e químicas para a área de estudo 32

Tabela 4 - Valores dos principais parâmetros estatísticos para os atributos em estudo 58

Tabela 5 - Parâmetros de ajuste do semivariograma para os atributos analisados 60

Tabela 6 - Parâmetros estatísticos para os atributos físicos do solo analisados por métodos diversos 82

Tabela 7 - Parâmetros de ajuste do semivariograma para a densidade (Ds-Anel, D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}), porosidade (PT, PT-2,65 e PT-2,84) e umidade do solo (U-Anel, U-A, U-B, U-C, U-M, U-906, U-TDR09 e U-TDR11) 88

Tabela 8 - Relação entre variância, coeficiente de variação (CV) e efeito pepita (C_0) para a densidade (Ds-Anel, D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}), porosidade (PT, PT-2,65 e PT-2,84) e umidade do solo (U-Anel, U-A, U-C, U-M, U-906, U-TDR09 e U-TDR11) 89

Tabela 9 - Parâmetros estatísticos para o armazenamento de água (mm) gerado através dos diferentes métodos de amostragem e para a perda média diária de água (mm dia^{-1}) no período de estudo na camada de 0,0 – 0,10 m 103

Tabela 10 - Parâmetros de ajuste do semivariograma para o armazenamento de água e a perda média diária de água no período de estudo 107

Tabela 11 - Relação entre variância, coeficiente de variação (CV) e efeito pepita (C_0) para o armazenamento de água e a perda média diária de água para o período de estudo 108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Semivariograma experimental 23

Figura 2 - Modelos de semivariogramas com patamar 25

Figura 3 - Mapa da área de estudo com cotas topográficas 33

Figura 4 - Grade de coleta de amostras na área, contendo os 302 pontos de amostragem com espaçamento regular de 10 x 10 metros 34

Figura 5 - Imagem parcial do Centro Experimental Central do Instituto Agronômico (IAC): 1. Área de estudo; 2. Seringueira; 3. Café; 4. Área com cultivo de culturas anuais; 5. Parcelas com sistemas coletores de erosão com culturas anuais; 6. Represa com fileira de árvores na margem próxima a área de estudo; 7. Área de várzea 35

Figura 6 - Coleta de amostras indeformadas de solo: A. Esquema de anel volumétrico; B. Equipamentos utilizados no processo de amostragem (conjunto de anel e tampas de inox, castelinho, espátula para limpeza do anel e pá para retirada do anel); C. Anel cravado no solo; D. Anel sendo acondicionado para transporte até o laboratório 37

Figura 7 - Esquema de analise do torrão parafinado 38

Figura 8 - Diferentes tamanhos de torrões (3 cm, 5 cm e 7 cm) utilizados para obtenção da densidade do solo 38

Figura 9 - Amostras indeformadas de solo sendo saturadas para determinação da porosidade total através do método de pesagens 40

Figura 10 - Regulagem de mesa de tensão para determinação da microporosidade do solo a 60 cm de coluna de água 41

Figura 11 - Métodos de amostragem de umidade: A. Método volumétrico; B. Método gravimétrico com amostras de solo acondicionadas em latas de alumínio 42

Figura 12 - TDR Modelo HydroSense 44

Figura 13 - Esquema de pluviômetro 47

Figura 14 - Precipitação diária sobre a área de estudo de janeiro a maio de 2005 48

Figura 15 - Freqüência média de direção do vento para a região de Campinas – SP, no período de 01/01/2005 a 31/05/2005 (N – Norte; S – Sul; E – Leste; W – Oeste; NE – Nordeste; SE – Sudeste; NW – Noroeste; SW – Sudoeste e C – Calmaria) 49

Figura 16 - Velocidade média do vento (m s^{-1}) de janeiro a maio de 2005 50

Figura 17 - Velocidade média do vento nos 151 dias julianos envolvidos neste estudo (de janeiro a maio de 2005) 51

Figura 18 - Velocidade média do vento e direção predominante para os dias anteriores à primeira amostragem de umidade do solo (10/01/2005) 52

Figura 19 - Velocidade média do vento e direção predominante para os dias anteriores à segunda amostragem de umidade do solo (01/02/2005) 52

Figura 20 - Velocidade média do vento e direção predominante para os dias anteriores a terceira e quarta amostragem de umidade do solo (09/05/2005 e 11/05/2005) 52

Figura 21 - Radiação solar incidente sobre a área de estudo durante os meses de janeiro a maio de 2005 53

Figura 22 - Radiação solar incidente nos 151 dias julianos envolvidos neste estudo (de janeiro a maio de 2005) 54

Figura 23 - Temperatura máxima nos 151 dias julianos envolvidos neste estudo (de janeiro a maio de 2005) 55

Figura 24 - Temperatura máxima média durante os meses de janeiro a maio de 2005 56

Figura 25 - Valores de coeficiente de variação (CV-%) para a densidade (D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}) e umidade gravimétrica(U-A, U-B e U-C) e umidade obtida com TDR (U-TDR09 e U-TDR11) 59

Figura 26 - Histogramas de distribuição de freqüência para densidade (D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}), umidade gravimétrica (U-A, U-B, U-C) e umidade obtida com TDR (U-TDR09 e U-TDR11) 61

Figura 27 - Semivariogramas ajustados ao modelo esférico (ESF) para a densidade (D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}) e para a umidade do solo (U-A, U-B, U-C, U-TDR09 e U-TDR11) 64

Figura 28 - Semivariograma escalonado para a densidade (D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}), umidade gravimétrica (U-A, U-B e U-C) e umidade obtida com TDR (U-TDR09 e U-TDR11) 65

Figura 29 - Relação entre coeficiente de variação (CV) e o efeito pepita (C_0) para densidade (D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}), umidade gravimétrica (U-A e U-C) e umidade obtida com TDR (U-TDR09 e U-TDR11) 66

Figura 30 - Mapas de isolinhas para a densidade (D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}) e umidade pelo método gravimétrico (U-A, U-B, U-C) e umidade obtida com TDR (U-TDR09 e U-TDR11) 68

Figura 31 - Relação entre as repetições para todos os atributos analisados: densidade pelo método do torrão (kg dm^{-3}), umidade pelo método gravimétrico (%) e umidade obtida com TDR (%) 69

Figura 32 - Densidade do solo pelo método do torrão (D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}) no mês de janeiro de 2005 em relação aos pontos de amostragem 71

Figura 33 - Umidade do solo pelo método gravimétrico coletada no dia 01/02/2005 (U-A, U-B e U-C) e sua relação com os pontos de amostragem 72

Figura 34 - Umidade do solo obtida com TDR nos dias 09/05/2005 (UTDR-09) e 11/05/2005 (UTDR-11) e sua relação com os pontos de amostragem 73

Figura 35 - Média geral entre as amostras ao longo do campo (densidade pelo método do torrão (kg dm^{-3}), umidade obtida pelo método gravimétrico-% e umidade obtida com TDR-%), com sua respectiva linha de valor médio para cada uma das repetições 74

Figura 36 - Histograma de distribuição de freqüência para Ds–Anel: densidade pelo método do anel; D_{s3}: densidade com torrão de 3cm; D_{s5}: densidade com torrão de 5cm e D_{s7}: Densidade com torrão de 7cm 84

Figura 37 - Histograma de distribuição de freqüência para PT: porosidade total; PT-2,65: porosidade total estimada com densidade de partículas de 2,65 kg dm^{-3}; PT-2,84: porosidade total estimada com densidade de partículas de 2,84 kg dm^{-3}; Micro: microporosidade e Macro: macroporosidade do solo 85

Figura 38 - Histograma de distribuição de freqüência para U-Anel: umidade volumétrica; U-A: umidade gravimétrica no ponto A; U–B: umidade gravimétrica no ponto B e U-C: umidade gravimétrica no ponto C 86

Figura 39 - Histograma de distribuição de freqüência para U-M: umidade gravimétrica média dos pontos A, B e C; U-906: umidade gravimétrica nos 906 pontos de amostragem; U–TDR09: umidade volumétrica no dia 09/05/2005 e U–TDR11: umidade volumétrica no dia 11/05/2005 87

Figura 40 - Relação entre variância, coeficiente de variação (CV) e efeito pepita (C_0) para a densidade (Ds-Anel, D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}), porosidade (PT, PT-2,65 e PT-2,84) e umidade do solo (U-Anel, U-A, U-C, U-M, U-906, U-TDR09 e U-TDR11) 89

Figura 41 - Semivariograma ajustado ao modelo esférico para a densidade do solo (Ds-Anel: densidade com anel volumétrico (kg dm^{-3}); D_{s3}: densidade do solo com torrão de 3 cm (kg dm^{-3}); D_{s5}: densidade do solo com torrão de 5 cm (kg dm^{-3}); D_{s7}: densidade do solo com torrão de 7 cm (kg dm^{-3})) 92

Figura 42 - Mapa de isolinhas para Ds-Anel (densidade do solo com anel volumétrico, kg dm^{-3}), D_{s3} (densidade do solo com torrão de 3 cm, kg dm^{-3}), D_{s5} (Densidade do solo com torrão de 5 cm, kg dm^{-3}) e D_{s7} (Densidade do solo com torrão de 7 cm, kg dm^{-3}) 94

Figura 43 - Semivariogramas ajustados ao modelo esférico para a porosidade do solo (PT: porosidade total (%); PT-2,65: porosidade total estimada pela densidade de partículas 2,65 kg dm^{-3} (%); PT-2,84: porosidade total estimada pela densidade de partículas 2,84 kg dm^{-3} (%); Macro: macroporosidade (%) e Micro: microporosidade (%)) 96

Figura 44 - Mapa de isolinhas para PT (porosidade total, %), PT-2,65 (porosidade total estimada pela densidade de partículas 2,65 kg dm^{-3}, %), PT-2,84 (porosidade total estimada pela densidade de partículas 2,84 kg dm^{-3}, %), Macro: macroporosidade (%) e Micro (microporosidade, %) 98

Figura 45 - Semivariograma ajustados ao modelo esférico para a umidade do solo (U-Anel: umidade volumétrica (%); U-A: umidade gravimétrica no ponto A (%); U-B: umidade gravimétrica no ponto B (%); U-C: umidade gravimétrica no ponto C (%); U-M: umidade gravimétrica média dos pontos A, B e C (%); U-906: umidade gravimétrica nos 906 pontos de amostragem (%); U-TDR09: umidade volumétrica com TDR no dia 09/05/2005 (%); U-TDR11: umidade volumétrica com TDR no dia 11/05/2005, (%)) 101

Figura 46 - Mapa de isolinhas para U-Anel (umidade volumétrica, %), U-A (umidade gravimétrica no ponto A, %), U-C (umidade gravimétrica no ponto C, %); U-M (umidade gravimétrica média dos A, B e C, %), U-906 (umidade gravimétrica nos 906 pontos de amostragem, %), U-TDR09 (umidade volumétrica com TDR no dia 09/05/2005, %) e U-TDR11 (umidade volumétrica com TDR no dia 11/05/2005, %) 102

Figura 47 - Histogramas de distribuição de freqüência para o armazenamento de água (mm) em todas as datas de amostragem 105

Figura 48 - Histogramas de distribuição de freqüência para a perda média diária de água (mm dia^{-1}) para os períodos de estudo 106

Figura 49 - Relação entre o coeficiente de variação (CV) e o efeito pepita (C_0) para o armazenamento de água (A-Anel, A-A, A-B, A-C, A-M, A-906, A-TDR09 e A-TDR11) e perda média diária de água (P-A, P-B, P-C, P-M, P-906 e P-TDR) pelo solo no período de estudo 110

Figura 50 - Semivariogramas experimental para o armazenamento de água amostrado no dia 10/01/2005 (A-Anel), 01/02/2005 (A-A, A-B, A-C, A-M e A-906), 09/05/2005 (A-TDR09) e 11/05/2005 (A-TDR11) 111

Figura 51 - Mapas de isolinhas do armazenamento de água no solo (mm) em 10/01/2005 (A-Anel), 01/02/2005 (A-A, A-B, A-C, A-M e A-906), 09/05/2005 (A-TDR09) e 11/05/2005 (A-TDR11) 112

Figura 52 - Semivariograma direcional para o armazenamento de água no solo no dia 10/01/2005 (A-Anel) 114

Figura 53 - Semivariogramas experimental da perda média diária de água (mm dia^{-1}) para o primeiro período entre 10/01/2005 e 01/02/2005 (P-A, P-B, P-C, P-M e P-906), e para o segundo período de estudo entre 09/05/2005 e 11/05/2005 (P-TDR) 116

Figura 54 - Mapas de isolinhas para a perda média diária de água no primeiro período de estudo (P-A, P-B, P-C, P-M e P-906) e no segundo período de estudo 117

SIQUEIRA, Glécio Machado. **Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos**. 2005. 163f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Pós-Graduação – IAC.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo caracterizar os diferentes métodos de amostragem de atributos físicos do solo, visando avaliar a variabilidade espacial dos analisados e validar a hipótese intrínseca da geoestatística. O experimento foi conduzido em uma área de 3,42 hectares no Centro Experimental Central do Instituto Agronômico (IAC) em Campinas (SP), amostrada em grade regular de 10 x 10 metros, totalizando 302 pontos de amostragem, em um Latossolo Vermelho eutroférrico cultivado com culturas anuais sob o sistema de plantio direto há mais de vinte anos. As amostragens de solo foram realizadas na camada de 0,0 - 0,1 m com amostras indeformadas e amostras de solo solto. A estatística descritiva e a geoestatística foram utilizadas para se determinar à magnitude das diferenças entre os métodos de amostragem de atributos físicos do solo. Foram realizadas as seguintes determinações: densidade pelo método do torrão, densidade pelo método volumétrico, porosidade total medida, porosidade total estimada, macroporosidade, microporosidade, umidade volumétrica, umidade volumétrica com TDR e umidade gravimétrica do solo. Usando a geoestatística foram gerados modelos de semivariogramas para descrição da variabilidade espacial, cujos dados de ajuste foram utilizados no processo de interpolação através da krigagem, expressando a variabilidade espacial dos atributos físicos em mapas de isolinhas. A análise da hipótese intrínseca da geoestatística proposta neste trabalho propiciou a compreensão do comportamento dos atributos analisados confirmando a presença da estacionariedade dos dados na área de estudo através das diferentes formas de amostragem do solo. Contudo, o semivariograma dos atributos obtidos por métodos diversos representaram o mesmo fenômeno de maneiras diferentes. As técnicas de amostragem interferem diretamente sobre os resultados, dificultando a avaliação dos atributos físicos mais susceptíveis a erros amostrais, como a densidade do solo pelo método do torrão e a umidade gravimétrica do solo. A porosidade total medida representou melhor o fenômeno da porosidade quando comparada com a porosidade total estimada com densidade de partículas de 2,65 kg dm^{-3} e 2,84 kg dm^{-3}. A umidade volumétrica do solo apresentou o maior valor de alcance (56 m) quando comparada com a umidade gravimétrica e a umidade obtida com TDR. O armazenamento de água e a perda média

diária de água pelo solo indicam a presença de estabilidade temporal. São necessários mais estudos para se determinar à contribuição individual de cada um dos elementos climáticos (vento, radiação solar, temperatura e precipitação) sobre o conteúdo de água no solo.

Palavras-chave: amostragem; física do solo; geoestatística, conteúdo de água, clima e solo.

SIQUEIRA, Glécio Machado. **Variability of soil physical attributes determined by different methods.** 2005 163f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Pós-Graduação – IAC.

ABSTRACT

The main objectives of this work were to characterize the differences between methods of collecting samples for the analysis of some soil physical attributes and to analyze the intrinsic hypothesis of geostatistics. The field work was carried out at Centro Experimental Central of Instituto Agronômico (IAC), Campinas, SP, Brazil, in a field sampled on a 10x10 meters grid, resulting in 302 sampling points on a Rhodic Eutrudox cultivated under no-tillage system during the last twenty years. Undisturbed and loose soil samples were collected from the 0-0,1 meters layer. Descriptive statistics and geostatistics were used to determinate the magnitude of the differences between the results of the different methods used to determine the soil physical attributes. The following determinations were made: soil density by the clod method, soil density by the volumetric ring method, calculated total soil porosity, estimated total soil porosity, macroporosity, microporosity, volumetric water content determined by the ring, volumetric water content with TDR and gravimetric water content. The data were analyzed using descriptive statistics for the determination of the main statistical moments. The spatial variability was analyzed semivariogramas and contour maps obtained with kriging interpolation. The spatial variability of the soil physical attributes was displayed using contour maps. The analysis of the intrinsic hypothesis of geostatistics proposed in this work, provided better understanding of the analyzed attributes confirming the presence of the data stationarity in the area of study through the different forms of soil sampling. The sampling techniques showed direct effect on the results, affecting the soil physical attributes more sensitive to measurement errors, such as the density by the clod method and the soil gravimetrical water content. Calculated soil total porosity presented larger range value (90 m) than that for the total porosity estimated with 2.65 kg dm^{-3} particle density and 2.84 kg dm^{-3} (the average particle density determined for the field area). The soil volumetric water content also presented larger range value (56 m) when compared with the gravimetrical water content and the water content obtained with TDR. The water storage and the daily average loss of water by the soil presented visually similar contour maps. The climatic factors (wind, solar radiation and rainfall) interfere directly in the storage values and the daily average loss of water. However, more studies are necessary to determine the

individual contribution of each one of these factors on the soil water content and to investigate the effects in the crop production.

Keywords: sampling, soil physics, geostatistics, water content, climate and soil.

1 INTRODUÇÃO

A humanidade vem buscando encontrar medidas mitigadoras contra os impactos ambientais decorrentes do acelerado desenvolvimento dos processos de produção das últimas décadas. Para isso os processos de produção estão sofrendo sérias reformulações visando a sustentabilidade ambiental e a manutenção do desenvolvimento humano. Neste contexto, a agricultura mundial busca cada vez mais utilizar alternativas de produção embasadas em ferramentas computacionais e de gerenciamento especializado.

A adoção de técnicas racionais de manejo conservacionista do solo e da água é de fundamental importância para a sustentabilidade, de tal forma que se possa, economicamente, manter ao longo do tempo esses recursos com quantidade e qualidade suficientes para a manutenção de níveis satisfatórios de produtividade (WUTKE et al., 2000). Dentre os sistemas conservacionistas de manejo do solo, a técnica de plantio direto tem merecido lugar de destaque tanto pela quantidade de área que ocupa atualmente como pela falta de informações sobre o comportamento dos atributos físicos do solo ao longo do tempo neste sistema de manejo.

A palhada do solo no sistema de plantio direto diminui o impacto da gota de chuva sobre o solo que por sua vez provoca a desagregação das partículas e conseqüente erosão. Neste sentido o sistema de plantio direto é citado por diversos autores (LOPES et al., 1987; WEST et al., 1991; BRAIDA & CASSOL, 1999) pelo seu efeito na redução das perdas de solo, e esta redução é proporcional à quantidade de palha mantida em cobertura, sendo este o principal fator que levou os agricultores a adotarem o sistema de plantio direto. Sem palha o plantio direto teria um escorrimento superficial maior que o plantio convencional em função do não revolvimento do solo. Além disso, os resíduos vegetais contribuem para o aumento no teor de matéria orgânica do solo. Com o aumento do teor de matéria orgânica no solo há uma maior estabilidade de agregados. A palha mantida em superfície atua ainda positivamente sobre a taxa de infiltração e armazenamento de água no solo.

Diante do desafio da produção de alimentos com sustentabilidade, a agricultura de precisão representa uma nova alternativa para o processo de produção agrícola, pois de acordo com EMBRAPA (1997) engloba o uso de tecnologias atuais para o manejo do solo, insumos e culturas, de modo adequado às variações espaciais e temporais em

fatores que afetam a produtividade das culturas. Contudo, para o estudo de grandes áreas onde o solo apresenta variações nos seus atributos é necessária à utilização de técnicas amostrais e de análise de dados que levem em consideração a variação espacial, que muitas vezes está associada à sua formação (WEBSTER, 1985; GOOVAERTS, 1994). De acordo com VIEIRA (2004), a variabilidade espacial de solos sempre existiu e deve ser considerada toda vez que a amostragem de campo for efetuada, pois pode indicar locais que necessitam de tratamento diferenciado quanto ao manejo, sem prejuízo para a representatividade, possibilitando maior detalhamento da área.

Dentro deste contexto, a geoestatística se propõe a ser uma ferramenta para o estudo da variabilidade espacial dos solos. Para isso, é importante que seja feita uma amostragem representativa da área, para que se possam obter dados com valores que realmente correspondam à realidade da parcela. A amostragem física do solo normalmente exige amostras simples com repetições para representar um local e uma situação no espaço uma vez que é impossível fazer amostras compostas para representar um atributo físico do solo, tendo em mente que todas as amostras fazem parte de uma função matemática contínua presente em todos os pontos. Conseqüentemente, isto acarreta em um número bastante grande de amostras, sobrecarregando custos, tanto de amostragem como de análises laboratoriais.

Diante da importância que a coleta de dados de atributos físicos do solo possui sobre o processo de caracterização da área, é necessário compreender como os diferentes métodos de amostragem interferem e disponibilizam os resultados, visando a otimização do trabalho de campo e laboratório, assim como também os ganhos com a produção.

Parâmetros físicos do solo como a densidade e a porosidade podem indicar problemas significativos de infiltração, permeabilidade, aeração e drenagem.

As variações espaciais dos mais diversos atributos físicos tais como a densidade e a porosidade condicionam a distribuição da água no solo e conseqüentemente o rendimento das culturas. A medida da umidade é essencial para a pesquisa e entendimento do comportamento de distribuição e armazenamento de água no solo. O clima interfere diretamente no armazenamento de água através dos mais variados fatores como: intensidade da radiação solar, temperatura do ar, temperatura do solo, vento, umidade do ar.

Compreender como estes fatores interferem no armazenamento de água no solo e sua interligação com o próprio solo é um desafio real para a manutenção dos

processos de produção agrícola. Por outro lado verificar a relação entre clima e armazenamento de água não é fácil se o solo não é considerado neste processo, assumindo que o movimento de água no solo é principalmente descendente, em função de suas características físicas.

Entretanto, os atributos do solo variam continuamente no espaço, e conseqüentemente, valores amostrais mais próximos são mais semelhantes entre si do que valores mais distantes. Porém, para se detectar isto é preciso amostrar adequadamente senão, mesmo com esta continuidade existindo, se a amostragem realizada não for bem feita poderá ser insuficiente para detectar esta variação. Na prática, a variação é muito irregular, e qualquer equação adequada relacionando valores de uma propriedade com sua posição no espaço deve ser muito complexa (WEBSTER & OLIVER, 1990).

Portanto, quando um atributo do solo varia de um local para outro com algum grau de continuidade, expresso pela dependência espacial, a geoestatística permite uma visão espacial útil ao planejamento e ao controle das informações de produção.

A modelagem geoespacial permite a descrição quantitativa da variabilidade espacial dos atributos do solo e a estimativa não tendenciosa, e com variância mínima de valores desses atributos em locais não amostrados. Acessar essa variabilidade faz da geoestatística uma eficiente ferramenta de suporte a decisão no manejo do solo, da água e das culturas. As intervenções para corrigir variações indesejáveis da oferta de nutrientes, água ou mesmo de manejo passam a ser balizadas por mapas de isovalores das variáveis de interesse.

Essa forma de atuação corrobora com o conceito da agricultura de precisão e utiliza tecnologia factível ao padrão tecnológico e de capital de uma importante fatia do agronegócio brasileiro. No entanto, é preciso compreender cada vez mais como os atributos do solo se manifestam e tornar esta tecnologia acessível para os produtores rurais.

Desta forma, este trabalho tem como objetivos:

a) Examinar a Hipótese Intrínseca da Geoestatística, visando uma melhor compreensão sobre a estacionariedade dos atributos físicos do solo.

b) Caracterizar o comportamento de atributos físicos do solo e principalmente sua relação com o método de amostragem.

c) Avaliar o armazenamento de água no solo por meio da relação solo, água e processos atmosféricos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistema de Plantio Direto

O cerrado brasileiro, com uma área de 1.800.000 km^2 ou 21 % do território nacional, constitui uma opção para a expansão das áreas agrícolas, graças às características químicas e físicas do solo, e a facilidade de mecanização (FERNANDES et al., 1999). Segundo o mesmo autor, o uso contínuo de grade aradora e a pulverização excessiva da camada superficial do solo têm levado ao aparecimento de camadas compactadas e selamento superficial dos solos, com conseqüente aumento da erosão e queda de produtividade. O preparo intensivo das áreas de cultivo convencional requer o revolvimento do solo repetidas vezes antes da implantação de cada cultura, acarretando aumento da mineralização da matéria orgânica e promovendo a erosão e o aquecimento global pela emissão do dióxido de carbono (URQUIAGA et al., 1999).

A ação do impacto das gotas de chuva no solo em sistemas convencionais de produção é responsável pela desagregação das partículas, podendo desagregar grandes quantidades de partículas decorrentes da energia cinética das gotas de chuva, que exercem forças de pressão e cisalhamento no ponto de impacto. O transporte das partículas desagregadas é realizado, quase exclusivamente, pelo fluxo laminar raso, o qual é auxiliado em muito pela turbulência produzida pelo impacto das gotas de chuva, suspendendo e mantendo suspensas as partículas do solo (CASSOL, 2003). Os resíduos vegetais na superfície do solo no sistema de plantio direto interceptam as gotas de chuva e dissipam a sua energia, evitando a desagregação das partículas e a formação de selo superficial.

Os sistemas conservacionistas de preparo do solo, quando comparados ao sistema de preparo convencional, imprimem características químicas, físicas e biológicas distintas ao solo, de maneira a modificar a distribuição e morfologia das raízes, com reflexos no crescimento da parte aérea, interagindo conseqüentemente, na produtividade (KLEPKER & ANGHINONI, 1995). As práticas de cultivo visando à produção agrícola sustentável devem minimizar as limitações do solo e do clima, assegurando rendimentos crescentes, além de conservar os recursos naturais e proteger o meio ambiente (MORRISON & CHICHESTER, 1994).

Com a introdução do sistema conservacionista de plantio direto no Brasil propiciou-se um novo alento à conservação do solo, a qual se baseava principalmente

em práticas mecânicas de controle da erosão como cultivo em nível e terraceamento (ELTZ, 1997). Atualmente, o plantio direto vem se consolidando como uma tecnologia conservacionista, com sistemas adaptados às diversas regiões e níveis tecnológicos, desde o grande agricultor altamente tecnificado até o pequeno agricultor que usa tração animal. Segundo MUZILLI (1991), plantio direto é o processo de semeadura em solo não revolvido. As sementes são colocadas em sulcos ou covas por equipamentos apropriados, com largura e profundidades suficientes para a sua adequada cobertura e contato com o solo, eliminando-se então as operações de aração, gradagem, escarificação e outros métodos convencionais de preparo do solo. A semeadura direta é realizada em solo coberto por uma camada residual da cultura anterior e/ou resíduos de plantas espontâneas mortas por herbicidas dissecantes. A expansão do plantio direto no Brasil, segundo SATURNINO (2001), atingiu cerca de 12 milhões de hectares em culturas anuais. Com mais de duas décadas de desenvolvimento na região Sul e Sudeste e mais de uma década nos cerrados da região Centro Oeste, o plantio direto no Brasil dispõe de um volume considerável de informações e de dados obtidos na prática, que favorecem seu crescimento. Porém, é necessário investir em pesquisas sobre este sistema de manejo que envolvam experimentos de longa duração, uma vez que pouco se conhece sobre o comportamento dos atributos físicos ao longo do tempo e de como estas mudanças de comportamento interferem no desenvolvimento das culturas.

O solo cultivado exposto às chuvas, recebe a maior parte da energia cinética da precipitação, quebrando os agregados e iniciando o processo de erosão. Com a destruição dos agregados, as partículas menores em suspensão penetram e obstruem os poros, diminuindo a permeabilidade e formando o selo superficial (SCHAEFER et al, 2002), e influenciando a infiltração da água.

Solos com eficiente cobertura vegetal como no sistema de plantio direto podem reduzir o escoamento laminar diminuindo assim as perdas de solo e água. Além disso, há redução na velocidade da enxurrada no sistema de plantio direto e, conseqüentemente, redução na sua capacidade de desagregação e transporte de partículas do solo. De acordo com ARZENO & VIEIRA (1994), técnicas de manejo que mantém o solo coberto diminuem consideravelmente as perdas de solo por erosão.

Embora MUZILLI (1981) relate casos do aumento do escorrimento superficial em plantio direto, este se dá em menor velocidade, devido ao aumento da rugosidade da superfície do solo causada pela cobertura de palha. A palha em superfície ao diminuir o escorrimento superficial propicia que uma maior quantidade de água infiltre no solo,

diminui as perdas por evaporação e contribui para o aumento da umidade do solo tanto em superfície quanto em camadas mais profundas.

A prática de plantio direto além de reduzir a erosão atua diretamente nos atributos físicos e químicas, controla a população de plantas daninhas e reduz o custo de produção (FAGERIA & STONE, 2004), maximiza o uso de equipamentos e melhorar a qualidade do solo (SALTON et al., 1998).

2.1.1 Características físico-hídricas do solo em plantio direto

Todo solo apresenta atributos físicos definidos por fatores como rocha matriz, processo pedogenético, posição na paisagem, tipo de vegetação natural, etc. Porém, estes são fatores que definem os atributos físicos e químicos de um dado solo em seu estado natural (SILVA et al., 1992). Dependendo das condições de uso e manejo, os atributos físicos podem sofrer alteração (COOTE & RAMSEY, 1983), evoluindo para situações positivas ou negativas ao crescimento das plantas e produtividades, podendo tais alterações ser permanentes ou temporárias (BERTOL, et al., 2001).

O sistema de preparo convencional, além de pulverizar a superfície dos solos, deixa-os mais susceptíveis ao processo de erosão, e propensos a formação de impedimentos mecânicos logo abaixo das camadas de solo movimentadas pelos implementos, os quais podem interferir no sistema radicular das plantas acarretando redução de produtividade (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990; DERPSCH et al., 1991).

Se o preparo do solo afetar sua porosidade, afetará a sua aeração, a densidade, e, consequentemente, a morfologia do sistema radicular (FERNANDES et al., 1999).

O estado de agregação do solo é de grande importância para as atividades agrícolas, uma vez que está relacionado com a aeração do solo, desenvolvimento radicular, suprimento de nutrientes, resistência mecânica do solo à penetração e retenção e armazenamento de água. A matéria orgânica age como condicionador do solo mediante sua estrutura complexa e longas cadeias de carbono, agregando partículas minerais (DUFRANC et al., 2004). Desta maneira a matéria orgânica tem efeitos indiretos sobre o solo, atuando tanto no aumento da agregação e da porosidade quanto na diminuição da densidade do solo (METZGER & YARON, 1987).

No sistema de plantio direto ocorre compactação superficial do solo devido ao intenso tráfego de máquinas pesadas (SILVA et al., 2000; BEUTLER & CENTURION,

2004), e de dependendo do teor de água no solo pode favorecer a formação de camadas de impedimento, que prejudicam o desenvolvimento das plantas (ARAUJO et al., 2001), e redução da produtividade das culturas (BEUTLER & CENTURION, 2003).

A compactação do solo tem sido um problema agrícola de grande importância para várias culturas, devido ao seu efeito sobre a distribuição de raízes das plantas e a variedade de fatores que podem causar sua ocorrência (CAMARGO, 1983).

SILVA et al. (2003), constataram que antes do preparo, o tráfego de quatro passadas de uma carreta graneleira provocou decréscimos de até 50% na porosidade e permeabilidade nas profundidades de 0,20 e 0,40 m, quando comparados com o efeito provocado por uma única passada.

Uma forma direta para se identificar se a compactação é prejudicial às plantas, segundo ARAÚJO et al. (2001), é analisar se as raízes apresentam algum desvio lateral e se concentram na superfície com crescimento desuniforme. No solo podem surgir crostas superficiais e fendas, acúmulo de água no sulco, erosão hídrica, e a presença de palha incorporada e não decomposta. Todos esses indicativos podem ser detectados através de avaliação com abertura de trincheira e coleta de amostras ou ainda com utilização de penetrômetros, e devem ser eliminados antes da implantação de um sistema de manejo, utilizando sistemas como rotação de culturas, adubação verde, escarificação e em casos mais críticos a subsolagem.

No plantio direto, os solos apresentam em geral, na camada superficial, após três ou quatro anos maiores valores de densidade e microporosidade e menores valores de macroporosidade e porosidade total, quando comparados com valores do preparo convencional (SPERA et al., 2004). Isto decorre, principalmente, do arranjamento natural do solo, quando não é mobilizado, e da pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, sobretudo quando realizado em solos argilosos e com teores elevados de umidade (STONE & SILVEIRA, 2001).

Assim, operações agrícolas quando realizadas com elevados valores de umidade do solo, provocam aumento da área compactada do solo (PEDROTTI & DIAS JUNIOR, 1996; SECCO et al., 2004).

As modificações na densidade e na porosidade do solo causadas principalmente pelas práticas de manejo podem variar consideravelmente dependendo da textura e dos teores de matéria orgânica no solo (CURTIS & POST, 1964) e da freqüência de cultivo (HAJABBASI et al., 1997).

Segundo QUEIROZ-VOLTAN et al. (2000), em solos compactados, as raízes das plantas não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, fica prejudicado. Além disso, outros autores mencionam que a diminuição da quantidade de oxigênio no volume de macroporos diminui a difusão de O_2 para as raízes (XU et al., 1992), resultado da redução drástica da macroporosidade com o aumento da densidade do solo (DIAS JÚNIOR. & PIERCE, 1996).

O controle da compactação superficial do solo submetido à semeadura direta pode ser feito por métodos culturais (MÜLLER et al., 2001) e mecânicos (HAMILTON-MANNS et al., 2002) e não há estudos conclusivos a respeito deste assunto.

Vale destacar que a agregação do solo é também influenciada pela cobertura vegetal, havendo estudo de que as gramíneas causam efeito benéfico na agregação (D'ANDRÉA et al., 2002).

Desta maneira, a interação entre as partículas do solo e os agentes cimentantes de materiais orgânicos e inorgânicos, determinam a estrutura de um solo (REICHARDT, 1990). De acordo com SÁ (1993), ocorre também um aumento da distribuição das raízes no plantio direto, havendo uma maior concentração nos primeiros 10cm, devido à maior concentração de matéria orgânica e de nutrientes.

No sistema de semeadura direta ocorre também uma maior compactação do solo na camada superficial (TAVARES FILHO & TESSIER, 1998; DE MARIA et al., 1999), a qual poderá restringir o desenvolvimento das culturas (TAVARES FILHO et al., 2001).

A concentração de raízes no plantio convencional se dá mais na camada de 10-20cm, e nos níveis mais profundos maior número de raízes tem sido encontradas nos solos sob plantio direto do que nos solos sob plantio convencional (SÁ, 1993). Isto talvez seja um dos fatores determinantes da maior produtividade do plantio direto em anos secos, devido à maior retenção e armazenamento de água, e ao maior desenvolvimento do sistema radicular em profundidade.

De acordo com CASTRO FILHO (2001), na porosidade existe a porosidade entre agregados (interagregados) e aquela no agregado (intra-agregado). A porosidade entre agregados é responsável pela infiltração e drenagem da água no solo. Já os espaços intra-agregados (poros bem pequenos) são responsáveis pela retenção de água no solo.

As propriedades de transmissão de água no solo pelos macroporos podem exercer considerável influência na infiltração, drenagem e perdas de solo e de água por erosão, as quais afetam o desenvolvimento das culturas e qualidade ambiental (ABREU, et al., 2004). A caracterização dessas propriedades é difícil e pode ser atribuída à frágil e transiente natureza dos macroporos do solo e à falta de técnicas adequadas de medições (MESSING & JARVIS, 1993).

A porosidade está relacionada com o manejo do solo, sendo dependente de práticas de mecanização, tipo de cultura plantada, tipo de solo, biologia e macroestrutura do solo (REYNOLDS et al., 1994; AZOOZ & ARSHAD, 1996; ABREU et al., 2004).

No sistema de plantio direto, a porosidade total é menor quando comparada ao sistema convencional, porém há maior proporção de macroporos. Esse aumento na macroporosidade pode induzir um fluxo preferencial e contribuir para aumentar as taxas de infiltração (SHIPITALO & PROTZ, 1987). A porosidade total e a sua distribuição pelo tamanho são características físicas do solo indiretamente relacionadas à estrutura e podem ser avaliadas pela densidade e macroporosidade (CORSINI & FERRAUDO, 1999).

A compreensão e quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade física são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (DEXTER & YOUNGS, 1992). Desta maneira, a estrutura é o alvo do manejo físico do solo. Embora, não seja considerada em si um fator de crescimento para as plantas, exerce influência na disponibilidade de água e ar às raízes das plantas, no suprimento e no desenvolvimento do sistema radicular (PALMEIRA et al., 1999).

É comum no Brasil estudos que identifiquem alterações causadas pelo sistema de manejo. Porém, na sua grande maioria, estes trabalhos sobre o manejo do solo e as modificações de seus atributos físicos comparando diferentes sistemas de manejo com a mata nativa (COSTA et al., 2003; CRUZ et al., 2004; WENDLING et al., 2005). Na prática, é necessário compreender como os diferentes atributos físicos se comportam ao longo do tempo e mais importante ainda é averiguar como os diferentes métodos de amostragem interferem nos resultados, conforme demonstrado por FOLEGATTI et al. (2001) comparando diferentes métodos para a obtenção da densidade do solo.

Diferentes atributos físicos do solo têm sido empregados para quantificar as mudanças causadas pelo manejo (KARLEN & STOTT, 1994). Em geral, são utilizados atributos físicos individualmente, não levando em conta as possíveis interações entre

eles (ARAUJO et al., 2004), de acordo com GRANATSTEIN & BEZDICEK (1992), a interação desses atributos físicos determina a qualidade de um solo. Há ainda, uma carência de informações com base em experimentos de longa duração que monitorem o efeito das alterações nos atributos físicos do solo ao longo do tempo (OLIVEIRA et al., 2004).

Entretanto, ao se coletar amostras de solo, a variabilidade dos resultados é devida a erros de metodologia na amostragem e à heterogeneidade do solo em profundidade e no sentido horizontal. É difícil separar a contribuição de cada um destes fatores, mas a experiência mostra que se a amostragem for feita tomando-se cuidados sugeridos pela metodologia, a principal fonte de variação é a heterogeneidade do solo (REICHARDT, 1990). Não obstante, é necessário salientar que uma amostragem bem feita é aquela que é capaz de representar um fenômeno do solo. Assim, quanto mais heterogênea for à área, maior deverá ser o número de amostras a serem coletadas, para se atingir uma precisão adequada para a avaliação de uma determinada variável (SILVEIRA, et al., 1999).

Dentre as características físicas do solo, a estrutura pode ser considerada como uma das mais importantes sob o ponto de vista agrícola, pois a ela são atribuídas propriedades fundamentais da relação solo-planta. HILLEL (1982), destaca que a estrutura pode ser alterada por mudanças no clima, na atividade biológica e por práticas de manejo do solo, sendo ainda vulnerável a forças de natureza mecânica e físico-químicas.

A desestruturação, a compactação e a redução nos teores de matéria orgânica são consideradas as principais indutoras para a degradação dos solos agrícolas (SOARES et al., 2005). Tal degradação, com todas as suas implicações e conseqüências, tem resultado no desafio de viabilização de sistemas de produção que possibilitem maior eficiência energética e conservação ambiental, criando-se novos paradigmas tecnológicos baseados na sustentabilidade.

O sistema de plantio direto além de diminuir consideravelmente o revolvimento do solo contribui com o aumento da palha em superfície, e age diretamente no comportamento de muitos atributos do solo, entre eles o armazenamento de água, propiciando o desenvolvimento de um microclima com características distintas ao cultivo convencional (WEIRICH NETO et al., 2002).

A semeadura direta em comparação a outros tipos de semeadura tende a ocasionar um aumento na densidade e na quantidade de microporos, aumentando a

capacidade de retenção de água no solo (DALMAGO et al., 2003). Por outro lado, o cultivo convencional atua no sentido oposto, ocasionando redução da densidade, aumento da porosidade de aeração e diminuição da capacidade do solo em armazenar água através do contínuo revolvimento do solo (GUBIANI et al., 2005).

A cobertura do solo formada pelo sistema de plantio direto é constituída basicamente pelo dossel da cultura e pelos resíduos vegetais das culturas anteriores, e sofre contínuas modificações à medida que os resíduos se decompõem e a cultura se desenvolve (VARELLA et al., 2002).

A água é responsável pelas maiores flutuações na produção das culturas (GUBIANI et al., 2005). Assim, é preciso priorizar práticas de manejo de solo ou manejo de culturas que proporcionam um melhor aproveitamento da água (REICHERT et al., 2005). O conhecimento do armazenamento de água e sua relação com os atributos do solo são de fundamental importância para o eficiente manejo da água, do solo e das plantas (SILVA, 2003).

A umidade é importante para a compreensão do processo de armazenamento e de distribuição da água no solo. A umidade pode ser determinada por métodos diretos (gravimétrico e o volumétrico) e por métodos indiretos (método da atenuação de nêutrons, método da atenuação da radiação gama, o método TDR, entre outros) (LIBARDI, 2005).

É preciso tomar cuidado com essas determinações quanto a sua representatividade e suas aplicações práticas, por envolverem erros de amostragem ou serem realizadas com amostras que não representam a estrutura natural do solo durante o ciclo da cultura (ARRUDA et al., 1987).

A dinâmica da água é dependente de características internas do solo (textura, porosidade, profundidade do lençol freático, tipo de argilominerais, matéria orgânica, dentre outras), externas (cobertura do solo e densidade de plantas, precipitação, temperatura, correntes de ar) e da relação solo-planta-atmosfera (MUSY & SOUTTER, 1991).

O clima de uma determinada região é estabelecido pela combinação de vários elementos climáticos. Esta combinação é complexa e, devido a isto, as classificações climáticas são desenvolvidas visando um objetivo específico (ROLIM & CAMARGO, 2005). É preciso ter em mente que o clima de uma região é função de uma série de fatores como relevo, posição geográfica e influência de massas de ar, propiciando o desenvolvimento de características climáticas específicas.

A umidade do solo varia espacialmente e temporalmente (LIBARDI, 2000) sendo função de características edafo-climáticas da área de estudo. Para isso, é necessário o monitoramento periódico da umidade do solo visando uma melhor compreensão de seu comportamento em função dos diferentes métodos de amostragem. Determinações diretas e freqüentes da umidade do solo são bastante difíceis e trabalhosas, sobretudo em grandes áreas territoriais (ORTOLANI & CAMARGO, 1987).

De acordo com GONÇALVES et al. (1999), a caracterização da variabilidade do armazenamento de água no solo é dependente de uma adequada amostragem, e uma posterior análise dos fatores ambientais que interferem neste processo.

2.1.2 Armazenamento de água no sistema de plantio direto

Os solos agrícolas funcionam como um sistema complexo que retém e transmite água, ar, nutrientes e calor às sementes e plantas, de maneira que é fundamental um ambiente físico favorável ao crescimento radicular, para maximizar a produção das culturas (HAMBLIN, 1985; LETEY, 1985; TORMENA et al., 2002).

CARPENEDO & MIELNICZUK (1990), afirmam que o solo, quando submetido a cultivos intensivos, tende a perder a estrutura original pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores, com conseqüente redução de macroporos e aumento de microporos e da densidade.

A magnitude com que as alterações ocorrem depende do tipo de solo e dos sistemas de manejo utilizados. De acordo com CORRÊA (2002) e BERVALD et al. (2004), o efeito mais nocivo é atribuído aos sistemas de manejo que adotam revolvimento intensivo de solos, o que afeta o teor de matéria orgânica, um dos principais agentes de formação e estabilização dos agregados.

Do ponto de vista agrícola, a estrutura do solo é uma das características mais importantes, pois está relacionada com a disponibilidade de ar e água às raízes das plantas, com o suprimento de nutrientes, com a resistência mecânica do solo à penetração, e com o desenvolvimento do sistema radicular (CORRÊA, 2002).

O manejo altera a estrutura do solo, promovendo modificações benéficas ou maléficas ao desenvolvimento das culturas. A reestruturação do solo depende do sistema de manejo que será usado no seu preparo. A adoção de sistemas de manejo que

mantenham a proteção do solo através do contínuo aporte de resíduos orgânicos é fundamental para a manutenção da estrutura (SILVA et al., 2000).

O sistema de plantio direto é enfocado como um sistema de exploração agropecuário que envolve a diversificação de espécies via rotação de culturas, o solo é mobilizado apenas na linha da semeadura e há manutenção dos resíduos vegetais das culturas anteriores na superfície do solo (SEIXAS et al., 2005).

O plantio direto é um complexo de tecnologia de processos, de produtos e de serviços que submete o agroecossistema a um menor grau de perturbação e desordem, quando comparado a outras formas de manejo que empregam mobilização intensa do solo (DENARDIN et al., 1990).

A produtividade agrícola está intimamente relacionada aos atributos físicos, em especial àqueles que afetam a relação solo-água, uma vez que o solo constitui-se no principal reservatório de água para as plantas (MELLO et al., 2002). O não revolvimento do solo e o aumento do teor de matéria orgânica no sistema de plantio direto favorecem a melhoria das características estruturais do solo, contribuindo para a manutenção do conteúdo de água no solo, que por sua vez está relacionado com estes parâmetros.

As propriedades físicas do solo, como a textura e a estrutura determinam o fluxo de água. Nesse sentido, ELLIES et al. (1997) destacam a importância da funcionalidade do sistema poroso do solo, englobando propriedades tais como: quantidade, tamanho, morfologia, continuidade e orientação dos poros. Todas estas propriedades do espaço poroso, que influenciam a condutividade, podem ser reunidas no termo único "geometria porosa dos solos" (LIBARDI 2000).

A estrutura refere-se ao arranjo ou disposição das partículas unitárias: argila, silte e areia (JORGE, 1985), e influencia o desenvolvimento das plantas de vários modos: regula a aeração, o armazenamento e circulação de água no solo, penetração das raízes, disponibilidade de nutrientes, a atividade micro e macrobiológica e a temperatura do solo (COSTA et al., 2003; WEIRICH NETO, et al., 2002).

Solos em elevado estágio de intemperização possuem um característico arranjo de partículas, aumentando a formação de agregados, que é a resultante do teor de matéria orgânica no solo, do grau de floculação, das ligações orgânicas e inorgânicas, da cimentação biológica e mineral dos óxidos de ferro e alumínio (KOHNKE, 1968).

A estrutura do solo, ao contrário da textura, pode ser modificada, ela pode ser mantida ou mesmo melhorada com práticas agrícolas adequadas, tais como a rotação de

culturas, cultivo apropriado e incorporação de matéria orgânica (adubo verde ou esterco) (REICHARDT, 1990).

Entre as características do plantio direto, destaca-se o elevado teor de matéria orgânica em várias fases do processo de decomposição, alta atividade biológica e estabilidade de agregados que confere ao solo maior estabilidade estrutural, evitando a formação de selamento superficial, possibilitando taxas mais elevadas de infiltração de água, e conseqüentemente, maior resistência à erosão (FIORIN, 1999). Desta maneira, como o tempo de contato entre a água e a superfície do solo é maior favorecendo que o conteúdo de água no solo. ARZENO (1990), verificou que solos preparados apresentam reduções da taxa de infiltração de aproximadamente 85 % comparadas às dos solos protegidos por palha.

Sabe-se ainda que os principais agentes cimentantes presentes nos solos são a matéria orgânica e os óxidos de Fe e Al. Desta forma, à medida que se aumenta à presença destas frações no solo maior será a possibilidade deste apresentar uma estrutura mais estável (SILVA, 1997).

A manutenção dos resíduos vegetais da parte aérea, pelo sistema de plantio direto, resulta em menor ação de decomposição microbiana, decorrente do menor contato com o solo. Assim, é possível ocorrer produção contínua de ácidos orgânicos (AMARAL et al., 2004) que contribuem para a maior estruturação do solo (THEODORO et al., 2003), beneficiado pela formação de galerias, oriundas da decomposição de raízes e da microfauna, pela qual a matéria orgânica caminha e com ela o P orgânico e inorgânico (RAIJ, 1991; CHEPKWONY et al., 2001; CORRÊA et al., 2004), melhorando a estrutura do solo e as condições de fertilidade ao longo do perfil.

No sistema de semeadura direta, ocorre ainda menor evaporação e melhor estruturação do solo ao longo do perfil, e a taxa de infiltração de água tende a ser maior (MUZILLI, 1983; ROSOLEM et al., 2003).

Além da palha em superfície, existe também uma fração de palha parcialmente decomposta que interage com a superfície do solo e facilita a infiltração de água. A combinação do efeito dessa palhada parcialmente decomposta, na superfície do solo, com uma rede de macroporos contínuos, em profundidade, proporcionam um aumento da infiltração de água no solo no plantio direto (REICHERT et al., 2005).

Com a ausência de revolvimento do solo no plantio direto, tem-se constatado compactação superficial (TORMENA & ROLOFF, 1996; De MARIA et al., 1999) pelo

efeito cumulativo do tráfego de máquinas ao longo do tempo. A compactação reduz o volume total de poros do solo (DEFOSSEZ & RICHARD, 2002) e alterando a sua distribuição e tamanho (KLEIN & LIBARDI, 2002), interferindo diretamente no comportamento de distribuição e armazenamento de água no solo.

De acordo com BOIZARD et al. (2002), a intensidade e a freqüência de ocorrência da compactação dependem da seqüência das culturas, do sistema de manejo e da umidade do solo por ocasião do tráfego (TORMENA et al., 2004).

Em função do tipo de solo, profundidade das raízes e tipo de cultura podem ser definidos limites (máximo e mínimo) do armazenamento de água no solo, dentro dos quais a cultura tem seu desenvolvimento favorecido (ALFONSI et al., 1998). No entanto para se assegurar estes limites de armazenamento de água é preciso investir em práticas de manejo tais como: manutenção da cobertura permanente no solo, terraços de contenção, utilização de plantas com sistema radicular abundante capazes de recuperar a estrutura do solo e descompactá-lo, favorecendo o crescimento das raízes das plantas das próximas safras em profundidade e explorando um maior volume de solo (REICHERT et al., 2005), e conseqüente aumentando a quantidade de água disponível.

Em relação à resposta das plantas, quanto à disponibilidade de água, pouco se sabe a respeito do efeito do sistema de plantio direto em comparação ao convencional (BIANCHI et al., 2005).

O armazenamento de água no solo é decorrente do processo de infiltração, que por sua vez é um processo físico de grande complexidade, que envolve o solo como um meio heterogêneo com ampla variabilidade espacial e que apresenta características que sofrem alterações diferenciadas no tempo e no espaço (REICHERT et al., 2005).

Entretanto, reconhece-se que, ao agricultor, devem ser fornecidas técnicas simples, mas com precisão suficiente para possibilitar no campo, a determinação criteriosa do momento e da quantidade de água a ser aplicada (LOPES et al., 2004), em função do armazenamento de água no solo.

2.2 Interferência do Clima no Armazenamento de Água

A agricultura praticada até alguns anos levava apenas em consideração o ciclo natural das quatro estações do ano, como determinantes das melhores épocas de plantio e de manejo das culturas. Estima-se que mais de 50% da população mundial depende de produtos agrícolas irrigados (LIMA et al., 1999), no entanto, diversos fenômenos

climáticos então alterando a paisagem devido a mudanças nos padrões pluviométricos (DIAZ et al., 1998).

Indubitavelmente a utilização da informática na agricultura é imprescindível para otimizar à tomada de decisão (DOURADO-NETO et al., 1999), tornando possível o entendimento de fenômenos climáticos através da análise de grandes bancos de dados ou através da modelagem destes fenômenos. Neste sentido, os trabalhos com respeito à modelagem de solo e água, ainda possuem muitos aspectos que merecem ser tratados pela ciência.

A análise climatológica fornece subsídios importantes, tanto no que diz respeito a uma configuração padrão espacial bem como serve de auxílio à organização das atividades econômicas (NERY et al., 2002).

Grandes regiões do território nacional, durante uma parte do ano, possuem condições de temperatura e de radiação solar desejáveis para a produção agrícola, mas existe um déficit hídrico importante (LOPES et al., 2004). A adoção de técnicas conjugadas de plantio direto e de irrigação tem se mostrado promissora, sob o ponto de vista de melhor explorar a terra e também sob o aspecto conservacionista, uma vez que, segundo STONE & MOREIRA (2000; 2001), havendo uma maior economia de água plantio direto.

Quando a deficiência hídrica do solo é prolongada, a absorção de água pelas raízes torna-se bastante menor do que a transpiração, caracterizando um fluxo descontínuo e originando conseqüências não só fisiológicas, mas também morfológicas nas plantas (VALANDRO et al., 2004) que por sua fez interferem na produtividade e lucratividade.

Um planejamento agrometeorológico que possa minimizar a ação dessas ocorrências adversas representará, com certeza, uma melhoria no rendimento agrícola, com maior lucratividade ao produtor rural (TOMMASELLI & VILLA NOVA, 1994).

Em condições de campo o vento tem uma importância fundamental, na determinação do consumo de água pelas plantas uma vez que favorece o aumento das perdas de água pelo solo e pelas plantas (VALANDRO et al., 2004). A direção do vento pode variar, dentre outros fatores, em função do local, do clima e da estação do ano (BARBANO et al., 2003).

Do ponto de vista agronômico, as correntes eólicas podem afetar as plantas sob três aspectos: transpiração, absorção de CO_2 e efeito mecânico sobre as folhas e ramos (BARBANO et al., 2003).

PEDRO JÚNIOR. et al. (1998), destacam que a taxa de evaporação da água do solo é reduzida diante da utilização de quebra-ventos. A palha na superfície do solo no plantio direto também propicia a formação de um micro-clima favorável e diminuição das perdas de água por evaporação (MUZILLI, 1983; ROSOLEM et al., 2003) garantindo a otimização do armazenamento de água no solo por mais tempo.

A agricultura é vulnerável aos impactos decorrentes da variabilidade climática, principalmente no que se refere à precipitação (ALVES et al., 1998). A precipitação na forma de chuva é um dos elementos climáticos que mais interfere na disponibilidade hídrica do solo (BEIJO et al., 2003).

Sendo a ocorrência de precipitação dependente de fatores atmosféricos e que não permite uma previsão determinística com grande antecedência, o estudo das características de precipitação como altura, duração, intensidade e freqüência são de grande interesse em engenharia por sua freqüente aplicação nos projetos relacionados com recursos hídricos (BACK, 1996).

VIEIRA et al. (1991), descrevem que o conhecimento da chuva diária máxima provável é importante para trabalhos de conservação do solo, estradas, barragens e drenagem, para cujo dimensionamento adequado é necessário conhecer as ocorrências externas.

A quantidade de radiação solar que atinge a superfície do planeta exerce controle no balanço de energia e nos processos de circulação da atmosfera e oceanos, ela é determinante sobre o comportamento climático global e fenômenos meteorológicos (GAMBI et al., 1998). Com exceção de algumas regiões, entre as quais os oceanos, os grandes rios e lagos, e as chapadas, a superfície da Terra é formada por relevo irregular, com seqüências de morros e vales. Portanto, existem faces do terreno com exposições e inclinações submetidas a diferentes regimes de incidência de radiação solar.

TUBELIS & NASCIMENTO (1983), ressaltam que as latitudes próximas a 20ºS têm o efeito de diminuir a radiação solar ao longo de todo o ano, em relação à superfície plana, sendo o efeito mais pronunciado no inverno e com o aumento da inclinação do terreno. Desta maneira, nas vertentes mais sombreadas (face sul, em nosso hemisfério), as temperaturas dos solos são menores, assim como a evapotranspiração, condicionando ambientes mais úmidos, em comparação com as vertentes voltadas para norte, mais ensolaradas à tarde (OLIVEIRA, 2005).

Diversos autores têm relatado a importância da fisiografia (MYERS & DEUSEN, 1960; CASTAÑOS, 1962; HANNAH, 1971; GRANEY & FERGUSON,

1972; ORTIZ, 2003), uma vez que a posição da encosta influência na composição do microclima, e ao longo do dia podem apresentar temperaturas mais elevadas e, naturalmente devido a maior evapotranspiração, menor quantidade de umidade.

Os elementos climáticos: precipitação, vento e radiação solar são determinantes para o processo de armazenamento de água no solo. Por isso é necessário também interpretá-los para garantir um melhor entendimento do armazenamento de água no solo.

2.3 Variabilidade Espacial de atributos físico-hídricos do solo

O solo está distribuído na superfície terrestre de maneira mais homogênea em algumas partes que em outras. Essa situação de heterogeneidade do solo é responsável pela variação espacial e contínua de seus atributos.

Considerando-se que a variabilidade existente deva ser incorporada aos procedimentos e tecnologias aplicados na agricultura, há alguns anos os agricultores estão adotando um novo sistema de produção denominado, no Brasil, Agricultura de Precisão (JOHANN, et al., 2004).

Os atributos físicos do solo desempenham importante papel, senão o principal dentre as propriedades do solo (WARRICK & NIELSEN, 1980). No entanto, o cultivo acarreta modificações nos seus atributos físicos, dependendo da intensidade de preparo do solo (SOUZA et al*.,* 2004), seja em preparo convencional (ANJOS et al., 1994; UTSET & CID, 2001) ou em plantio direto (STRECK et al., 2004).

A maioria dos produtores agrícolas considera uniforme o solo de cada área de cultivo, podendo, no entanto, ter consideráveis variações em seus atributos (JOHANN et al., 2004). Em conseqüência dessas variações, o uso do valor médio é, às vezes, de pouca utilidade, podendo conduzir a decisões de manejo equivocadas, principalmente no sistema solo-água-planta (MACEDO et al., 1998). Assim, a prática agrícola convencional tem-se baseado em poucas amostras de solo (McBRATNEY & PRINGLE, 1998), para sua interpretação e recomendação de práticas de manejo.

A variabilidade espacial dos diversos atributos envolvidos no processo de produção agrícola do solo em áreas extensas pode ser relativamente elevada (SOUZA et al., 2004). Desta maneira, o conhecimento da variabilidade espacial dos seus atributos, pode contribuir para a redução de custos nos sistemas de produção.

A aplicação de manejo diferenciado pelo aproveitamento de contrastes do meio físico em campos de cultivo, depende do reconhecimento de padrões de variação em propriedades de solo e de planta (SANTOS et al., 2003).

Atualmente, a pesquisa da ciência do solo tem-se apoiado na geoestatística que juntamente com a estatística descritiva formaram uma dupla de extraordinária importância agronômica, decorrente das inúmeras respostas dadas às mais variadas questões existentes que, até então, eram ignoradas (CARVALHO et al., 2003).

A análise da variabilidade espacial do solo através da geoestatística pode indicar alternativas de manejo que levem a diminuição dos efeitos da variabilidade espacial dos atributos físicos na produção das culturas.

A aplicação de ferramentas da estatística de FISHER (1956) na experimentação agrícola, para que se possam empregar testes de comparação entre tratamentos, está vinculada à observação dos pressupostos básicos da análise de variância, tais como: independência entre observações; independência e homogeneidade entre os erros entre observações; aditividade dos efeitos e normalidade dos resíduos (ORTIZ, 2003).

Sabe-se, porém, que estas notações não corroboram com a realidade encontrada em campo, uma vez que a variabilidade espacial de solos sempre existiu, e se não for considerada uma das conseqüências é uma avaliação inadequada (VIEIRA, 2004).

Neste sentido, diversos autores têm demonstrado que observações vizinhas de variáveis do solo apresentam correlação ou dependência espacial (VIEIRA et al., 1983; PREVEDELLO, 1987; CAHN et al., 1994; CAMBARDELLA et al., 1994; SCOTT et al., 1994; SOUZA, 1999).

A variabilidade espacial dos solos surge desde a sua formação e continua após o solo atingir o seu estado de equilíbrio dinâmico (SOUZA, 2004). Por outro lado, a mudança do estado natural (mata nativa) para os cultivos agrícolas tem acrescentado uma grande fonte de variabilidade aos atributos do solo, promovendo uma maior heterogeneidade (BECKETT & WEBSTER, 1971), muitas vezes contrariando o conceito de que quanto mais intensamente cultivado, mais homogêneos ficariam estes atributos devido ao seu manejo químico e físico (POCAY, 2000).

WEBSTER (1985), ressalta a necessidade de se obter estimativas das propriedades do solo e planejar pesquisas de forma mais econômica, buscando métodos mais racionais e quantitativos para o estudo das variabilidades intrínsecas dos solos. Assim, a geoestatística surge como uma ferramenta importantíssima para a detecção da

variabilidade espacial das mais diferentes variáveis, buscando a otimização dos processos de produção agrícola.

2.3.1 Geoestatística

Na análise geoestatística, a variabilidade espacial é profundamente avaliada e modelada, para em seguida se empregar técnicas apropriadas de estimativas, cujos resultados serão imagens representativas da distribuição no espaço, das propriedades que estão sendo analisadas (STURARO, 1993).

A geoestatística permite estabelecer um modelo de semivariograma que melhor descreva a variabilidade espacial dos dados, o qual será utilizando no processo de interpolação pelo método da krigagem, possibilitando a geração de uma superfície contínua para a área estudo, expressa através de mapas de isolinhas.

O termo geoestatística é empregado para caracterizar o estudo estatístico de um fenômeno natural com localização conhecida. Este, por sua vez, é caracterizado pela distribuição no espaço de uma ou mais variáveis, denominadas de "variáveis regionalizadas" (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978).

A diferença básica entre a estatística e a geoestatística, consiste em que, a primeira requer valores das amostras independentes espacialmente, enquanto a segunda requer valores das amostras correlacionados (dependentes) no espaço (STURARO, 1993).

Segundo VIEIRA (2000) os estudos sobre geoestatística iniciaram-se na mineração com dois pesquisadores em particular. Daniel G. Krige, em 1951, trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguiria encontrar sentidos nas variâncias se não levasse em consideração à distância entre as amostras (FARIAS, 2002).

Assim, as observações realizadas por Krige foram generalizadas na década de 60 pelo engenheiro francês Georges Matheron que desenvolveu a Teoria das Variáveis Regionalizadas (MATHERON, 1962 e 1971).

OLEA (1975), descreve que uma variável regionalizada é uma função numérica com distribuição espacial, que varia de um ponto para outro com continuidade aparente. Esta descrição permite a análise e compreensão do comportamento da variabilidade espacial de atributos do solo.

Os atributos do solo variam continuamente no espaço, onde valores amostrais mais próximos são mais semelhantes entre si do que valores mais distantes. Entretanto, eles dependem um do outro para assumirem valores estatísticos, isso se a amostragem for realizada em distâncias capazes de detectar as variações do campo.

A obtenção de uma variável em local não amostrado vem acompanhada de muita incerteza. Desta maneira os métodos geoestatísticos, baseados em modelos matemáticos, propiciam uma avaliação da variável juntamente com a inevitável incerteza (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989).

Na prática, a variação espacial de um atributo é muito irregular, e qualquer equação matemática relacionando valores de uma propriedade com posição deve ser muito complexa (WEBSTER & OLIVER, 1990).

Os conceitos teóricos da geoestatística têm suas bases em funções e variáveis aleatórias (VIEIRA, 2000), e na prática é preciso relacionar o conjunto de dados em estudo com uma das hipóteses da geoestatística. Esta restrição é necessária para que se possam adequar os dados a uma função matemática, visando detectar a sua variabilidade espacial.

COSTA (1999) e VIEIRA (2000) ressaltam que, formalmente uma variável regionalizada é estacionária se os momentos estatísticos da variável aleatória forem os mesmos para qualquer posição no campo de amostragem, não variando com a translação, desde que respeitadas as seguintes suposições:

1. a média ou valor esperado da diferença entre duas medidas (atributos) de dois pontos separados por uma distância h seja igual a zero. Isto é indicado quando não existe nenhuma tendência visual no semivariograma, ou seja, o semivariograma empírico atinge um patamar dentro da área considerada;
2. a variância das diferenças entre os pontos separados por uma distância h depende somente dessa distância, que podemos chamar de “lag”. Essa propriedade implica em homogeneidade na variância entre pontos que tem a mesma distância entre eles.

As hipóteses da geoestatística são: hipótese de estacionariedade de segunda ordem, hipótese intrínseca e hipótese de tendência ou krigagem universal (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978; VIEIRA et al., 1983).

A hipótese de estacionariedade intrínseca é também conhecida como estacionariedade forte (TRANGMAR et al., 1985).

A estacionariedade intrínseca é tudo que é requerido em geoestatística (OLEA, 1975). No entanto é preciso compreender inicialmente a estacionariedade de primeira ordem como sendo a hipótese de que o valor esperado da função $Z(x_i)$ é o mesmo para toda a área, independente da posição que ocupa ou a da distância de separação (h).

A estacionariedade de segunda ordem exige a existência de variância finita (PREVEDELLO, 1987; COSTA, 1999; VIEIRA, 2000), por isso, esta hipótese é muito difícil de ser satisfeita, sendo então pouco utilizada.

A hipótese intrínseca considera apenas a média dos valores $Z(x_i)$ e a variância dos incrementos $Z(x_i)$-$Z(x_i+h)$ ocorrem independentemente da localização no espaço amostral, sendo função apenas do valor de h (distância de separação entre amostras). Requer somente a existência do semivariograma com patamar, sem a exigência da variância finita, sendo assim a hipótese intrínseca é mais freqüentemente usada em geoestatística por ser menos restritiva (VIEIRA, 2000).

Na hipótese de tendência ou de krigagem universal, os conjuntos de pares apresentados crescem sem limites, para todos os valores de h calculados, quando ajustado a um modelo matemático. Este fenômeno apresenta capacidade infinita de dispersão, não possuindo variância finita e a sua covariância não pode ser definida.

Os conceitos utilizados até o momento explicam a continuidade espacial de um determinado atributo. No entanto, para que estes dados possam ser interpolados através da técnica de krigagem é preciso que sejam ajustados a um modelo matemático que melhor represente sua variabilidade espacial.

O semivariograma é uma ferramenta básica de suporte a técnica de krigagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (HUIJBREGTS, 1975).

O semivariograma pode ser estimado através da seguinte equação:

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

onde $\gamma^*(h)$ é semivariância estimada; N(h) representa o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$ separadas por um vetor (h). Na denominação geoestatística, $Z(x_i)$ é descrito como variável regionalizada (CLARK, 1979).

O semivariograma busca a distância (h) entre x_i e x_i+h, podendo não encontrá-la se os dados possuírem efeito pepita puro. Se $\gamma^*(h)$ depende somente da distância e não da orientação, o semivariograma é então denominado de isotrópico.

A dependência espacial manifesta-se como uma correlação entre as amostras que diminui a medida que a distância entre os pontos amostrais aumenta, e desaparece completamente, quando a distância entre os pontos amostrais é suficientemente grande, os quais, neste caso, são considerados estatisticamente independentes (VIEIRA, 2000).

O gráfico do semivariograma (Figura 1) é ajustado conforme os parâmetros abaixo:

1. Efeito pepita (C_0): teoricamente, $\gamma^*(0)=0$, ou seja, o valor do semivariograma para a distância $h=0$ deve ser zero (0). Porém, este fato não ocorre na prática.
2. Patamar ($C_0 + C_1$): à medida que à distância (h) aumenta, também aumenta a semivariância $\gamma(h)$, até um valor máximo em que ela se estabiliza; a distância (h) na qual a semivariância $\gamma(h)$ se estabiliza é denominada alcance (a) e é a distância limite de dependência espacial, que representa o raio de um círculo, onde os valores são tão semelhantes que podem ser considerados correlacionados (VIEIRA *et al.*, 1983).

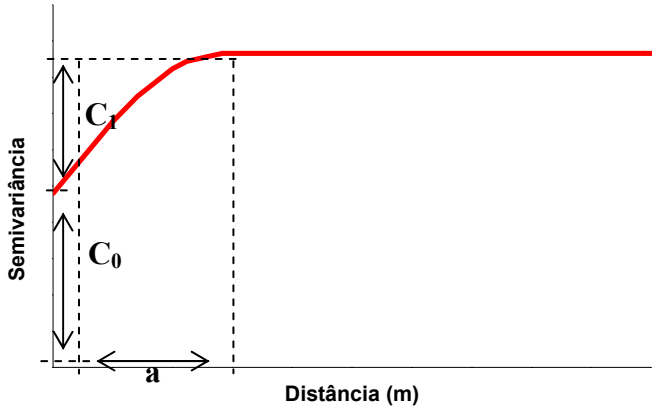

Figura 1 – Semivariograma experimental.

O gráfico do semivariograma experimental $\gamma^*(h)$, calculado pela equação (1), é formado por uma série de valores, aos quais é necessário ajustar uma função.

É importante que o modelo ajustado represente a tendência de $\gamma^*(h)$ em relação à (h). Deste modo, as estimativas obtidas a partir da krigagem serão mais exatas e, portanto mais confiáveis. O procedimento de ajuste de um modelo teórico ao semivariograma é um dos aspectos mais importantes da aplicação da teoria das varáveis regionalizadas, e não é direto e automático, mas sim interativo, pois nesse processo o

usuário faz um primeiro ajuste e verifica a adequação do modelo teórico. Dependendo do ajuste obtido, pode ou não redefinir o modelo, até obter um que seja considerado satisfatório, ou pode-se utilizar para este fim o procedimento de autovalidação comumente chamado de "jack-knifing" (VIEIRA, 2000).

Os semivariogramas experimentais podem ser elaborados para várias direções, com o intuito de detectar anisotropias. Na anisotropia o fenômeno estudado apresenta estruturas de variabilidade espacial diferentes conforme a direção (X ou Y) tomada dentro da área de estudo (ORTIZ, 2003). Para isso são comparados semivariogramas estimados principalmente para as direções 0º no eixo X, 90º no eixo Y, e 45º e –45º nas duas diagonais.

Quando o semivariograma não apresentar estruturas de variabilidade espacial nas diferentes direções, o fenômeno é isotrópico (ALMEIDA & RIBEIRO, 1996; CAMARGO, 1997; CARVALHO, 1991).

RIBEIRO JÚNIOR (1995), descreve ainda que para um fenômeno isotrópico a área de influência (alcance) de uma amostra é circular. A anisotropia pode ainda ser dividida em dois tipos: anisotropia geométrica e anisotropia zonal.

A anisotropia geométrica ocorre quando a variabilidade é diferente de uma direção para a outra, mas mantém o mesmo patamar (CAMARGO, 1997; CARVALHO, 1991). Neste caso pode-se corrigir os dados através de transformação linear das coordenadas dos eixos anisotrópicos (STURARO, 1993).

Na anisotropia zonal, tanto o alcance (amplitude variográfica) como o patamar, variam conforme uma determinada direção e este comportamento está associado ao zoneamento espacial da variável ou ainda a uma possível associação de populações distintas. De acordo com TRANGMAR et al. (1985), a anisotropia zonal não é comum em estudos de solos.

Segundo VIEIRA et al. (1983), a obtenção dos semivariogramas constitui-se no primeiro passo para a análise geoestatística. Os modelos teóricos básicos denominados de modelos isotrópicos (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989), estão divididos em dois tipos: modelos com patamar e modelos sem patamar.

Os modelos com patamar são referenciados na geoestatística como modelos transitivos. Os modelos do segundo tipo não atingem o patamar, e continuam aumentando enquanto a distância aumenta, e são utilizados para modelar fenômenos que possuem capacidade infinita de dispersão. Modelos sem patamar são: linear e potência.

Os modelos transitivos mais utilizados são: esférico, exponencial e gaussiano. O modelo esférico é o mais utilizado, e vários pesquisadores (McBRATNEY & WEBSTER, 1986; TRANGMAR et al., 1987; CAMBARDELLA et al., 1994; SALVIANO et al., 1998) encontraram o modelo esférico como o mais adaptado para descrever o comportamento de semivariogramas de atributos de plantas e solos. As definições teóricas destes modelos foram demonstradas por WEBSTER & OLIVER (1990) e VIEIRA (2000).

As funções teóricas, usadas para modelar semivariogramas, deverão ser positiva definida, ou seja, o sistema estruturado a partir destas funções, para efetuar estimativa, deve possuir uma solução única e estável para o sistema de equações (STURARO, 1993).

Os cálculos de geoestatística dependem dos valores aplicados ao modelo durante o ajuste (VIEIRA et al., 1981). Sendo assim, um ajuste errôneo nesta fase implica em erros durante todo o restante do processo de análise espacial. A Figura 2 apresenta os principais modelos com patamar ajustados ao semivariograma.

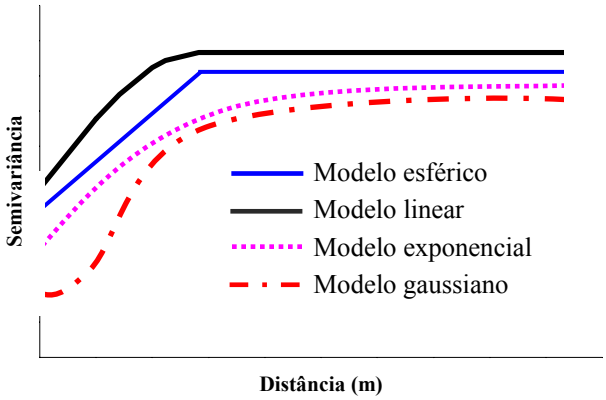

Figura 2 - Modelos de semivariogramas com patamar.

A krigagem deriva do nome do pesquisador Daniel G. Krige que foi um dos primeiros pesquisadores a pensar na relação da variância versus distância. A krigagem usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima (VIEIRA, 2000).

A diferença entre a krigagem e os métodos tradicionais de interpolação é a maneira como os pesos são atribuídos a diferentes amostras. Krigagem é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos a diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferêncial e o erro associado ao valor estimado. Além disso, a krigagem é um estimador exato com propriedades de não tendenciosidade e variância mínima. Com isso, a incorporação de procedimentos geoestatísticos em SIG's, baseados em técnicas de krigagem, é importante, porque essa associação melhora os procedimentos tradicionais de tais sistemas devido à qualidade do estimador e, principalmente, pela informação de acurácia fornecida nesse modelo inferêncial (RIBEIRO JUNIOR, 1995).

Usando a krigagem, é possível obter a variância da estimativa que é a característica que diferencia este método dos demais. É importante, pois, além de permitir a estimativa de valores sem tendência para os locais onde estes não foram medidos, ainda se pode conhecer a confiança associada a essas estimativas (VIEIRA, 2000).

2.3.2 Variabilidade espacial do armazenamento de água no solo

Os recursos hídricos estão cada vez mais escassos havendo iminente competição entre seu uso direto no cotidiano urbano e sua aplicação agrícola para gerar alimentos em áreas e em épocas com deficiência de chuvas (SANTIAGO et al., 2002).

O conhecimento detalhado do comportamento da água, durante o desenvolvimento de uma cultura, fornece elementos essenciais ao estabelecimento ou aprimoramento de práticas de manejo agrícola que visem à otimização da produtividade (ROCHA et al., 2005).

O reservatório do solo é abastecido pela irrigação ou pelas precipitações. No caso da irrigação a água é aplicada sobre o solo considerando as indicações da necessidade de água através de métodos de manejo de irrigação (LOPES et al., 2004).

As variações espaciais dos mais diversos atributos físicos condicionam a distribuição da água no solo e conseqüentemente o rendimento das culturas. Assim, a medida da umidade é essencial para a pesquisa e entendimento do comportamento de distribuição de água.

A avaliação da condição da umidade do solo fornece informações importantes para diversos fins, tais como estudo de troca ente o solo e a atmosfera e, principalmente,

nas atividades agrícolas, como, por exemplo, para a estimativa dos efeitos das secas e enchentes sobre a queda do rendimento das culturas (ROSSATO et al., 2005).

Devido à importância da água no desenvolvimento das plantas e suas implicações em várias propriedades do solo, a determinação do seu teor sempre foi de grande interesse, tanto no aspecto científico como no econômico (CICHOTA & van LIER, 2004).

No plantio direto ocorre maior armazenamento de água, em função de uma menor quantidade de macroporos quando comparado ao cultivo convencional (ALBUQUERQUE et al., 2001; REICHERT et al., 2005).

Segundo FANCELLI et al. (1985), o solo cultivado sob plantio direto, apresenta condutividade hidráulica saturada maior do que em outros sistemas devido à continuidade e rigidez dos poros, sendo necessária especial atenção quanto à variabilidade espacial ao amostrar solos neste sistema.

TAVARES FILHO et al. (2001) verificaram maior umidade do solo no sistema de plantio direto (0,17 m^3 m^{-3}) quando comparado com o preparo convencional (0,15 m^3 m^{-3}).

Logo, dada à importância da umidade do solo, vários métodos e/ou técnicas são utilizadas para a sua determinação, as quais podem ser feitas direta ou indiretamente utilizando-se diferentes instrumentos. No entanto, a determinação direta desta propriedade demanda tempo e trabalho, além dos custos de amostragem e análise dos dados.

VAUCHAUD et al. (1985), buscando representar a umidade do solo, com reduzido esforço amostral, propuseram o conceito de estabilidade temporal que se descreve em duas técnicas: a primeira denominada diferença relativa faz-se uma análise dos desvios entre os valores observados individualmente e a média deles, medidos espacialmente. De acordo com os autores, igualdades ou pequenas variações na diferença relativa entre posições ao longo do tempo indicam a estabilidade temporal. Na segunda técnica, utiliza-se o teste não-paramétrico de Spearman. O teste de Spearman é utilizado para avaliar se existe correlação entre os resultados de variáveis relacionadas com o conteúdo de água no solo. A correlação de Spearman baseia-se na ordenação de duas variáveis sem qualquer restrição quanto à distribuição de valores (NUNES et al., 2005).

KACHANOSKI & JONG (1988) expandiram o conceito de VAUCHAUD et al. (1985), mostrando que a correlação entre valores medidos em instantes consecutivos

pode ser utilizada como ferramenta para a análise de estabilidade temporal. Suas conclusões significaram um avanço e ao, mesmo tempo, simplificaram a proposta de VACHAUD et al. (1985). VIEIRA et al. (1997) foram mais além com o escalonamento do semivariograma visando detectar a estabilidade temporal.

Vários autores têm estudado a variabilidade espaço-temporal da umidade do solo (van WESENBEECK & KACHANOSKI, 1988; WENDROTH et al., 1999; MARTINEZ-FERNÁNDES & CEBALLOS, 2003; ROCHA et al., 2005;). No entanto é preciso compreender a variabilidade espacial do armazenamento e distribuição de água no solo em função das características edafo-climáticas, visando garantir o desenvolvimento sustentável e a otimização do solo e da água.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho envolve o monitoramento do comportamento da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo depois de uma sucessão de culturas em plantio direto por mais de vinte anos, e a magnitude das diferenças entre os diferentes métodos de amostragem.

3.1 Descrição da Área Experimental

A área está localizada no Centro Experimental Central do IAC – INSTITUTO AGRONÔMICO, Campinas, Estado de São Paulo. A área de estudo possui 3,42 hectares e apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude 22º 53' Sul e longitude 47º 04' Oeste, com altitude média de 600 m e a declividade média de 6,5 % (Figura 3).

O clima da região de Campinas é classificado como Cwa (Köppen, 1918), com uma precipitação média anual de 1382 mm de acordo com ORTOLANI et al. (1995).

Os ventos que atingem a área, apresentam a direção sudeste (SE) como predominante (BARBANO et al., 2003), e apresentando os maiores valores de velocidade (2,5 m s^{-1}) durante os meses de setembro, outubro e novembro (ORTOLANI et al., 1995).

O solo da área é um Latossolo Vermelho eutroférrico (EMBRAPA, 1999) (Rhodic Eutrudox na Classificação Americana conforme USDA, 1996 e Vertic-Rhodic

Ferralsol pela Legenda da FAO, 1994). As Tabelas 1 e 2 apresentam respectivamente a descrição geral e morfológica do solo na área de estudo de acordo com COELHO (2005). A Tabela 3 apresenta as características físicas e químicas para a área de estudo (COELHO, 2005).

No período da amostragem o solo estava cultivado com a cultura da mamona (*Ricinus communis*) cultivar IAC – Guarani, a qual foi implantada no dia 27 de novembro de 2004 com densidade de 10.000 plantas/hectare. A área foi dividida em uma grade de 10 x 10 metros, dando um total de 302 pontos amostrais, de acordo com Figura 4.

A área estava anteriormente cultivada com triticale (*Triticale secale*) cultivar IAC-2 que forneceu grande quantidade de palha em superfície para a implantação da cultura da mamona.

Tabela 1 - Descrição geral do solo para a área de estudo.

Perfil	LV em Plantio Direto (Experimento Variabilidade)
Data da Descrição	10/05/2004
Classificação	Latossolo Vermelho eutroférrico típico, textura muito argilosa, A chernozêmico, mesodistrófico, caulinítico-oxídico, reação neutra
Classificação Americana	Rhodic Eutrudox
Legenda FAO	Vertic-Rhodic Ferralsol
Localização	Centro Experimental de Campinas/SP, INSTITUTO AGRONÔMICO. Coordenadas: 22º 53' Sul e longitude 47º 04' Oeste
Declividade	6,5 %
Altitude	600 m
Litologia	Diabásio
Formação geológica	Rochas intrusivas básicas associadas ao grupo São Bento
Período	Jurássico-cretáceo
Pedregosidade	Ausente
Rochosidade	Ausente
Relevo local	Suave ondulado
Relevo regional	Suave ondulado
Erosão	Não aparente
Drenagem	Drenado

Fonte: Coelho (2005).

Tabela 2 - Descrição morfológica do solo para a área de estudo.

Ap1	0,0-0,12 m, bruno-avermelhado escuro (10R 3/3); argila; fraca média blocos subangulares, que se desfazem em forte pequena a muito pequena granular; muito friável, muito plástico e muito pegajoso; transição difusa e plana
Ap2	0,12-0,32 m, bruno-avermelhado escuro (10 R 3/3); argila; fraca pequena e média blocos subangulares, que se desfaz em forte pequena a muito pequena granular, muito friável, muito plástico e muito pegajoso; transição difusa e plana
BA	0,32-0,58 m, vermelho-escuro (10 R 3/4); muito argilosa; fraca a moderada pequena e média blocos subangulares que se desfaz em forte pequena a muito pequena média granular; cerosidade fraca pouca; muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana
Bw1	0,58-0,92 m, vermelho-escuro (10 R 3/4); muito argilosa; forte pequena a muito pequena granular; muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
Bw2	0,92-1,4 m, vermelho-escuro (10 R 3/4); muito argilosa; forte muito pequena granular; muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana
Bw3	1,4-2,00+, vermelho-escuro (10 R 3/4); muito argilosa; forte muito pequena granular; muito friável, plástico e pegajoso
Raízes	Comuns muito pequenas no Ap1; poucas muito pequenas Ap2 e BA; raras nos demais horizontes
Observações	Solo descrito úmido em todo o perfil; horizontes Ap1 e Ap2 ligeiramente adensados; poros comuns muito pequenos no Ap1; poros comuns, pequenos e muito pequenos no Ap2, BA, Bw1; poros muito pequenos no Bw2 e Bw3; atração magnética alta no Ap1 e Bw2

Fonte: COELHO (2005).

Tabela 3 - Características físicas e químicas para a área de estudo.

Horizonte		Composição granulométrica ($g\ kg^{-1}$)				
Símbolo	**Profundidade (cm)**	**Argila**	**Silte**	**Areia total**	**Areia grossa**	**Areia fina**
Ap1	0-12	588	160	253	148	105
Ap2	12-32	563	217	221	125	96
BA	32-58	663	130	207	115	92
Bw1	58-92	663	139	198	105	93
Bw2	92-140	663	132	205	108	98
Bw3	140-200	663	128	209	113	96
Trad. 1	200-250	688	112	200	107	93
Trad. 2	250-300	688	109	204	111	93

pH			M.O.	C	P	K
H_2O	**KCl**	**$CaCl_2$**	**($g\ kg^{-1}$)**	**(%)**	**($mg\ kg^{-1}$)**	**($mmolc\ kg^{-1}$)**
5,2	4,8	4,7	33,0	1,91	22,0	7,2
5,0	4,6	4,7	28,0	1,62	4,0	5,4
5,5	5,2	5,1	18,0	1,04	1,0	1,7
5,5	5,4	5,3	18,0	1,04	1,0	0,9
5,9	5,9	5,5	13,0	0,75	1,0	0,6
6,3	6,4	5,7	6,0	0,34	1,0	1,5
6,3	6,3	5,9	6,0	0,34	1,0	0,8
6,8	6,6	6,1	10,0	0,58	1,0	0,5

Ca ($mmolc\ kg^{-1}$)	Mg ($mmolc\ kg^{-1}$)	Al ($mmolc\ kg^{-1}$)	H+Al ($mmolc\ kg^{-1}$)	SB ($mmolc\ kg^{-1}$)	T ($mmolc\ kg^{-1}$)	V (%)	m (%)
33	10	2	57	50,2	107,2	47	4
16	8	2	54	29,4	83,4	35	6
20	7	0	34	28,7	62,7	46	0
19	6	0	27	25,9	52,9	49	0
13	3	0	21	16,6	37,6	44	0
16	3	0	16	20,5	36,5	56	0
12	2	0	15	14,8	29,8	50	0
14	2	0	14	16,5	30,5	54	0

SiO_2 * (%)	Al_2O_3 * (%)	Fe_2O_3 * (%)	TiO_2 * (%)	MnO * (%)	ki *	kr *
--	--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--	--
13,4	25,76	23,49	3,32	0,1	0,88	0,56
--	--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--	--

* Atributos determinados apenas no horizonte Bw2 por serem pouco variáveis no perfil. Fonte: Coelho (2005).

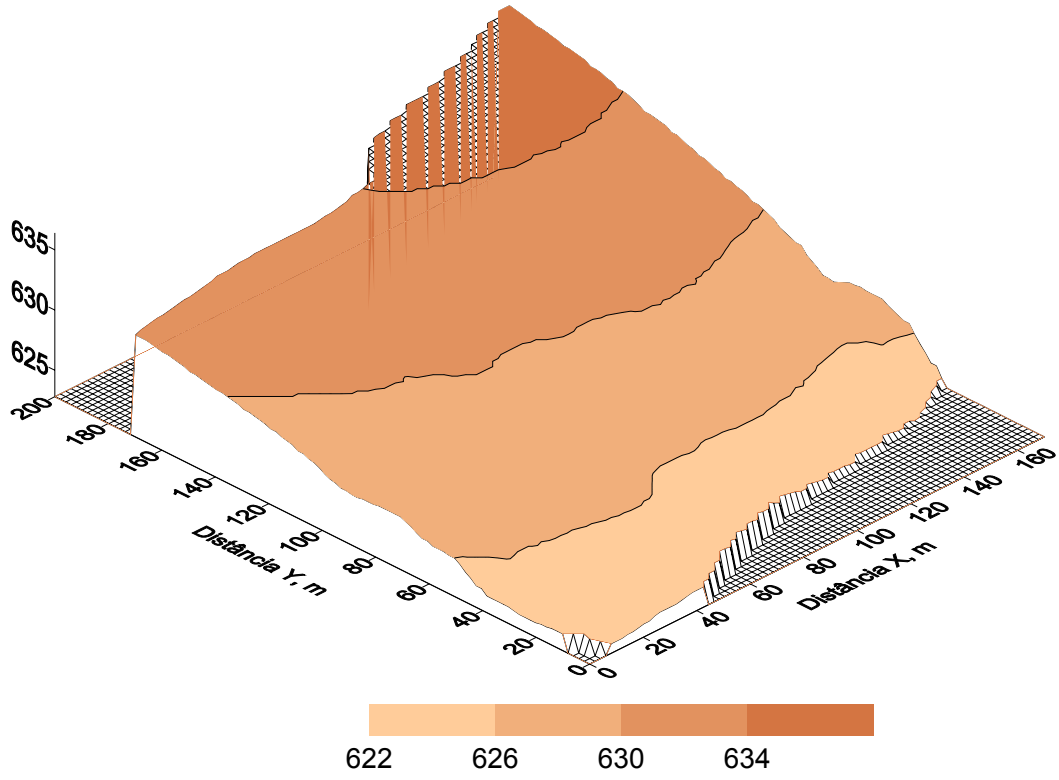

Figura 3 – Mapa da área de estudo com cotas topográficas.

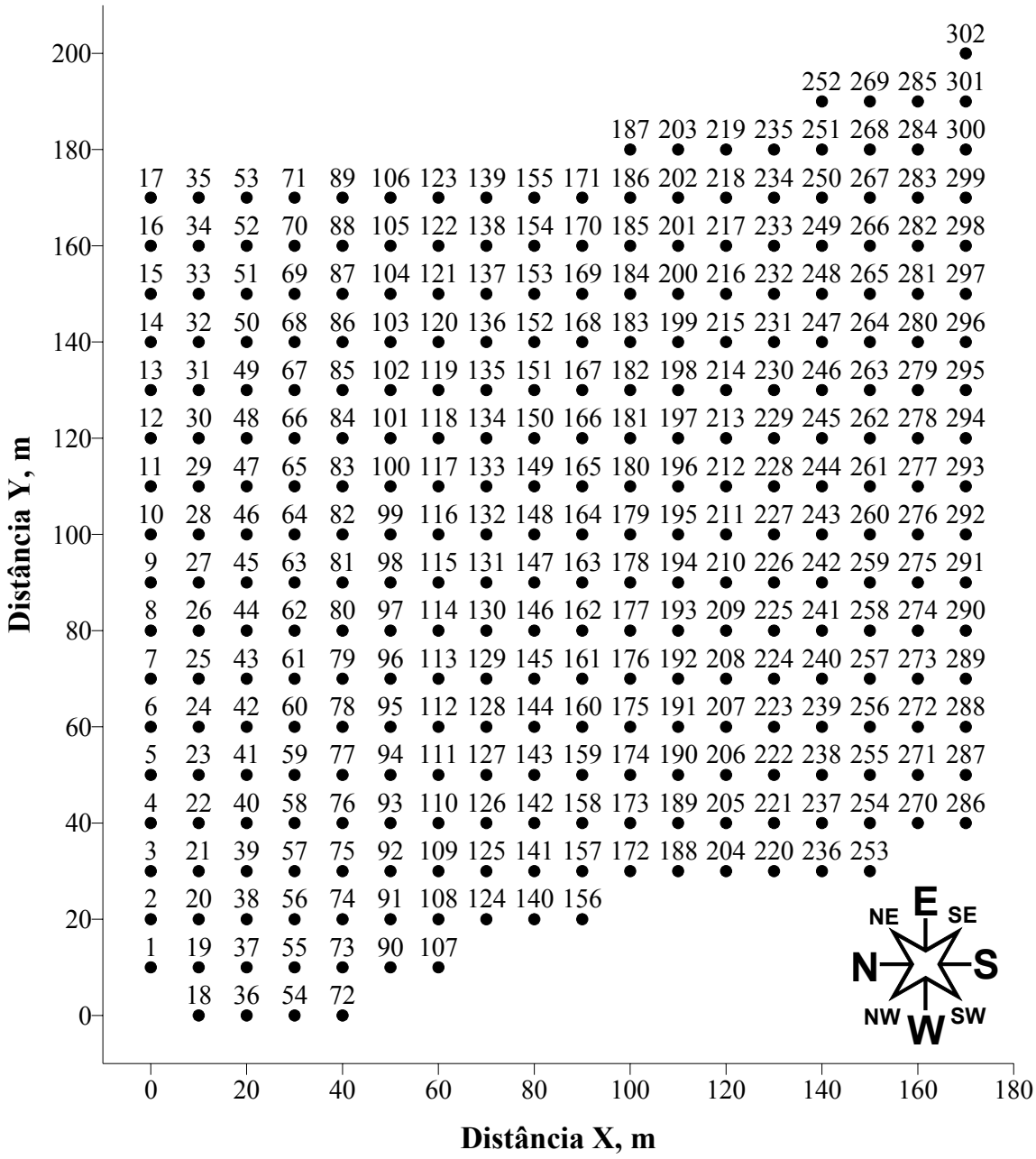

Figura 4 - Grade de coleta de amostras na área, contendo os 302 pontos de amostragem com espaçamento regular de 10 x 10 metros.

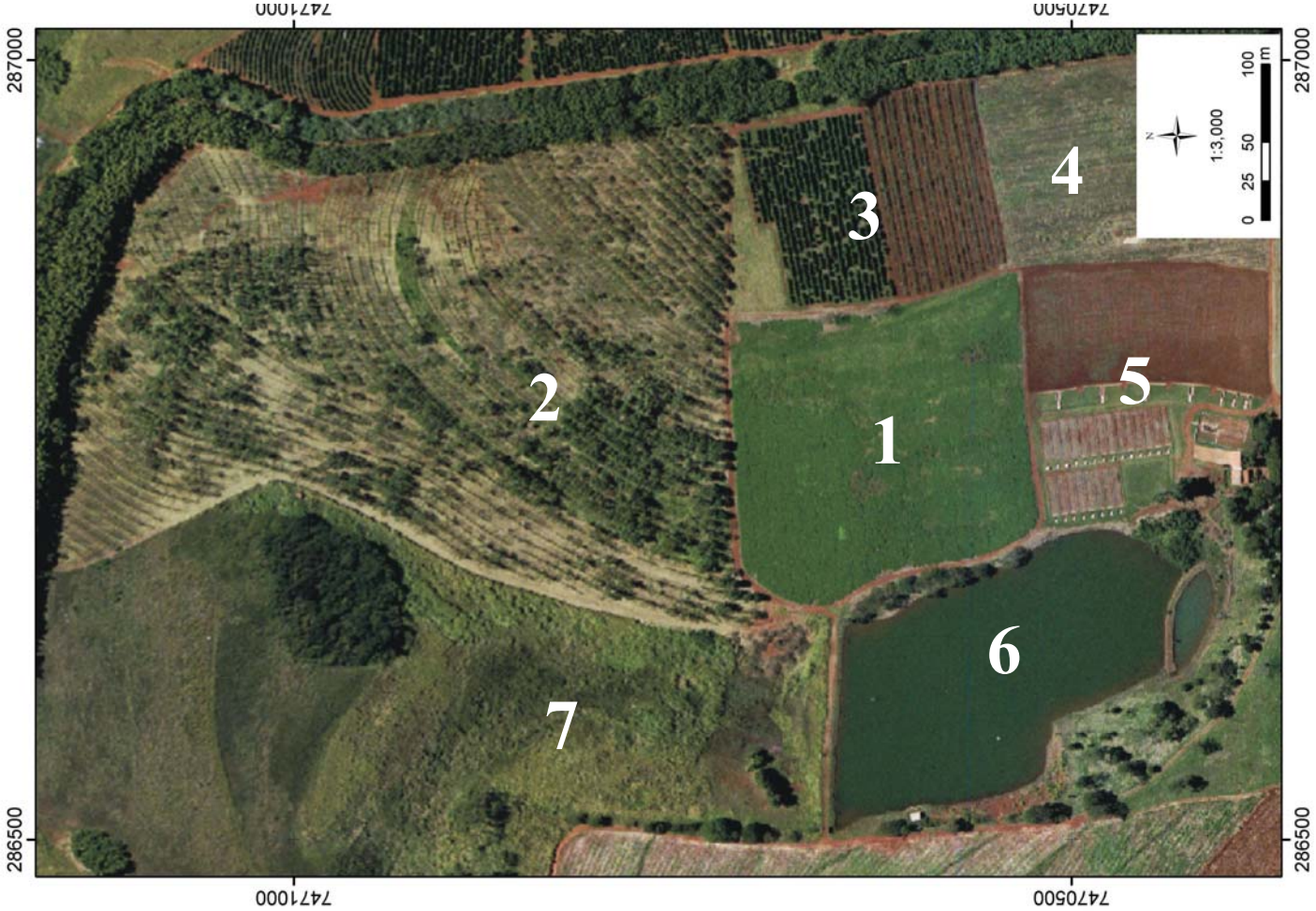

Figura 5 – Imagem parcial do Centro Experimental Central do Instituto Agronômico (IAC): 1. Área de estudo; 2. Seringueira; 3. Café; 4. Área com cultivo de culturas anuais; 5. Parcelas com sistemas coletores de erosão com culturas anuais; 6. Represa com fileira de árvores na margem próxima a área de estudo; 7. Área de várzea.

3.2 Amostragens

A coleta de dados foi realizada na camada de 0,0-10,0 cm com amostras indeformadas e amostras de solo solto. Os seguintes atributos foram obtidos com amostras indeformadas: densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e umidade volumétrica. As amostragens realizadas com solo solto propiciaram a obtenção dos seguintes atributos: umidade gravimétrica e densidade de partículas.

Após a realização das amostragens, foram determinados os valores dos atributos analisados para cada um dos pontos de coleta de dados na camada de estudo, proporcionando a geração de mapas de isolinhas para todos os atributos.

3.2.1 Densidade do solo

As medições da densidade do solo foram realizadas pelo método do anel volumétrico e pelo método do torrão impermeabilizado nos 302 pontos de amostragem.

Foram coletadas amostras indeformadas em anéis volumétricos de 100 cm^3 (Figura 6), no dia 10 de janeiro de 2005, de acordo com metodologia proposta por CAMARGO *et al.* (1986), obtendo-se assim a densidade do solo em kg dm^{-3}, conforme descrição abaixo:

$$ds = \frac{ms}{Vs} \qquad (2)$$

ds = densidade do solo (kg dm^{-3}); ms = massa do solo seco (g) em estufa a 105ºC após 24 horas; e Vs = volume de sólidos que é igual ao volume do anel (cm^3).

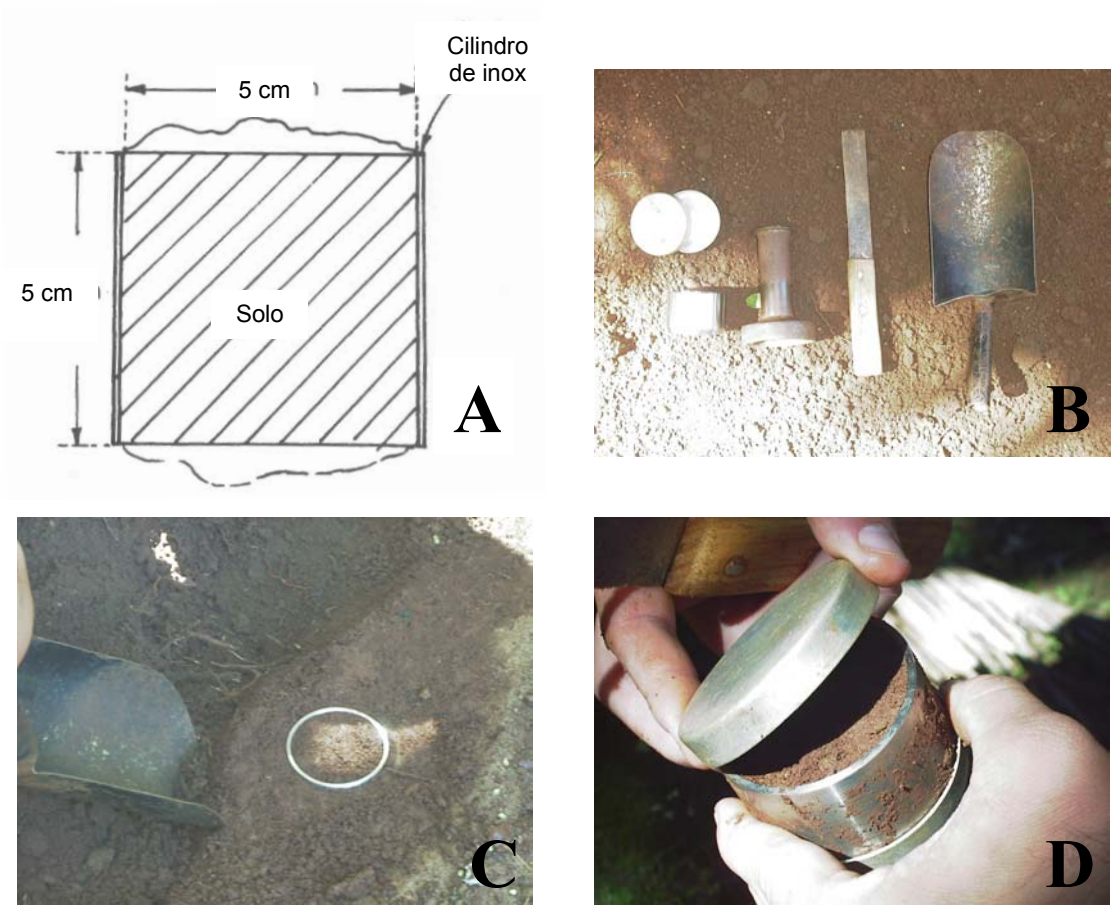

Figura 6 – Coleta de amostras indeformadas de solo: A. Esquema de anel volumétrico; B. Equipamentos utilizados no processo de amostragem (conjunto de anel e tampas de inox, castelinho, espátula para limpeza do anel e pá para retirada do anel); C. Anel cravado no solo; D. Anel sendo acondicionado para transporte até o laboratório.

As amostras de densidade do solo pelo método do torrão impermeabilizado foram realizadas no decorrer do mês de janeiro de 2005, e coletadas e analisadas conforme descrito por BLAKE (1986) (Figura 7), e seu valor de densidade obtido conforme demonstrado abaixo:

$$ds = \frac{Pst}{Vt} \qquad (3)$$

ds = densidade do solo (kg dm^3); Psa = peso seco do torrão; .Vt = volume do torrão.

Para o método do torrão impermeabilizado foram coletados três tamanhos diferentes de torrões, com diâmetro aproximado de: 3 cm, 5 cm e 7 cm (Figura 8), totalizando assim para este método 906 amostras.

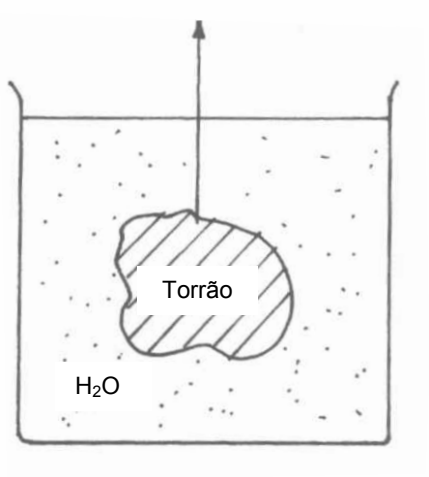

Figura 7 - Esquema de analise do torrão parafinado.

Figura 8 – Diferentes tamanhos de torrões (3 cm, 5 cm e 7 cm) utilizados para obtenção da densidade do solo.

3.2.2 Densidade de partículas

É dada pela relação massa de sólidos por volume de sólidos, e normalmente varia pouco de solo para solo assumindo valores próximos aos das rochas

(REICHARDT & TIMM, 2004). Segundo o mesmo autor, como o quartzo (dp = 2,65 kg dm^{-3}) é um freqüente componente do solo é usual adotar sua densidade de partículas.

Além do valor usual para os solos minerais de densidade de partículas, também foi calculado um valor médio para a área de estudo, com a retirada de 10 amostras de solo para o cálculo da densidade de partículas com três repetições nos seguintes pontos de amostragem: 41, 52, 150, 174, 187, 221, 225, 268, 272 e 276, obtendo-se um valor médio de dp = 2,84 kg dm^{-3}, e com coeficiente de variação (CV) de 3,83 %, indicando boa acurácia do método de determinação. As amostras foram analisadas pelo método do balão volumétrico de acordo com EMBRAPA (1997), cujo cálculo é:

$$dp = \frac{ms}{(Vb - Va)} \qquad (4)$$

dp = densidade de partículas (kg dm^{-3}); ms = massa do solo seco (g) em estufa a 105ºC após 24 horas; e Vb = volume do balão (50 cm^3); Va = volume de álcool gasto para completar o volume do balão (cm^3).

3.2.3 Porosidade do solo

As amostras indeformadas para cálculo da porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo, foram coletadas no dia 10 de janeiro de 2005 nos 302 pontos de amostragem, com anéis volumétricos de 100 cm^3.

Para o cálculo da porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo foram adotados os procedimentos de CAMARGO (1986). A porosidade total do solo (Figura 9) é dada pela seguinte fórmula:

$$\alpha = \frac{\frac{Psa - Ps}{Dag}}{Vs} \qquad (5)$$

α = porosidade total que é adimensional ($m^3\ m^{-3}$) e em geral é expressa em porcentagem (%); Psa = peso da amostra saturada (g); Ps = peso da amostra seca (g) à 105 ºC; Dag = densidade da água (g cm^{-3}); Vs = volume do anel ($cm^3\ cm^{-3}$).

A microporosidade do solo (Figura 10) foi determinada pelo método da mesa de tensão de acordo com a descrição de CAMARGO (1986) e EMBRAPA (1997). Seus valores foram obtidos pela seguinte expressão:

$$mi = \frac{\frac{(Pa - Ps)}{Dag}}{Vs} \qquad (6)$$

onde: mi = microporosidade do solo (%); Pa = peso da amostra após ser submetida a uma tensão de 60 cm de coluna de água (g); Ps = peso seco da amostra(g) à 105 ºC; Vs = volume do anel ($cm^3\ cm^{-3}$).

Para o cálculo da macroporosidade utiliza-se a seguinte fórmula:

$$ma = \alpha - mi \qquad (7)$$

ma = macroporosidade (%); α = porosidade total (%); mi = microporosidade (%).

Figura 9 – Amostras indeformadas de solo sendo saturadas para determinação da porosidade total através do método de pesagens.

Figura 10 – Regulagem de mesa de tensão para determinação da microporosidade do solo a 60 cm de coluna de água.

A porosidade total do solo é estimada através da seguinte expressão:

$$\alpha = \left(1 - \frac{ds}{dp}\right) \qquad (8)$$

α = porosidade total estimada (%); ds = densidade do solo (kg dm^{-3}); dp = densidade das partículas (kg dm^{-3}). Sendo que para o caso da porosidade total estimada foram realizados dois cálculos, o primeiro pela densidade de partículas usual para solos minerais (REICHARDT & TIMM, 2004), correspondente a dp = 2,65 kg dm^{-3} e o segundo utilizando um valor médio para densidade de partículas da área, dado em dp = 2,84 kg dm^{-3}.

3.2.4 Umidade do solo

O processo de amostragem da umidade do solo envolveu métodos diretos (método gravimétrico e método volumétrico) e indiretos (TDR).

3.2.4.1 Métodos diretos

No dia 10 de janeiro de 2005, foram retiradas amostras nos 302 pontos de amostragem com anéis volumétricos de 100 cm^3, na profundidade de 0,0–10,0 cm para obtenção da umidade volumétrica do solo (m^3 m^{-3}) (Figura 11). Este método também é conhecido como método volumétrico, e os valores de umidade também podem ser expressos em porcentagem (%), de acordo com CAMARGO et al. (1986) e REICHARDT & TIMM (2004), utilizando-se a seguinte expressão:

$$\theta = \frac{(mu - ms)}{Vt} \qquad (9)$$

onde: θ = umidade volumétrica (%); mu = massa do solo úmido (g); ms = massa do solo seco (g); Vt = volume da amostra (cm^3).

Figura 11 – Métodos de amostragem de umidade: A. Método volumétrico; B. Método gravimétrico com amostras de solo acondicionadas em latas de alumínio.

No dia 01 de fevereiro de 2005 foram coletadas três amostras deformadas por ponto de amostragem (denominadas de amostra A, B e C, respectivamente), resultando na umidade atual do solo para aquele momento (CAMARGO, 1986; EMBRAPA, 1997; REICHARDT & TIMM, 2004) ou mais comumente chamada de umidade gravimétrica do solo (Figura 11). A umidade gravimétrica também é adimensional e obtida da seguinte maneira:

$$u = \frac{(mu - ms)}{ms} \qquad (10)$$

onde: u = umidade gravimétrica do solo (%); mu = massa do solo úmido (g); ms = massa do solo seco em estufa à 105ºC (g).

O método gravimétrico ou de pesagens, está bastante difundido entre técnicos e agricultores, possui boa acurácia além de ser bastante prático por envolver amostras deformadas de solo. Porém é um método destrutivo.

A coleta da umidade gravimétrica do solo com três repetições possibilitou ainda a obtenção de uma umidade média do solo para o dia de coleta. Foram ainda realizadas análises considerando os 906 pontos de amostragem de solo para o dia 01 de fevereiro de 2005. A coletada a 2 m abaixo do ponto indicado pela Figura 4, umidade gravimétrica da amostra B coletada no ponto real de amostragem e umidade gravimétrica da amostra C coletada a 2 m acima do ponto de amostragem.

3.2.4.2 Métodos indiretos

Vários são os métodos indiretos para determinação da umidade do solo: método da atenuação de raios gama (GURR, 1962; FERRAZ, 1983), o método da atenuação de nêutrons (GARDNER & KIRKHAM, 1952; GREACEN, 1981), o método TDR (TOPP et al., 1980), o método da tomografia computadorizada com radiação gama (CRESTANA et al., 1986), entre outros.

De acordo com LIBARDI (2005), o método de atenuação de nêutrons ou sonda de neutros é o mais satisfatório para o estudo de grandes volumes de solo, porém é necessário um cuidadoso manuseio do equipamento devido à fonte de nêutrons. Dentre os métodos indiretos de determinação da umidade do solo o TDR vem merecendo lugar de destaque.

Nos dias 09 e 11 de maio de 2005, utilizando um TDR (modelo HydroSense fabricado pela Campbell Scientific Austrália Pty. Ltd.), com hastes de 12 cm (Figura 12) foram realizadas medições de umidade volumétrica do solo em todos os pontos de amostragem.

O aparelho apresenta os resultados em porcentagem com base em volume de solo explorado pela haste, conforme descrito por TOPP et al. (1980).

Figura 12 - TDR Modelo HydroSense.

A técnica de reflectometria de domínio do tempo – TDR (Time Domain Reflectometry) é recente no Brasil e é um método indireto que permite a medida do conteúdo de água no solo conforme descrito por TOMMASELLI & BACCHI (1995), cuja relação entre a umidade e a capacidade dielétrica de um solo mineral é descrita por uma equação empírica desenvolvida por TOPP et al. (1980):

$$\theta = -5{,}310^{-2} + 2{,}9210^{-2}\varepsilon_b - 5{,}510^{-4}\varepsilon_b{}^2 + 4{,}310^{-6}\varepsilon_b{}^3 \qquad (11)$$

em que θ é a umidade do solo expresso em $m^3\ m^{-3}$; e ε_b é a constante dielétrica (adimensional) do meio poroso, que engloba sólidos, água e ar.

A reflectometria de domínio do tempo (TDR) vem despertando interesse, sobretudo pela possibilidade de leituras automatizadas em tempo real, com equipamentos de fácil manuseio. Porém seu custo é alto e há necessidade de calibração para cada caso (CICHOTA et al., 2004), o problema da calibração é real para todos os tipos de métodos indiretos de medida da umidade do solo.

3.2.5 Armazenamento de água no solo

O armazenamento de água representa a soma algébrica das entradas e saídas de água de um sistema, expressando então essas quantidades em volume de água por unidade de área ou altura de água no solo (LIBARDI, 2005). Desta maneira o armazenamento de água no solo pode ser estimado através da seguinte expressão, de acordo com REICHARDT & TIMM (2004):

$$A_L = \theta \times L \qquad (12)$$

A_L = armazenamento de água (mm); θ = umidade volumétrica da camada de estudo (m^3 m^{-3}); L = profundidade da camada de estudo (mm).

Verifica-se que na Equação 12 que a umidade do solo para o cálculo do armazenamento de água deve estar expressa a base de volume como no caso da umidade obtida com o TDR e através do método volumétrico.

As amostragens de umidade gravimétrica do solo foram realizadas no dia 01 de fevereiro de 2005 nos 302 pontos de amostragem com três repetições, sendo então denominadas de umidade gravimétrica da amostra "A" coletada a 2 m abaixo do ponto indicado pela Figura 1, umidade gravimétrica da amostra "B" coletada no ponto real de amostragem e umidade gravimétrica da amostra "C" coletada a 2 m acima do ponto de amostragem. Sendo as amostragens realizadas de maneira regionalizada, onde cada ponto de amostragem possui coordenadas (X,Y), o modelo amostral adotado possibilitou o estudo da umidade gravimétrica das 906 amostras. Após a análise em laboratório das amostras foi possível ainda gerar a umidade gravimétrica média.

Neste caso a umidade é dada em porcentagem (%) conforme descrito por CAMARGO (1986) e REICHARDT & TIMM (2004). Para tanto é necessário utilizá-la como umidade à base de volume de solo para possibilitar o cálculo do armazenamento de água, por isso é necessário o conhecimento da densidade do solo (ds). A densidade do solo foi coletada com anéis volumétricos de 100 cm^3 no dia 10 de janeiro de 2005, a partir de então foi possível realizar a estimativa da umidade do solo à base de volume, que é dado pela seguinte expressão:

$$\theta = u \times ds \qquad (13)$$

θ = umidade volumétrica do solo (% ou em m^3 m^{-3}); u umidade gravimétrica do solo (g g^{-1}); ds = densidade do solo (kg dm^{-3}).

As amostragens de umidade do solo pelos diferentes métodos propiciaram a construção de mapas de isolinhas do armazenamento de água para todas as datas de amostragem (10/01, 01/02, 09/05 e 11/05/2006).

O presente trabalho possibilitou ainda construção de mapas de isolinhas, que representam a perda de água pelo solo nos períodos de amostragem. O primeiro período de estudo compreende os 22 dias entre as amostragens realizadas nos dias 10/01/2005 e 01/02/2005 (P-A, P-B, P-C, P-M e P-906), e o segundo período de 02 dias de estudo está compreendido entre os dias 09/05/2005 e 11/05/2005 (P-TDR).

Neste caso tem-se uma idéia da perda média diária de água nos dois períodos de estudo. No entanto, é necessário que seja realizada a seguinte derivada parcial, conforme descrito por REICHARDT & TIMM (2004):

$$\frac{\partial A_L}{\partial t} = \frac{A_f - A_i}{t} \qquad (14)$$

$\partial A_L/\partial t$ = derivada parcial do armazenamento em relação ao tempo (mm dia^{-1}); A_f = armazenamento final (mm); A_i = armazenamento inicial (mm); t = tempo (dias).

Com isso é possível avaliar as quantidades de água que foram perdidas ou inseridas ao solo no período de estudo, e como os agentes climáticos interferem nestes processos.

3.2.6 Elementos climáticos

Diversos elementos climáticos interferem no armazenamento de água no solo. No entanto, a sua grande maioria necessita de equipamentos específicos para sua mensuração, onerando e dificultando seus estudos. Por isso, neste trabalho foram mensuradas as entradas de água no sistema, através de pluviômetro Paulista (Figura 13) instalado ao lado da área de estudo. O calculo do volume precipitado pode ser obtido através da seguinte fórmula:

$$h = \frac{V}{S} \qquad (15)$$

h = altura de chuva (m ou mm); S = seção transversal de captação (m^2); V = volume coletado (m^3).

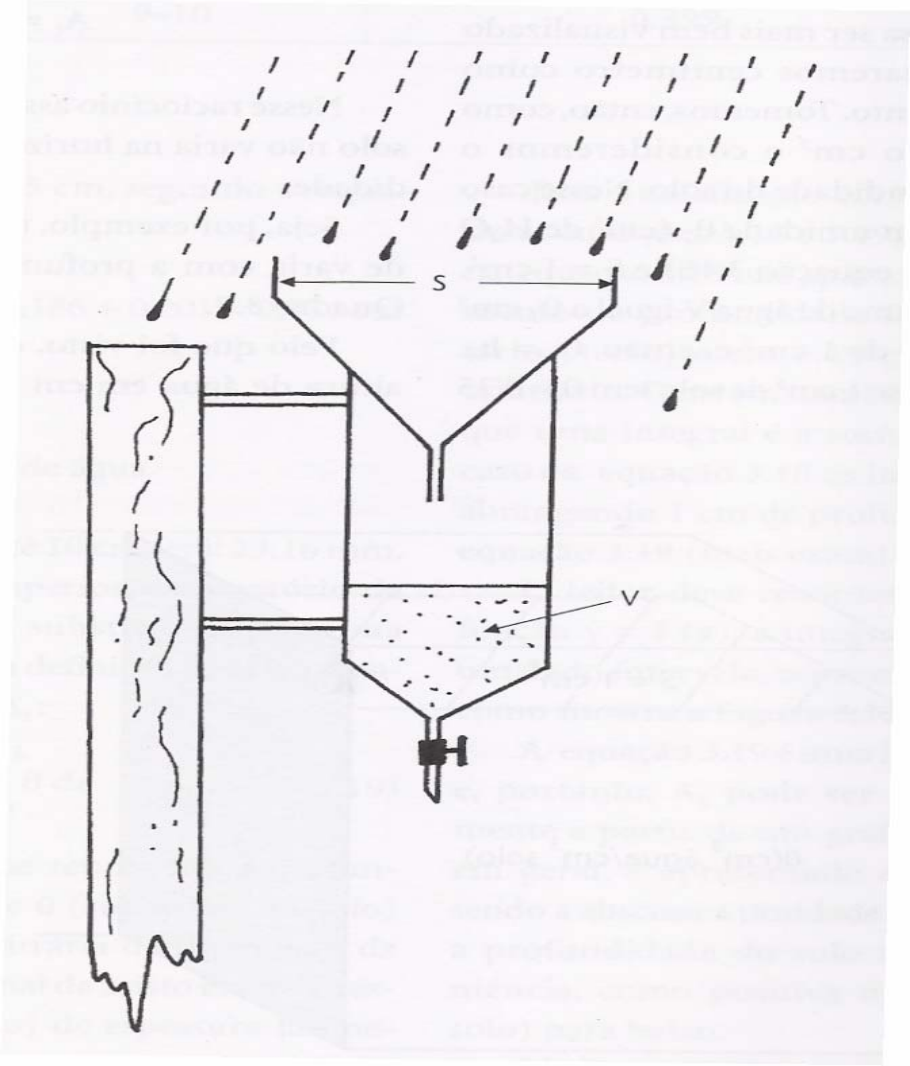

Figura 13 – Esquema de pluviômetro.

A Figura 14 descreve a precipitação diária sobre a área de estudo no Centro Experimental Central – INSTITUTO AGRONÔMICO, durante os meses de condução do experimento.

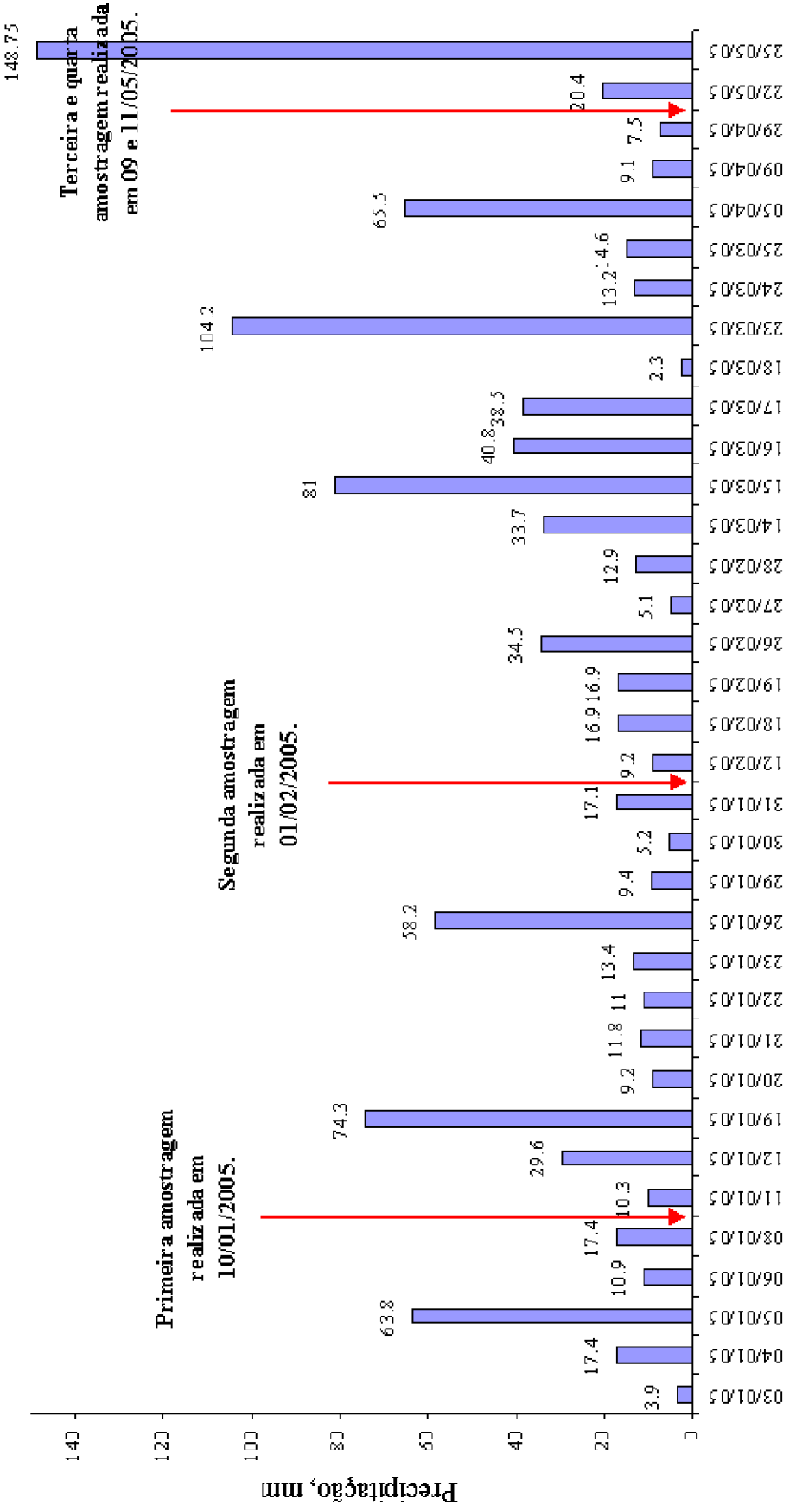

Figura 14 - Precipitação diária sobre a área de estudo de janeiro a maio de 2005.

Os demais elementos climáticos (vento, temperatura e radiação solar) foram determinados por meio de Estação Meteorológica Automática (EMA) Campbell Scientific com Datalogger CR10, instalada no Centro Experimental Central a cerca de 600 metros da área de estudo.

Para a caracterização do vento são necessários dois parâmetros a direção e a velocidade, sendo que estes parâmetros são pontuais e instantâneos variando no espaço e no tempo. Desta maneira estes dois parâmetros interferem no armazenamento de água por favorecerem o aumento das perdas por evapotranspiração.

A direção do vento refere-se à posição por onde o vento parece provir, ou seja, de onde ele sopra medido a 2 metros de altura. A Figura 15 indica a freqüência de direção do vento durante o período de estudo, correspondente a 151 dias julianos.

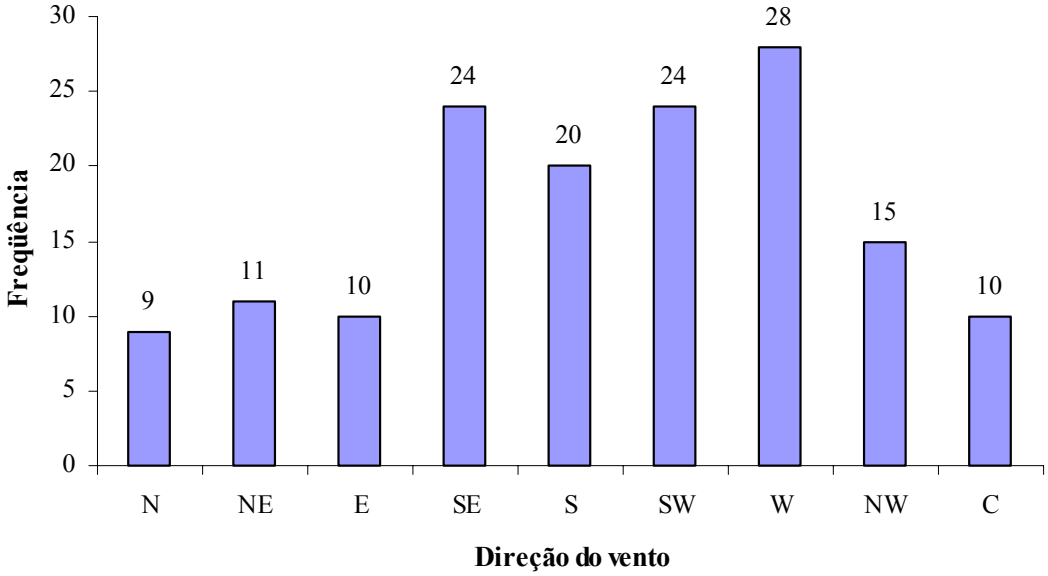

Figura 15 - Freqüência média de direção do vento para a região de Campinas – SP, no período de 01/01/2005 a 31/05/2005 (N – Norte; S – Sul; E – Leste; W – Oeste; NE – Nordeste; SE – Sudeste; NW – Noroeste; SW – Sudoeste e C – Calmaria).

De acordo com a Figura 15, no período de estudo o vento que atinge a região de Campinas atuou principalmente na direção sul (SE, S e SW) com cerca de 68 ocorrências no período. O monitoramento da direção predominante do vento se faz necessária podendo indicar regiões que são mais influenciadas pela sua incidência ocorrendo menores valores do conteúdo de água no solo.

A velocidade do vento é comumente expressa em metros por segundo (m s^{-1}) ou em quilômetros por hora (km h^{-1}). As Figuras 16 e 17 apresentam respectivamente, os valores médios de velocidade do vento durante os meses que compreendem este estudo e os valores médios de velocidade do vento nos 151 dias julianos envolvidos no presente estudo (de janeiro a maio de 2005).

As Figuras 18, 19 e 20 apresentam a velocidade média do vento e a direção predominante para os dias anteriores as datas de amostragem de umidade do solo.

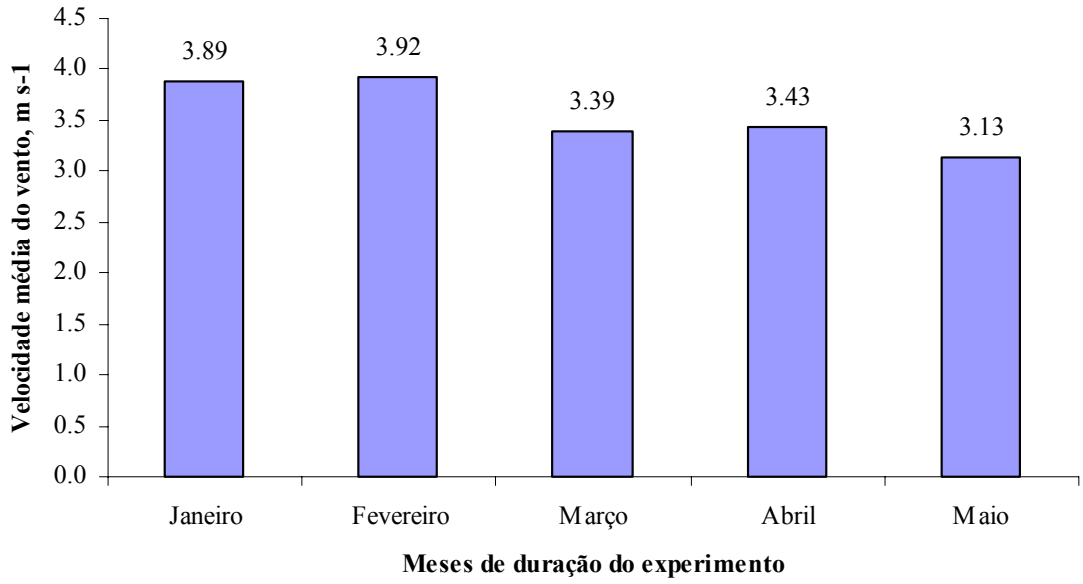

Figura 16 – Velocidade média do vento (m s^{-1}) de janeiro a maio de 2005.

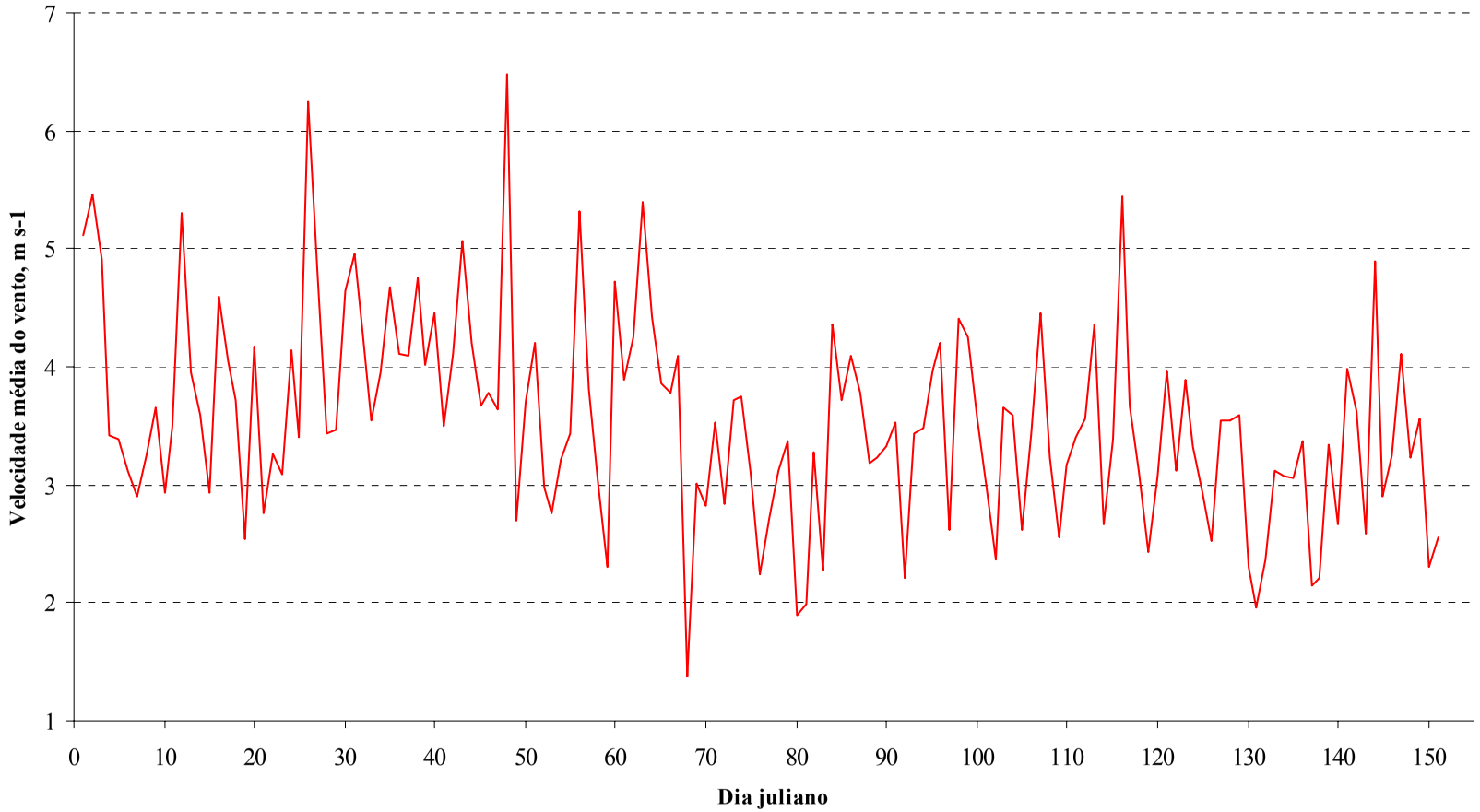

Figura 17 – Velocidade média do vento nos 151 dias julianos envolvidos neste estudo (de janeiro a maio de 2005).

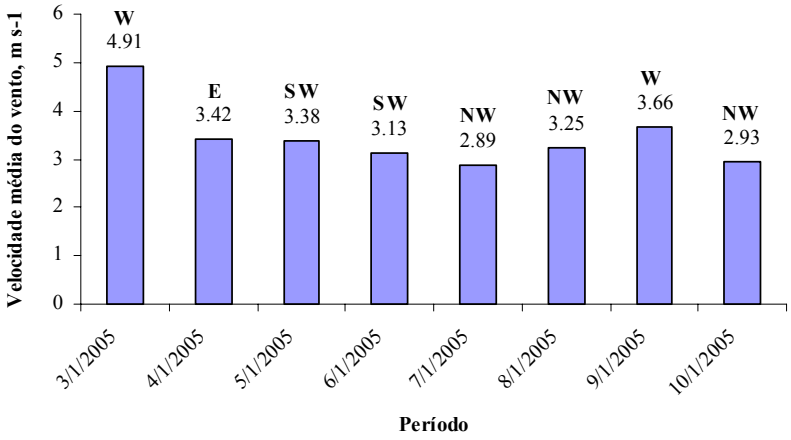

Figura 18 - Velocidade média do vento e direção predominante para os dias anteriores à primeira amostragem de umidade do solo (10/01/2005).

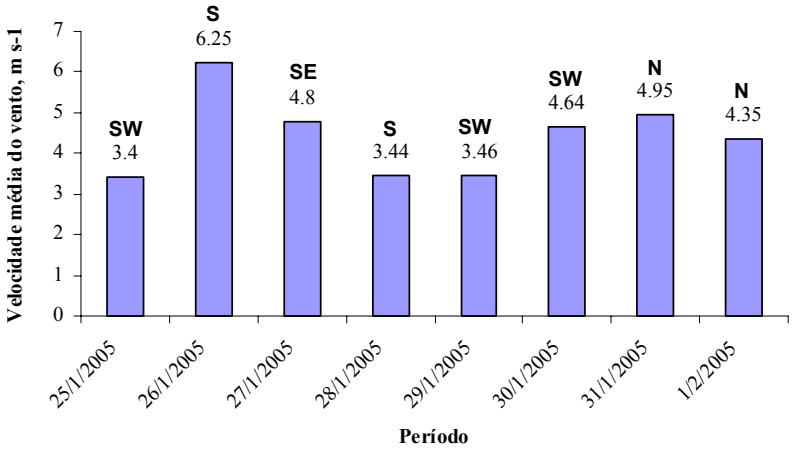

Figura 19 - Velocidade média do vento e direção predominante para os dias anteriores à segunda amostragem de umidade do solo (01/02/2005).

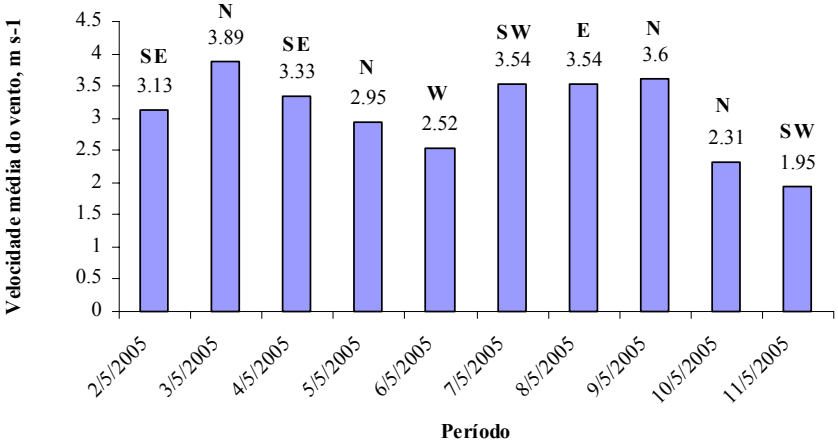

Figura 20 - Velocidade média do vento e direção predominante para os dias anteriores a terceira e quarta amostragem de umidade do solo (09/05/2005 e 11/05/2005).

A quantidade de radiação solar que incide sobre a superfície terrestre age sobre o fluxo de energia da Terra, atuando sobre os valores de temperatura e de demanda fotossintética das plantas, aumentando a quantidade de água requerida pelas plantas e pela atmosfera diminuindo assim, o estoque de água no solo. A Figura 21 apresenta os valores de radiação solar incidente sobre a área de estudo durante os meses de condução deste experimento, visando relacioná-la com o armazenamento de água no solo. A Figura 22 descreve os valores de radiação solar incidente durante os 151 dias julianos que compreendem este estudo.

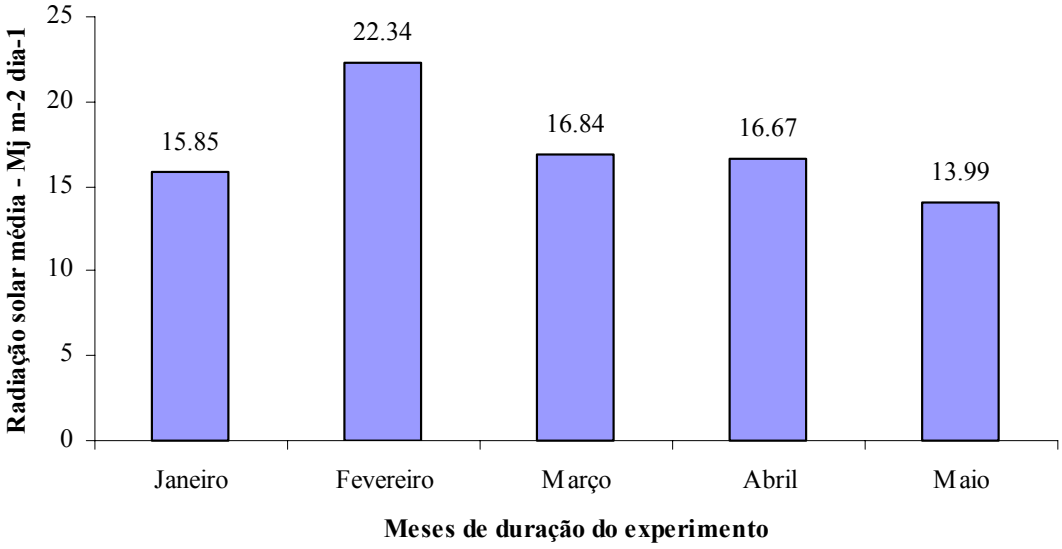

Figura 21 – Radiação solar incidente sobre a área de estudo durante os meses de janeiro a maio de 2005.

A quantidade de radiação solar incidente sobre a superfície terrestre é o principal responsável pela variação temporal da temperatura do ar. Neste caso, em dias com temperatura mais elevada ocorrem maiores peradas de água por evapotranspiração, desta maneira, a Figura 23 apresenta os valores de temperatura máxima nos 151 dias julianos que compreendem este estudo e a Figura 24 descreve o comportamento médio da temperatura máxima nos meses de condução do experimento.

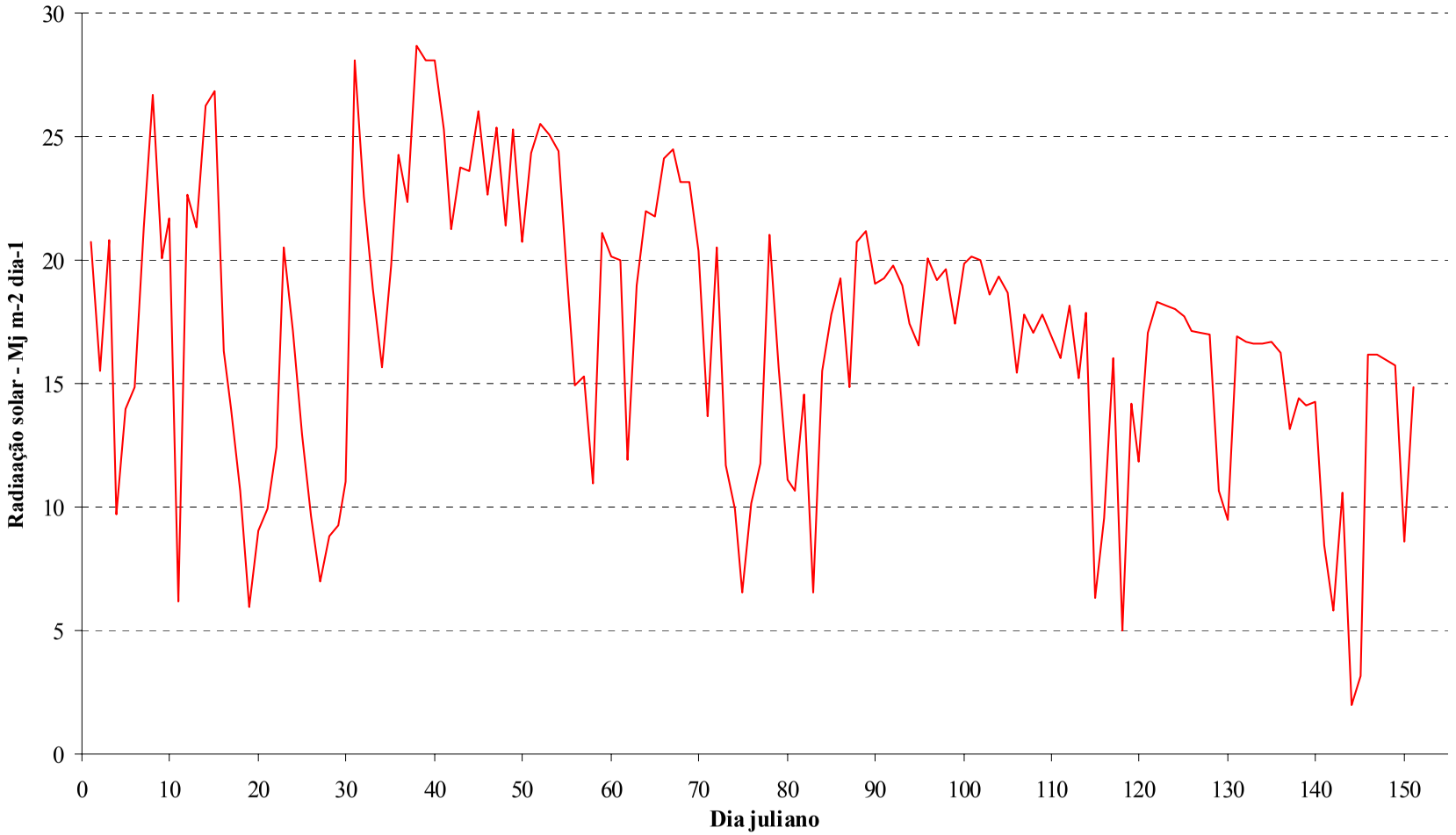

Figura 22 – Radiação solar incidente nos 151 dias julianos envolvidos neste estudo (de janeiro a maio de 2005).

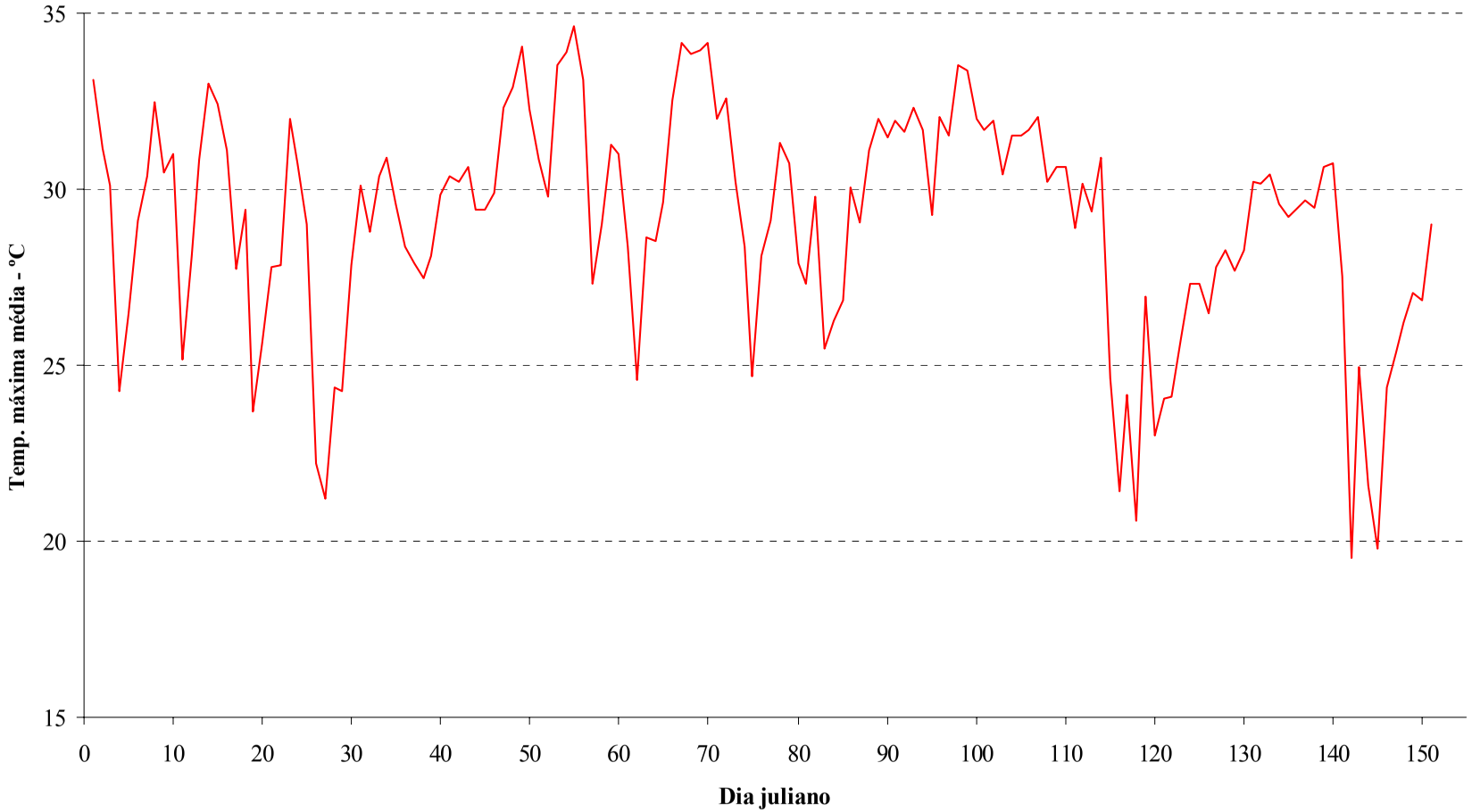

Figura 23 – Temperatura máxima nos 151 dias julianos envolvidos neste estudo (de janeiro a maio de 2005).

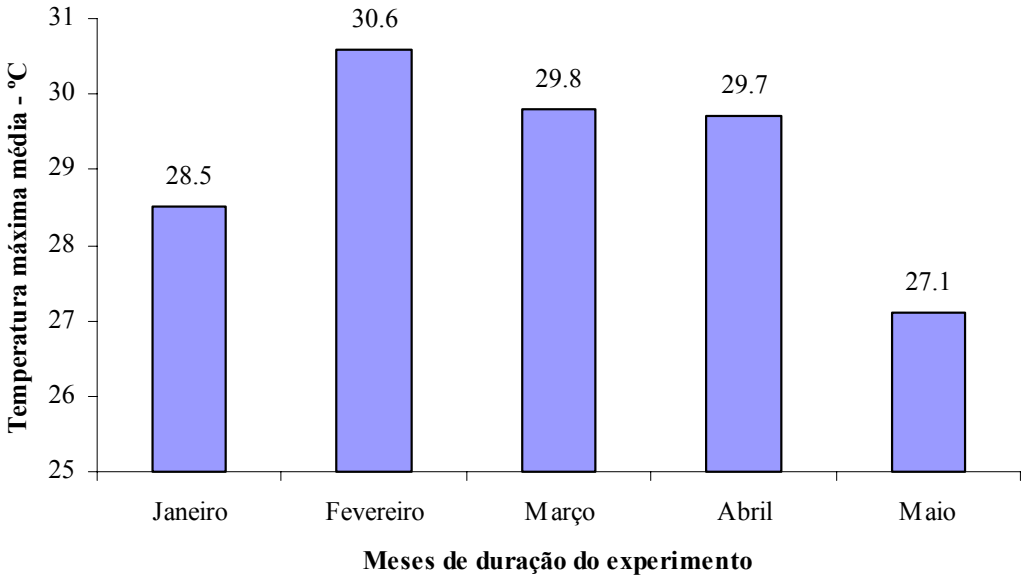

Figura 24 – Temperatura máxima média durante os meses de janeiro a maio de 2005.

3.3 Estatística Descritiva

A análise exploratória dos dados através da estatística descritiva forneceu os principais momentos estatísticos (média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo, assimetria e curtose) e foi realizada utilizando o programa STAT desenvolvido por VIEIRA et al. (2002).

Uma análise complementar foi realizada para se determinar a presença de possíveis valores discrepantes (outlier mínimo e outlier máximo) no conjunto de dados, para isso seguiu-se o critério descrito por CAHN et al. (1994):

$$Ve = \overline{X} \pm 4\sigma \qquad (16)$$

Ve = valor extremo; $\overline{X}$ = média dos valores; σ = desvio padrão.

Uma vez detectada a presença de valores extremos no conjunto de dados, estes eram excluídos e então determinados novamente os principais momentos estatísticos. Os dados foram analisados também no programa BioEstat 3.0 (AYRES et al., 2003), que favoreceu a construção dos histogramas de distribuição de freqüência e obtenção do desvio máximo em relação à distribuição normal (D) através do teste de probabilidade de erro de Kolmogorov-Smirnov.

3.4 Análise Geoestatística

A análise da variabilidade espacial dos atributos em estudo foi realizada através do programa GEOSTAT desenvolvido por VIEIRA et al. (1983). Inicialmente foram realizadas verificações nos parâmetros da estatística descritiva dos dados, visando a compreensão dos dados em conjunto, descrevendo suas variações e comportamentos em torno da média, possibilitando a detecção de possíveis erros de amostragem e acurácia do método de amostragem.

O semivariograma foi utilizado para determinar a variabilidade e dependência espacial das amostras para os diferentes atributos.

Uma vez detectada a dependência espacial de um atributo e sua manifestação em modelo matemático adequado ao semivariograma, a técnica de krigagem foi utilizada para interpolação dos dados sem tendência e com variância mínima.

O software SURFER foi utilizado para construção de mapas de isolinhas para os diferentes atributos envolvidos neste estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Exploratória

4.1.1 Análise da hipótese intrínseca da geoestatística

A geoestatística é uma ferramenta importantíssima para a prática de agricultura de precisão e planejamento e modelagem de dados sócio-ambientais, por possibilitar eficiente análise e mapeamento da variabilidade espacial dos mais diversos atributos. Uma vez detectada a dependência espacial entre amostras através do semivariograma, pode-se estimar valores de determinado atributo para locais não amostrados da região de estudo, sem tendenciosidade e com variância mínima pelo método de interpolação denominado krigagem (VIEIRA, 2000).

A hipótese intrínseca da geoestatística é normalmente a mais utilizada por ser menos restritiva (DAVID, 1977), a qual considera apenas a média dos valores Z(xi) e a variância dos incrementos Z(xi)-Z(xi+h) que ocorrem independentemente da sua localização espacial, e são função apenas do valor de h. Esta hipótese exige apenas a

existência e estacionariedade do semivariograma, sem nenhuma restrição quanto à existência de variância finita.

Com o pressuposto que todas as amostras pertencem à mesma população e com os mesmo momentos estatísticos, alguns atributos foram coletados com repetições como é o caso da densidade pelo método do torrão (kg dm^{-3}) com três diferentes tamanhos de torrões para representar a densidade do solo coletados no mesmo ponto e a umidade pelo método gravimétrico (%) também com três repetições coletadas em locais diferentes. Considerando que a média das amostras varia no espaço com determinada continuidade no tempo foram coletados dados de umidade do solo com TDR (%) em duas datas distintas (09/05/2005 e 11/05/2005), porém bem próximas visando também avaliar a presença de estacionariedade para este tipo de dados.

REICHARDT & TIMM (2004), descrevem que um fenômeno é estacionário no tempo aleatoriamente se suas propriedades estatísticas (média e variância) não variarem, refletindo alguma forma de equilíbrio estável. A Tabela 4 apresenta os principais parâmetros estatísticos dos atributos envolvidos neste estudo.

Tabela 4 – Valores dos principais parâmetros estatísticos para os atributos em estudo.

Atributo	Média	Variância	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude Total	Assimetria	Curtose	D
D_{s3}	1,627	0,013	1	3	2	1	1	0,14*Ln
D_{s5}	1,369	0,023	1,023	2	1	0,532	1	0,05**Ln
D_{s7}	1,394	0,028	1,004	1,98	0,976	0,443	0,785	0,06*Ln
U-A	32,655	35,169	15,95	68,04	52,09	1,945	7,007	0,16*Ln
U-B	31,636	60,540	13,74	68,27	54,53	1,174	3,222	0,14*Ln
U-C	31,744	53,192	8	62,84	54,84	0,849	4,617	0,17*Ln
U-TDR09	12,102	4,557	7	21	14	0,479	0,845	0,13*Ln
U-TDR11	11,459	5,713	7	20	13	0,903	1,276	0,15*Ln

D_{s3}: Densidade com torrão de 3cm (kg dm^{-3}); **D_{s5}**: Densidade com torrão de 5cm (kg dm^{-3}); **D_{s7}**: Densidade com torrão de 7cm (kg dm^{-3}); **U-A**: Umidade gravimétrica da amostra A (%); **U-B**: Umidade gravimétrica da amostra B (%); **U-C**: Umidade gravimétrica da amostra C (%); **U-TDR09**: Umidade volumétrica com TDR no dia 09/05/2005 (%); **U-TDR11**: Umidade volumétrica com TDR no dia 11/05/2005 (%); **D**: Desvio máximo em relação à distribuição normal; **n**: Dados que apresentam distribuição normal; **Ln**: Dados que apresentam distribuição Lognormal; ***** Probabilidade de erro de 1 % pelo teste de Kolmogorov-Smirnov; ****** Probabilidade de erro de 5 % pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Analisando os valores de média e variância apresentados na Tabela 4, é possível verificar que os dados sugerem estacionariedade, uma vez que, em geral, os valores de média e variância para os atributos analisados com mesma metodologia de coleta, são

bem próximos, excetuando-se os dados de densidade do solo obtidos com torrão que 3 cm, que apresenta maior valor de média do que a densidade obtida com torrão de 5 cm e 7 cm que neste caso apresentam similaridade nos valores de média e variância.

É preciso ter em mente que todo experimento possui seu erro amostral, e que existem maneiras de se quantificar este erro. O coeficiente de variação (CV), é uma ferramenta para interpretação da acurácia de um experimento. A Figura 25 apresenta os valores de coeficiente de variação para os atributos envolvidos neste estudo.

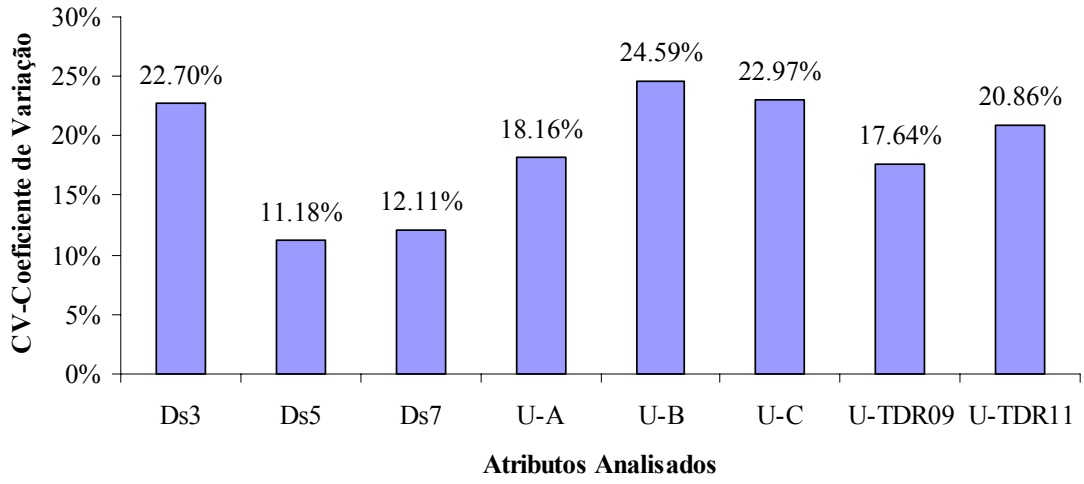

Figura 25 – Valores de coeficiente de variação (CV-%) para a densidade (D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}) e umidade gravimétrica(U-A, U-B e U-C) e umidade obtida com TDR (U-TDR09 e U-TDR11).

De acordo com GOMES (1984), valores de coeficiente de variação abaixo de 10 %, são classificados como valores baixos e conferem ao experimento alta precisão, de 10 - 20 % médio, de 20 - 30 % alto e valores acima de 30 % muito alto.

A Figura 25 mostra que o menor valor de coeficiente de variação é atribuído para a D_{s5} (11,18 %), seguido por D_{s7} (12,11 %), UTDR-09 (17,64 %), U-A (18,16 %), UTDR-11 (20,86 %), D_{s3} (22,70 %), U-C (22,97 %) e U-B (24,59 %). O coeficiente de variação mede a precisão de um experimento, então é possível comparar atributos de diferentes grandezas. De acordo com o coeficiente de variação D_{s5}, U-A e U-TDR09 são as melhores representações para este estudo entre os diferentes métodos de amostragem.

Observa-se na Tabela 4, uma grande amplitude nos dados, que vai de 54,84 %, ou seja, 6,85 vezes o valor mínimo em U-C. Para os valores de densidade a menor variação na amplitude total dos dados é constatada para D_{s7}. Para a umidade obtida com TDR não existem grandes diferenças entre o valor máximo e mínimo entre U-TDR09 e U-TDR11 e consequentemente ocorrem baixa variação na amplitude total dos dados.

A distribuição de freqüência dos atributos analisados de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov a 1 % e 5 % de probabilidade de erro (Tabela 4) para todos os atributos analisados é lognormal. Este fato também pode ser visualizado na Figura 26 que apresenta os histogramas de distribuição de freqüência para os atributos em estudo.

A hipótese intrínseca da geoestatística garante a existência e estacionariedade do semivariograma, sem nenhuma restrição quanto à existência de variância finita (VIEIRA, 2000). Desta forma a Figura 27 e a Tabela 5 visam demonstrar se o semivariograma ajustado para os atributos em análise é ou não estacionário.

O fenômeno da estacionariedade permite que um experimento possa ser repetido, pois considera que todas as amostras pertencem à mesma população e com os mesmos momentos estatísticos.

Partindo deste pressuposto averigua-se que os parâmetros de ajuste do semivariograma (Figura 27 e Tabela 5) são diferentes entre os atributos de mesma grandeza.

Tabela 5 – Parâmetros de ajuste do semivariograma para os atributos analisados.

Atributo	Modelo	C_0	C_1	a	R^2	SQDP	GD
D_{s3}	Esférico	0,116	0,028	50	0,259	$3x10^{-5}$	26,93
D_{s5}	Esférico	0,019	0,004	65	0,251	$1x10^{-6}$	20,50
D_{s7}	Esférico	0,024	0,003	46	0,286	$9x10^{-7}$	15,78
U-A	Esférico	27	11,2	48	0,334	3,881	29,31
U-B	*	*	*	*	*	*	*
U-C	Esférico	44	13	46	0,266	8,433	22,80
U-TDR09	Esférico	2,400	1,930	28,00	0,487	0,027	44,57
U-TDR11	Esférico	3,400	2,000	35,00	0,459	0,049	37,03

C_0: Efeito pepita; **C_1**: Variância estrutural; **a**: Alcance; **R^2**: Coeficiente de correlação; **SQDP**: Soma de quadrados de desvios ponderados; **GD**: Grau de dependência; ***** Efeito pepita puro, não permitindo ajuste.

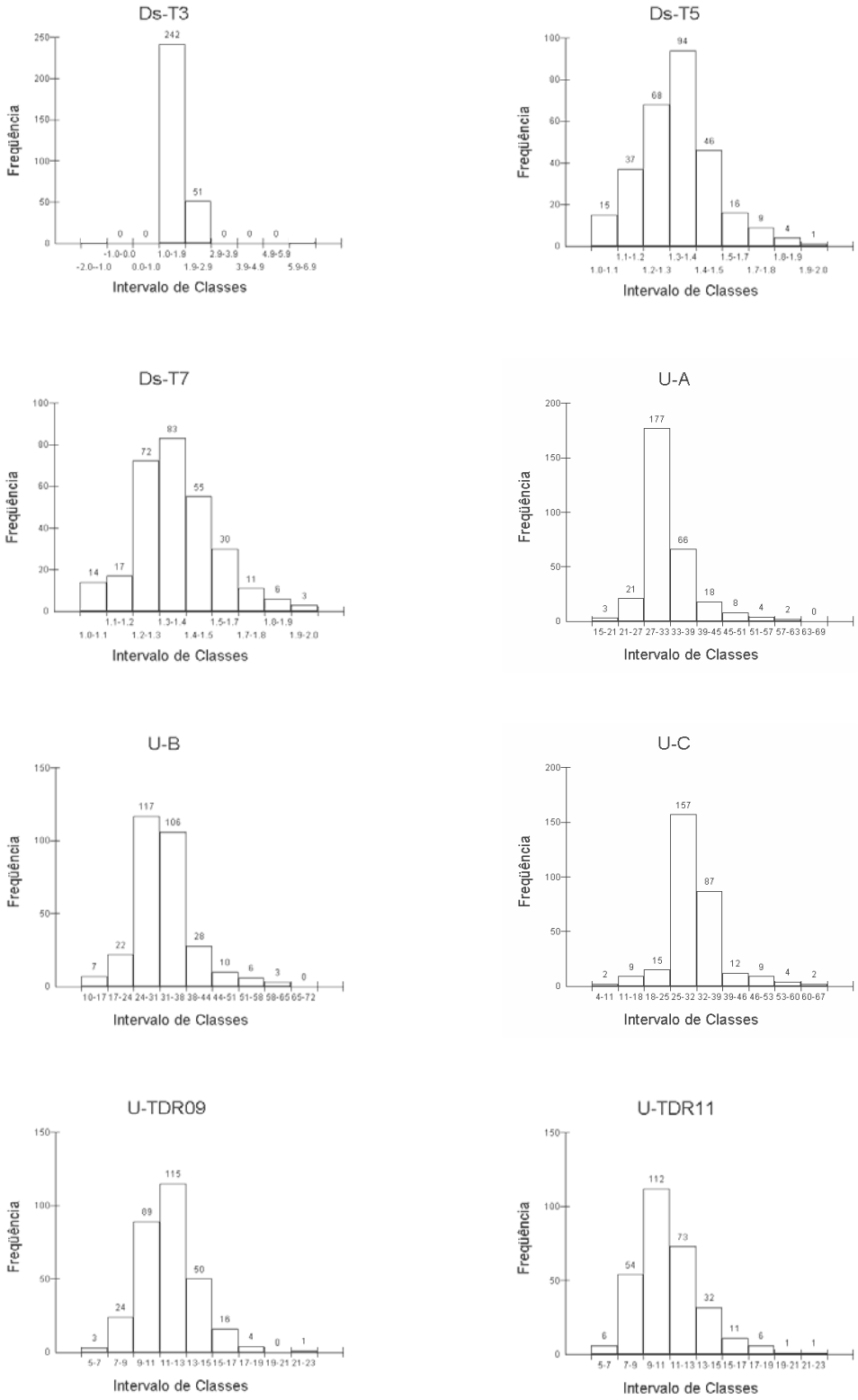

Figura 26– Histogramas de distribuição de freqüência para densidade (D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}), umidade gravimétrica (U-A, U-B, U-C) e umidade obtida com TDR (U-TDR09 e U-TDR11).

Para D_{s3} percebe-se que os valores de ajuste do semivariograma são bem distintos dos valores apresentados para D_{s5} e D_{s7}. Este fato pode ser justificado pelos elevados valores de densidade do solo constatados para este tamanho de torrão que são ocasionados por erros da própria metodologia de amostragem que superestima os valores de densidade do solo para torrões com tamanho reduzido. No entanto, os parâmetros de ajuste do semivariograma para D_{s5} e D_{s7} apresentam similaridade nos dados, com valores de efeito pepita (C_0), variância estrutural (C_1) bem parecidos, e com alcance muito diferente entre si.

Sabe-se que o tamanho da amostra interfere nos resultados de densidade através do método do torrão. Porém, o maior problema da superestimação dos valores de densidade do solo com a diminuição do tamanho do torrão, é que não é possível prever onde e quanto se superestima este valor de densidade no campo. E se essa superestimativa fosse constante com a diminuição do tamanho do torrão os semivariogramas seriam mais parecidos entre si, fato que não ocorre (Figura 27).

Para os dados de umidade obtidos pelo método gravimétrico (U-A, U-B e U-C) é possível constatar que os valores de efeito pepita (C_0) são distintos, uma vez que U-A e U-C apresentam valores de efeito pepita de 24 e 44 respectivamente. Para U-B não foi possível fazer nenhum tipo de ajuste aos dados uma vez que a amostragem não foi suficiente para detectar a variabilidade espacial dos dados, ou seja, apresentando efeito pepita puro. Comparativamente, o semivariograma ajustado de U-TDR09 e U-TDR11 demonstram que há uma ligeira semelhança estrutural entre eles, pois os seus valores de pares de semivariância possuem o mesmo comportamento ao serem plotados. Este comportamento também pode ser verificado através da análise dos parâmetros da estatística descritiva (Tabela 4).

A Figura 28 apresenta o semivariograma escalonado para a densidade (D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}), umidade gravimétrica (U-A, U-B e U-C) e umidade obtida com TDR (U-TDR09 e U-TDR11). Conforme já discutido anteriormente através dos dados de ajuste do semivariograma, percebe-se que para D_{s5} e D_{s7} há um crescimento dos pares de semivariância com ligeira diferença. Os pares de D_{s3} iniciam o processo de crescimento com o aumento da distância sempre acima dos demais, indicando a diferença entre as repetições. Mesmo com U-B tendo apresentado efeito pepita puro, é possível escalonar seus dados com as demais repetições (U-A e U-C). Neste caso, percebe-se que U-A e U-C sempre apresentam similaridade entre os pares de valores, e que os pares de

semivariância de U-B sempre se apresentam com comportamento distinto de U-A e U-C.

Os dados de umidade obtidos com TDR (U-TDR09 e U-TDR11) apresentam comportamento similar desde o inicio do crescimento da semivariância com o aumento da distância para ambos os casos, indicando que mesmo estes dados tendo sido coletados em datas diferentes, o intervalo de tempo de dois dias não foi suficiente para que a função que representa a umidade do solo se modificasse. Reforçando então a idéia da presença da estacionariedade.

O grau de dependência (Tabela 5) de acordo com ZIMBACK (2001), é classificado em baixo (0,0-25,00 %), médio (25,00-75,00 %) e alto (75,00-100,00 %). Os seguintes atributos apresentam grau de dependência espacial baixo: D_{s5}, D_{s7} e U-C. Os demais atributos apresentam grau de dependência espacial médio (D_{s3}, U-A, U-TDR-09 e U-TDR11). Assim, o grau de dependência espacial, quer dizer que a aleatoriedade entre as amostras não é grande, ou seja, o comportamento da variabilidade espacial descrito pelo grau de dependência é estável para os atributos analisados.

Percebe-se na Tabela 5 que o grau de dependência (GD) para a amostragem de densidade do solo diminui exponencialmente com o aumento do tamanho do torrão, apresentando estabilidade da aleatoriedade entre as amostras, fato que justifica a presença de estacionariedade dos dados. Para os parâmetros relacionados com a umidade do solo não existe qualquer tipo de relação entre o grau de dependência entre os atributos (U-A, U-C, U-TDR09 e U-TDR11). A umidade pelo método gravimétrico apresenta para U-A grau de dependência médio para as amostras (29,31 %) apresentando uma tendência de um grau de dependência baixo, pois seu valor não é extremamente elevado, U-C apresenta grau de dependência baixo (22,80 %). As maiores diferenças, para a variação do grau de dependência entre estas amostras podem estar relacionadas com a grande instabilidade deste atributo no campo, uma vez que pequenas variações de solo e atmosfera podem interferir nos resultados. Para as amostras coletadas com TDR (U-TDR09 e U-TDR11), o grau de dependência é médio (44,57 % e 37,03 % respectivamente), e como ambas as repetições apresentam aleatoriedade (09/05/2005 e 11/05/2005) semelhante nas duas datas de amostragem para os valores da estatística descritiva e dos parâmetros de ajuste do semivariograma, pode-se dizer que esta forma de amostragem foi suficiente para detectar a variabilidade entre amostras com determinado grau de estabilidade da função espacial que representa a umidade ao longo tempo.

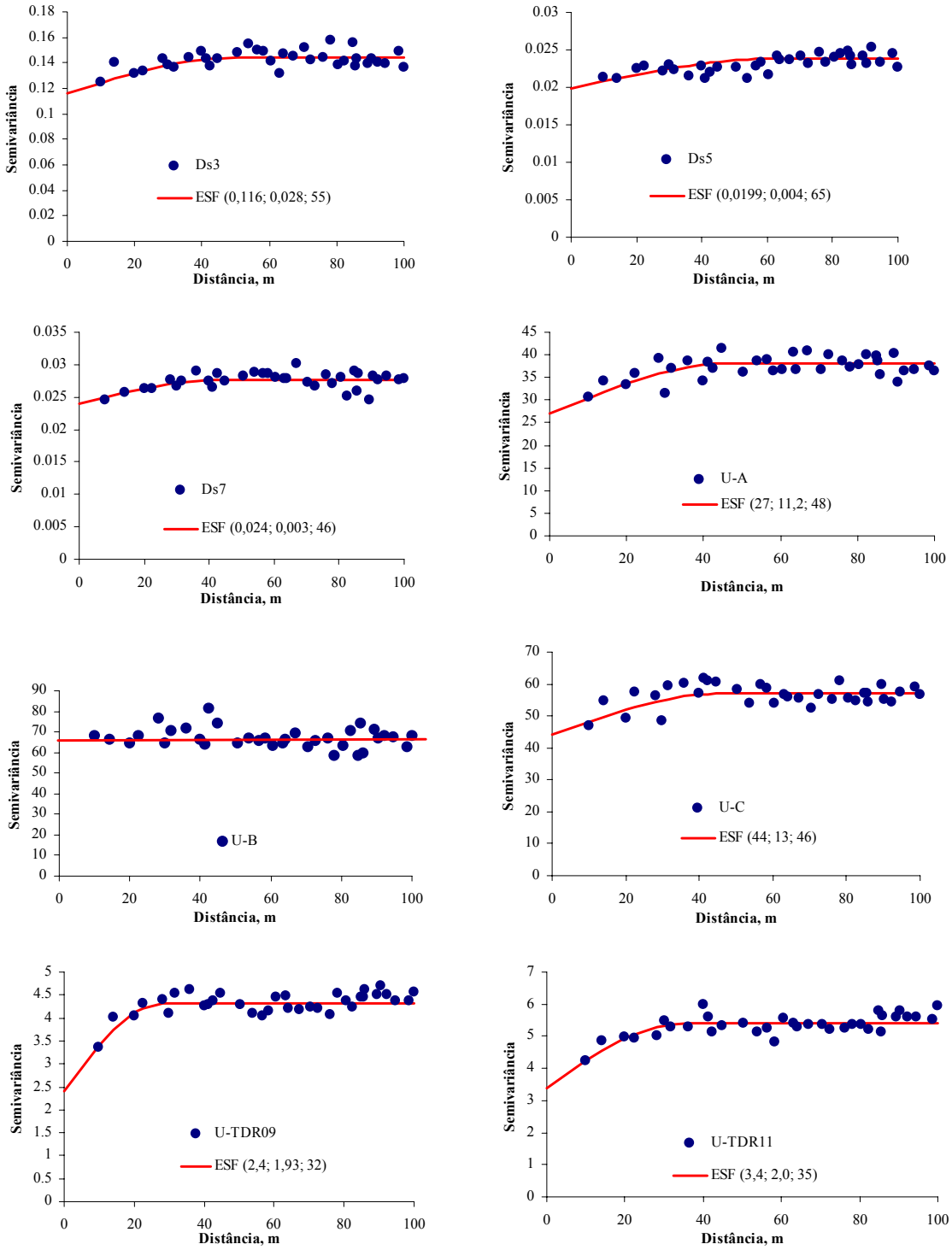

Figura 27 – Semivariogramas ajustados ao modelo esférico (ESF) para a densidade (D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}) e para a umidade do solo (U-A, U-B, U-C, U-TDR09 e U-TDR11).

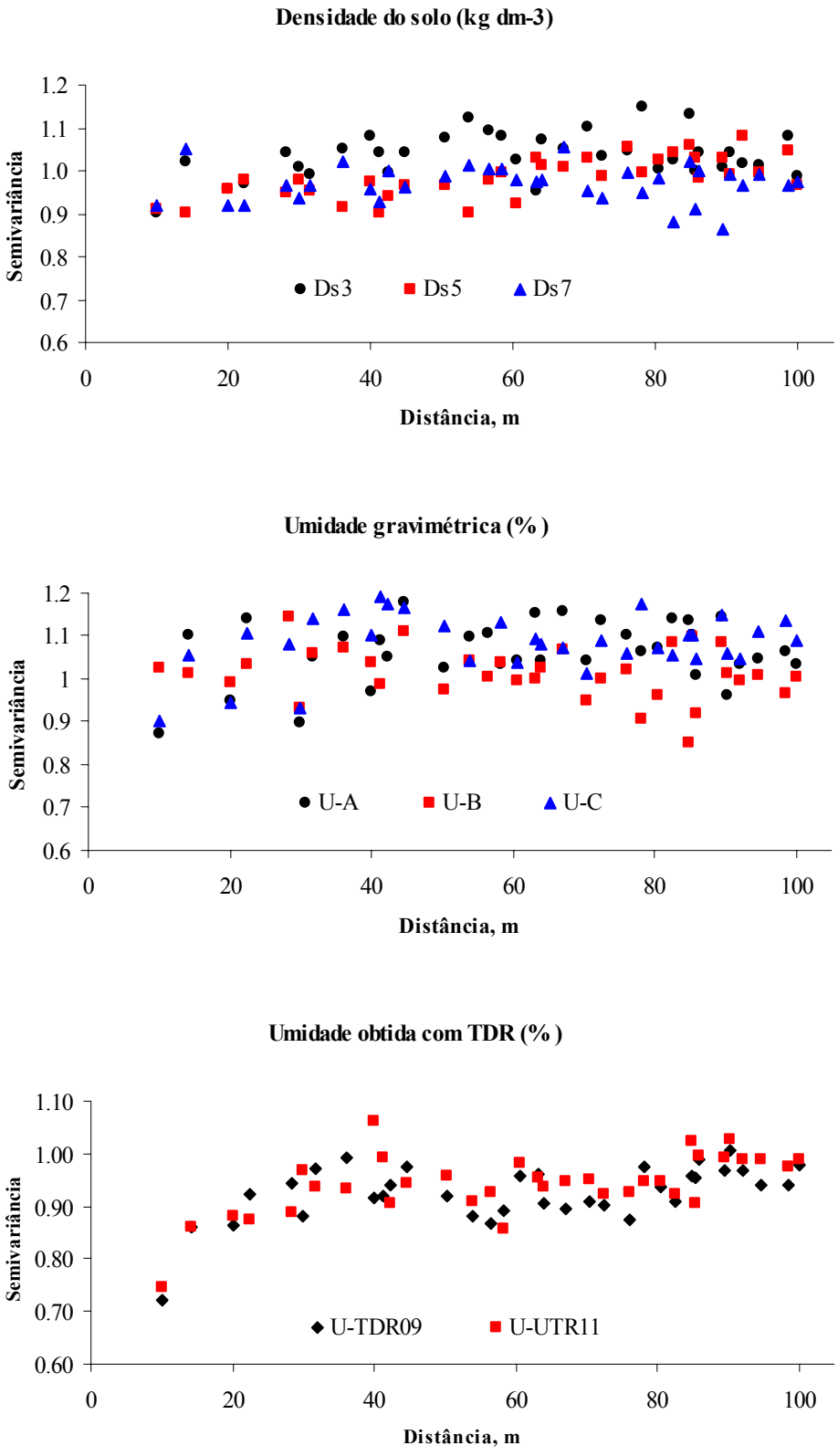

Figura 28 – Semivariograma escalonado para a densidade (D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}), umidade gravimétrica (U-A, U-B e U-C) e umidade obtida com TDR (U-TDR09 e U-TDR11).

A Figura 29 apresenta a relação entre os valores de efeito pepita (C_0) com os valores de coeficiente de variação (CV) dos atributos em estudo. Percebe-se que para todos os atributos (densidade, umidade pelo método gravimétrico e umidade obtida com TDR) existe uma relação crescente entre o efeito pepita e o coeficiente de variação.

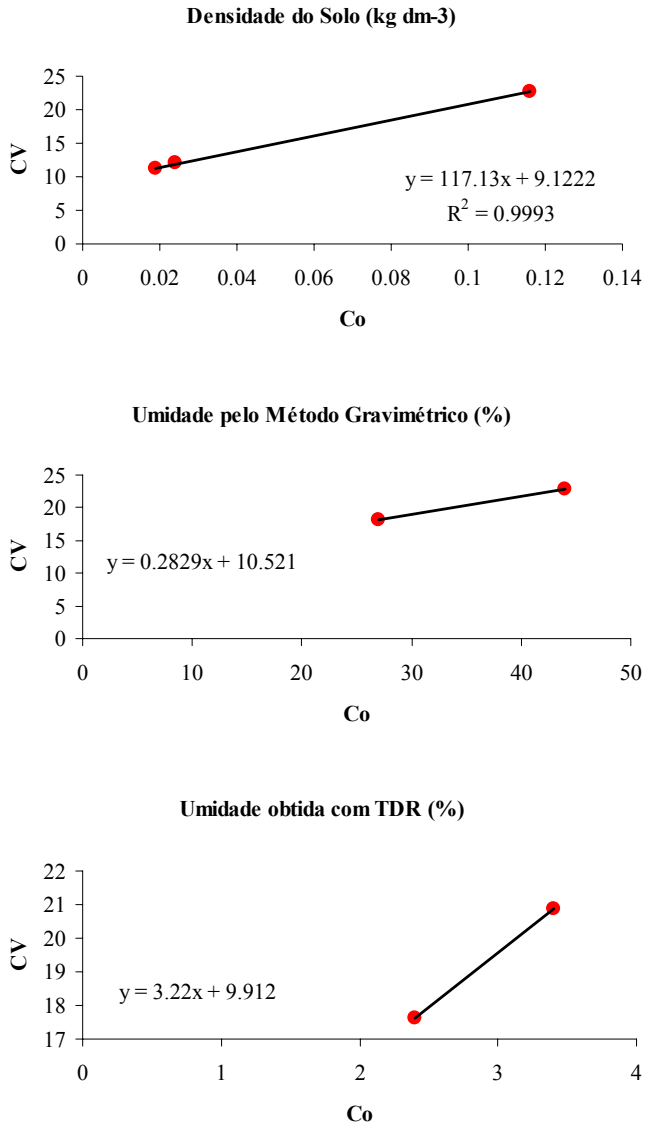

Figura 29 Relação entre coeficiente de variação (CV) e o efeito pepita (C_0) para densidade (D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}), umidade gravimétrica (U-A e U-C) e umidade obtida com TDR (U-TDR09 e U-TDR11).

A Figura 30 apresenta os mapas de isolinhas para os parâmetros em estudo. A análise do comportamento e distribuição das linhas de contorno para UTDR-09 e

UTDR-11 sugerem similaridade entre os mapas. As maiores diferenças entre os mapas são decorrentes da interação do solo com os agentes atmosféricos e ao período de estiagem entre as duas datas de coleta de amostras. Para os mapas de umidade obtidos pelo método gravimétrico (U-A e U-C) ocorre maior similaridade, porém é difícil dizer até que ponto ocorre esta similaridade nos mapas de isolinhas uma vez que os parâmetros de ajuste do semivariograma são diferentes para ambos os mapas. Esta similaridade também pode ser questionada pelo fato de U-B ter apresentado efeito peita puro, não possibilitando a interpolação dos dados através da técnica de krigagem para a geração de mapa de isolinhas.

O estudo das linhas de contorno para D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}, indica interferência do tamanho do torrão utilizado nas análises deste estudo. Porém, com a diminuição do erro metodológico e com o aumento do tamanho de torrão (D_{s5} e D_{s7}), percebe-se que o padrão de distribuição das linhas de contorno inicia um processo com tendência a estabilização e paridade entre os mapas, fato que pode ser justificado pela maior estabilidade da média das amostras na estatística descritiva e pelos parâmetros de ajuste do semivariograma que se tornam mais semelhantes com o aumento do torrão.

A Figura 31 apresenta a relação entre as repetições para todos os atributos analisados. Percebe-se nesta figura que nenhum dos gráficos apresenta uma relação crescente desejável para se explicar à presença de estacionariedade. Os dados na sua grande maioria apresentam distribuição concentrada em uma única área do gráfico, desfavorecendo o aumento da pendente. As melhores relações foram encontradas para os seguintes atributos: U-A e U-C (0,486), U-A e U-B (0,435), U-TDR09 e U-TDR11 (0,307), U-B e U-C (0,132), D_{s5} e D_{s7} (0,09), D_{s3} e D_{s7} (0,033) e D_{s3} e D_{s5} (0,009).

A relação entre U-TDR09 e U-TDR11 (Figura 31), está demonstrando como a precisão do método de amostragem interfere no processo de análise dos resultados. Verifica-se que o gráfico apresenta um comportamento simétrico, sendo está simetria justificável pela pouca acurácia do TDR utilizado na coleta dos dados.

As Figuras 32, 33 e 34 apresentam os gráficos de disposição dos valores de umidade e densidade do solo nas diferentes datas de amostragem e sua relação com os pontos de coletas de dados.

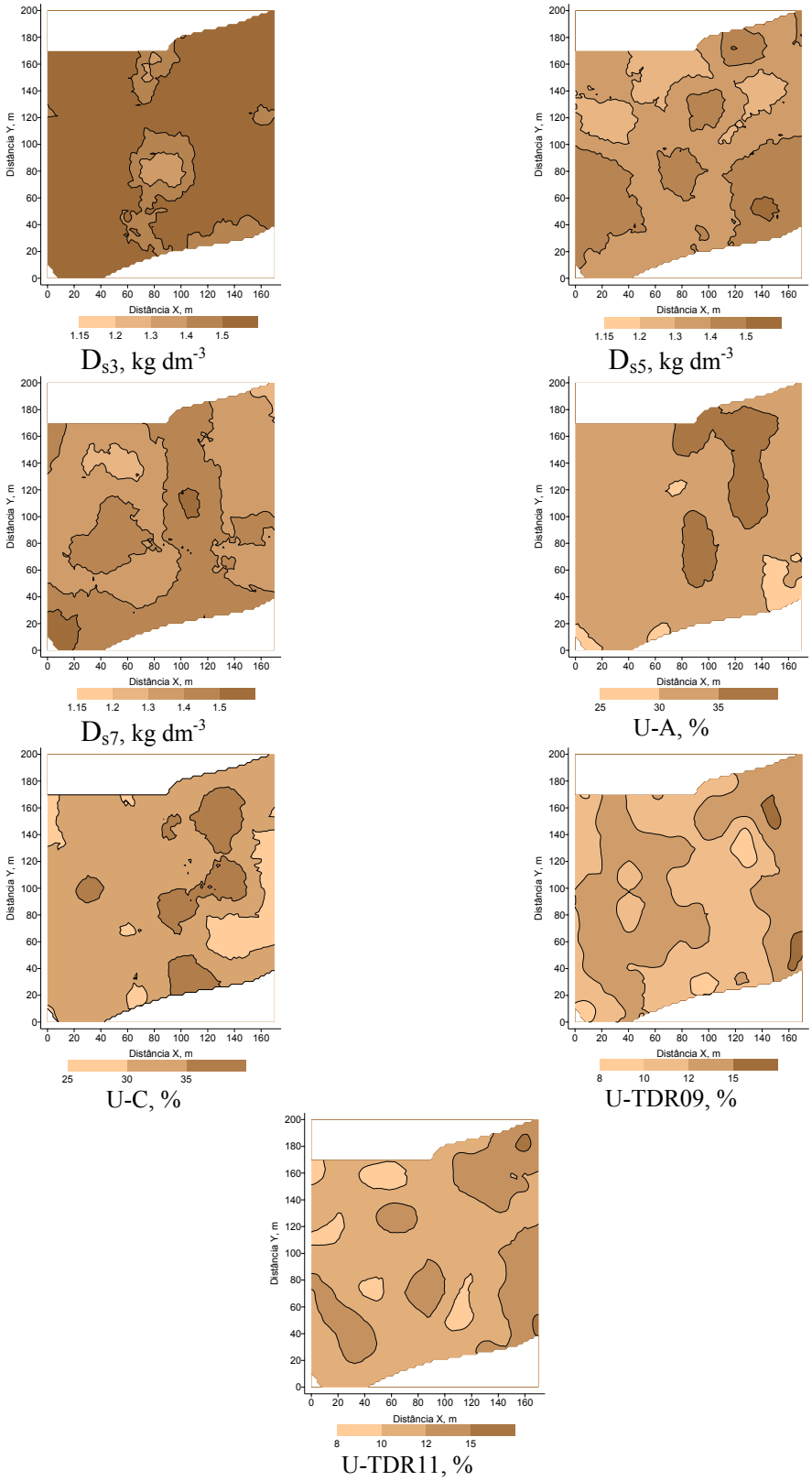

Figura 30 – Mapas de isolinhas para a densidade (D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}) e umidade pelo método gravimétrico (U-A, U-B, U-C) e umidade obtida com TDR (U-TDR09 e U-TDR11).

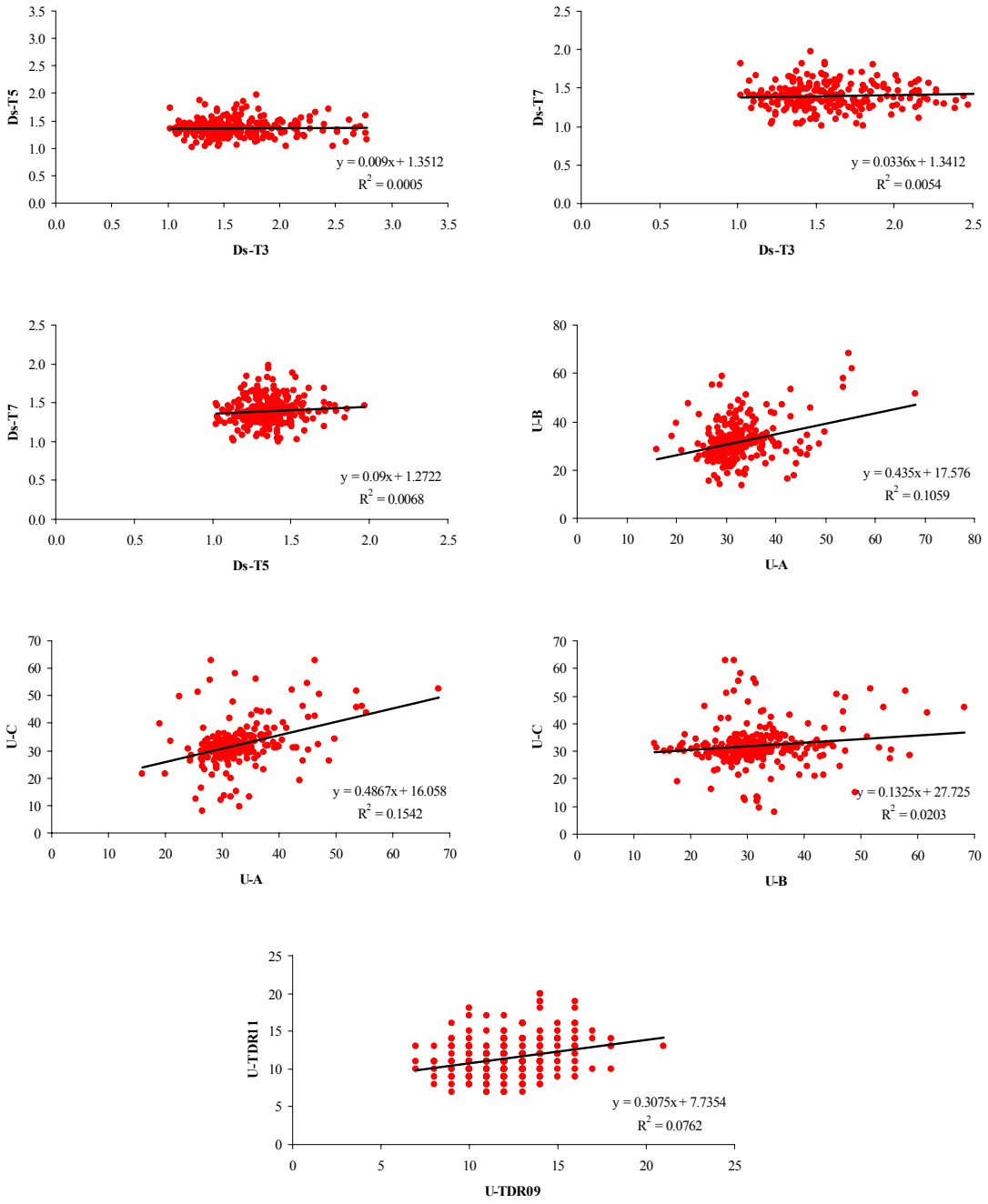

Figura 31 – Relação entre as repetições para todos os atributos analisados: densidade pelo método do torrão (kg dm^{-3}), umidade pelo método gravimétrico (%) e umidade obtida com TDR (%).

De acordo com ROCHA et al. (2005), a estacionariedade não pode ser testada estatisticamente. Partindo deste pressuposto, a análise das Figuras 32, 33 e 34 permite assumir que, embora os atributos variem no espaço, tendências de concentração de

valores ou de variação em determinada direção não podem ser detectadas ou não são evidentes.

O padrão de disposição dos valores ao longo dos 302 pontos de amostragem indica paridade entre os atributos de mesma grandeza. Na Figura 32, a disposição dos dados para D_{s3} é completamente diferente de D_{s5} e D_{s7}, porém, para D_{s5} e D_{s7} ocorre uma ligeira semelhança na disposição das linhas. Com respeito aos dados de umidade obtidos pelo método gravimétrico (U-A, U-B e U-C) (Figura 33) a semelhança entre o comportamento de seus valores amostrais ao longo da grade de amostragem é nítida, havendo apenas alguns pontos que destoam do conjunto. Por sua vez a maior parte dos dados que destoam do conjunto na Figura 33, correspondem aos dados oriundos de U-B, que apresenta o maior coeficiente de variação e cuja variabilidade espacial não foi detectada no processo amostral. Para os dados de umidade gravimétrica do solo (U-A, U-B e U-C), também é preciso ter em mente que para se repetir o experimento as amostras são coletadas em locais diferentes, podendo ocasionando-se os maiores desvios dos valores.

A Figura 34 que apresenta os dados de umidade obtidos com TDR (U-TDR09 e U-TDR11), demonstra que a similaridade dos dados é visível, mesmo os dados tendo sido coletados em datas diferentes, contudo em curto espaço de tempo.

Pode-se visualizar ainda nas Figuras 32, 33 e 34 que os pontos que destoam do conjunto, são justamente pontos que apresentam valores mais distantes da média das amostras. Porém estes dados fazem parte do fenômeno em estudo, e não podem ser descartados por mera estética, ou por indicações estatísticas que não representam a continuidade do fenômeno de estudo no espaço.

A Figura 35 apresenta o gráfico de disposição da média geral para cada um dos atributos analisados, com sua respectiva linha de valor médio para cada uma das repetições.

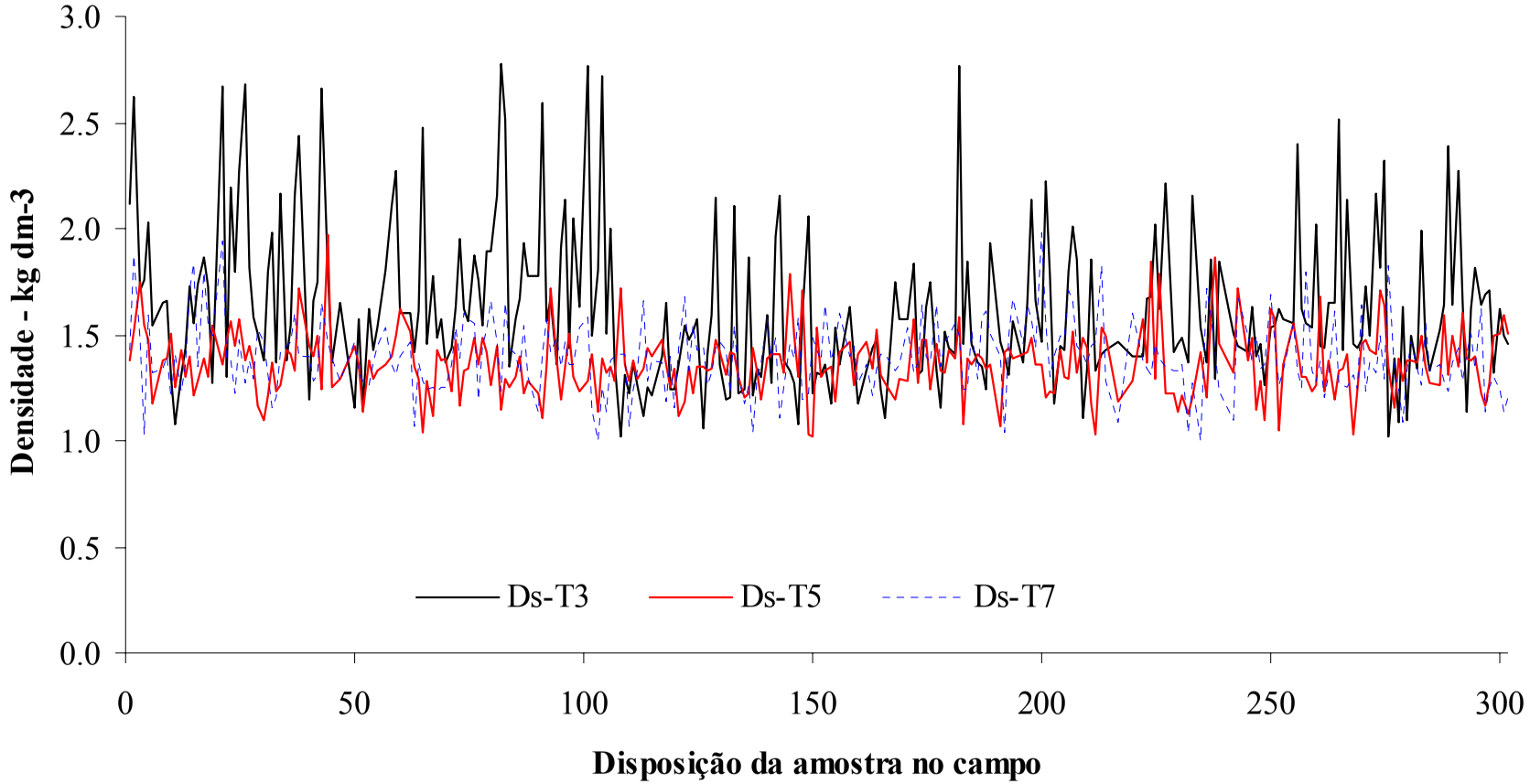

Figura 32 – Densidade do solo pelo método do torrão (D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}) no mês de janeiro de 2005 em relação aos pontos de amostragem.

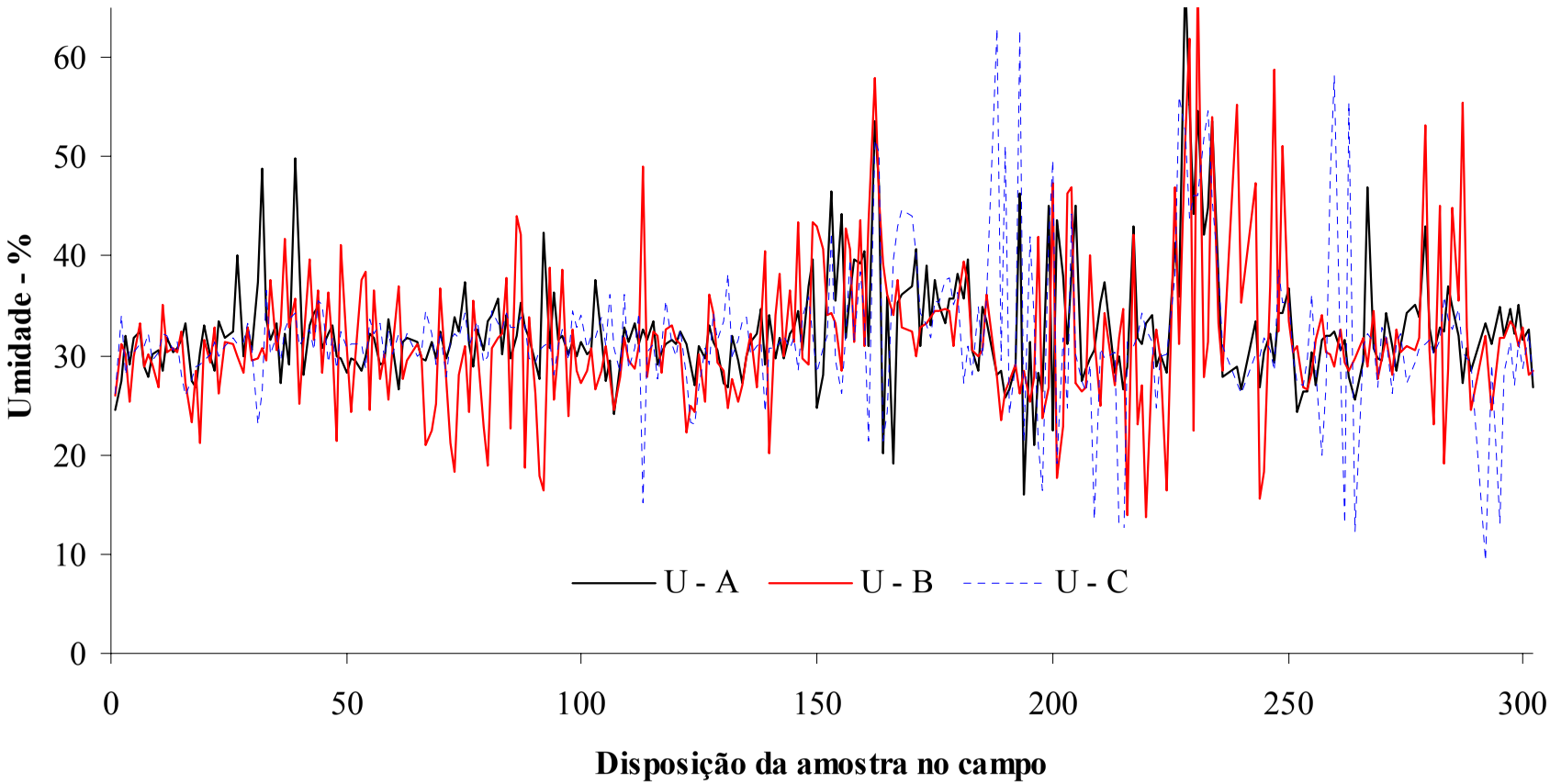

Figura 33 – Umidade do solo pelo método gravimétrico coletada no dia 01/02/2005 (U-A, U-B e U-C) e sua relação com os pontos de amostragem.

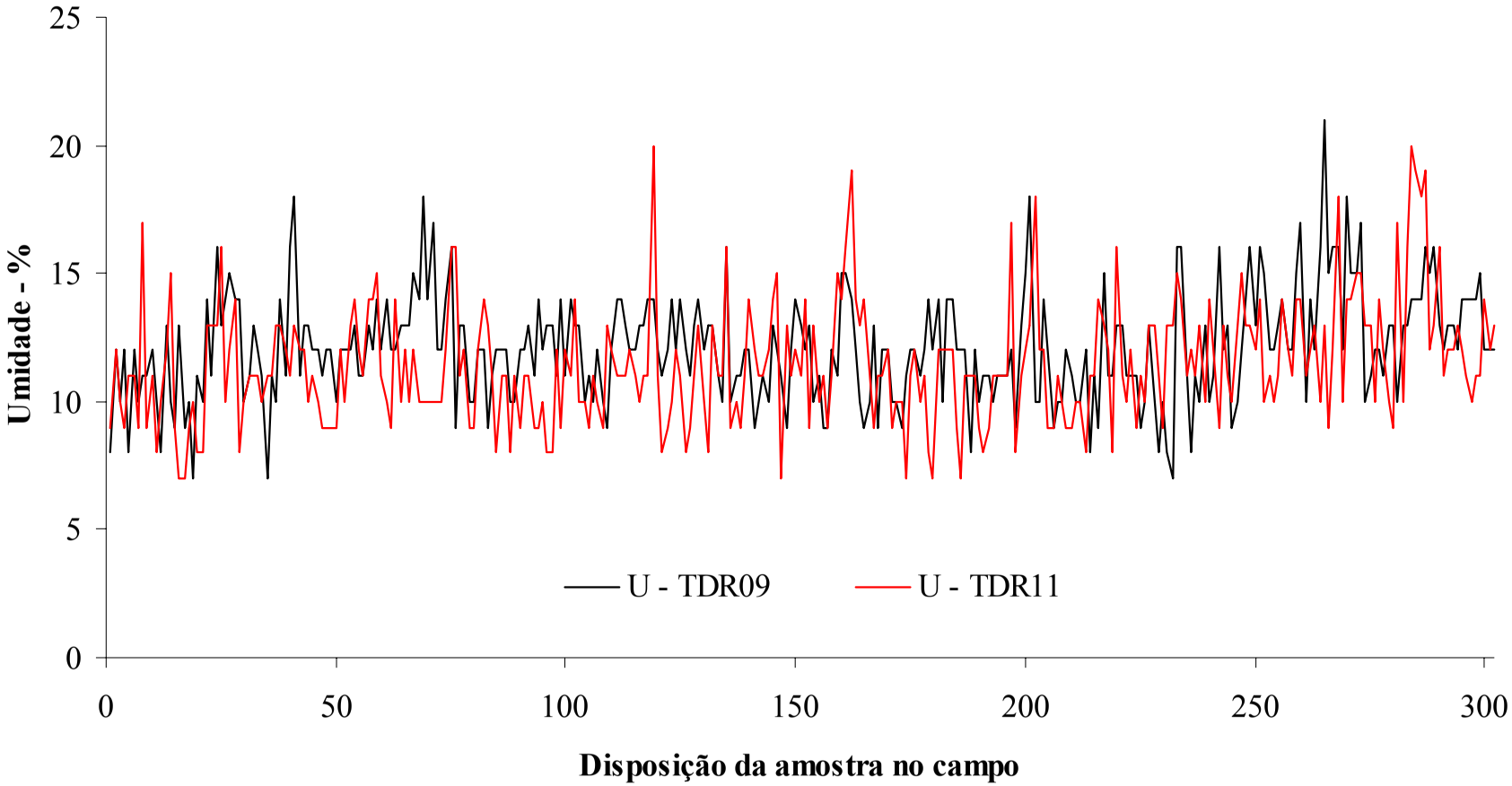

Figura 34 – Umidade do solo obtida com TDR nos dias 09/05/2005 (UTDR-09) e 11/05/2005 (UTDR-11) e sua relação com os pontos de amostragem.

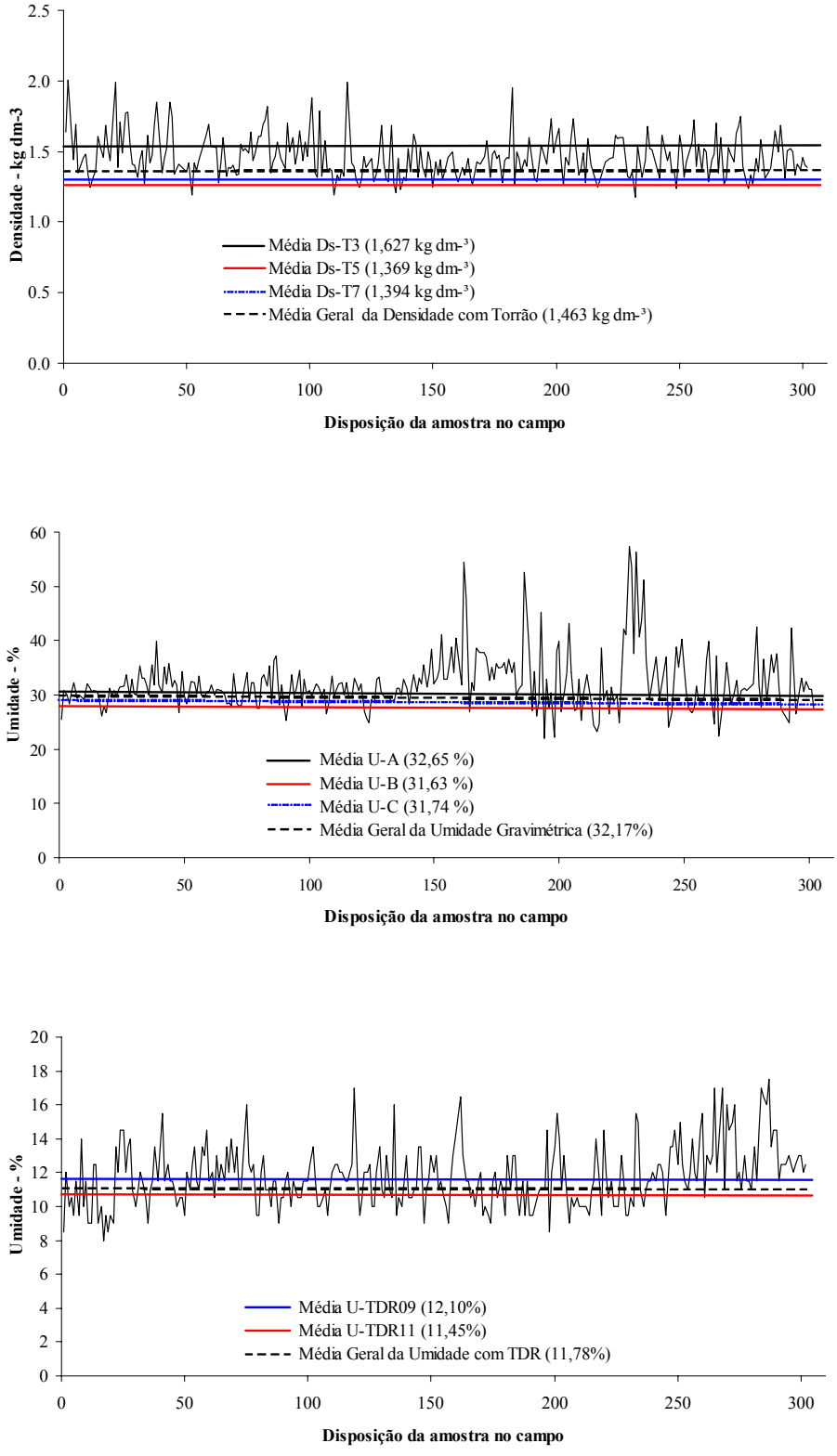

Figura 35 – Média geral entre as amostras ao longo do campo (densidade pelo método do torrão (kg dm^{-3}), umidade obtida pelo método gravimétrico-% e umidade obtida com TDR-%), com sua respectiva linha de valor médio para cada uma das repetições.

Através da Figura 35 pode-se notar que excluindo os valores expressos por D_{s3}, os demais (D_{s5} e D_{s7}) apresentam os seus valores de média bem próxima da média geral das amostras, uma vez que quanto maior o volume da amostra mais representativa ela é, desta maneira representando melhor o fenômeno da densidade do solo para a área de estudo. Percebe-se que a individualidade de cada uma das repetições é dada basicamente pela metodologia de amostragem. Assim, mesmo D_{s5} e D_{s7} apresentando médias individuais próximas da média geral das amostras não é possível confirmar a presença da estacionariedade do fenômeno, uma vez que os parâmetros de ajuste do semivariograma são diferentes entre si.

Para os dados de umidade obtidos pelo método gravimétrico (U-A, U-B e U-C) e pela umidade obtida com TDR (U-TDR09 e U-TDR11), percebe-se que nas Figuras 33 e 34 as maiores diferenças entre as médias e os mapas de isolinhas (Figura 30) são devido a própria variabilidade do solo, uma vez que as amostras tornam-se cada vez mais diferentes com o aumento da distância de separação. Desta maneira as maiores diferenças podem ser atribuídas a variáveis ou combinação de variáveis extrínsecas, tal como o manejo do solo e fatores climáticos ou ainda por variáveis intrínsecas ao solo, como material de origem, intemperização, etc. Assim, os gráficos da umidade pelo método gravimétrico (U-A, U-B e U-C) e a umidade obtida com TDR (U-TDR09 e U-TDR11), sugerem a presença de estacionariedade dos dados, quando comparados entre si, e que as maiores variações são devidas a variabilidade ao acaso que não pode ser detectada durante o processo amostral.

A comparação entre o valor médio de cada repetição e o valor médio geral da amostragem (Figura 35), permite descrever com maior precisão se ocorre ou não estabilidade no comportamento dos atributos. A estacionariedade pode ser justificada, para a amostragem em questão uma vez que os valores médios para as repetições dos diferentes métodos de amostragem são bem próximos entre si, e os demais parâmetros da estatística descritiva (Tabela 4) também apresentam um padrão de relacionamento para os atributos de mesma grandeza, o que se repete nas estruturas do semivariograma (Figura 27) e nos mapas de isolinhas (Figura 30). Desta maneira este conjunto de informação, relaciona-se com a afirmativa de van WESENBEECK et al. (1988) que diz que a estabilidade temporal dos dados é descrita como uma associação constante com o tempo, entre a localização espacial e as medidas estatísticas que caracterizam determinado atributo do solo.

As Figuras 32, 33, 32 e 34 descrevem a variabilidade dos valores amostrais ao longo do campo de amostragem, percebe-se que, em geral, não existem linhas de tendência de dados em uma única direção em todos os atributos e repetições analisados. Pelo contrário existe similaridade no comportamento dos dados de mesma grandeza, conforme descrito por NIELSEN & WENDROTH (2003).

De acordo com HAMLETT et al. (1986), a estacionariedade é mais exceção que regra. Esta afirmativa descreve como os fatores extrínsecos, tal como o manejo do solo interfere nos resultados, fato que pode ser visualizado nos diferentes valores de densidade pelo método do torrão. No caso dos dados de umidade do solo obtido com TDR pode-se justificar a interação dos elementos climáticos com a área de estudo no período entre as duas amostragens, evidenciando as diferenças entre os mapas de isolinhas de U-TDR09 e U-TDR11. Considerar a estacionariedade como exceção é discordar com os princípios geoestatísticos, e desta forma é impossível à descrição e modelagem da relação entre distâncias e associação espacial entre amostras.

Segundo ISAAKS & SRIVASTAVA (1989) mais importante que a normalidade dos dados é a ocorrência ou não do chamado efeito proporcional, onde a média e a variabilidade dos dados é constante na área de estudo. No presente estudo pode-se constatar a ocorrência do chamado efeito proporcional entre os atributos estudados, com exceção para D_{s3} que não apresenta esta proporcionalidade quando comparado com as demais repetições (D_{s5} e D_{s7}), no entanto, esta proporcionalidade diz respeito a estacionariedade dos dados.

Para se aplicar à hipótese intrínseca da geoestatística em um experimento é preciso, considerar que o fenômeno em estudo é a realização de uma função matemática contínua dentro da área. WEBSTER (2000), descreve que a estacionariedade é uma questão local, ou seja, no processo de planejamento de um experimento deve-se ter em mente que indiferente de como as amostras sejam coletadas, a função matemática que expressa o fenômeno será a mesma para todas as formas de amostragem, garantindo sempre um valor médio constante entre as amostras. O mais importante é assegurar que o esquema de amostragem seja capaz de detectar a variabilidade espacial entre amostras, ou melhor, deve ser capaz de representar a população do fenômeno em estudo através da manifestação da função contínua que representa este fenômeno.

Assim, a estacionariedade dos dados passa a ser intimamente ligada a metodologia de amostragem, ou seja, cada um dos atributos analisados (densidade pelo método do torrão, umidade gravimétrica e umidade obtida com TDR) juntamente com

suas repetições possui sua população característica, que é o que se espera de cada uma das repetições e que elas possuam um valor médio entre as amostras dependente apenas da distância de separação entre elas.

A amostragem de densidade do solo pelo método do torrão e com diferentes tamanhos de torrões (3 cm, 5 cm e 7 cm) é uma forma de se identificar a função matemática que representa a população no campo, porém neste caso, as amostras tornam-se dependentes do método de amostragem, pois se sabe que com a diminuição do tamanho do torrão (D_{s3}) utilizado para se calcular a densidade (kg dm^{-3}) ocorre um aumento do erro metodológico (BLAKE, 1965; JACCOUD, 1971). Paralelamente com o aumento do tamanho do torrão (D_{s5} e D_{s7}) os valores de densidade são capazes de representar mais adequadamente o fenômeno presente na área de estudo, em função do aumento do volume da amostra. Os dados de D_{s3} representam o fenômeno da densidade do solo para este tamanho de torrão (Figura 30), uma vez que com a diminuição do tamanho do torrão também existe uma diminuição proporcional dos macroporos e do espaço entre agregados, pois estes torrões apresentam-se mais coesos, conforme descrito por TORMENA et al. (2004). Desta maneira é possível dizer que os valores de D_{s3} representam a densidade do solo para este tamanho de torrão, tornando a estacionariedade como uma função dependente do tamanho da amostra, e a medida que o tamanho da amostra aumenta (D_{s5} e D_{s7}) a função que representa a densidade do solo estabiliza-se como uma função contínua da densidade média para a área de estudo, fato que pode ser explicado pela melhor relação expressa na Figura 31. Por outro lado, a relação expressa entre as repetições na Figura 31 é encontrada para os dados de umidade (U-A, U-B, U-C, U-TDR09 e U-TDR11) quando comparados com os dados de torrão. Neste caso os dados de umidade apresentam a mesma metodologia de coleta, e isto sim faz com que a estacionariedade se manifeste diferente para os diferentes tamanhos de torrão.

A umidade gravimétrica coletada no dia 01/02/2005 com três repetições é sem dúvidas outra maneira de representar a função matemática que descreve o comportamento da umidade na área de estudo. Neste caso, o esquema de amostragem foi diferente do utilizado para o método do torrão, onde os três tamanhos de torrão eram retirados exatamente no ponto demarcado para amostragem. Para a umidade pelo método gravimétrico, optou-se pela retirada de amostras em locais diferentes, ou seja, a amostras de U-A foram retiradas a dois metros abaixo do ponto de amostragem, a amostras de U-B retiradas exatamente no ponto de amostragem e a amostra U-C retirada

a dois metros acima do ponto de amostragem. Verifica-se nos mapas de isolinhas (Figura 30) que mesmo as amostras tendo sido retiradas em diferentes locais no campo o comportamento da variabilidade espacial da umidade gravimétrica é similar em todos os mapas, ou seja, este tipo de amostragem é capaz de representar a estacionariedade dos dados, detectando a função matemática que expressa o fenômeno da umidade na área de estudo. E se essas amostras de umidade tivessem sido retidas em um espaçamento maior que dois metros, o comportamento da variabilidade espacial entre as repetições teria sido o mesmo ou não, ou será que existe uma distância limite para que um fenômeno possa ser representado. A estacionariedade em si prevê, que não há limite de distância de separação entre amostras, para representar um fenômeno, pois, todas as amostras pertencem a mesma população e com os mesmo momentos estatísticos.

Os dados de umidade do solo obtidos com TDR foram coletados em datas distintas (09/05/2005 e 11/05/2005), porém, como o espaço de tempo entre as duas coletas de dados é curto, pode-se prever a estacionariedade dos dados, por outro lado este tipo de amostragem em diferentes datas também deve representar uma função matemática que também é contínua no tempo. Inicialmente, vale a pena destacar que a reflectometria de domínio do tempo (TDR - Time Domain Reflectometry) fornece leituras em tempo real e automatizadas. Contudo, o volume de solo explorado por suas hastes é pequeno e ocorre ainda falta de acurácia nas leituras, pois o equipamento fornece resultados apenas com números inteiros, desconsiderando as casas decimais. Desta maneira o TDR influencia os resultados desconfigurando o fenômeno da umidade do solo no período de estudo, conforme já visualizado na relação entre U-TDR09 e U-TDR11 (Figura 31).

Mesmo com a desconfiguração dos dados, é possível verificar a presença de estacionariedade entre U-TDR09 e U-TDR11, uma vez que o erro embutido pela metodologia está presente em todos os dados e deve ser considerado então como proporcional para toda a população amostrada. Assim, o único empecilho para este tipo de amostragem diz respeito aos elementos climáticos, uma vez que a camada amostrada é superficial e esta sujeita as variações atmosféricas, tais como: demanda evaporativa, umidade relativa do ar, radiação solar e etc.. Mesmo tendo sido curto o período de tempo entre as duas amostragens (dois dias), percebe-se que os valores de umidade na segunda amostragem (U-TDR11) são mais baixos que na amostragem inicial (U-TDR09) conforme demonstrado na Figura 30, então se deve considerar que cada uma das datas de amostragem possui sua própria função matemática. Este fato é confirmado

por KITE (1989) que descreve os componentes aparentes do tempo são renováveis no próprio tempo.

Para KLEMES (1974), é difícil dizer que uma série espacial é estacionária no tempo, porque não se pode predizer o erro amostral com segurança e a extensão das mudanças desta série ao longo do tempo. Este fato só poderia ocorrer se a forma de amostragem fosse não destrutiva, fato que geralmente não ocorre, principalmente se tratando de estudos com amostragens regionalizadas e de longa de duração.

Por outro lado, deve-se considerar que para o método do torrão, diferentes tamanhos de torrões foram utilizados, daí a maior dificuldade para se comprovar a presença da estacionariedade dos dados entre as repetições. Porém, se todas as repetições para este atributo tivessem sido retiradas com um único tamanho de torrão será que a estacionariedade dos dados teria sido confirmada. Pode-se expandir este questionamento para as amostras de umidade gravimétrica (U-A, U-B e U-C) partindo do pressuposto que ao invés de três repetições totalizando 906 amostras, porque não foi realizada uma única amostragem composta de três subamostras coletadas próximas ao ponto de coleta. Assim, será que a manifestação da estacionariedade teria sido diferente.

Para os dados de umidade obtidos com TDR, pode-se pensar da seguinte maneira, sabe-se que o TDR apresenta baixa precisão nos resultados, porém o erro amostral está embutido em todas as amostras e até que ponto isso influenciou os resultados ou mesmo na manifestação da estacionariedade é difícil prever, pois este é um problema com relação ao equipamento de medida de um atributo, ou será que quanto mais preciso o equipamento melhor à manifestação da estacionariedade. Outra questão a ser considerada é com respeito a distância de separação das amostras, será que diferentes espaçamentos podem revelar diferentes variabilidades para um mesmo atributo ou mesmo impedir a manifestação da variabilidade como no caso da amostragem de umidade gravimétrica (U-B), até que ponto o volume de solo coletado para se determinar a umidade gravimétrica em laboratório foi capaz de representar fielmente este atributo do solo. Muitas perguntas surgem, e também muitas respostas surgiram para cada um dos diferentes atributos analisados neste estudo, o mais importante é que a estacionariedade existe e que a homogeneidade dos dados deve ser respeitada para que se possam obter parâmetros suficientemente aplicáveis no processo de tomada de decisão e averiguação da estacionariedade.

Os atributos analisados neste estudo são estacionários, quando consideramos os parâmetros da estatística descritiva (Tabela 4), os parâmetros do semivariograma

(Tabela 5 e Figura 27) e o comportamento espacial dos atributos na área de estudo (Figura 30), pois a soma destes parâmetros garante uma homogeneidade comportamental na área de estudo. Esta afirmativa pode ser ressaltada através das Figuras 32, 33, 34 e 35, que apresentam a distribuição dos valores amostrais para cada ponto de amostragem, coincidindo com afirmações de WEBSTER (2000), que descreve a média estacionária como dependente apenas da distância de amostragem e da posição de amostragem na paisagem.

As Figuras 32, 33, 34 e 35 demonstram que os dados se distribuíram ao longo da grade de amostragem com certa estacionariedade, revelando não existir tendência de concentração de valores em qualquer direção como também constatado por MELLO FILHO & LIBARDI (2005) e ROCHA et al. (2005). Desta maneira a estacionariedade, é uma restrição notoriamente mais teórica do que propriamente física, pois ela garante valores constantes de média e de variância da região de estudo a partir da determinação de regiões amostrais com mesmas características, cuja continuidade é similar em toda a área. Com isso, a estacionariedade não pode ser testada estatisticamente, mas pode ser avaliada pela junção de parâmetros estatísticos e geoestatísticos, no entanto a melhor maneira de se garantir a estacionariedade é garantir homogeneidade dos dados com relação à distância de amostragem e com os métodos de análise.

A ausência de tendência de valores em determinadas direções (Figuras, 32, 33, 34 e 35), permite assumir que há a estacionariedade dos dados para o presente estudo, conforme condição definida pela hipótese intrínseca da geoestatística.

No entanto, a estacionariedade em si é mais do que simplesmente uma conotação entre semelhanças de mapas e semivariogramas, pois a estacionariedade existe e é extremamente sensível aos métodos de amostragem. Quando é definido um esquema de amostragem em grade regular ou não, pretende-se detectar a função matemática que descreve um determinado fenômeno de interesse e qualquer variação intrínseca ou extrínseca compromete os resultados, como é o caso do torrão de 3 cm ou mesmo o erro embutido em todas leituras de umidade realizadas com TDR, cada uma interfere mais ou menos para a espacialização do fenômeno de interesse. Mais importante ainda é ter em mente que, a estacionariedade da média, é uma questão de número de amostras que compõem a população, uma vez que a função matemática que descreve um determinado fenômeno existe e esta a mercê de uma amostragem criteriosa.

Assim, não basta apenas amostrar com repetições para se detectar a estacionariedade é preciso, compreender que cada vez que é realizada uma amostragem

com repetição ou não, o número de amostras deve ser suficiente para representar um fenômeno natural, e quanto maior o número de amostras maior a representatividade deste fenômeno, uma vez que a distribuição de freqüência tende a ser normal e não lognormal, e todas as amostras estão mais próximas da média. Por isso, nestes tempos de agricultura globalizada, é preciso ter em mente que uma amostragem suficientemente eficiente para detectar a estacionariedade de um determinado atributo é aquela que concilia número ideal de amostras e redução de custos.

O número ideal de amostras para se detectar a variabilidade espacial de determinado fenômeno pode ser determinado utilizando-se os valores de alcance fornecidos pelo semivariograma. No entanto é preciso ter em mente, que o valor fornecido pelo alcance é apenas um valor indicativo, e vale a pena destacar a importância da interação entre o técnico responsável pelas amostragens e sua experiência, detectando então manchas de solos que mereçam tratamento diferenciado (amostragem com maior número de amostras ou em grade específica) visando assim à prática de uma agricultura moderna.

A amostragem do solo de acordo com WEBSTER & OLIVER (1990) é responsável por detectar a continuidade espacial de um atributo, e se ela não for bem feita mesmo com a continuidade existindo poderá ser insuficiente para detectar esta variação. Dando continuidade a preposição anterior, é possível verificar que para o presente estudo, as diferentes formas de amostragens com suas distintas repetições, foram suficientes para determinar a continuidade entre amostras. Percebe-se também que a continuidade expressa pelos semivariogramas (Figura 28) e pelos mapas de variabilidade espacial (Figura 30) demonstram como os diferentes atributos estão se comportando na área de estudo. Porém é preciso ter em mente a estacionariedade da média e da variância são estritamente dependentes do número de amostras.

Para o presente estudo a média e a variância (Tabela 4) apresentam tendência estacionária, este fato é justificado, considerando que as diferentes formas de amostragens foram suficientes para se detectar a variabilidade espacial da maior parte dos atributos, excetuando-se U-B, onde a variabilidade não foi detectada e os dados apresentaram efeito pepita puro. Porém deve-se ter em mente que quanto maior o número de amostras maior a contribuição para a estabilização da população e consequentemente, é possível averiguar características intrínsecas da função contínua que representa um determinado fenômeno. Desta maneira a estacionariedade dos dados pode ser comprovada para os dados em estudo, ficando extremamente depende da forma

de amostragem, tais como: número de amostras, volume da amostra, localização na área de estudo (amostras regionalizadas ou não) e da ferramenta de medida.

4.1.2 Análise da variabilidade espacial de atributos físicos do solo

A Tabela 6 apresenta os principais parâmetros estatísticos para os atributos analisados: densidade (Ds-Anel, D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}), porosidade (PT, PT-2,65, PT-2,84, Macro e Micro) e umidade do solo (U-Anel, U-A, U-B, U-C, U-M, U-906, U-TDR09 e U-TDR11) envolvidos neste estudo.

Tabela 6 - Parâmetros estatísticos para os atributos físicos do solo analisados por métodos diversos.

Atributo	Média	Variância	DP	CV	Mín.	Max.	Assimetria	Curtose	D
Ds-Anel	1,128	0,006	0,08	7,13	0,857	1,362	0,070	0,333	0,04**n
D_{s3}	1,627	0,013	0,36	22,70	1,000	3,000	1,000	1,000	0,14*Ln
D_{s5}	1,369	0,023	0,15	11,18	1,023	2,000	0,532	1,000	0,05**Ln
D_{s7}	1,394	0,028	0,16	12,11	1,004	1,980	0,443	0,785	0,06*Ln
PT	59,603	18,291	4,27	7,18	42,37	75,77	-0,186	1,743	0,04**n
PT-2,65	57,411	9,220	3,03	5,29	48,62	67,65	-0,070	0,328	0,04**n
PT-2,84	60,260	8,031	2,83	4,70	52,06	69,81	-0,070	0,327	0,04**n
Macro	19,606	21,203	4,60	23,49	10,40	34,94	0,294	0,034	0,04**n
Micro	40,080	16,086	4,01	10,00	23,46	56,05	0,015	3,681	0,09*Ln
U-Anel	41,505	26,970	5,19	12,51	27,59	60,52	0,256	0,700	0,03**n
U-A	32,655	35,169	5,93	18,16	15,95	68,04	1,945	7,007	0,16*Ln
U-B	31,636	60,540	87,78	24,59	13,74	68,27	1,174	3,222	0,14*Ln
U-C	31,744	53,192	7,29	22,97	8,00	62,84	0,849	4,617	0,17*Ln
U-M	31,708	18,203	4,26	13,46	21,94	51,14	0,898	2,178	0,09*Ln
U-906	31,898	39,659	6,29	17,25	91,65	64,5	1,243	4,010	0,13*Ln
U-TDR09	12,102	4,557	2,13	17,64	7,00	21,00	0,479	0,845	0,13*Ln
U-TDR11	11,459	5,713	17,64	20,86	7,00	20,00	0,903	1,276	0,15*Ln

DP: Desvio padrão; **CV**: Coeficiente de variação; **Min**.: Valor mínimo; **Max**: Valor máximo; **D**: Desvio máximo em relação à distribuição normal; **n**: Dados que apresentam distribuição normal; **Ln**: Dados que apresentam distribuição Lognormal; ***** Probabilidade de erro de 1 % pelo teste de Kolmogorov-Smirnov; ****** Probabilidade de erro de 5 % pelo teste de Kolmogorov-Smirnov; **Ds-Anel**: Densidade pelo método do anel (kg dm^{-3}); **D_{s3}**: Densidade com torrão de 3 cm (kg dm^{-3}); **D_{s5}**: Densidade com torrão de 5 cm (kg dm^{-3}); **D_{s7}**: Densidade com torrão de 7 cm (kg dm^{-3}); **PT**: Porosidade total pelo método do anel (%); **PT-2,65**: Porosidade total estimada pela densidade de partículas de 2,65 kg dm^{-3}; **PT-2,84**: Porosidade total estimada pela densidade de partículas de 2,84 kg dm^{-3}; **Macro**: Macroporosidade (%); **Micro**: Microporosidade (%); **U-Anel**: Umidade pelo anel volumétrico (%); **U-A**: Umidade gravimétrica da amostra A (%); **U-B**: Umidade gravimétrica da amostra B (%); **U-C**: Umidade gravimétrica da amostra C (%); **U-M**: Umidade gravimétrica média das amostras A, B e C (%); **U-906**: Umidade gravimétrica das 906 amostras (%); **U-TDR09**: Umidade volumétrica com TDR no dia 09/05/2005 (%); **U-TDR11**: Umidade volumétrica com TDR no dia 11/05/2005 (%).

De acordo com a classificação proposta por GOMES (1976) o coeficiente de variação é dito como baixo (< 10 %), médio (10 – 20 %), alto (20 – 30 %) e muito alto (> 30 %). Para LANDIM (1998) e ZIMBACK (2001), o coeficiente de variação fornece

uma medida relativa da precisão do experimento. A densidade do solo para o torrão de 3 cm possui um coeficiente de variação alto (22,70 %). BLAKE (1965) descreve que este fato ocorre devido à desconsideração dos espaços entre agregados, ou seja, quanto maior o torrão maior a quantidade de espaço entre os agregados. Consequentemente, quanto maior o volume da amostra mais representativa ela é.

Em geral a densidade do solo apresentou valores de coeficiente de variação próximos ao relatados em outros trabalhos (IMHOFF, S. et al., 2000; MORAES et al., 1993; SILVA et al., 1997). NIELSEN et al. (1973) que constataram coeficientes de variação de até 10 % para a densidade do solo. Para o experimento em questão os valores de coeficiente de variação para densidade obtida pelo método do anel correspondem aos valores encontrados por NIELSEN et al. (1973). No entanto para o método do torrão o coeficiente de variação diminui com o aumento do volume do torrão, devido a maior representatividade da classe de tamanho do torrão.

A porosidade total e a porosidade total calculada pela densidade de partículas de 2,65 kg dm^{-3} e de 2,84 kg dm^{-3} apresentam coeficiente de variação baixo (7,18 %, 5,29 % e 4,70 %, respectivamente), percebe-se neste caso que a porosidade total estimada (PT), mesmo sendo determinada em laboratório apresentou coeficiente de variação mais elevado do que a porosidade total calculada através de outros parâmetros do solo. A umidade do solo pelos diferentes métodos apresenta coeficiente de variação médio tendendo a alto para alguns casos, no entanto isto se dá pelo fato de que o teor de umidade no solo ser bastante variável.

As FIGURAS 36, 37, 38 e 39 apresentam os histogramas de distribuição de freqüência de todos os atributos analisados.

WEBSTER (2001), ressalta que um valor de assimetria até 0,5 é um indicativo que um determinado atributo apresente distribuição normal sendo dispensada a transformação logarítmica para normalização dos dados; valores entre 0,5 e 1,00 necessitam de análise através de seus quadrados-mínimos para averiguar tendência de uma distribuição lognormal e valores de assimetria maiores que 1,00 necessitam de transformação logarítmica para apresentarem distribuição normal.

É possível verificar na Tabela 6 que apenas Ds-Anel, PT, PT-2,26 e PT-2,84 e Macro apresentam distribuição normal de freqüência. Fato que é visualizado nas Figuras 36, 37, 38 e 39.

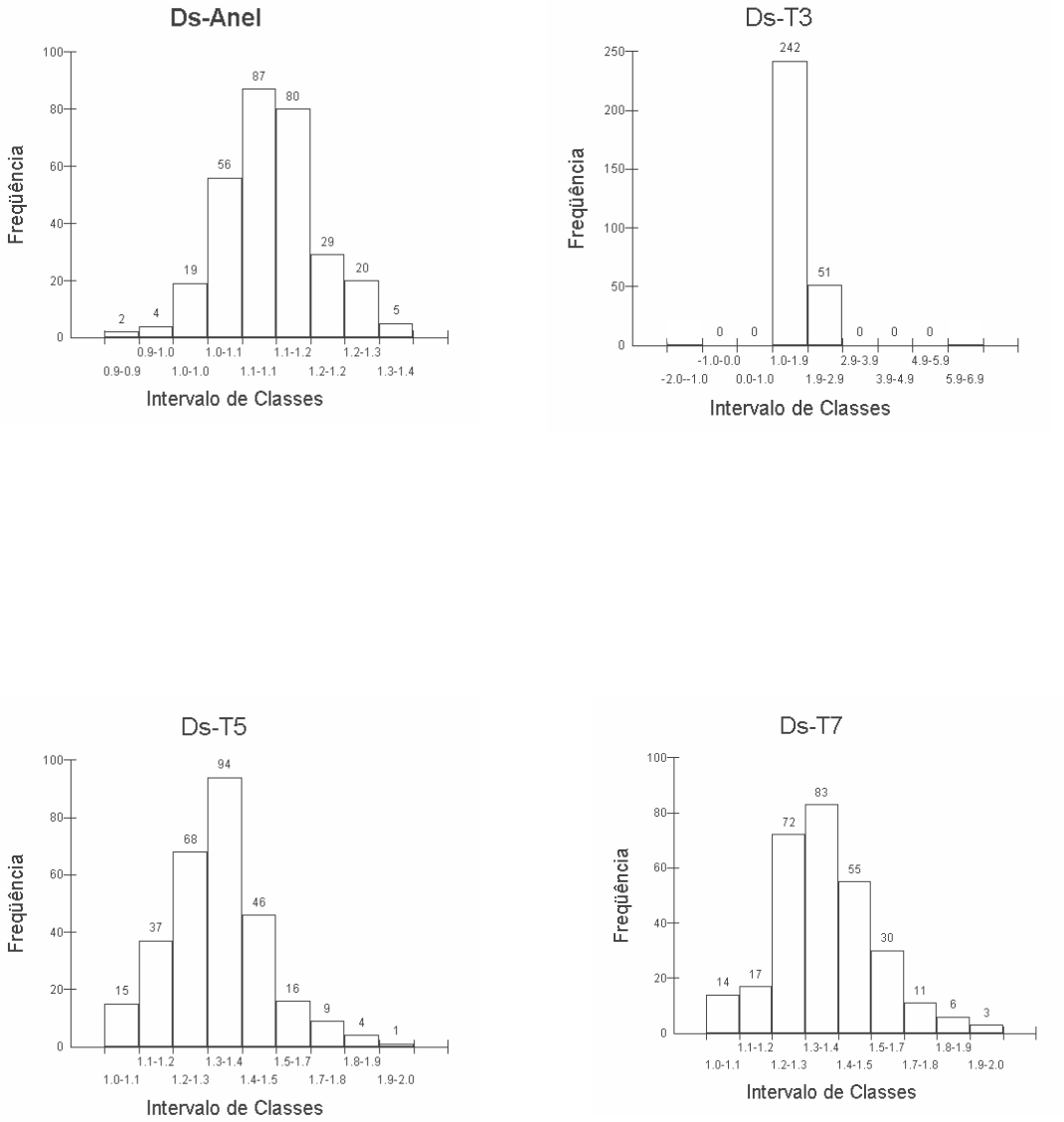

Figura 36 – Histograma de distribuição de freqüência para Ds–Anel: densidade pelo método do anel; D_{s3}: densidade com torrão de 3cm; D_{s5}: densidade com torrão de 5cm e D_{s7}: Densidade com torrão de 7cm.

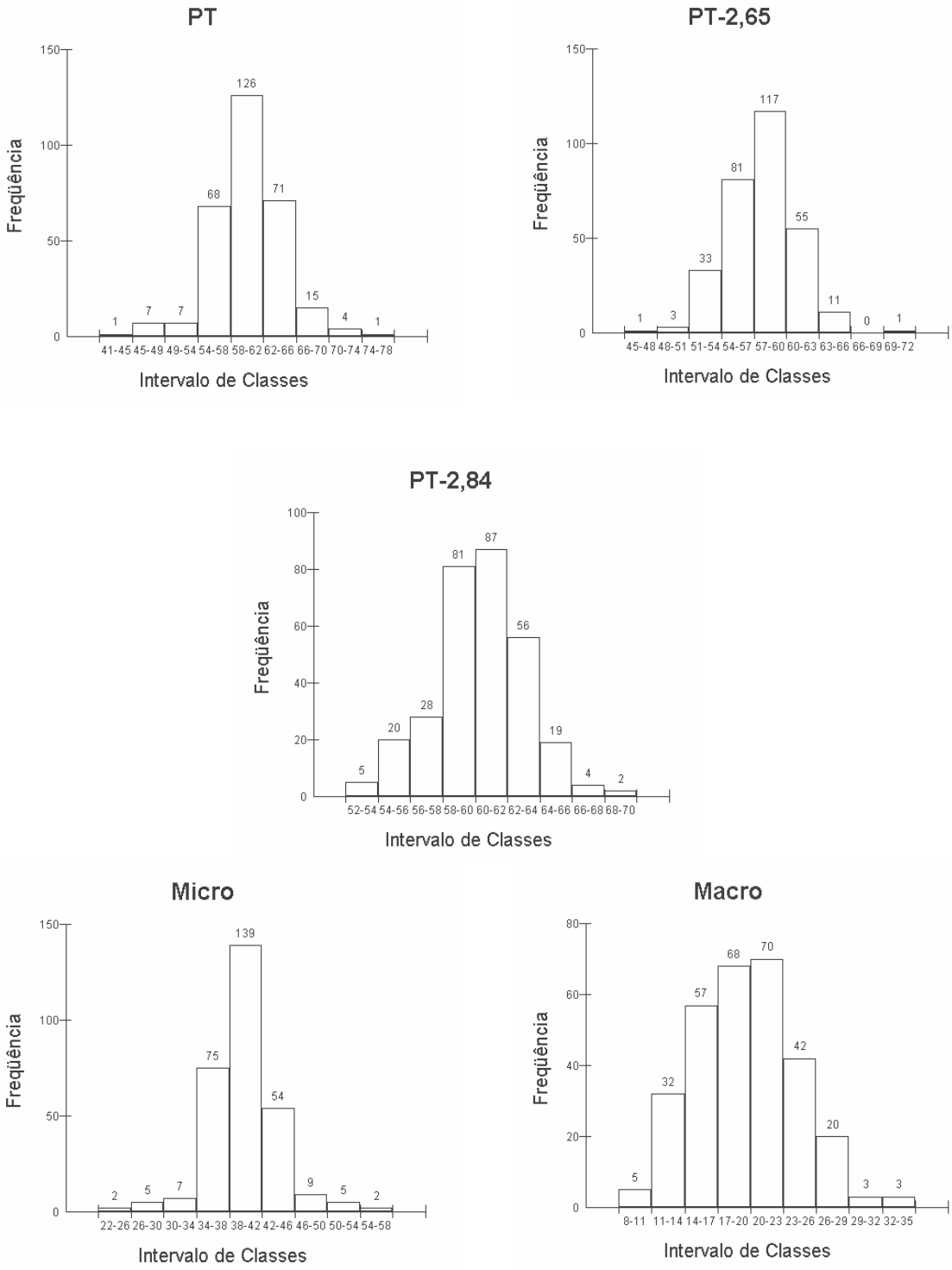

Figura 37 – Histograma de distribuição de freqüência para PT: porosidade total; PT-2,65: porosidade total estimada com densidade de partículas de 2,65 kg dm^{-3}; PT-2,84: porosidade total estimada com densidade de partículas de 2,84 kg dm^{-3}; Micro: microporosidade e Macro: macroporosidade do solo.

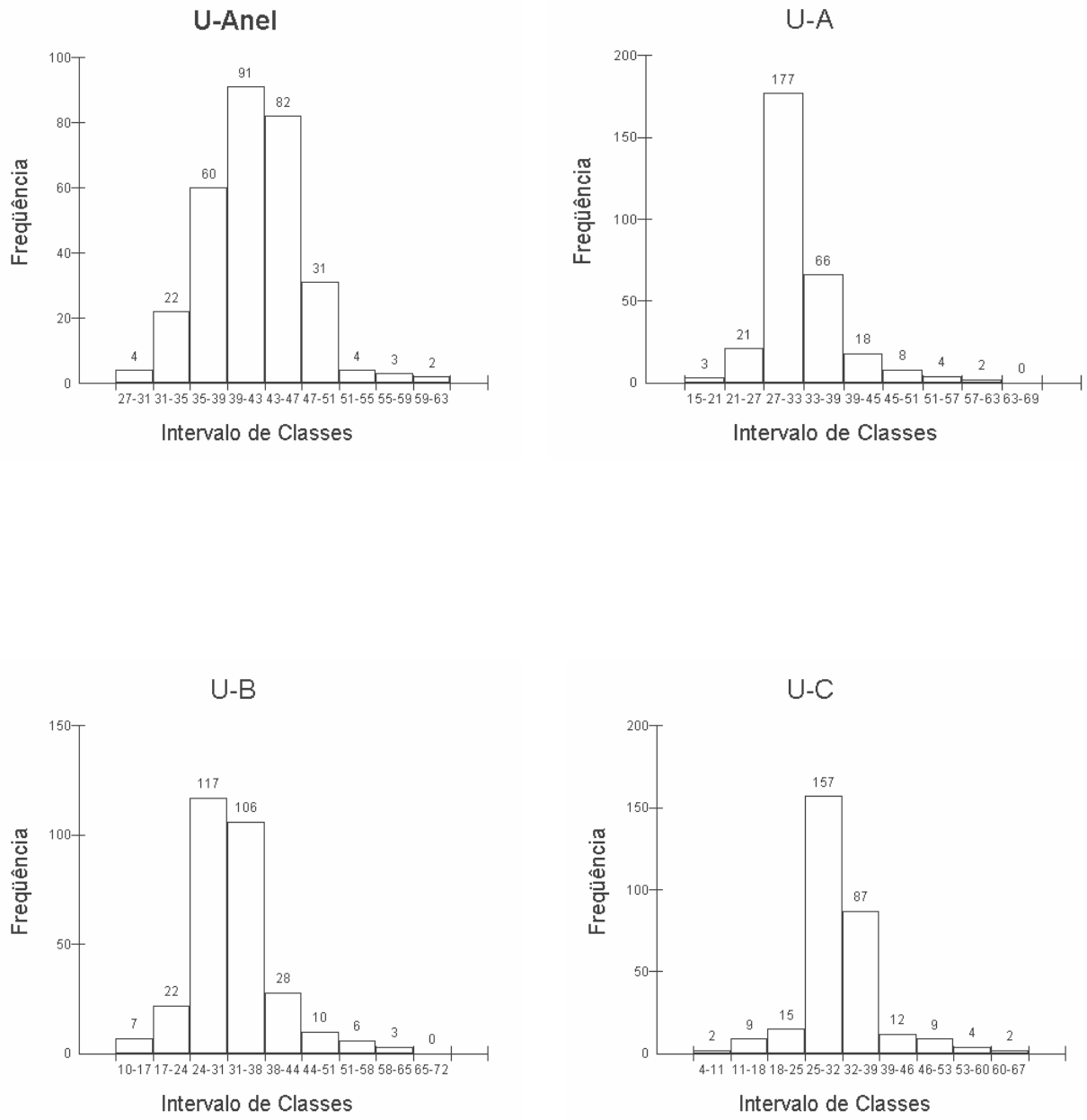

Figura 38 – Histograma de distribuição de freqüência para U-Anel: umidade volumétrica; U-A: umidade gravimétrica no ponto A; U–B: umidade gravimétrica no ponto B e U-C: umidade gravimétrica no ponto C.

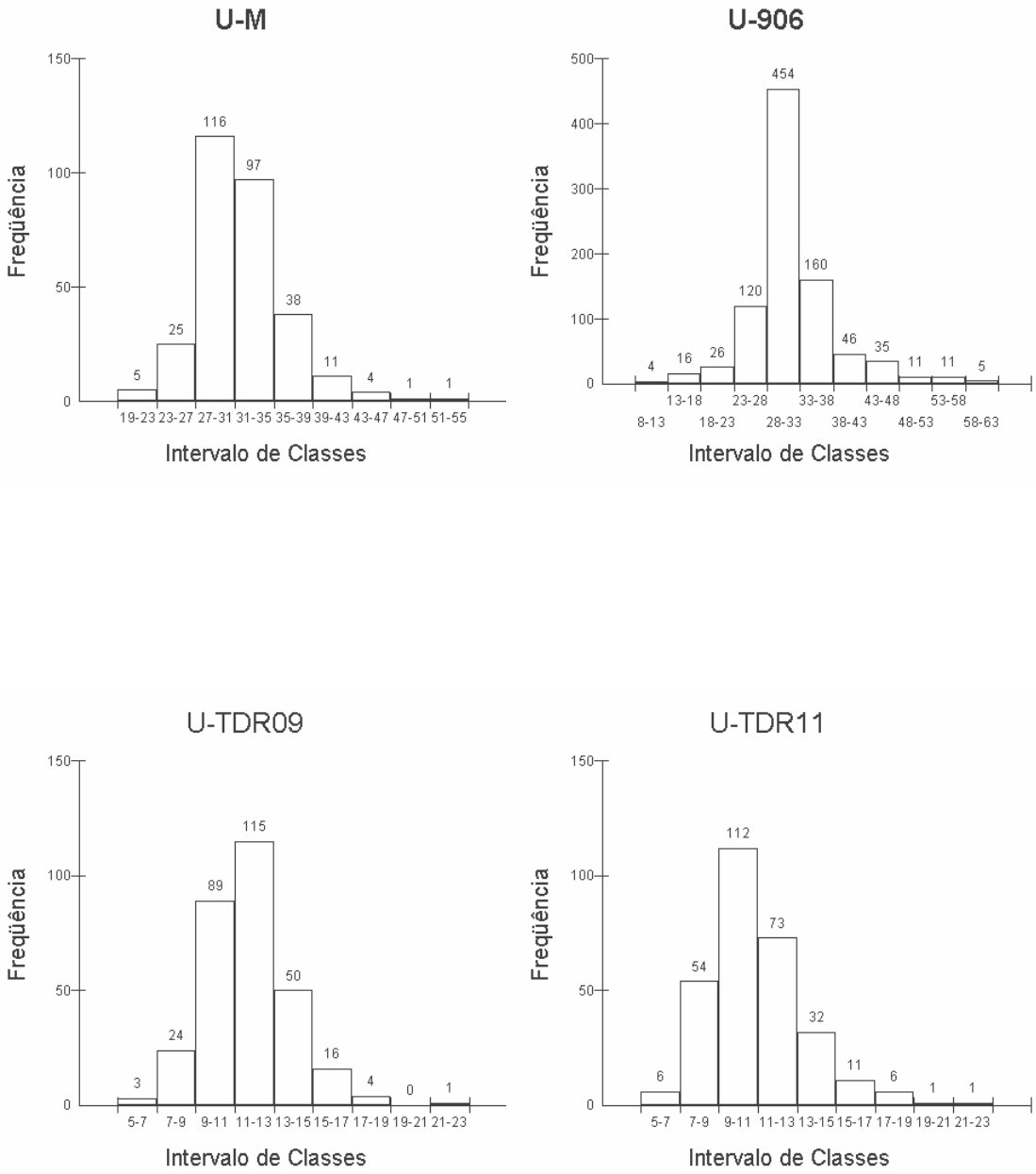

Figura 39 – Histograma de distribuição de freqüência para U-M: umidade gravimétrica média dos pontos A, B e C; U-906: umidade gravimétrica nos 906 pontos de amostragem; U–TDR09: umidade volumétrica no dia 09/05/2005 e U–TDR11: umidade volumétrica no dia 11/05/2005.

A Tabela 7 apresenta os parâmetros utilizados para a realização do ajuste do semivariograma de acordo com o modelo que mais se adequou para aos atributos físicos analisados.

Tabela 7 – Parâmetros de ajuste do semivariograma para a densidade (Ds-Anel, D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}), porosidade (PT, PT-2,65 e PT-2,84) e umidade do solo (U-Anel, U-A, U-B, U-C, U-M, U-906, U-TDR09 e U-TDR11).

Atributo	Modelo	C_0	C_1	a	R^2	SQDP	GD
Ds-Anel	Esférico	0,005	0,001	65,00	0,476	$4x10^{-6}$	21,93
D_{s3}	Esférico	0,166	0,028	50,00	0,259	$3x10^{-5}$	26,93
D_{s5}	Esférico	0,019	0,004	65,00	0,251	$1x10^{-6}$	20,50
D_{s7}	Esférico	0,024	0,003	46,00	0,286	$9x10^{-7}$	15,78
PT	Esférico	13,580	3,920	85,00	0,661	0,463	22,4
PT-2,65	Esférico	8,000	1,430	60,00	0,242	0,219	15,16
PT-2,84	Esférico	6,600	1,550	37,00	0,172	0,178	19,01
Micro	Esférico	9,600	3,800	55,00	0,165	0,495	28,35
Macro	Esférico	18,700	3,600	65,00	0,900	36,100	16,14
U-Anel	Esférico	12,500	4,400	56,00	0,539	0,406	26,03
U-A	Esférico	27,000	11,200	48,00	0,334	3,881	29,31
U-B	*	*	*	*	*	*	*
U-C	Esférico	44,000	13,000	46,00	0,266	8,433	22,80
U-M	Esférico	12,800	6,200	42,00	0,160	1,053	32,63
U-906	Esférico	30,000	16,800	23,00	0,909	0,771	35,89
U-TDR09	Esférico	2,400	1,930	28,00	0,487	0,027	44,57
U-TDR11	Esférico	3,400	2,000	35,00	0,459	0,049	37,03

C_0: Efeito pepita; **C_1**: Variância estrutural; **a**: Alcance; **R^2**: Coeficiente de correlação; **SQDP**: Soma de quadrados de desvios ponderados; **GD**: Grau de dependência (%); ***** Efeito pepita puro, não permitindo ajuste; **Ds-Anel**: Densidade pelo método do anel (kg dm^{-3}); **D_{s3}**: Densidade com torrão de 3 cm (kg dm^{-3}); **D_{s5}**: Densidade com torrão de 5 cm (kg dm^{-3}); **D_{s7}**: Densidade com torrão de 7 cm (kg dm^{-3}); **PT**: Porosidade total pelo método do anel (%); **PT-2,65**: Porosidade total estimada pela densidade de partículas de 2,65 kg dm^{-3}; **PT-2,84**: Porosidade total estimada pela densidade de partículas de 2,84 kg dm^{-3}; **Macro**: Macroporosidade (%); **Micro**: Microporosidade (%); **U-Anel**: Umidade pelo anel volumétrico (%); **U-A**: Umidade gravimétrica da amostra A (%); **U-B**: Umidade gravimétrica da amostra B (%); **U-C**: Umidade gravimétrica da amostra C (%); **U-M**: Umidade gravimétrica média das amostras A, B e C (%); **U-906**: Umidade gravimétrica das 906 amostras (%); **U-TDR09**: Umidade volumétrica com TDR no dia 09/05/2005 (%); **U-TDR11**: Umidade volumétrica com TDR no dia 11/05/2005 (%).

Todos os atributos analisados se ajustaram ao modelo esférico (ESF), concordando com vários outros resultados que indicam que este modelo é o que mais se ajusta aos atributos do solo (TRANGMAR et al.; 1985; SOUZA et al., 1997; SALVIANO et al., 1998; BERTOLANI & VIEIRA, 2001; SOUZA et al., 2004).

De acordo com ZIMBACK (2001), o grau de dependência entre as amostras pode ser estimado através da seguinte expressão:

$$GD = \frac{C1}{(C0 + C1)} 100 \qquad (17)$$

GD = Grau de dependência entre as amostras; C_1 = Variância estrutural; C_0 = Efeito pepita.

Ainda de acordo com ZIMBACK (2001), o grau de dependência entre as amostras pode ser classificado conforme Tabela 7. O grau de dependência espacial descreve a aleatória entre as amostras envolvidas no estudo, e que é visualizado no semivariograma como aleatoriedade baixa (0,0 - 25,00 %), média (25,00 - 75,00 %) ou alta (75,00 - 100,00 %).

A dependência espacial é média para U-TDR09 (44,57 %), U-TDR11 (37,03 %), U-906 (35,89 %), U-M (32,63 %) U-A (29,31 %), Micro (28,35 %), Ds3 (26,93 %) e A-Anel (26,03 %). Para os demais atributos analisados a dependência espacial entre as amostras é baixa, este fato se justifica uma vez que o grau de dependência é descrito pela relação entre o efeito pepita (C_0) e o patamar (C_0+C_1). Como ambos os parâmetros assumem valores baixos, logo o grau de dependência (GD) também será baixo, indicando pouca aleatoriedade entre as amostras.

É possível ainda fazer uma analogia entre os valores obtidos através da análise descritiva dos atributos analisados e dos parâmetros de ajusto do semivariograma conforme demonstra a Tabela 8.

Tabela 8 – Relação entre variância, coeficiente de variação (CV) e efeito pepita (C_0) para a densidade (Ds-Anel, D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}), porosidade (PT, PT-2,65 e PT-2,84) e umidade do solo (U-Anel, U-A, U-C, U-M, U-906, U-TDR09 e U-TDR11).

Atributo	Variância	CV	C_0
Ds-Anel	0,006	7,13	0,005
D_{s3}	0,013	22,70	0,166
D_{s5}	0,023	11,18	0,019
D_{s7}	0,028	12,11	0,024
PT	18,291	7,18	13,580
PT-2,65	9,220	5,29	8,000
PT-2,84	8,031	4,70	6,600
Macro	21,203	23,49	9,600
Micro	16,086	10,00	18,700
U-Anel	26,970	12,51	12,500
U-A	35,169	18,16	27,000
U-C	53,192	22,97	44,000
U-M	18,203	13,46	12,800
U-906	39,659	17,25	30,000
U-TDR09	4,557	17,64	2,400
U-TDR11	5,713	20,86	3,400

CV: Coeficiente de variação (%); **C_0**: Efeito pepita.

Verifica-se na Tabela 8 que os atributos que apresentam valores de variância e coeficiente de variação (CV) elevados por conseqüência também apresentam valores de efeito pepita (C_0) elevados. Desta maneira é possível prever através da estatística descritiva parâmetros que apresentaram valores de variabilidade não detectada pelo esquema de amostragem, indicando maior descontinuidade entre amostras.

A Figura 40 apresenta a relação entre o coeficiente de variação e o efeito pepita, demonstrando que a relação entre os dois parâmetros é crescente, ou seja, a medida que o coeficiente de variação aumenta o efeito pepita aumenta proporcionalmente.

Os valores de coeficiente de variação indicam a precisão do experimento conforme demonstrado por ZIMBACK (2001) e LANDIM (1998). No entanto valores elevados de efeito pepita indicam uma maior descontinuidade entre as amostras (CARVALHO et al., 2001), ou seja, variabilidade não detectada durante o processo de amostragem. O efeito pepita (C_0) também depende do instrumento e metodologia utilizada para medir um atributo, pois, o efeito pepita (C_0) mede a continuidade das amostras em distâncias menores do que o espaçamento amostrado. Assim, este fato deve ser considerado no processo de planejamento para amostragem do solo.

A utilização do coeficiente de variação (CV) e do efeito pepita (C0), favorece a tomada de decisão quanto ao número de amostras e o método de amostragem.

Conforme descrito por BURGESS et al. (1981) e McBRATNEY & WEBSTER (1983), o alcance é uma medida importante para o planejamento e avaliação experimental, uma vez que pode auxiliar na definição do procedimento de amostragem (SOUZA et al., 2004).

As FIGURAS 41 e 42 apresentam respectivamente, os semivariogramas ajustados ao modelo esférico e os mapas de isolinhas para os diferentes métodos de amostragem da densidade do solo (anel volumétrico e torrão parafinado).

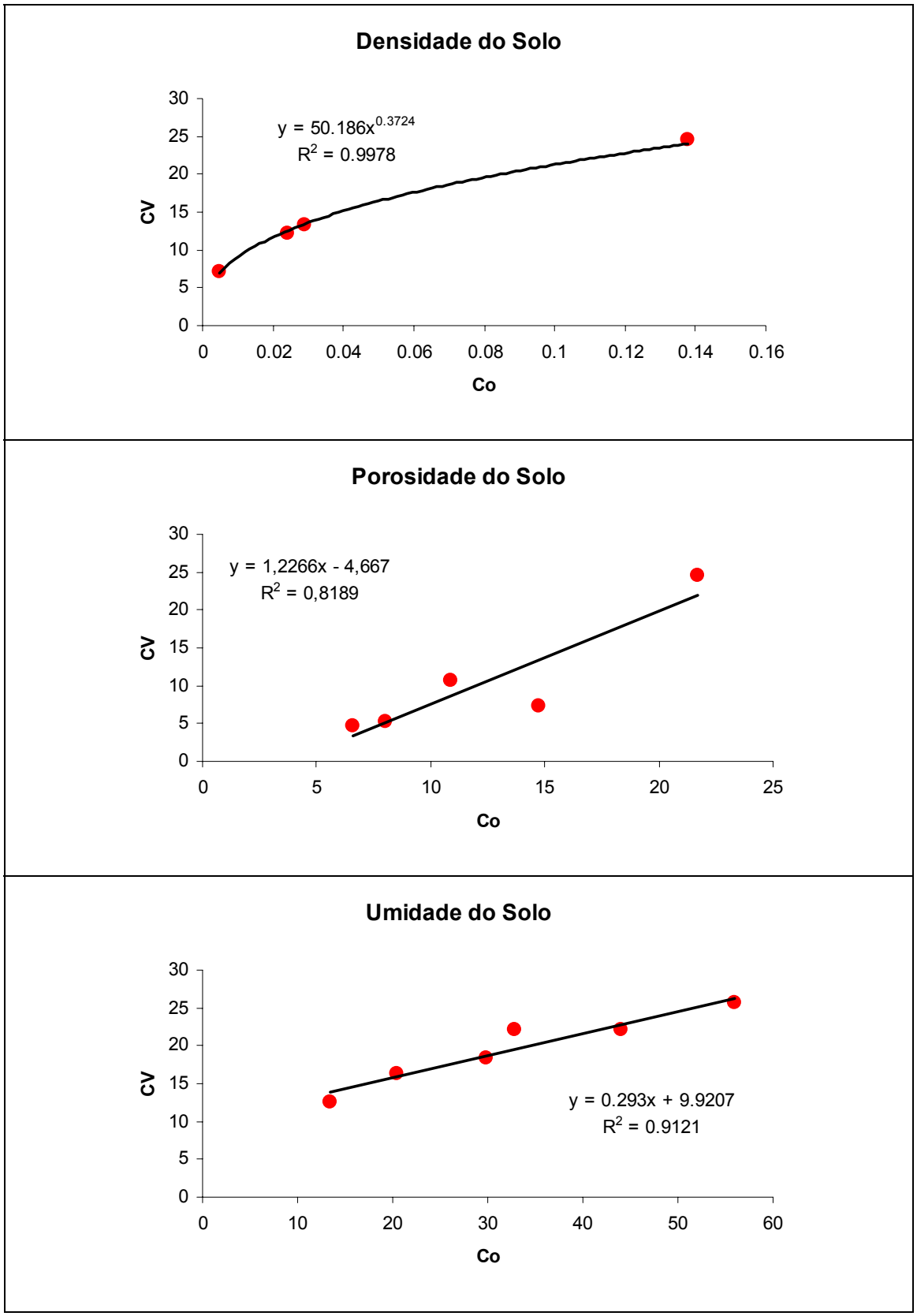

Figura 40 – Relação entre coeficiente de variação (CV) e o efeito pepita (C_0) para densidade (Ds-Anel, D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}), porosidade (PT, PT-2,65, PT-2,84, Macro e Micro) e umidade (U-A, U-B, U-C, U-M, U-906, U-TDR09 e U-TDR11).

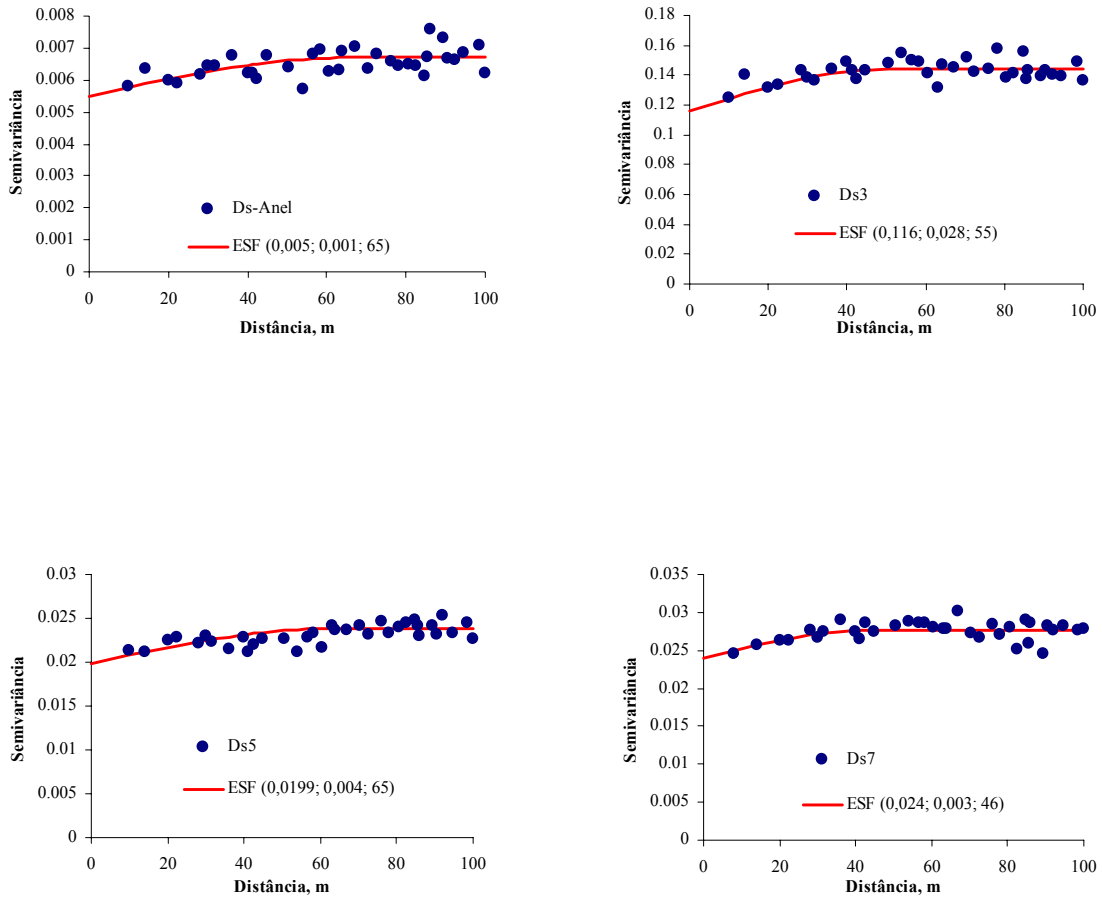

Figura 41 – Semivariograma ajustado ao modelo esférico para a densidade do solo (Ds-Anel: densidade com anel volumétrico (kg dm^{-3}); D_{s3}: densidade do solo com torrão de 3 cm (kg dm^{-3}); D_{s5}: densidade do solo com torrão de 5 cm (kg dm^{-3}); D_{s7}: densidade do solo com torrão de 7 cm (kg dm^{-3})).

O exame dos semivariogramas apresentados na Figura 41 para a densidade do solo indicam que o maior alcance (a) foi descrito em Ds-Anel e D_{s5}, ambos com 65 m. Para o método do torrão há uma grande variação nos valores de alcance entre os diferentes tamanhos de torrões. O alcance demonstra o tamanho médio das manchas de variabilidade do solo. As maiores diferenças entre os valores de alcance (Figura 41) e o tamanho de manchas de variabilidade são observados respectivamente em D_{s7} (46 m), D_{s3} (50 m), D_{s5} (65 m) e Ds-Anel (65 m). Neste caso, D_{s5} e Ds-Anel apresentam o mesmo valor de alcance. Porém, Ds-Anel representa melhor o fenômeno da densidade do solo, pois seus valores de efeito pepita (C_0) e de variância estrutural (C_1) são mais baixos, e o seu valor de dependência espacial é mais alto, indicando maior dependência entre as amostras coletadas através deste método.

CARVALHO et al. (2001), ressalta que quanto maior o efeito pepita maior a descontinuidade entre as amostras. Desta maneira os menores valores de efeito pepita (C_0) para a densidade do solo são encontrados respectivamente para: Ds-Anel (0,005), D_{s5} (0,019), D_{s7} (0,024) e D_{s3} (0,166).

A Tabela 6 demonstra que o menor valor de coeficiente de variação (%) está atribuído para a densidade obtida com anel volumétrico (7,13 %), quando comparado com o método do torrão parafinado. Quanto ao método do torrão parafinado, verifica-se que há uma diminuição nos valores de coeficiente de variação a medida que ocorre um aumento no tamanho do torrão, respectivamente: 22,70 %, 11,18 % e 12,11 %, respectivamente para D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}. Onde D_{s5} também apresenta o melhor valor de coeficiente de variação para o método do torrão parafinado. Analisando os valores de variância, coeficiente de variação e de efeito pepita apresentados na Tabela 8 para os diferentes tamanhos de torrões (D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}), é possível dizer que D_{s5} foi a repetição que melhor representou a densidade do solo através do método do torrão parafinado.

Os valores médios para densidade do solo foram de 1,128 kg dm^{-3}, 1,627 kg dm^{-3}, 1,369 kg dm^{-3} e 1,394 kg dm^{-3}, para Ds-Anel, D_{s3}, D_{s5} e D_{s7}, respectivamente.

De acordo com BRADY (1983), a densidade de solos argilosos pode variar desde 1,00 até 1,60 kg dm^{-3}, dependendo das suas condições. Valores a cima de 1,24 kg dm^{-3} são considerados altos para Latossolo Vermelho eutroférrico de acordo SOUZA et al. (2004). Pode-se observar na Figura 42 que valores a cima de 1,24 kg dm^{-3} são decorrentes da influência das práticas de manejo sobre o solo, uma vez que a área vem sendo cultivada desde 1985 sob o sistema de plantio direto que é caracterizado por uma maior compactação na camada superior do solo do que nas camadas inferiores, conforme constatado por SECCO et al. (1997), TORMENA et al. (1998) e CRUZ et al. (2003). Para o estudo em questão a amostragem pode estar refletindo o manejo do solo no passado (VIEIRA, 1985 e STRECK et al., 2004), o que se deve ao efeito acumulativo do tráfego de máquinas, da ausência de mobilização mecânica do solo e, conforme VOORHEES (1983), da ineficiência das forças naturais (ciclos de secagem e umedecimentos) em reduzir a densidade do solo. A partir destas questões pode-se justificar valores mais elevados da densidade do solo pelo método do torrão, pela seleção direta dos torrões mais resistentes durante as atividades de coleta.

No entanto FOLEGATTI et al. (2001), concluiu que o anel volumétrico do tipo Kopecky influencia diretamente nos resultados com aumento dos valores de densidade tanto em solos arenosos quanto em solos argilosos.

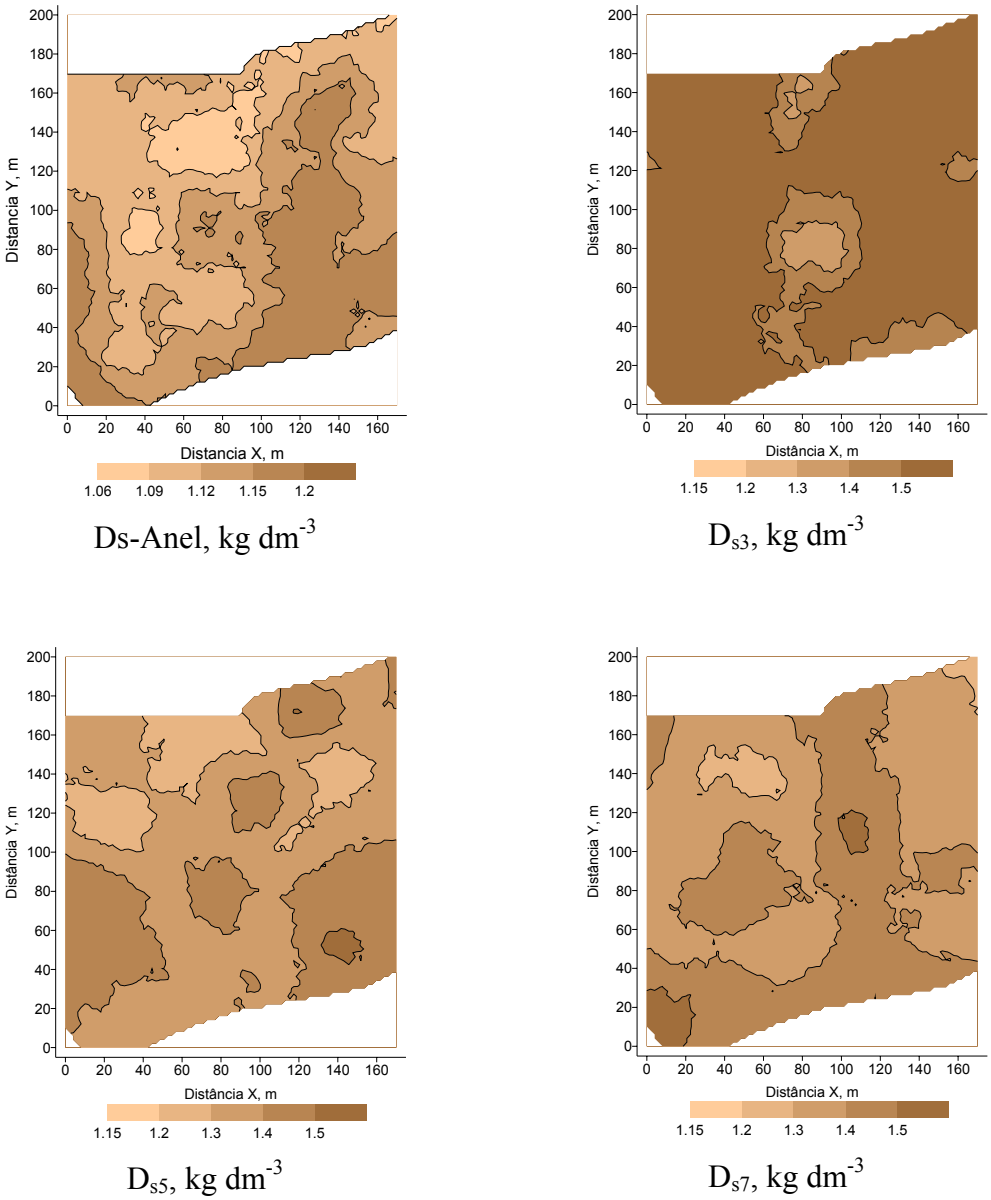

Figura 42 – Mapa de isolinhas para Ds-Anel (densidade do solo com anel volumétrico, kg dm^{-3}), D_{s3} (densidade do solo com torrão de 3 cm, kg dm^{-3}), D_{s5} (Densidade do solo com torrão de 5 cm, kg dm^{-3}) e D_{s7} (Densidade do solo com torrão de 7 cm, kg dm^{-3}).

A densidade do solo obtida pelo método do anel é a que melhor representa este atributo na área de estudo, em função do maior volume de solo utilizado para sua determinação. A densidade com obtida torrões de 3 cm, 5 cm e 7 cm aproximadamente, apresenta valores mais elevados de densidade quando comparado com o método do anel volumétrico, conseqüência do tamanho da amostra não ser representativa para se determinar este atributo. Outros autores que trabalharam com a densidade do solo também encontraram valores mais elevados de densidade do solo para torrões com

tamanho diminuto, conforme descrito por BLAKE (1965), JACCOUD (1971), TISDALL (1951).

REICHARDT (1990), descreve que os anéis mais utilizados possuem volumes entre 50 cm^3 e 500 cm^3 e que quanto maior a amostra, mais representativa ela é. No entanto, a dificuldade de coleta e o tempo de secagem aumentam com o tamanho da amostra. Desta forma os valores de densidade para o método do anel representam melhor a área em função do maior volume de solo amostrado, e o aumento nos valores de densidade para o método do torrão com 3 cm, 5 cm e 7 cm podem ser atribuídos ao volume de solo amostrado, conforme apresentado na Figura 42.

A Figura 43 apresenta os semivariogramas para os dados relativos a porosidade do solo. Neste caso a porosidade total pelo método do anel possui alcance extremamente alto (a = 85 m) e efeito pepita consideravelmente elevado (C_0 = 13,580), quando comparado à porosidade total estimada pela densidade de partículas de 2,65 kg dm^{-3} (a = 60 m e C_0 = 8,0) e pela densidade de partículas de 2,84 kg dm^{-3} (a = 37 e C_0 = 6,6). A porosidade total estimada pela densidade de partículas (2,65 e 2,84 kg dm^{-3}) possui menores valores de descontinuidade entre as amostras, porém o alcance pelo método do anel é maior, o que propicia o aumento do espaçamento entre as amostras sem comprometer a representação do fenômeno. Pois, este método de amostragem foi capaz de determinar as manchas de variabilidade do solo em distâncias maiores do que a porosidade total estimada. Este fato é confirmado pelos valores de grau de dependência para PT (22,4 %), PT-2,65 (15,16 %) e PT-2,84 (19,01 %).

Conseqüentemente, é preciso ter bom senso ao aumentar o espaçamento entre amostras para obtenção da porosidade total, pois é preciso respeitar o alcance da macroporosidade e da microporosidade do solo, que também são obtidas através de análise com anéis volumétricos conforme EMBRAPA (1999).

A porosidade total medida pelo método do anel volumétrico é um método direto para obtenção da porosidade total e, a porosidade total estimada pela densidade de partículas é um método indireto e que necessita dos dados de densidade e de densidade de partículas para sua estimação, assim é preciso tomar cuidado com os resultados encontrados, em função da inserção de erros amostrais na obtenção da densidade e da densidade de partículas do solo.

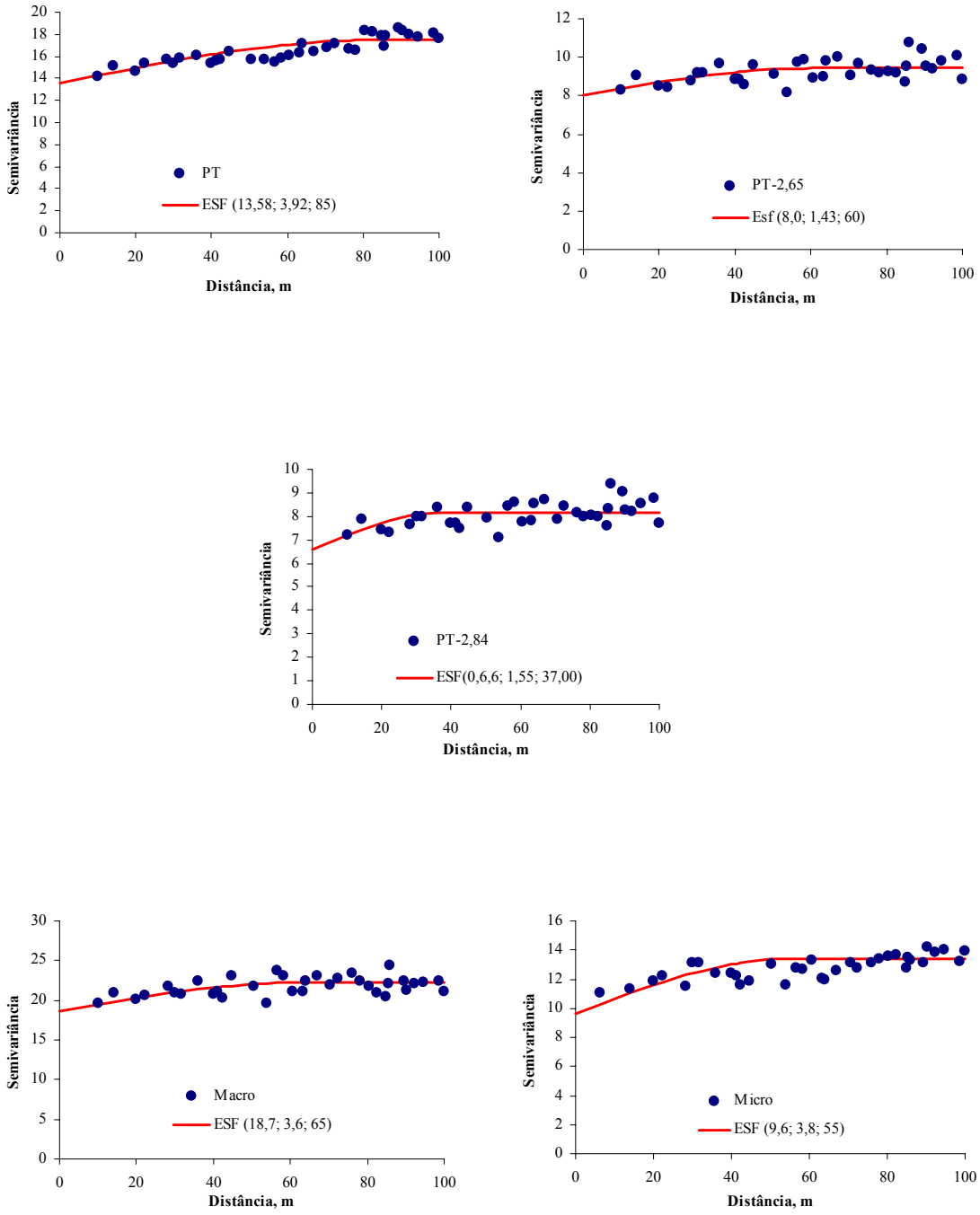

Figura 43 – Semivariogramas ajustados ao modelo esférico para a porosidade do solo (PT: porosidade total (%); PT-2,65: porosidade total estimada pela densidade de partículas 2,65 kg dm^{-3} (%); PT-2,84: porosidade total estimada pela densidade de partículas 2,84 kg dm^{-3} (%); Macro: macroporosidade (%) e Micro: microporosidade (%)).

A literatura comumente utiliza a densidade de partículas de 2,65 kg dm^{-3} para se estimar a porosidade do solo (REICHARDT & TIMM, 2004), considerando que o solo seja mineral e constituído principalmente por quartzo e feldspato. Este estudo, entretanto, determinou em laboratório a densidade de partículas média para a área de estudo encontrando um valor de 2,84 kg dm^{-3}. Este aumento pronunciado na densidade de partículas é devido a grande quantidade de óxido de ferro presente no solo da área, principalmente na forma de magmita (23,49 % da fração argila), conforme demonstrado na Tabela 3. A magmita apresenta densidade de 4,87 kg dm^{-3} (DIXON & WEED, 1989), e considerando que a mesma represente cerca de 25 % da fração argila é de se esperar que os valores de densidade de partículas para a área de estudo sejam elevados.

GRABLE & SIEMER (1968), descrevem como limite crítico de aeração como impeditivo ao crescimento das raízes de culturas anuais cerca de 10% da macroporosidade. Pela Figura 44 pode-se notar que os valores de macroporosidade excedem o valor proposto, mesmo com a densidade do solo relativamente elevada em algumas partes da área, fato também encontrado por TIMLIM et al. (1994) e LAURANI et al. (2004).

O não-revolvimento do solo no plantio direto provoca a compactação e a diminuição do volume de macroporos na camada superficial (STONE & SILVEIRA, 1999; BERTOL et al., 2001). O solo ideal é aquele que contém ⅓ de macroporos (34 %) e ⅔ de microporos (66 %), segundo KIEHL (1979). De acordo com esta proporção pode-se verificar nos mapas de isolinhas para a macroporosidade e a microporosidade que: a macroporosidade assume valores próximos ao ideal em grande parte da área e a microporosidade está abaixo dos valores idéias para grande parte da área.

Comparativamente os mapas de densidade (Figura 42) e porosidade (Figura 44) apresentam diminuição da porosidade do solo em função do aumento da densidade, fato que também foi contatado por outros autores (HILL, 1990; ROTH et al., 1998; KLEIN & LIBARDI, 2002). No entanto, a microporosidade não aumentou com o aumento da densidade do solo. TORMENA et al. (2004), comenta que uma maior coalescência dos agregados em função do aumento da densidade resulta em uma matriz do solo mais densa.

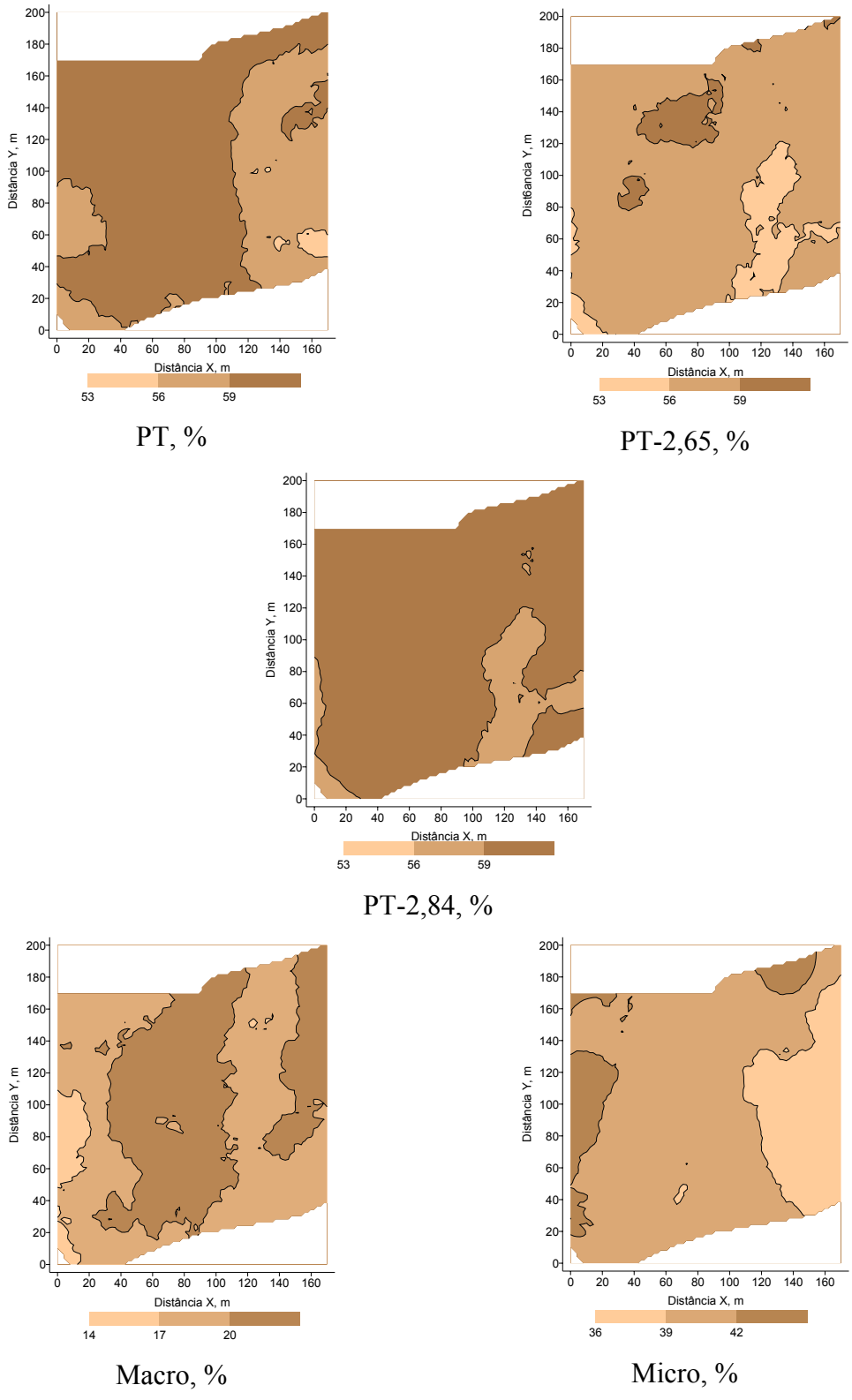

Figura 44 – Mapa de isolinhas para PT (porosidade total, %), PT-2,65 (porosidade total estimada pela densidade de partículas 2,65 kg dm^{-3}, %), PT-2,84 (porosidade total estimada pela densidade de partículas 2,84 kg dm^{-3}, %), Macro: macroporosidade (%) e Micro (microporosidade, %).

Com relação aos dados de umidade do solo, através da análise da variância, do coeficiente de variação e do efeito pepita é possível averiguar que o alcance de 76 m encontrado para umidade pelo método do anel volumétrico (Figura 45, semivariogramas para parâmetros relacionados à umidade do solo) é suficiente para representar a área, detectando as manchas de variabilidade espacial para este atributo.

No entanto, a umidade obtida com TDR nos dias 09/05/2005 e 11/05/2005 apresentam valores de coeficiente de variação e variância consideravelmente baixos, podendo-se então também utilizar os seus valores de alcance para representar a área (28 m e 35 m). O TDR permite leituras automatizadas em tempo real e sendo um equipamento de fácil manuseio, porém seu custo é alto e há necessidade de calibração para cada tipo de solo (CICHOTA et al., 2004).

A quantidade de água retida no solo depende, primeiramente, da distribuição do tamanho dos poros, sendo afetada pelas características do solo, e principalmente pela densidade do solo, como observado por (RAWLS et al., 1991).

Pode-se verificar na Figura 44 que o sistema de plantio direto praticado na área de estudo promoveu alterações na fração de poros relacionada com a retenção de água (microporos). Fato que pode ser justificado pelo incremento de resíduos vegetais em superfície, que contribuem para uma melhor estruturação do solo. Contribuindo para o aumento da macroporosidade, conforme descrito por QUEMADA & CABRERA (2002) e VIEIRA (2004).

Na Figura 46 percebe-se que o comportamento da umidade (%) coletada com anel volumétrico difere-se do comportamento da umidade gravimétrica (%). A coleta de amostras com anel ocorreu no dia 10/01/2005 após um longo período de chuvas, com cerca de 28 mm precipitados nos quatro dias anteriores a amostragem. Para a amostragem gravimétrica da umidade do solo (U-A, U-B e U-C) o volume precipitado nos quatro dias anteriores é de cerca de 31 mm, conforme demonstrado na Figura 14.

Percebe-se que em U-Anel o solo está mais úmido (Figura 46) quando comparado com as demais amostragens de umidade (U-A, U-B, U-C, U-M, U-906, U-TDR09 e U-TDR11) (Figura 46 e 47). Paralelamente, o coeficiente de variação (CV) para U-Anel é o mais baixo entre os atributos relacionados com a umidade do solo. Comparando os valores de ajuste do semivariograma entre a primeira amostragem (U-Anel) e a segunda amostragem (U-A, U-C, U-M e U-906), é possível dizer que em U-Anel os parâmetros assumem valores mais baixos. Entretanto, o seu grau de dependência (GD) é o mais baixo entre estas duas amostragens, indicando pouca

dependência espacial entre as amostras. Contudo é preciso considerar os valores de coeficiente de variação de e de efeito pepita. Desta maneira, U-Anel apresenta o menor valor de coeficiente de variação entre as duas primeiras amostragens. O seu valor de efeito pepita (C_0), também indica pouca descontinuidade entre as amostras quando comparado com as demais amostragens.

Dentre as diferentes repetições de umidade realizadas no dia 01/02/2005, a que melhor deveria representar a área é U-906, uma vez que quanto maior o número de amostras mais próximas da média elas estão. No entanto este fato não ocorre, uma vez que U-M apresenta os melhores valores de coeficiente de variação e de efeito pepita para a umidade coletada no dia 01/02/2005. Desta maneira como o semivariograma e mapa de isolinhas foram gerados para todas as repetições (U-A, U-B e U-C), é possível dizer que U-M é a imagem que melhor representa o fenômeno da umidade do solo para esta data de amostragem.

Pode-se verificar também que nas amostragens iniciais (10/01/2005 e 01/02/2005) os valores de grau de dependência (GD) (Tabela 9) são menores que na terceira e quarta amostragem (U-TDR09 e U-TDR11, respectivamente) realizadas em 09/05/2005 e 11/05/2005. Desta maneira há uma maior dependência entre as amostras para estas duas amostragens. Este fato pode ser justificado pela menor quantidade de água no solo, expresso no valor médio de umidade encontrado para a área nas duas datas, conforme demonstrado na Tabela 6 e nos mapas de variabilidade espacial (Figura 47).

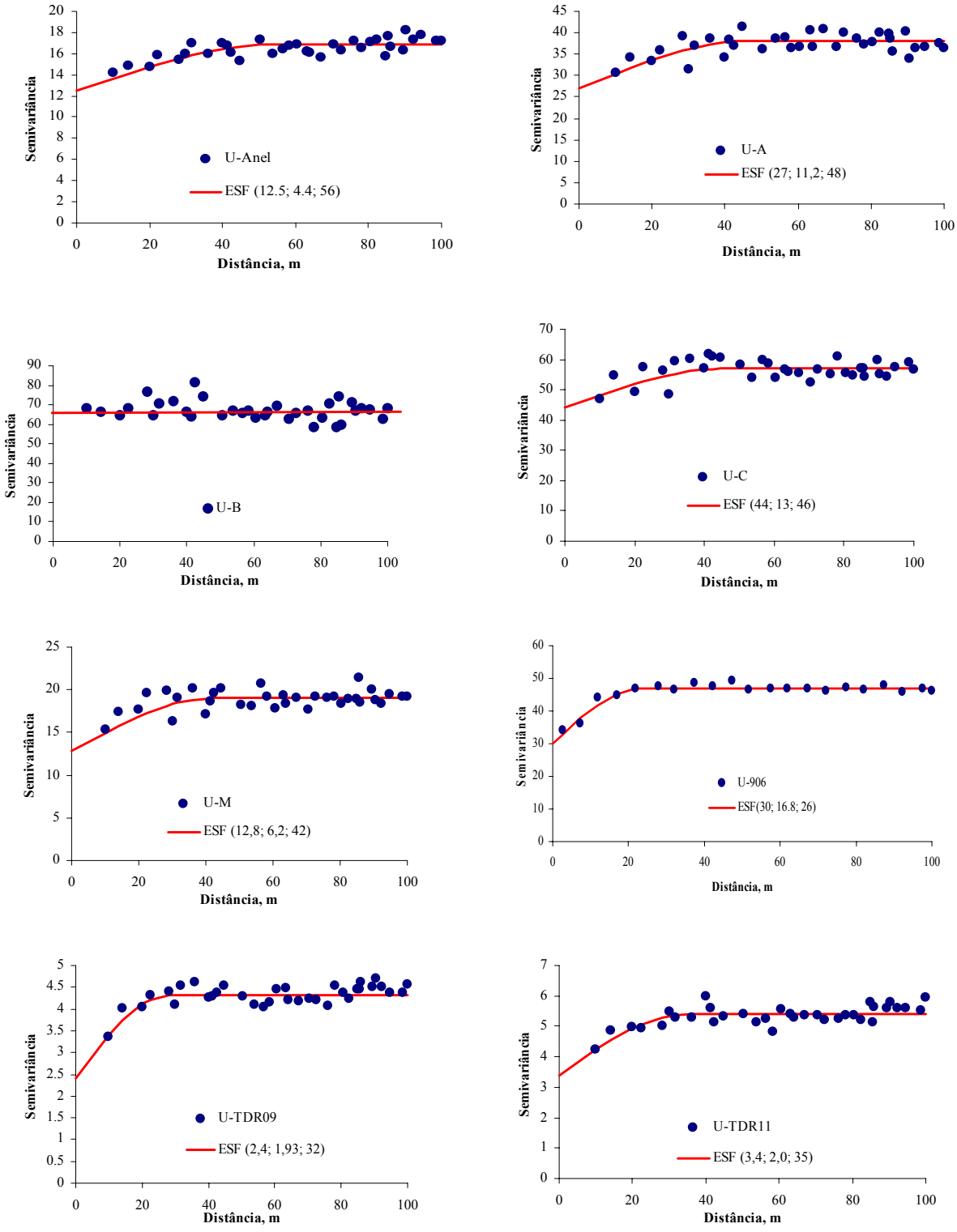

Figura 45 – Semivariograma ajustados ao modelo esférico para a umidade do solo (U-Anel: umidade volumétrica (%); U-A: umidade gravimétrica no ponto A (%); U-B: umidade gravimétrica no ponto B (%); U-C: umidade gravimétrica no ponto C (%); U-M: umidade gravimétrica média dos pontos A, B e C (%); U-906: umidade gravimétrica nos 906 pontos de amostragem (%); U-TDR09: umidade volumétrica com TDR no dia 09/05/2005 (%); U-TDR11: umidade volumétrica com TDR no dia 11/05/2005, (%)).

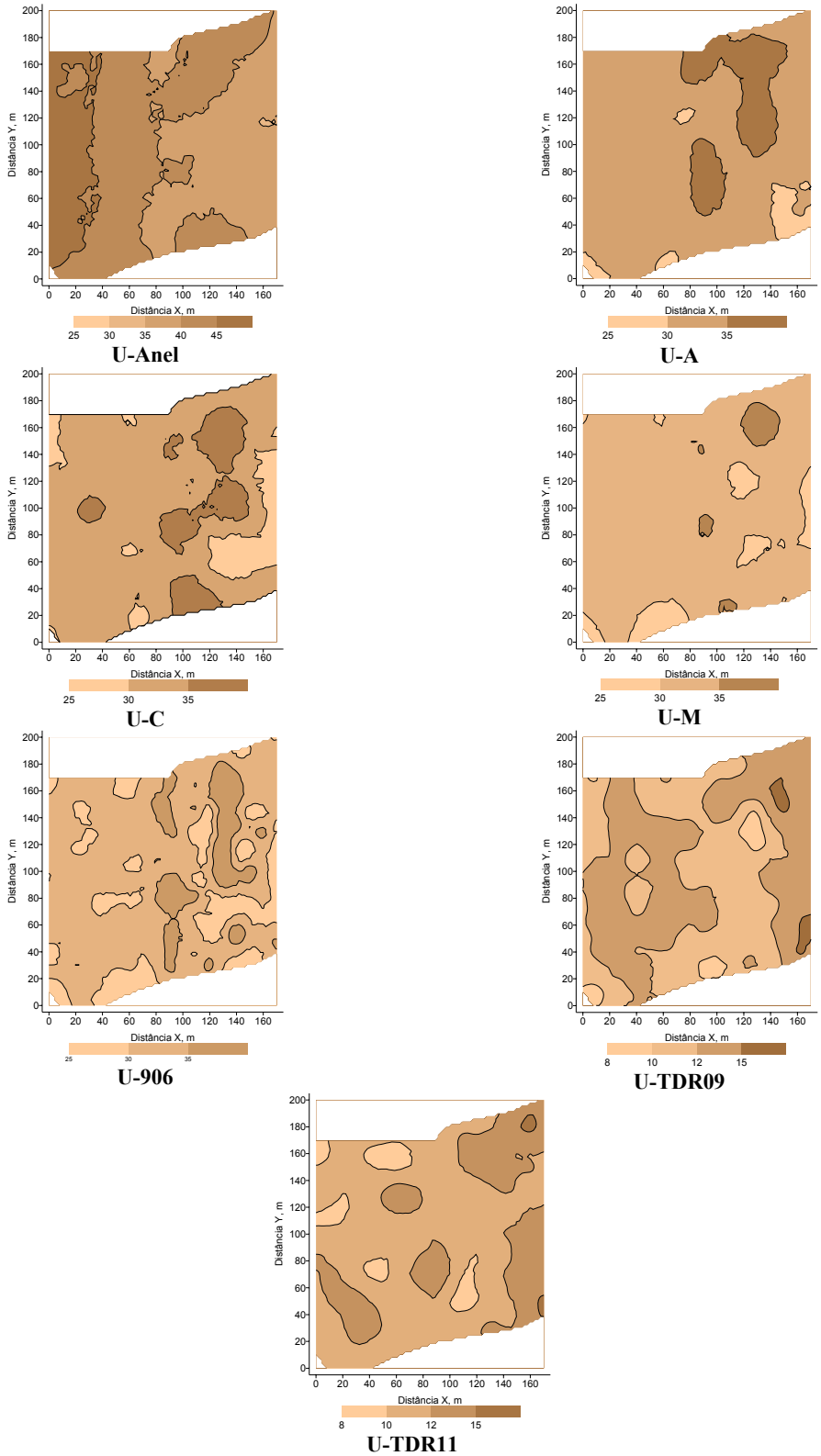

Figura 46 – Mapa de isolinhas para U-Anel (umidade volumétrica, %), U-A (umidade gravimétrica no ponto A, %), U-C (umidade gravimétrica no ponto C, %); U-M (umidade gravimétrica média dos A, B e C, %), U-906 (umidade gravimétrica nos 906 pontos de amostragem, %), U-TDR09 (umidade volumétrica com TDR no dia 09/05/2005, %) e U-TDR11 (umidade volumétrica com TDR no dia 11/05/2005, %).

4.1.3 Variabilidade espacial do armazenamento de água no solo

A Tabela 9 apresenta os principais parâmetros estatísticos para o armazenamento de água (mm) nas diferentes datas de amostragem 10/01/2005 (A-Anel), 01/02/2005 (A-A, A-B, A-C, A-M, A-906), 09/05/2005 (A-TDR09), 11/05/2005 (A-TDR11). A Tabela 9 apresenta também os principais parâmetros estatísticos para a perda média diária de água (mm dia^{-1}) nos dois períodos de estudo (P-A, P-B, P-C, P-M, P-906, P-TDR).

Os dados de armazenamento de água em cada uma das datas de amostragem apresentam coeficiente de variação médio (10 - 20 %) e alto (20 - 30 %). Já os dados relativos à perda média diária de água entre as datas de amostragem apresentam valores de coeficiente de variação muito alto (> 30 %), conforme demonstrado na Tabela 9 e descrito por GOMES (1976).

Tabela 9 – Parâmetros estatísticos para o armazenamento de água (mm) gerado através dos diferentes métodos de amostragem e para a perda média diária de água (mm dia^{-1}) no período de estudo na camada de 0,0 – 0,10 m.

Atributo	Média	Variância	DP	CV	Min.	Max.	Assimetria	Curtose	D
A-Anel	41,505	26,970	5,19	12,51	27,59	60,52	0,256	0,700	0,034**n**
A-A	36,900	52,823	7,26	19,70	20	77	2,009	6,721	0,184**Ln**
A-B	36,016	90,746	9,52	26,45	17	80	1,371	3,242	0,149**Ln**
A-C	36,314	77,424	8,79	24,23	11	85	1,784	6,775	0,209**Ln**
A-M	36,440	38,620	6,21	17,05	24	66	1,710	4,850	0,141**Ln**
A-906	36,412	73,550	8,57	23,55	11	85	1,636	5,288	0,174**Ln**
A-TDR09	12,102	4,657	2,15	17,83	7	21	0,461	0,761	0,138**Ln**
A-TDR11	11,457	5,657	2,37	20,76	7	20	0,893	1,293	0,155**Ln**
P-A	-0,181	0,390	0,55	-305,52	-1,419	6,037	5,036	52,042	*
P-B	-0,223	0,369	0,60	-271,89	-1,346	5,505	3,366	26,442	*
P-C	-0,214	0,362	0,60	-280,20	-1,549	6,190	4,607	43,331	*
P-M	-0,233	0,154	0,39	-168,44	-1,453	1,101	0,577	1,987	*
P-906	-0,206	0,346	0,58	-284,73	-1,549	6,190	4,260	39,075	*
P-TDR	-0,322	1,892	1,37	-426,16	-4	4	0,323	0,298	*

DP: Desvio padrão; **CV**: Coeficiente de variação; **D**: Desvio máximo em relação à distribuição normal; **n**: Dados que apresentam distribuição normal; **Ln**: Dados que apresentam distribuição Lognormal (probabilidade de erro de 5 % pelo teste de Kolmogorov-Smirnov); ***** Não foi possível verificar o desvio máximo em relação à distribuição normal, uma vez que os dados apresentam valores negativos.

LANDIM (1998) e ZIMBACK (2001), destacam que o coeficiente de variação indica a precisão de um experimento. Pode-se assim justificar que para o armazenamento de água em todas as datas de amostragem existe grande variabilidade no conjunto de dados, conforme demonstrado por seus valores mínimo e máximo.

As perdas médias diárias de água para os períodos de estudo (P-A; P-B; P-C; P-M; P-906; P-TDR), apresentaram valores de coeficiente de variação muito alto, fato que pode ser justificado através do grande número de fatores que interferem na manifestação deste atributo. Sendo influenciado diretamente por fatores intrínsecos do solo e por fatores extrínsecos como o manejo e os elementos climáticos.

Por outro lado também é preciso relembrar que os valores de coeficiente de variação (CV) negativos atribuídos para a perda média diária nos períodos de estudo se justifica, uma vez este valor é obtido através da seguinte expressão, conforme GOMES (1984):

Assim, os valores negativos de coeficiente de variação (CV) atribuídos para a perda média diária de água no solo, são conseqüência direta dos valores negativos de média.

Os elevados valores de coeficiente de variação (CV) para o estudo em questão, estão relacionados com a profundidade da camada de estudo. A camada é superficial e é responsável por receber e manter características de manejo do solo e elementos climáticos.

Os valores de desvio padrão (DP) e de coeficiente de variação (CV) dão uma idéia da amplitude de variação dos resultados dentro de uma classe. Com isso, as maiores diferenças ocorrem nos dados oriundos da perda de água pelo solo nos períodos de estudo.

As Figuras 47 e 48 apresentam respectivamente, os histogramas de distribuição de freqüência para o armazenamento de água (mm) para todas as datas de amostragem e para a perda média diária de água nos períodos de estudo.

Relacionando-se os resultados de assimetria e curtose apresentados na Tabela 9, com os histogramas de distribuição de freqüência apresentados na Figura 47 e 48, verifica-se que apenas A-Anel e P-TDR apresentam distribuição normal, de acordo com teste Kolmogorov-Smirnov.

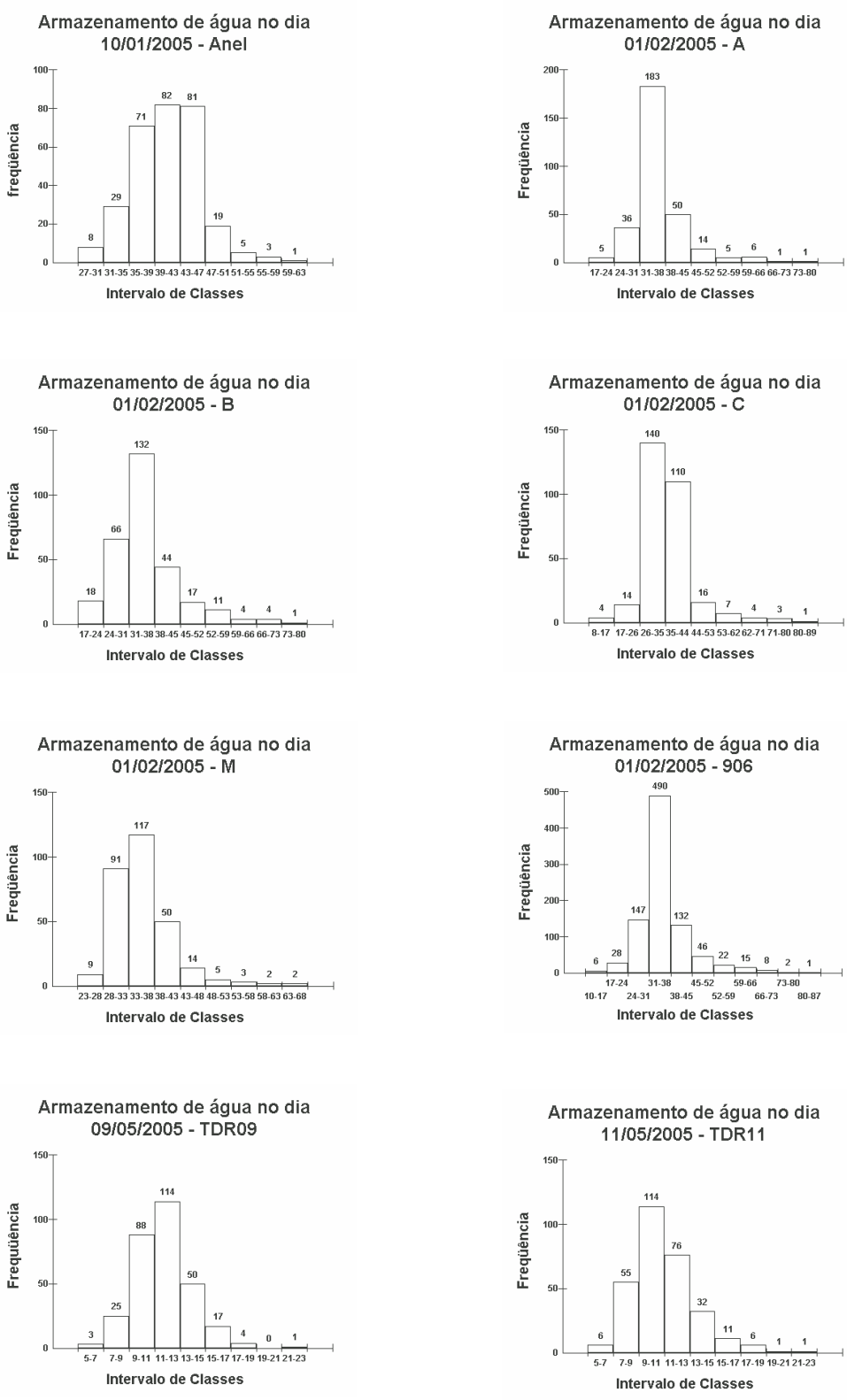

Figura 47 – Histogramas de distribuição de freqüência para o armazenamento de água (mm) em todas as datas de amostragem.

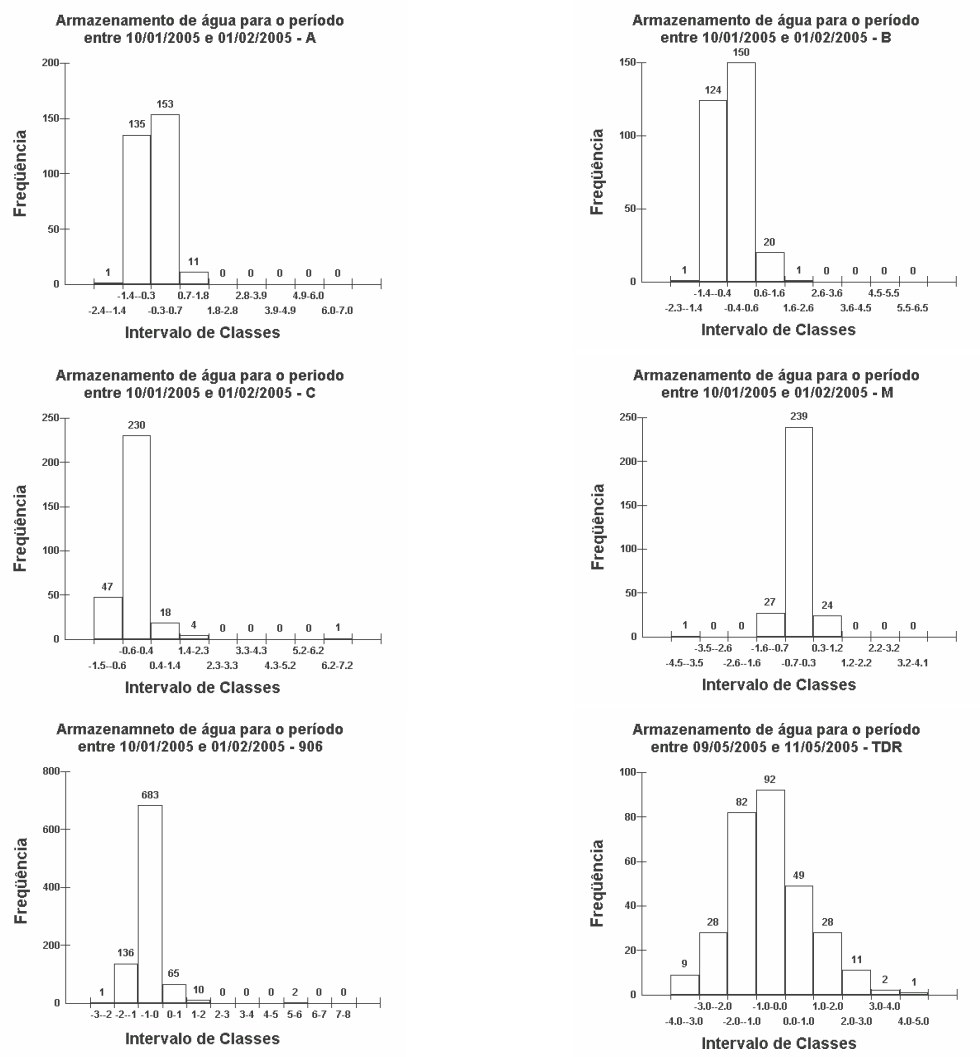

Figura 48 – Histogramas de distribuição de freqüência para a perda média diária de água (mm dia^{-1}) para os períodos de estudo.

Os parâmetros geoestatísticos para o modelo teórico que mais se ajustou aos dados de armazenamento de água e da perda média diária de água para o período de estudo estão descritos na Tabela 10.

Percebe-se na Tabela 10 que o Modelo Esférico (ESF) se ajustou para todos os dados analisados. Este modelo é considerado transitivo (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989; ASSAD et al., 2003), pois possui patamar, ou seja, a partir de um determinado valor da distância entre amostras, não existe mais dependência espacial entre as mesmas (a variância da diferença entre pares de amostras torna-se invariante com a distância).

O modelo esférico apresenta-se ainda como o modelo teórico mais comum aos atributos do solo e planta (McBRATNEY & WEBSTER, 1986; TRANGMAR et al., 1987; CAMBARDELLA et al., 1994; SALVIANO et al., 1998).

Tabela 10 – Parâmetros de ajuste do semivariograma para o armazenamento de água e a perda média diária de água no período de estudo.

Atributo	Modelo	C_0	C_1	a	R^2	SQDP	GD
A-Anel	Esférico	12,500	4,400	56,00	0,539	0,406	26,03
A-A	Esférico	46,000	13,700	44,00	0,295	5,535	22,94
A-B	Esférico	70,000	20,000	35,00	0,085	20,620	22,22
A-C	Esférico	65,000	20,000	40,00	0,246	20,650	23,52
A-M	Esférico	26,000	16,000	40,00	0,432	5,347	38,09
A-906	Esférico	48,000	32,000	39,00	0,670	0,155	40,00
A-TDR09	Esférico	2,400	1,930	28,00	0,487	0,020	44,57
A-TDR11	Esférico	3,400	2,000	35,00	0,459	0,049	37,03
P-A	Esférico	0,215	0,056	40,00	0,169	1x10-4	31,92
P-B	*	*	*	*	*	*	*
P-C	Esférico	0,280	0,060	41,00	0,204	$1x10^{-4}$	27,65
P-M	Esférico	0,089	0,030	22,00	0,061	$2x10^{-5}$	36,70
P-906	Esférico	0,103	0,087	22,00	0,928	$1x10^{-5}$	45,78
P-TDR	Esférico	1,710	0,400	26,00	0,116	0,009	18,95

C_0: efeito pepita; C_1: variância estrutural; **a**: alcance; R^2: coeficiente de correlação; **SQDP**: soma de quadrados de desvios ponderados; **GD**: grau de dependência; ***** Efeito pepita puro, não permitindo ajuste; **A-Anel**: Armazenamento de água em 10/01/2005 (mm); **A-A**: Armazenamento em 01/02/2005 no ponto A (mm); **A-B**: Armazenamento em 01/02/2005 no ponto B (mm); **A-C**: Armazenamento em 01/02/2005 no ponto C (mm); **A-M**: Armazenamento médio entre A, B e C (mm); **A-906**: Armazenamento das amostras A, B e C (mm); **A-TDR09**: Armazenamento em 09/05/2005 (mm); **A-TDR11**: Armazenamento em 11/05/2005 (mm); **P-A**: Perda média diária de água entre A-Anel e A-A (mm dia^{-1}); **P-B**: Perda média diária de água entre A-Anel e A-B (mm dia^{-1}); **P-C**: Perda média diária de água entre A-Anel e A-C (mm dia^{-1}); **P-M**: Perda média diária de água entre A-Anel e A-M (mm dia^{-1}); **P-906**: Perda média diária de água entre A-Anel e A-906 (mm dia^{-1}); **P-TDR**: Perda média diária de água entre A-TDR09 e A-TDR11 (mm dia^{-1}).

Na tentativa de melhor elucidar o grau de dependência entre as amostras TRANGMAR et al. (1985), propõe o IAE – Índice de Aleatoriedade Espacial, que é a relação entre o valor do efeito pepita e do patamar. Posteriormente CAMBARDELLA et al. (1994), na tentativa de descrever o grau de aleatoriedade (GA) entre as amostras propôs a seguinte relação:

$$GA = \left(\frac{C_0}{C_0 + C_1} \right) \times 100 \qquad (18)$$

No entanto, este estudo classifica o grau de dependência entre as amostras conforme descrito por ZIMBACK (2001), e exposto na Tabela 10 e descrito pela expressão abaixo:

$$GD = \left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \times 100 \qquad (19)$$

Os seguintes atributos apresentam grau de dependência baixo (00,00 - 25,00 %): A-Anel, A-A, A-B, A-C, P-A, P-B, P-C e P-TDR). Os demais atributos apresentaram grau de dependência espacial médio (25,00 - 75,00 %) de acordo com classificação proposta por ZIMBACK (2001). Para o armazenamento de água nas diferentes datas de amostragem já eram esperados maiores valores de dependência espacial entre as amostras A-M e A-906 em função da manifestação máxima individual de cada uma das amostras que compõe o conjunto de dados. Este fato também ocorre entre os valores médios diários de perda de água para o período de estudo em P-M e P-906.

ASSAD et al. (2003), descrevem o efeito pepita (C_0) como o valor da semivariância para a distância zero, o mesmo representa o componente da variabilidade espacial que não pode ser relacionado com uma causa específica (variabilidade ao acaso).

Desta maneira, é possível fazer uma correlação entre os valores de efeito pepita (C_0) com os valores de variância e de coeficiente de variação (CV), conforme demonstra a Tabela 11.

Tabela 11 – Relação entre variância, coeficiente de variação (CV) e efeito pepita (C_0) para o armazenamento de água e a perda média diária de água para o período de estudo.

Atributo	Variância	CV	C_0
A-Anel	26,970	12,51	12,500
A-A	52,823	19,70	46,000
A-B	90,746	26,45	70,000
A-C	77,424	24,23	65,000
A-M	38,620	17,05	26,000
A-906	73,550	23,55	48,000
A-TDR09	4,657	17,83	2,400
A-TDR11	5,657	20,76	3,400
P-A	0,390	-305,52	0,215
P-C	0,362	-280,20	0,280
P-M	0,154	-168,44	0,089
P-906	0,346	-284,73	0,103
P-TDR	1,892	-426,16	1,710

CV: Coeficiente de variação (%); **C_0**: Efeito pepita.

Nota-se na Tabela 11, que o armazenamento de água no dia 01/02/2005 (A-A, A-B, A-C, A-M e A-906) apresenta um valor de variância e de coeficiente variação

mais baixo para A-A, aumentando em A-B e A-C, fato que também ocorre nos valores de efeito pepita. O gráfico da relação entre coeficiente de variação e efeito pepita (Figura 49) demonstra que existe uma crescente relação entre esses parâmetros, ou seja, a medida que os valores de coeficiente de variação aumentam o efeito peita também aumenta proporcionalmente. Este fato já era esperado uma vez que C_0 representa a variabilidade aleatória e CV à dispersão relativa. Observa-se também uma diminuição nestes valores para A-M e A-906, fato que pode ser explicado pela inserção dos valores de A-A no armazenamento médio (A-M), e contribuindo ainda na diminuição destes valores em A-906 por favorecer uma menor dispersão dos resultados de variância, coeficiente de variação (CV) e efeito pepita (C_0).

As Figuras 50 e 51 apresentam o semivariograma ajustado ao modelo esférico para o armazenamento de água no solo em todas as datas de amostragem e seus respectivos mapas de isolinhas.

Percebe-se que para as amostras coletadas no dia 01/02/2005 o armazenamento de água da amostra A-A é o que apresenta o menor valor de efeito pepita (46), porém nas amostras A-B e A-C estes valores aumentam (70 e 65, respectivamente), caindo posteriormente nas amostras A-M e A-906 (26 e 48, respectivamente) em função da interação dos valores amostrais da amostra A-A sobre os demais valores. Com respeito à variância estrutural (C_1) também ocorre semelhança ao processo descrito anteriormente para o efeito pepita.

O alcance (a), porém é maior para a amostra A-A (44 m) diminuindo nas amostras A-B e A-C (35 e 40 m, respectivamente), nas amostras A-M e A-906 percebe-se que o alcance permaneceu estável (40 m e 39 m, respectivamente), pode-se então ressaltar que o número de amostras para o armazenamento de água coletado no dia 01/02/2005 não influenciou diretamente nos resultados, pois os semivariogramas possuem grandes semelhanças.

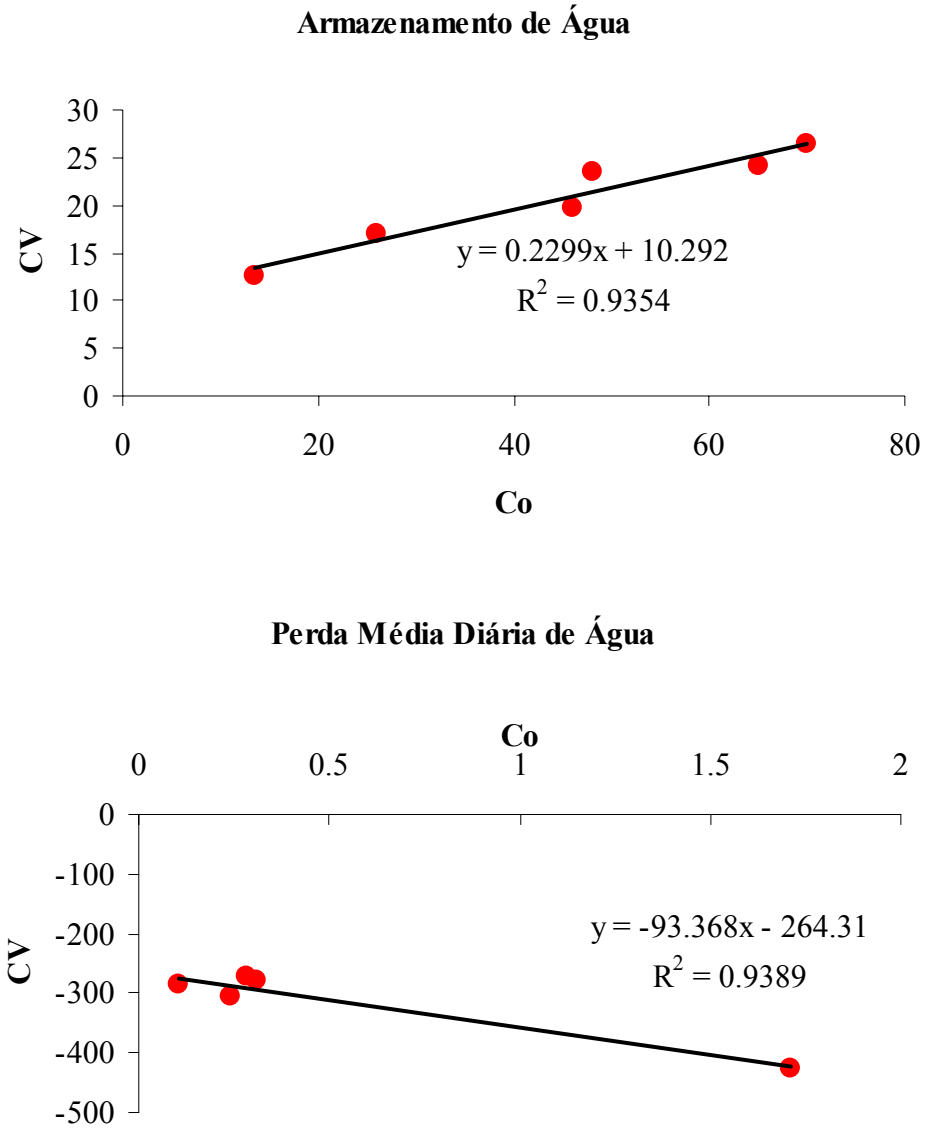

Figura 49 - Relação entre o coeficiente de variação (CV) e o efeito pepita (C_0) para o armazenamento de água (A-Anel, A-A, A-B, A-C, A-M, A-906, A-TDR09 e A-TDR11) e perda média diária de água (P-A, P-B, P-C, P-M, P-906 e P-TDR) pelo solo no período de estudo.

Com respeito às amostras coletadas no dia 09/05/2005 (A-TDR09) e no dia 11/05/2005 (A-TDR11), verifica-se que os valores do efeito pepita (C_0), da variância estrutural (C_1) e do alcance (a) aumentaram com o passar do tempo, fato que pode ser explicado pelo aumento das perdas de água por evapotranspiração sem ocorrer reposição de neste período de estudo.

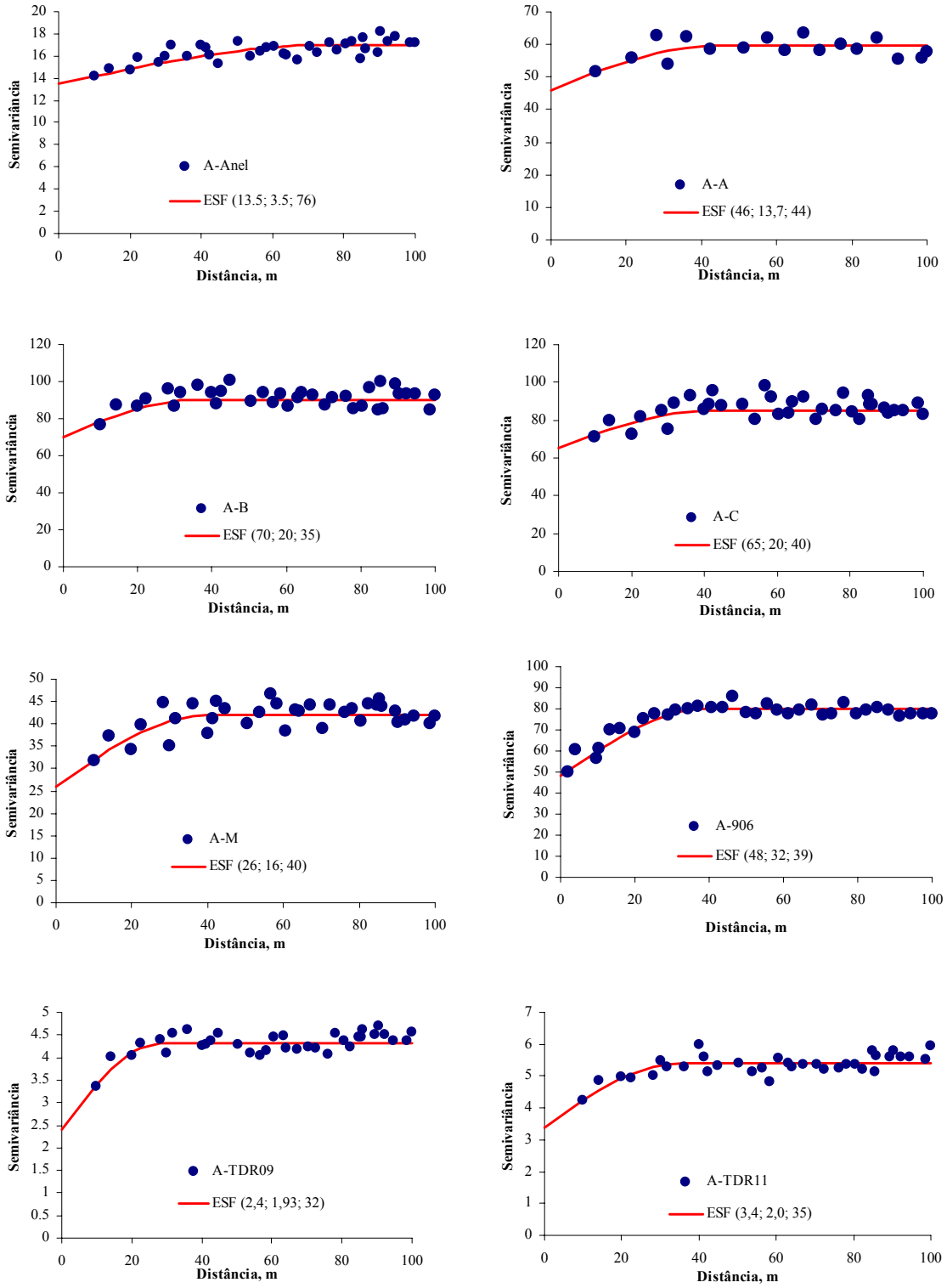

Figura 50 – Semivariogramas experimental para o armazenamento de água amostrado no dia 10/01/2005 (A-Anel), 01/02/2005 (A-A, A-B, A-C, A-M e A-906), 09/05/2005 (A-TDR09) e 11/05/2005 (A-TDR11).

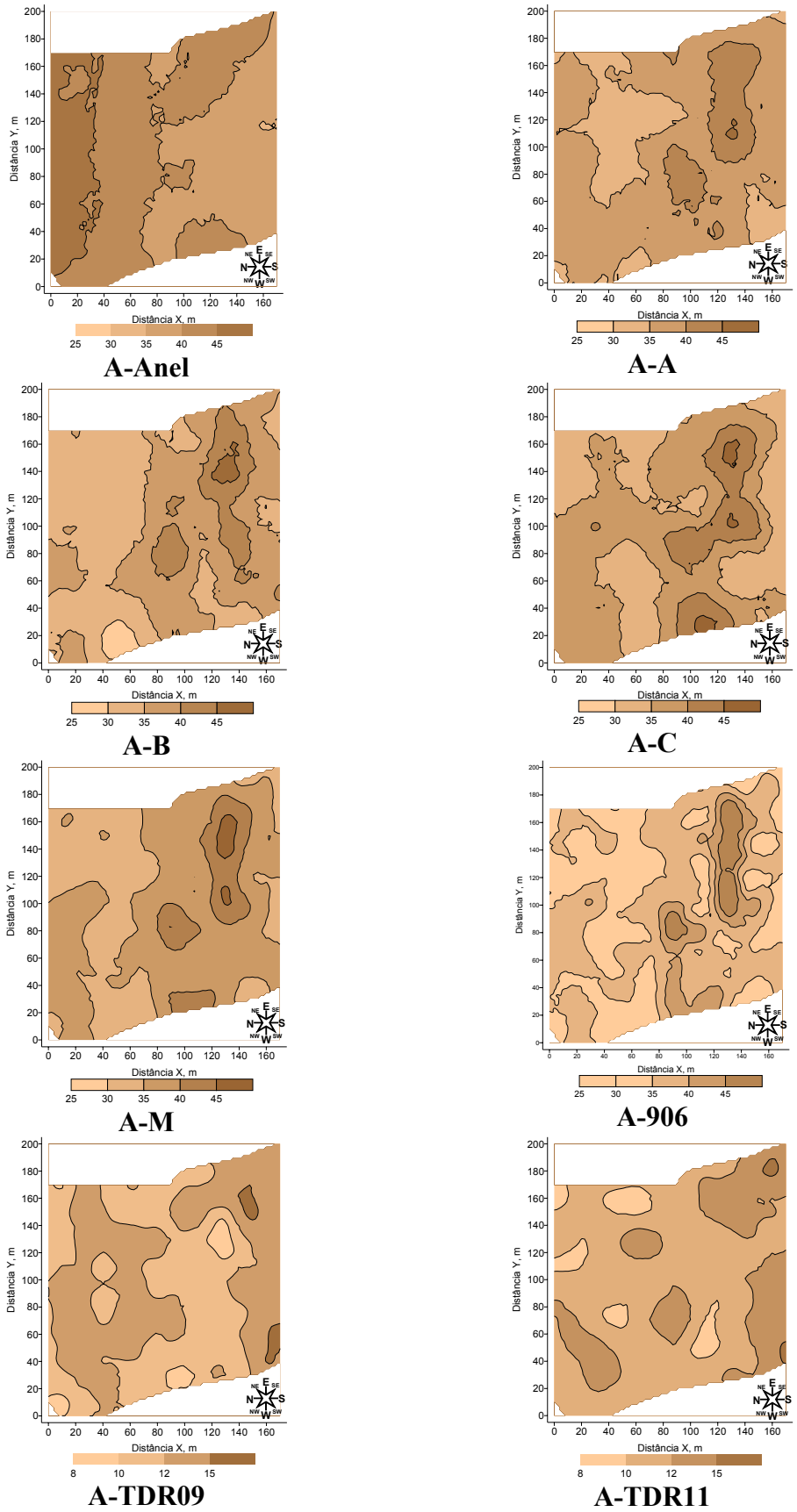

Figura 51 – Mapas de isolinhas do armazenamento de água no solo (mm) em 10/01/2005 (A-Anel), 01/02/2005 (A-A, A-B, A-C, A-M e A-906), 09/05/2005 (A-TDR09) e 11/05/2005 (A-TDR11).

O armazenamento de água no solo varia em função da quantidade de água que entra no perfil e dos fatores que contribuem para que esta permaneça armazenada (GONZÁLEZ & ALVES, 2005).

É preciso compreender o histórico da área de estudo, bem como suas características físicas, mecânicas, hídricas e os fatores climáticos do local de estudo para compreender como o armazenamento de água no solo se manifesta ao longo do tempo (TABOADA CASTRO, 2001).

Assim, a quantidade de água armazenada nesta camada é reflexo direto da água consumida pelas plantas, e da taxa de evaporação que depende da energia disponível para este processo e de outros fatores climáticos, porém a evaporação pode estar limitada pelo movimento de água no solo até a superfície evaporante, conforme demonstrado por RAMÍREZ & LÓPEZ (1993). Desta maneira, o sistema de plantio direto diminui as perdas de água para a atmosfera através da palha em superfície como um isolante físico contra a ação de elementos climáticos como a radiação solar e o vento.

O armazenamento de água obtido no dia 10/01/2005 com anel volumétrico (A-Anel) apresenta comportamento distinto dos demais mapas de isolinhas (Figura 51), onde as linhas divisórias das classes encontram-se preferencialmente na vertical. Este fato indica presença de anisotropia, onde a variabilidade espacial dos dados não ocorre da mesma maneira em todas as direções (BURROUGH, 1987; VALERIANO et al., 2002).

VIEIRA (2000) ressalta que, em geral a precisão da interpolação ou o tipo de hipótese satisfeita não são afetados pela anisotropia se, em vez de se preocupar com a escolha do método de transformação da anisotropia, apenas limita-se à faixa de distância na qual se utiliza o semivariograma.

Por isso, VIEIRA (2000), descreve que é essencial realizar um exame do semivariograma em várias direções (0º na direção do eixo X, 90º na direção do eixo Y e 45º nas duas diagonais). A Figura 52 apresenta o semivariograma direcional para o armazenamento de água no dia 10/01/2005 (A-Anel).

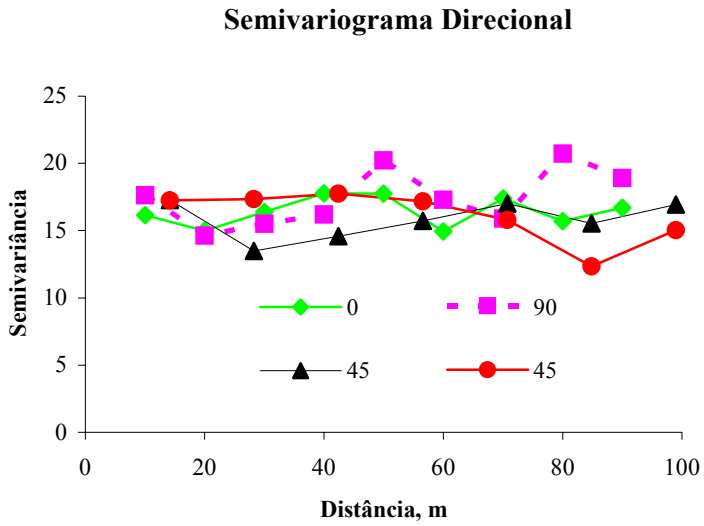

Figura 52 – Semivariograma direcional para o armazenamento de água no solo no dia 10/01/2005 (A-Anel).

A análise do semivariograma direcional apresentado na Figura 52 para o armazenamento de água no dia 10/01/2005 (A-Anel), não indica nenhuma direção preferencial, ou seja, neste caso os dados não possuem anisotropia, sendo o semivariograma chamado de isotrópico apesar da aparência do mapa.

Os mapas de isolinhas para o armazenamento de água no dia 01/02/2005 (A-A, A-B, A-C, A-M e A-906) apresentam similaridade no seu conjunto, onde os maiores índices de armazenamento de água estão localizados no lado superior direito da área.

É interessante notar como as isolinhas dos mapas para o armazenamento de água no dia 01/02/2005 apresentam um comportamento distinto entre elas apesar da similaridade geral dos mapas, uma vez que todas as amostras foram retiradas no mesmo dia e com pequena diferença de tempo entre as três repetições (A-A: dois metros abaixo do ponto de amostragem; A-B: exatamente no ponto de amostragem; A-C: dois metros acima do ponto de amostragem; A-M: média aritmética das amostras A, B e C; A-906: mapa gerado com as 906 amostras). Este fato pode ser justificado, uma vez que as amostras não foram retiradas no mesmo local, mesmo elas fazendo parte da mesma população e não apresentando tendência de concentração de valores em nenhuma direção a função contínua que representa o fenômeno da umidade do solo se manifestou de maneira diferentes.

Com respeito aos dados de armazenamento de água coletados no dia 09/05/2005 (A-TDR09) e no dia 11/05/2005 (A-TDR11), os mapas de isolinhas apresentam grandes diferenças no intervalo de classes, percebe-se de início que o armazenamento de água nos dois dias de amostragem é bem mais baixo que nos demais dias de amostragem. As maiores diferenças nestes dois mapas se deve ao período de estiagem anterior as duas amostragens, manifestando-se mesmo em pequenos espaços de tempo.

Percebe-se também no período de dois dias entre as duas amostragens, que o solo perdeu grande quantidade de água por evapotranspiração em um curto espaço de tempo, fato que pode ser visualizado nos mapas (A-TDR09 e A-TDR11).

As Figuras 53 e 54 apresentam o semivariograma ajustado ao modelo esférico para dados de perda média diária de água para os períodos de estudo (P-A, P-B, P-C, P-M, P-906 e P-TDR), e seus correspondentes mapas de isolinhas.

O efeito pepita para a perda média diária de água nos dois períodos de estudo, apresenta pontos acima da linha de ajuste, fato que pode ser justificado pela ocorrência de variabilidade ao acaso ou por erros de medição, conforme descrito por (CAMBARDELLA et al., 1994; VIEIRA, 1997). ARZENO (1990) descreve ainda que é impossível quantificar a contribuição individual dos erros de medições ou da variabilidade. Desta maneira, não é possível confirmar qual e quais parâmetros (características intrínsecas e extrínsecas ao solo) influenciam diretamente o armazenamento e a perda média diária de água pelo solo.

Os maiores valores de efeito pepita foram encontrados em P-TDR (1,71), este valor é bem mais alto que dos demais atributos, o fato pode ser justificado em função do período de estiagem na época de amostragem.

Observa-se ainda que os valores de ajuste do semivariograma para P-A, P-B e P-C, com exceção dos valores de alcance são muito parecidos em termos de perda média diária de água pelo solo.

Para SOUZA (1992), o alcance é utilizado para definir o raio de ação máximo de interpolação por krigagem, onde os pesos utilizados na ponderação podem afetar os valores estimados.

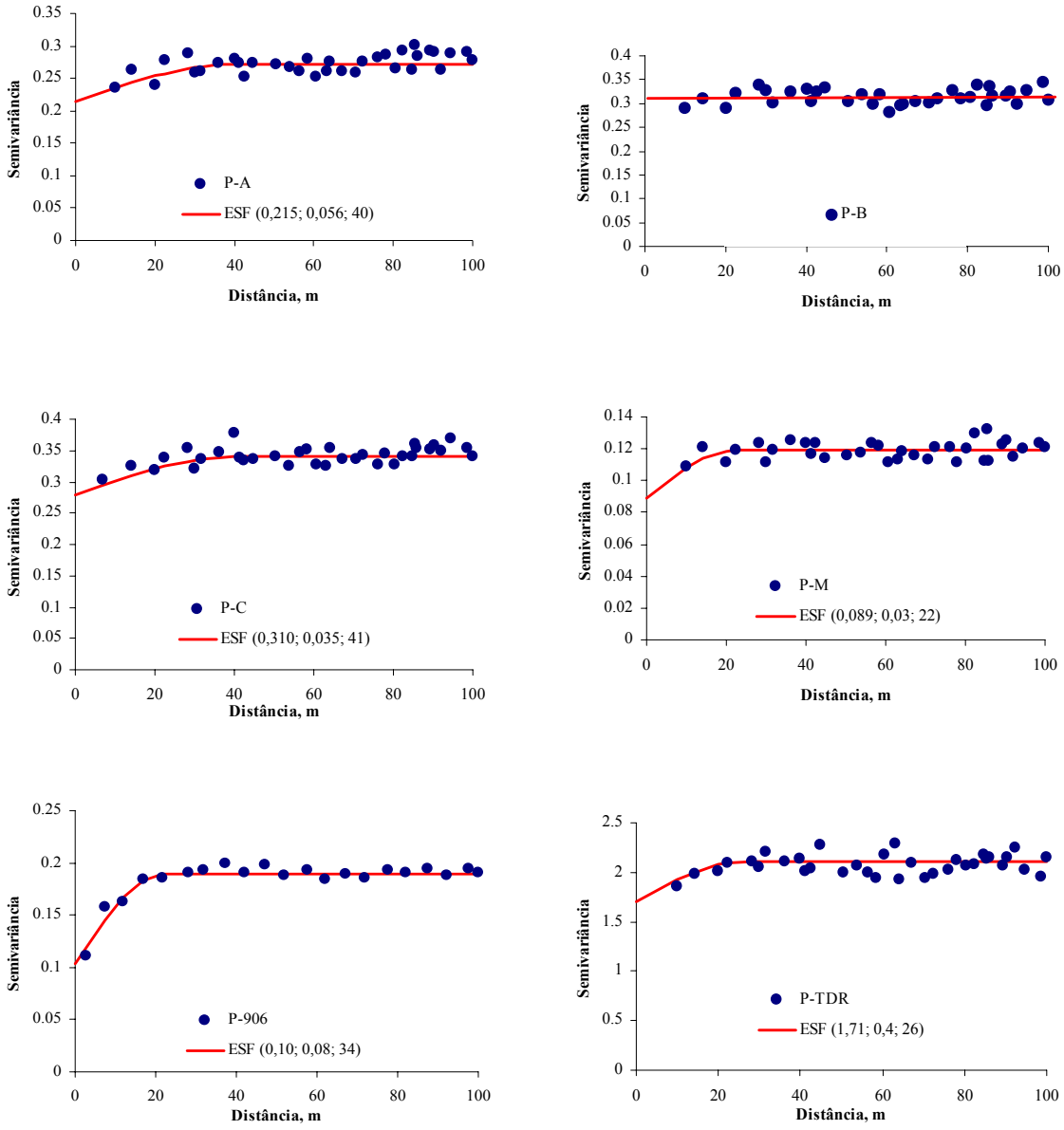

Figura 53 – Semivariogramas experimental da perda média diária de água (mm dia^{-1}) para o primeiro período entre 10/01/2005 e 01/02/2005 (P-A, P-B, P-C, P-M e P-906), e para o segundo período de estudo entre 09/05/2005 e 11/05/2005 (P-TDR).

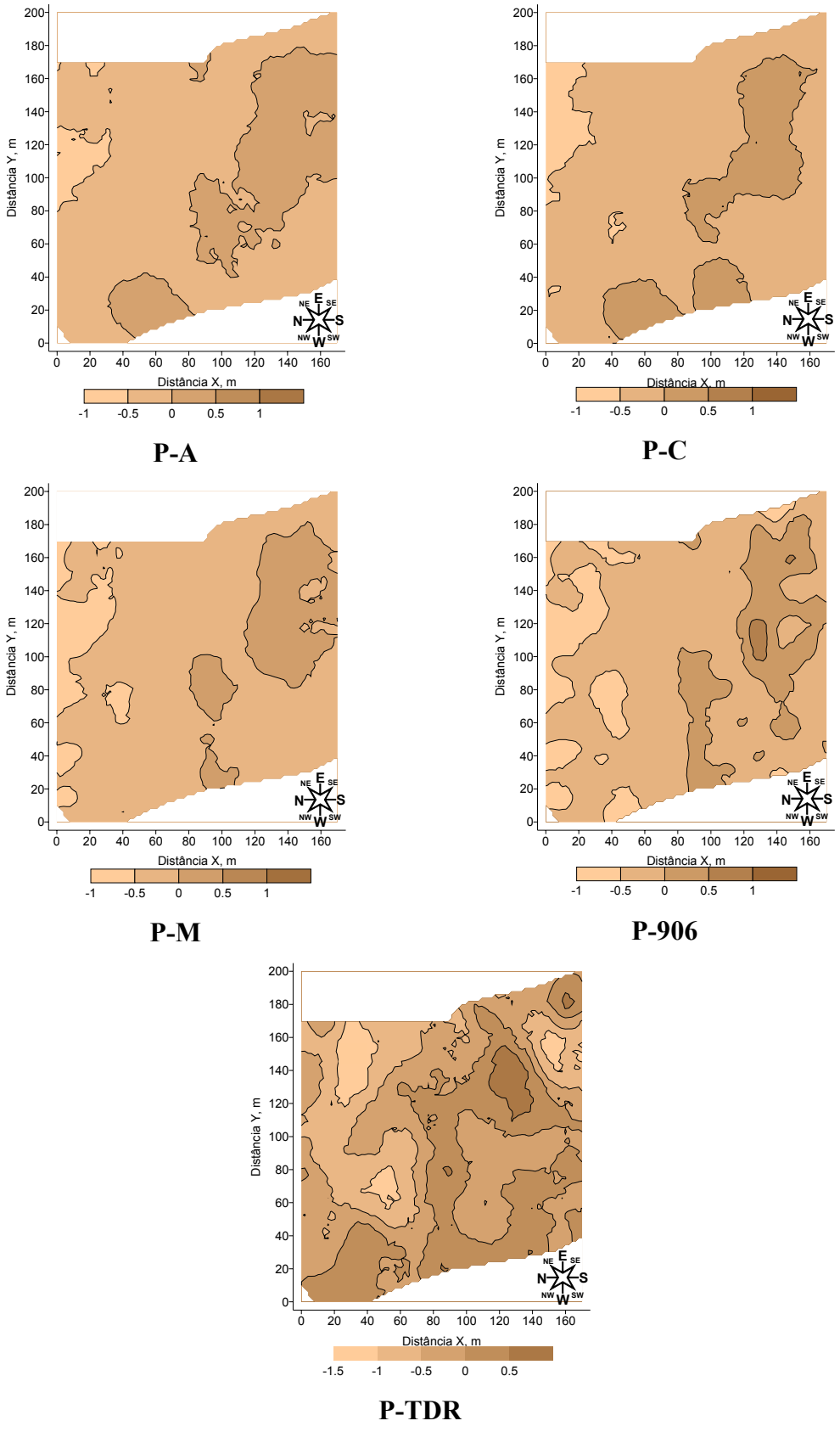

Figura 54– Mapas de isolinhas para a perda média diária de água no primeiro período de estudo (P-A, P-B, P-C, P-M e P-906) e no segundo período de estudo.

Assim, os valores de alcance expostos na Figura 53, revelam que a menor distância para representar a variabilidade espacial da perda média diária de água nos períodos de estudo é de 22 metros, para a perda média diária de água em P-M, atingindo um alcance máximo em P-C de 41 metros que não representaria toda a variabilidade da perda média diária de água para todos os períodos de estudo.

Os mapas de isolinhas apresentados na Figura 54 demonstram que a perda média diária de água pelo solo apresenta similaridade em ambos os períodos. É possível ainda verificar que a perda média diária de água é muito maior no segundo período de estudo, fato justificável pela menor precipitação pluviométrica no mês de maio, que só ocorreu após a última amostragem.

Em geral, as menores perdas de água pelo solo em todos os períodos de estudo se encontram no lado direito da área. Este fato é justificado por VIEIRA (2004), que descreve uma ligeira mudança na estrutura do solo nesta região do campo, contudo pode estar relacionado com o comportamento de outros atributos físicos do solo (ALVES, 2001; GONZÁLEZ & ALVES, 2005; SIQUEIRA & VIEIRA, 2005), como a densidade e porosidade.

A grande similaridade entre os mapas de isolinhas de armazenamento de água e da perda média diária de água pelo solo (Figuras 51 e 54), pode ser explicada conforme descrito por VAUCHAUD et al. (1985), que analisaram o teor de água do solo em datas consecutivas, e determinaram a posição espacial do valor médio e do desvio padrão verificando estabilidade temporal. Desta maneira, regiões mais úmidas tendem sempre a permanecer mais úmidas do que o restante da área.

A Tabela 9 descreve os principais momentos estatísticos para os atributos analisados, verifica-se que as médias dos atributos analisados são bem próximas, no entanto desvio padrão apresenta-se com grande variação, fato que pode ser justificado pelos diferentes métodos utilizados no processo de amostragem.

A explicação para a estabilidade temporal do teor de água no solo estudada por VAUCHAUD et al. (1985), é que existe alta probabilidade de que uma posição mais úmida em um instante permaneça assim em outros momentos devido à perda de água para a atmosfera ser controlada pela demanda evaporativa do ambiente.

A variabilidade espacial da relação solo-água analisada através do comportamento do armazenamento de água e por meio da perda média diária de água no solo, prevê segundo SANTOS (2003), o aproveitamento da estrutura da variação

espacial de elementos do meio físico, condicionantes da produtividade agrícola, visando à racionalização dos elementos do processo agrícola praticando uma agricultura precisa.

Desta maneira é preciso compreender como os diferentes elementos climáticos (vento, radiação solar, temperatura e precipitação) interferem no processo de armazenamento de água no solo. Contribuindo então para o aumento ou decréscimo das perdas de água para a atmosfera.

O efeito das variações de relevo sobre o microclima e o regime de umidade do solo pode ser caracterizado indiretamente pela altitude, exposição, declividade, pedoforma e posição na toposeqüência (RALSTON, 1964; CARMEAN, 1975; BRAGA, 1997), e o histórico da área (TABOADA CASTRO, 2001).

Dentre as características relacionadas com o histórico da área a mais importante, talvez seja com relação ao sistema de manejo praticado nos últimos anos. O cultivo do solo acarreta modificações nos atributos físicos, dependendo da intensidade de preparo do solo (SOUZA et al., 2004). As principais alterações são evidenciadas pela diminuição do volume de macroporos, tamanho de agregados, taxa de infiltração de água no solo e aumento da resistência a penetração de raízes e densidade do solo (ANJOS et al., 1994; ALBUQUERQUE et al., 1995; CAVENAGE et al., 1999; UTSET & CID, 2001).

Nas regiões tropicais, sistemas de preparo com mínima perturbação do solo e que propiciem a manutenção de resíduos na superfície do solo são necessários para o controle da erosão, redução da degradação do solo e do meio ambiente (LAL, 2000).

A área experimental vem sendo cultivada sob o sistema de plantio direto, que assegura menor revolvimento do solo, mantém, parcial ou totalmente, os resíduos vegetais na superfície e aportam continuamente matéria orgânica ao solo, a qual é responsável pela manutenção e melhoria das propriedades físicas (LAL & GREENLAND, 1979; CASTRO FILHO et al., 1998).

Assim, no sistema de plantio direto, há maior estabilidade de agregados e a continuidade de poros (ALBUQUERQUE et al., 1995; CAMPOS et al., 1995; COSTA, 2001) que favorecem a infiltração de água e dificultam o escoamento superficial (SCHICK et al., 2000) em relação ao preparo convencional e, muitas vezes, em relação também ao campo nativo (D'ANDREA et al., 2002).

Outro aspecto importante do plantio direto é que a palha em superfície diminui o escorrimento superficial e propicia uma maior quantidade de água infiltrada no perfil,

diminuindo as perdas por evaporação e contribuindo para o aumento da umidade do solo tanto em superfície quanto em camadas mais profundas (MUZILLI, 1981).

A análise das Tabelas 1 e 2, que descrevem a morfologia do solo, apresentam determinadas características estruturais que merecem destaque. A estrutura nas camadas iniciais está disposta em blocos subangulares (pequenos e muito pequenos), que favorecem a infiltração de água e, por conseguinte, o solo é bastante friável assegurando que a água infiltrada se distribua facilmente no perfil. A análise da Figura 3 demonstra que na área de estudo as maiores diferenças de nível chegam à cerca de 10 m, e que as cotas de nível estão distribuídas paralelamente sobre a área, o que torna o declive suave.

Considerando o mapa topográfico da área, eram de se esperar maiores valores de umidade do solo na parte inferior da área. Entretanto, este fato não ocorre. A parte inferior direita da área é a que se encontra mais úmida em todos os mapas de isolinhas para o armazenamento de água no solo.

Nota-se nas Figuras 51 e 54, que o menor valor de armazenamento de água e o maior valor de perda média diária de água para a atmosfera, está relacionado com a face norte do terreno (lado esquerdo da área). LOPES (1973), ORTIZ (2003) e GALBIATI (1978), descrevem que a face de exposição norte recebe maior quantidade de radiação incidente, refletindo na temperatura do ar e do solo e consequentemente, no armazenamento de água, por favorecer as perdas por evapotranspiração. Corroborando, para os menores valores de armazenamento e maiores valores de perda média diária de água encontrados na parte esquerda da área.

A Figura 14 apresenta os dados da precipitação pluviométrica no período de coleta de dados para o experimento (de janeiro a maio de 2005). Assim, é possível relacioná-las com as Figuras 51 e 54 que representam o armazenamento de água e a perda média diária de água no período de estudo.

Até o dia 08/01/2005 ocorreram chuvas acumulando cerca de 288 mm sobre a área de estudo, estas chuvas abasteceram o reservatório do solo, garantindo que em 10/01/2005 (Figura 51, A-Anel) o armazenamento de água superasse os 45 mm em algumas partes da área, na camada de estudo de 0,0 a 0,10 metros. Nesta primeira amostragem (A-Anel), é possível verificar que o maior armazenamento de água ocorre na parte esquerda da área, diminuindo gradualmente até a parte direita que assume valores de 25 mm de água armazenada.

Com respeito às amostragens realizadas no dia 01/02/2005, percebe-se que as chuvas permaneceram constantes desde a última amostragem até o dia anterior da

segunda amostragem. Entre 11/01 a 31/01/2005 ocorreram chuvas acumulando cerca de 250 mm. Garantindo nesta segunda amostragem um armazenamento de água na área também acima de 45 mm em algumas partes (Figura 51). No entanto, para os mapas de isolinhas do armazenamento de água nesta data (A-A, A-C, A-M e A-906), verifica-se que os maiores valores de armazenamento se encontram no lado direito da área de estudo. Ocorrendo um comportamento oposto ao que foi descrito na primeira amostragem (A-Anel). Pode-se verificar ainda, que para a segunda amostragem as manchas de variabilidade espacial para o maior armazenamento de água (45 mm) assumem um diâmetro máximo de 15 m. Contudo, em A-Anel esta mesma macha apresenta um diâmetro máximo de 30 m.

A terceira e quarta amostragem foram realizadas nos dias 09/05/2005 e 11/05/2005 (A-TDR09, A-TDR11 e P-TDR), em uma situação bem diferente das amostragens anteriores.

Nos mês de fevereiro de 2005 as chuvas acumularam cerca de 96 mm, no mês de março o acumulado chegou aos 329 mm sendo que em uma única chuva no dia 23/03/2005 foram precipitados de 104 mm. No mês abril que é o mês que antecede as últimas amostragens, houve um acumulado de cerca de 82 mm. As chuvas do mês de abril são as que mais contribuiriam para o armazenamento de água coletado nos dias 09/05 e 11/05/2005. No entanto, o volume precipitado em abril não foi bem distribuído ao longo do mês, ocorrendo uma chuva no dia 05/04/2005 de 65 mm, posteriormente no dia 09/04/2005 uma chuva de 9 mm e finalmente no dia 29/04/2005 uma chuva de 7 mm. Do último dia de chuva (29/04/2005 com 7 mm), até o dia 09/05/2005 se passaram 9 dias até que fosse realizada uma nova amostragem do volume de água armazenado no solo, conseqüentemente, a última amostragem (11/05/2005) foi realizada após 11 dias sem chuvas. Por isso, os mapas de isolinhas do armazenamento de água (Figura 51, A-TDR09 e A-TDR11) e da perda média diária de água (Figura 54, P-TDR), apresentam valores mais baixos quando comparados com os demais mapas, e valores mais elevados de perda média diária de água quando comparado com os demais mapas, fato que pode ser justificado devido ao período de estiagem anterior a sua amostragem.

O armazenamento de água (A-TDR11 e A-TDR09), possui áreas no mapa (Figura 51) com valores acima de 15 mm, sendo que para os demais mapas de armazenamento o valor mínimo do mapa é de 25 mm.

Percebe-se que o armazenamento de água (A-Anel, A-A, A-C, A-M, A-906, A-TDR09 e A-TDR11) apresentado na Figura 51, não acompanha o sentido da declividade

da área apresentado na Figura 3. Onde os valores esperados de maior umidade deveriam estar ao longo da parte inferior da área de estudo, fato que não ocorre.

No caso da perda média diária por evaporação (P-A, P-B, P-C, P-M e P-906) o valor mínimo expresso pelos mapas de isolinhas (Figura 54) é de –1 mm dia^{-1}, havendo neste caso déficit hídrico em algumas áreas, já para P-TDR o valor mínimo é de –1,5 mm dia^{-1}, bem mais baixo que os demais, considerando ainda que sua diferença de número de dias no período é de apenas 2 dias contra os 22 dias de diferença entre amostragens no período anterior (P-A, P-B, P-C, P-M e P-906). Pode-se dizer neste caso, que o sistema de plantio direto favorece o armazenamento de água no solo e diminui consideravelmente as perdas de água por evaporação, em função da quantidade de palha mantida em superfície (MUZILLI, 1981; SÁ, 1993).

Do ponto de vista agronômico, as correntes eólicas podem afetar as plantas sob três aspectos: transpiração, absorção de CO_2 e efeito mecânico sobre folhas e ramos (VELLOSO et al., 2001; BARBANO et al., 2003), além de favorecem as perdas de água pelo solo por evaporação. A Figura 15 apresenta a freqüência média de direção do vento para a área de estudo. No geral, percebe-se que o vento que atingiu a área no período de janeiro a maio de 2005 se originou principalmente da direção sul (24 ocorrências para a direção sudeste e sudoeste e 20 ocorrências para a direção sul-S), cortando a área do lado direito para o lado esquerdo da área. A Figura 16 apresenta a velocidade média do vento (m s^{-1}) no período de estudo. Percebe-se que o vento atinge uma velocidade média no período de 3,5 m s^{-1}, apresentando ainda picos de velocidade média ao longo dos 151 dias julianos envolvidos no estudo (Figura 17).

Desta maneira é possível descrever como o vento age sobre a área de estudo. A Figura 18 apresenta a velocidade média e a direção predominante do vento nos dias anteriores a realização da primeira amostragem do solo. Percebe-se que o vento sopra principalmente da direção oeste (W), cortando a área da parte inferior para a parte superior. Assim, eram de esperar maiores valores de armazenamento de água (Figura 51) na parte inferior da área, uma vez que o vento ganha velocidade ao soprar sobre a vertente. No entanto este fato não ocorre, e o armazenamento de água no solo apresenta linhas de contorno partindo da parte esquerda ido para o lado direito da área.

Para a amostragem realizada no dia 01/02/2005 o vento apresenta direção sul (S) como predominante e velocidade média de 4,4 m s^{-1} (Figura 19). Contudo, no dia anterior à amostragem o vento atingiu a área partindo da direção norte (N) com valor médio de 4,9 m s-1. Desta maneira, o vento predominante cortou a área do lado direito

indo para o lado esquerdo. Contudo, é difícil dizer como o vento influenciou a demanda atmosférica por água sobre a área de estudo, uma vez que os mapas de armazenamento não se relacionam com a direção predominante do vento para esta data.

Para as amostragens realizadas no dia 09 e 11/05/2005, o vento soprou praticamente em todas as direções com velocidade média de 3 m s^{-1} (Figura 20). Como o vento não assumiu uma direção predominante é difícil determinar quais partes da área estariam mais sujeitas à interferência de deste agente climático.

Conforme demonstrado na Figura 5, próximo a área de estudo existem áreas como as mais diversas culturas. Entretanto, é preciso considerar a influencia que a área cultivada com seringueira apresenta sobre a área, uma vez que as árvores apresentam cerca de 6 m de altura atuando como quebra-ventos. A utilização de quebra ventos reduz as perdas de água do solo por evaporação (ROSEMBERG, 1974 citado por PEDRO JÚNIOR. et al., 1998). De acordo com SILVA (2005), a presença de quebra-vento tende a diminuir a transferência de vapor de d'água para a atmosfera, quando a umidade do solo está próxima à capacidade de campo (situação em que a evapotranspiração geralmente aumenta com a velocidade do vento). Esse efeito torna-se pequeno e tende a desaparecer à medida que a umidade do solo diminui. Desta maneira o seringal pode ter influenciado significativamente sobre os valores de armazenamento de água no solo. Explicando inclusive a distribuição das linhas de contorno no mapa de variabilidade espacial de A-Anel, uma vez que a amostragem foi realizada após um longo período de chuvas e fazendo com que no dia da amostragem o solo com grande parte de seu espaço poroso preenchido com água.

No entanto, a redução excessiva da velocidade do vento pode acarretar aquecimento da área cultivada e aumentar a evapotranspiração. Desta maneira pode-se constatar através das Figuras 23 e 24 a atuação dos valores de temperatura máxima do ar sobre os processos de evapotranspiração. A Figura 23 demonstra que a temperatura máxima para os meses que compreendem o período aumentou de janeiro até fevereiro, diminuindo então gradativamente até maio. Relacionando os valores de temperatura máxima para cada uma das datas de amostragem e a quantidade de radiação solar incidente sobre a área (Figura 21 e 22), pretende-se compreender como esses elementos climáticos agem sobre a área de estudo. Observa-se que nos dias que antecedem a primeira avaliação do armazenamento de água no solo, a radiação solar atinge no dia 08 de janeiro de 2005 o valor de 29,67 MJ m^2 dia $^{-1}$ (Figura 22). A temperatura máxima também possui comportamento semelhante neste período, atingindo também no dia

08/01/2005 um valor de 28 ºC. No entanto, no dia 10/01/2005 data da primeira amostragem o armazenamento pode ter sido beneficiado pelo seringal, que favoreceu a diminuição da ação do vento sobre a área e diminuindo os valores da taxa de evapotranspiração.

Para o dia 01 de fevereiro de 2005, o maior valor de radiação solar antes da data de amostragem é relatado para o dia 31/01/2005 (28 MJ m^2 dia^{-1}) com temperatura máxima neste dia em torno dos 30 ºC. No período antecessor a esta data de amostragem o vento soprava principalmente da direção norte (N). O seringal por sua vez favorecia a formação de turbilhões que tendem a produzir correntes de ar em sentido oposto ao vento e que acabam por reduzir a largura da faixa de influência do quebra-vento (SILVA, 2005). De acordo com DURIGAN (1986), os quebra-ventos, pouco porosos, são muito eficientes na redução da velocidade do vento junto a barreira, mas a proteção se estende por uma distância relativamente curta. Assim, a proteção oferecida pelo seringal não se mantém por toda a área, e a sua proteção é garantida apenas para os ventos provenientes da direção norte (N), e em uma pequena faixa da área de estudo.

No dia 09 e 11 de maio de 2005, a radiação solar incidente sobre a área atinge valores de 16 MJ m^2 dia^{-1} e 9 MJ m^2 dia^{-1} (Figura 22), nos dias anteriores as duas amostragens. A temperatura máxima assumiu um valor próximo de 28 ºC (Figura 23). O vento não apresentou direção predominante neste período soprando para quase todas as direções. Contudo, conforme já discutido anteriormente a maior contribuição para os valores de armazenamento de água (Figura 51) e de perda média diária de água pelo solo se devem ao longo período sem chuvas neste período.

Entretanto, para a área de estudo o plantio direto favorece a manutenção do conteúdo de água uma vez que a palha na superfície contribui para o desenvolvimento de um microclima apropriado.

De acordo com GONÇALVES (1990), freqüentemente a disponibilidade de água no solo é o fator que mais determina o crescimento das culturas.

De acordo com NERY et al. (2002), o entendimento dos processos climáticos favorece o meio agrícola por meio da incorporação do padrão espacial das variáveis.

A interação dos fenômenos climáticos pode variar entre espécies e cultivares e, numa mesma espécie ou planta, dependendo de seu estádio de desenvolvimento, seu passado e duração e intensidade das variações hídricas no solo (HSIAO & ACEVEDO, 1974; McMICHAEL, 1980).

Desta maneira, devem continuar os estudos sobre como os elementos climáticos interagem com o solo e planta, visando a maximização da produção das culturas e o equilíbrio ambiental.

5 CONCLUSÕES

a) A hipótese intrínseca da geoestatística é valida. Contudo, o semivariograma dos atributos para os diferentes métodos representaram o mesmo fenômeno de maneiras diferentes.
b) A densidade do solo apresentou melhores valores estatísticos e geoestatísticos, quando comparada com o método do torrão (3 cm, 5 cm e 7 cm). O torrão de 5 cm foi o que melhor representou a densidade do solo por este método.
c) A umidade volumétrica do solo representou melhor este fenômeno quando comparada com a umidade gravimétrica e a umidade obtida com TDR.
d) A porosidade total medida foi a que melhor representou o fenômeno, quando comparada com a porosidade calculada com densidade de partículas de 2,65 kg dm^{-3} e 2,84 kg dm^{-3}.
e) Os comportamentos da variabilidade espacial do armazenamento e da perda média diária de água indicam estabilidade temporal, por meio da similaridade dos parâmetros estatísticos, geoestatísticos e dos mapas de isolinhas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S.L; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.519-531, 2004.

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FLORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.115-119,1995.

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGI, L. & ENDER, M. Efeitos da interação lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.717-723, 2001.

ALFONSI, R.R.; BRUNINI, O.; CAMARGO, M.B.P. & PEZZOPANE, J.R.M. Disponibilidade hídrica no solo para a cultura do milho no estado de São Paulo, em função de épocas de semeadura e cultivares. **Bragantia**, Campinas, v.1, n.1, p.127-133, 1998.

ALMEIDA, C.F.P.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. *Estimativa da distribuição espacial de retenção de água em um solo utilizando krigagem indicatriz*. Curitiba: UFPR, Departamento de Estatística, 1996, 37p.

ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W. A L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistemas de plantio direto. **Revista Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, p.25-36, 2001.

ALVES, J.M.B. Produção agrícola de subsistência no Estado do Ceará com ênfase aos anos de ocorrência de El Nino e La Nina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.2, p.111-118, 1998.

ALVES, M.C. Recuperação do subsolo de um Latossolo Vermelho usado para terrapleno e fundação da usina hidrelétrica de Ilha Solteira, SP. 2001. Tese (Livre Docência) – UNESP. Ilha Solteira, 2001.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.115-123, 2004.

ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B. & KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.139-145, 1994.

ARAUJO, A.G.; CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Máquinas para semear. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, v.1, n.2, p.10-11, 2001.

ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A; INOUE, T.T. & COSTA, A.C.S. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférrico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, p.495-504, 2004.

ARRUDA, F.B.; ZULLO JÚNIOR., J. & OLIVEIRA, J.B. Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, p.11-15, 1987.

ARZENO, J.L. & VIEIRA, S.R. Evaluacion física de diferentes manejos de suelo em um oxisol. **Revista de Investigaciones Agrpecuarias**, Buenos Aires, v. 25, n.2, p.11-22, 1994.

ARZENO, J.L. Avaliação física de diferentes manejos de solo em um Latossolo Roxo-distrófico. 1990. Dissertação (Doutorado) ESALQ/USP, Piracicaba, 1990.

ASSAD. E.D.; MACEDO, M.A.; ZULLO JUNIOR, J.; PINTO, H.S. & BRUNINI, O. Avaliação de métodos geoestatísticos na espacialização de índices agrometeorológicos para definir riscos climáticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2,p.161-171, 2003.

AYRES, Manuel (et al). BioEstat 3.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas. Belém: Sociedade Civil Mamirauá; Brasília: CNPq, 2003, 290 p.

AZOOZ, R.H. & ARSHAD, M.A. Soil infiltration and hydraulic conductivity under long-term no-tillage and conventional tillage systems. **Canadian Journal of Soil Science**, v.76, p.143-152, 1996.

BACK, Á.J. Análise das máximas intensidades de chuva para a região de Urussanga-SC. In: VII Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura, Salvador, 1996.

BECKETT, P.H.T.; WEBSTER, R. Soil variability: a review. Soil Fertility, v.31, p.1-15, 1971.

BARBANO, M.T.; BRUNINI, O. & PINTO, H.S. Direção predominante do vento para a localidade de Campinas-SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.1, p.123-128, 2003.

BARCELOS, A.A.; CASSOL, E.A. & DENARDIN, J.E. Infiltração de água em um Latossolo Vermelho-Escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.35-43,1999.

BEIJO, L.A.; MUNIZ, J.A.; VOLPE, C.A. & PEREIRA, G.T. Estudo da precipitação máxima em Jaboticabal (SP) pela distribuição de Gumbel utilizando métodos de estimação dos parâmetros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.1, p.141-147, 2003.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.3, p.555-560, 2001.

BERTOLANI, F.C. & VIEIRA, S.R. Variabilidade especial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.987-995, 2001.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo, São Paulo: Ícone. 355p. 1990.

BERVALD, C.M.P.; KATO, O.R.; REICHERT, J.M. & REINERT, D.M. Agregados a seco e compressibilidade de Latossolo Amarelo submetido a preparos tradicionais e alternativos na Amazônia Oriental. In: Anais XV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. Santa Maria Anais, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.581-588, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.849-856, 2003.

BIANCHI, C.A.M; BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H. & DALMAGO, G.A. Ajuste osmótico em milho cultivado em diferentes sistemas de manejo de solo e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.7, p.645-651, 2005.

BLAKE, G.R. & HARTGE, K. H. Bulk Density. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis: Physical and Mineralogical Methods. Part 1. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.

BLAKE, G.R. & HARTGE, K. H. Bulk Density. In: Methods of soil analysis: Physical and Mineralogical Methods. Part 1. Madison, American Society of Agoenomy,1965.

BOIZARD, H.; RICHARD, G.; ROGER-ESTRADE, J.; DURR, C. & BOIFFIN, J. Cumulative effects of cropping system on the structure of the tilled layer in Northern France. **Soil & Tillage Research**, Amsterdan, v.64, p.149-164, 2002.

BRADY, N.C. Natureza e propriedades dos solos. 6 ed. São Paulo: Freitas Bastos, 1983, 623p.

BRAGA, F.A. Uso da análise discriminante na identificação de características ambientais determinantes da capacidade produtiva de povoamentos de eucalipto. 1997. 65p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1997.

BRAGAGNOLO, N; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.396-374, 1990.

BRAIDA, J. A.; CASSOL, E. A. Erodibilidade em sulcos e em entressulcos de um

Podzólico Vermelho-Escuro franco-arenoso, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,

Campinas, v.20, n.1, p.127-134, 1996.

BURGESS, T.M.; WEBSTER, R. & McBRATNEY, A.B. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. IV. Sampling strategy. **Journal of Soil Science**., 32:643-659, 1981.

BURROUGH, P. A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford: Claredon Press, p.193, 1987.

BURROUGH, P.A. Spatial aspects of ecological data. In: JONGMAN, R.H. Data analisys in community and landscape ecology. Wagenigen, Netherlands: Pudoc,1987. p.213-251.

CAHN, M.D.; HUMMEL, J.W.; BROUER, B.H. Spatial analysis of fertility for site-specific crop management. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1240-1248, 1994.

CAMARGO, E.C.G. Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigagem) no sistema de processamento de informações georeferenciadas (Spring). São José dos Campos, 1997.Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.

CAMARGO, O.A. Compactação do solo e desenvolvimento das plantas. Campinas, Fundação Cargill, 1983. 44p.

CAMARGO, O.A., MONIZ, A.C; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, Instituto Agronômico, 1986. 94p. (Boletim Técnico nº 106).

CAMBARDELLA, C.A.; MOOMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEM,D.L.; TURVO, R.F. & KONOPA, A.E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science of América Journal**, Madison, v.47, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.121-126, 1995.

CARMEAN, W.H. Forest site quality evaluation in the United State. **Advances in Agronomy**, v.27, p.209-269, 1975.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p.99-105, 1990.

CARVALHO, J.R.; VIEIRA, S.R.; MARINHO, P.R.; DECHEN, S.C.F.; MARIA, I.C.; POTT, C.A.; DUFRANC, G. Avaliação da variabilidade espacial de parâmetros físicos do solo sob plantio direto em São Paulo – Brasil. Comunicado Técnico, EMBRAPA-Campinas, p.1-4, 2001.

CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y. & FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.695-703, 2003.

CARVALHO, T.M. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de um latossolo vermelho-amarelo através da geoestatística. Lavras, 1991. Dissertação (Mestrado) – Lavras, 1991.

CASSOL, E.A.; LIMA, V. S. de. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.38, n.1, p.117-124, 2003.

CASTAÑOS, L.J.N. Evaluacion de la calidad de estación de pino patula em el Norte de Oaxaca. México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. 1962. 32p. (Boletim Técnico 2)

CASTRO FILHO, C. Atributos do solo avaliados pelos seus agregados. In: MORAES, M.A.; MÜLLER, M.M.L.; FOLONI, J.S.S. Qualidade física do solo: métodos de estudo-sistemas de preparo e manejo do solo. Jaboticabal, FUNEP, 2001. p.21-39.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n.3, p.527-538, 1998.

CAVENAGE, M.L.T.; MORAES, M.L.T.; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.AC.;FREITAS, M.L.M. & BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.997-1003, 1999.

CHEPKWONY, C.K.; HAYNES, R.J.; SWIFT, R.S. & HARRISON, R. Mineralization of soil organic P induced by drying and rewetting as a source of plant-avaliable P in

limed and unlimed samples of an acid soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.234, p.83-90, 2001.

CICHOTA, R. & van LIER, Q.J. Avaliação o campo de um TDR segmentado para estimativa da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.78, .1, p.72-78, 2004.

CLARK, I. Practical geoestatistics. London, Applied Science. Publishers, 1979.

COELHO, R.M. Comunicação Pessoal. IAC-Instituto Agronômico, 2005.

COOTE, D.R. & RAMSEY, J.F. Quantification of the effects of over 35 years of intensive cultivation on four soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v.63, p.1-14, 1983.

CORRÊA, J.C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p.203-209, 2002.

CORRÊA, J.C.; MAUAD, M. & ROSOLEM, C.A Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, 2004.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.32, p.289-298, 1999.

COSTA, F. S., ALBUQUERQUE, J.A., BAYER, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do. Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

COSTA, F.S. Propriedades físicas e produtividade de culturas de um Latossolo Bruno sob sistemas de manejo do solo em experimentos de longa duração. 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2001.

COSTA, F.S., ALBUQUERQUE, J.A, BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. & WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e de preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

COSTA, T.C.C. Avaliação de estratégias para classificação de imagens orbitais em mapeamento de uso e cobertura da terra. 1999. Tese (Doutorado) – versidade Federal de Viçosa.

CRESTANA, S.; CESAREO, R.; MASCARENHAS, S. Using a computed tomography miniscanner in soil science. **Soil Science**, v. 142,p.56-61,1986.

CRUZ, A.C.R.; PAULETO, E.A.; FLORES, C.A & SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um argissolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.477-484, 2004.

CRUZ, A.C.R.; PAULETO, E.A.; FLORES, C.A. & SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um argissolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p.1105-1112, 2003.

CURTIS, R.O. & POST, B.W. Estimating bulk density from organic matter content in some Vermont forest soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.28, p.285-286, 1964

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, n.4, p.1047-1054, 2002.

DALMAGO, G.A.; BERGAMASCHI, H.; BIANCHI, C.A.M.; BERGONCI, J.L.; COMIRAN, F. Diferenças na disponibilidade de água no solo entre os sistemas de semeadura direta e convencional de milho. In: Anais XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Santa Maria , Anais, 2004.

DAVID, M. Geoestatistical ore reserve estimation. New York, Elsevier Scientífic, 1977. 364p.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. & SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.703-709, 1999.

DEFOSSEZ, P. & RICHARD, G. Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. **Soil & Tillage Research**, Amsterdan, v.67, p.41-64, 2002.

DERSPCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn (Alemanha). GTZ, 1991. 272p.

DEXTER, A.R. & YOUNGS, I.M. Soil Physic toward 2000. **Soil & Tillage Research**, Amsterdan, v.24, p.101-106, 1992.

DIAS JÚNIOR., M.S.; PIERCE, F.L. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.175-182, 1996.

DIAZ, A.F. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantics. **Journal of Climate**, Washington, v.12, n.2, p.251-271, 1998.

DIXON, J.B. & WEED, S.B. Minerals in soil environments. Madson, Soil Science Society of America Book Sereies, 1989. 549p.

DOURADO-NETO, D.; GARCIA, A.G.; FANCELLI, A.L.; FRIZZONE, J.A. & REICHARDT, K. Balance hídrico ciclico y secuencial: estimación de almacenamiento de agua en el suelo. **Sciencia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.3, p.537-546, 1999.

DUFRANC, G.; DECHEN, S.C.F.; FREITAS, S.S. & CAMARGO, O.A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.3, p.505-517, 2004.

DURIGAN G. Efeito dos quebra-ventos de *Grevillea robusta* A. CUNN. Sobre a velocidade do vento. Piracicaba, 1986. Dissertação (Mestrado) – ESALQ/USP, Piracicaba, 74p.

ELLIES, A., GREZ, R., RAMIREZ, C. La conductividad hidráulica en fase saturada como herramienta par el diagnostico de la estructura del suelo. **Agro Sur**, Valdivia, v.5, p.51-56, 1997.

ELTZ, F.L.F. Ensino de plantio direto. In: PEIXOTO, R. T. dos G.; AHRENS, D.C.; SAMAHA, M.J. (Eds). Plantio Direto: o caminho para uma agricultura sustentável. Ponta Grossa: IAPAR-PRP/PG, p.39-42, 1997.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 1997. 212p.

Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

EMBRAPA. Tecnologia em mecanização no Brasil: Equipamentos e sistemas para o futuro. In: Seminário Temático para Prospecção de Demandas em Pesquisa e Desenvolvimento em Mecanização Agrícola no Brasil, 1997, Sete Lagoas-MG. http://wwwbases.cnptia.embrapa.br/cria/gip/gipap/seminario.doc, (15 de Outubro de 1999)

EVANS, S.D.; LINDSTROM, M.J.; VOORHEES, W.B.; MOCRIEF, J.B. & VELSON, G.A. Effect of subsoiling and subsequent tillage on soil bulk density, soil ,moisture and corn yield. **Soil & Tillage Research,** Amsterdan, v.38, p.35-46, 1996.

FAGERIA, N.K.; STONE, L. F. Produtividade de feijão no sistema plantio direto com aplicação de calcário e zinco, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.73-75, 2004.

FANCELLI, A.L., TORRADO, P.V., MACHADO, J. Atualização em plantio direto. Campinas. Fundação Cargill, 1985, 343p.

FAO. *Soil map of the World*. Revised Legend. Rome: FAO, 1994.

FARIAS, P.R.S.; BARBOSA, J.C.; VIEIRA, S.R.; SÁNCHES-VILA, X.; FERRAZ, L.C.C.B.; Geoestatistical analysis of the spatial distribution of Rotylenchulus reniformis on cotton cultivated in crop rotation. **Russian Journal of Nematology**, Moscow, v.10, p.1-9, 2002.

FEIDEN, A. A dinâmica do nitrogênio em um solo dos Campos Gerais do Paraná sob dois sistemas de cultivo. 1999, Tese (Doutorado em Solos) UFRRJ, Seropédica/RJ, 1999.

FERAZ, E.S.B. Gamma-ray attenuation to measure water content and/or bulk densities of porous media. IAEA-SM-267/41. Proc. Of Symposium, Aix-em-Provence, France, p.449-460,1983.

FERNANDES, L.A.; VASCONCELLOS, C.A.; FURTINI NETO, A.E.; ROSCOE, R.; GUEDES, G. A.A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.9, p.1691-1698, 1999.

FIORIN, J.E. Plantas recuperadoras da fertilidade do solo. In: III CURSOS SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO. 1999, Passo Fundo, Anais, p. 110, 1999.

FOLEGATTI, M.V. Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso. 1996.Piracicaba, Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz",Universidade de São Paulo.

FOLEGATTI, M.V.; BRASIL, R.P.C.; BLANCO, F.F. Sampling equipament for soil bulk density determination tested in a Kandiudalfic Eutrudox and a Typic Hapludox. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.4, p.833-838, 2001.

GALBIATTI, J.A. Efeito de rampas com 0 e 20% de declividade, exposições norte e sul, sobre a umidade e temperatura do solo e comportamento de *Sorgum bicolor* (L.) Moench. 1978. Dissertação (Mestrado) UNESP. Jaboticabal, 1978.

GAMBI, W., PEREIRA, E.B., ABREU, S.L. Influência da altitude e do tamanho das cidades nas previsões de radiação solar do modelo "IGMK" no Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v.16, n.1, p.15-25, 1998.

GARDNER, W.R. & KIRKHAM, D. Determination of soil moisture by neutron scattering. **Soil Science**, v. 73, p. 391-401, 1952.

GOMES, F.P. A estatística moderna na pesquisa agropecuária. Piracicaba, POTAFÓS, 1984, 160p.

GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. Piracicaba, Ed. CALQ, 1976, 250p.

GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V. & VIEIRA, S.R. Padrões de amostragem e intensidade de krigagem na caracterização do armazenamento de água no solo, em área irrigada por pivô central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.485-495, 1999.

GONÇALVES, J.L.M. Interações genótipo-ambiente e relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo. 1990. Tese (Doutorado) – ESAQ/USP. Piracicaba, 1990.

GONZÁLEZ, A.P. & ALVES, M.C. Armazenamento de água e densidade do solo sob três condições de superfície, em um Cambissol gleico de Lugo, Espanha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.45-50, 2005.

GOOVAERTS, P. Study of spatial relationships between two sets of variables using multivariate geostatistics. **Geoderma**, Amsterdan, v.62, p.93-107, 1994.

GRABLE, A.R.; SIEMER, E.F. Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.32, p.180-186, 1968.

GRANATSTEIN, D. & BEZDICEK, D.F. The need for a soil quality index: local and regional perspectives. **American Journal of Alternative Agriculture**, Arlington, v.7, p.12-16, 1992.

GRANEY, D.L. & FERGUSON, E.R. Shortleaf pine site-index relationships in the Ozark Highlands. **Soil Society of America Proceendings**, v.36, n.3, p.495-500, 1972.

GREACEN, E.L. Soil water assessment by neutron method. CSIRO. Austrália, 1981, 140p.

GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; LOMA, C.L.R.; KUNZ, M. & PELEGRINI, A. Variabilidade temporal do armazenamento de água de um solo submetido a diferentes níveis de compactação. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Recife, Anais, 2005.

GURR, C.G. Use o gamma-rays in measuring water content and permeability in unsaturated columns of soil. **Soil Science**, v. 74, p. 333-345, 1962.

HAJABBASI, M.A.; JALALIAN, A. & KARIMZADEH, H.R. Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.190, p.301-308, 1997.

HAKANSSON, I.; STENBERG, M.; RYDBERG, T. Long term experiments with different depths of mouldboard plough in Sweden. **Soil & Tillage Research**, Amsterdan, v.46, p.209-223, 1998.

HAMBLIN, A.P. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. **Advances in Agronomy**, v.38, p.95-158, 1985.

HAMILTON-MANNS, M.; ROSS, C.W.; HORNE, D.J. & BAKER, C.J. Sobsoil loosening does little to enhance the transition to no-tillage on a structurally degrade soil. Soil & Tillage Research, Amsterdan, v.68, p.109-119, 2002.

HAMLLET, D.L.; HORTON, R.; CRESSIE, N.A.C. Resistant and exploratory techniques for use in semivariogram analyses. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.868-875, 1986.

HANNAH, P.R. Soil-site relationships for with, scotch and red pine plantations in Vermont. Burlington.University of Vermont, Agriculture Experimente Station, 1971. 27p. (Bulletin, 667)

HERNANI, L.C.; KARIHARA, C.H.; SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.145-154, 1999.

HILL, R.L. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.54, p.161-166, 1990.

HOAGLIN, D.C.; MOSTELLER, F.; TUKEY, J.W. Análise exploratória de dados-Técnicas robustas, Um Guia. Lisboa, Salamandra, 1992, 417p.

HORTON, R.; ANKENI, M.D.; ALLMARAS, R.R. Effects of soil compactation on soil hydraulic properties. In: SOANE, B.D.; OUWERKERK, C. van (Ed.). Soil compactation in crop production. Amsterdam: Elsevier, 1994. P.141-165.

HSIAO, T.C. & ACEVEDO, E. Plant respouses to water deficit water use efficiency and drought resistence. **Agriculture Meteorology**, Amsterdan, v.14, p.59-84, 1964.

HUIJBREGTS, C. J. Regionalized variables and quantitative analysis of spatial dada. In: DAVIS, J. C.; McCULLAGH, M. J. (Ed.). DISPLAY AND ANALYSIS OS SPATIAL DATA. New York: John Wiley, 1975. p. 38-53.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P. & TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.7, p.1493-1500, 2000.

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

JACCOUD, A. Curvas características de umidade dos solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 1971. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 1971.

JOHANN, J.A.; OPAZO, M.A.U.; SOUZA, E.G.de. & ROCHA, J.V. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.2/3, p.212-219, 2004.

JORGE, J.A. & PRADO, H. do. Porosidade, consistência e propriedades hídricas de três podzólicos vermelho-amarelos e uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, p.1-6, 1988.

JORGE, J.A. Física e manejo dos solos tropicais. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, p. 328, 1985.

JOURNEL, A.G. & HUIJBREGTS, C.J. mining geoestatistics. London: Academic Press,1978. 600p.

KARLEN, D.L. & STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W., COLEMAN, D.C., BEZDICEK, D.F. & STEAWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America**, 1994. p.53-72. (SSSA Special Publication, 35).

KIEHL, E.J. Manual de edafologia. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KITE, G. Use of time series analysis to detect climatic change. **Journal of Hidrology**, v.111, p.259-279, 1989.

KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.857-867, 2002.

KLEMES, V. The Hurst Phenomenom: A puzzle? **Water Resource Research**, v.10, p.675-688, 1974.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.3, p.395-401, 1995.

KLUTE, A. Tillage effects on the hydraulic properties of soil: a review. In: VAN DOREN, D.M.; ALLMARAS, R.R.; LINDEN, D.R.; WHISLER, F.D. (Ed.) Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. Madison: ASA, 1982, cap.3, p.29-43.

KOHNKE, H. Soil physics. McGraw-Hill Company. Nova Iorque, E.U.A., p. 224, 1968.

KOOISTRA, M.J.; SCHOONDERBEEK, D.; BOONE, F.R.; VEEN, B.W.; NOORDWIJK, M. van. Root soil contact of maize, as measured by a thin section technique – II: effects of soil compaction. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.139, p.119-129, 1992.

KÖPPEN, W. Versuche einer klassification der klimate. **Geogr**. Z. v.6, p.659-611, p.657-679, 1918.

KREYZIG, E. Introductory mathematical statistics: principles and methods. Nova York, John Wiley & Sons, p.470, 1970.

KRIGE, D.G. Two-dimensional weighted moving average trend surfaces for ore-evaluation. **Journal of the African Institute of Mining and Metallurgy**, v.66, p.13-38, 1966.

LAL, R. & GREENLAND, B.J. Soil physical properties and crop production in tropics. Chischester, John Willey, 1979, p.7-85.

LAL, R. Soil managenment in the developing countries. **Soil Science**, v.165, p.57-72, 2000.

LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V. & BORGHI, E. Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações. Guaíba: Agropecuária, 2001. 118p.

LANDIM, P.M.B. Análise estatística de dados geológicos. São Paulo. Ed. UNESP, 1998. 226p.

LAURANI, R.A.; RALISCH, R.; TAVARES FILHO, .; SOARES, D.S.; RIBON, A.A. Distribuição de poros de um latossolo vermelho eutroférrico na fase de implantação de um sistema de plantio direto. **Revista Engenharia Agrícola**., Jaboticabal, v.24, n.2, p.347-354, 2004.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.1, p.277-294. 1985.

LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba, O Autor, 2000, 509p.

LIBARDI, P.L. Medidas de umidade e armazenagem na determinação do balanço hídrico. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência Do Solo. Recife, Anais. 2005.

LI, H.; LASCANO, R.J.; BOOKER, J.; WILSON, L.T.; BRONSON, K.F. Cotton lint yield variability in a heterogeneous soil at a landscape scale. **Soil & Tillage Research**, Amsterdan, v.58, n.3-4, p.245-258, 2001.

LIMA, J.E.F.W.; FERREIRA, R.S.A. & CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil. In: O Estado das águas no Brasil, perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos. CD-ROM ANEEL – WMO, Brasília, 1999.

LOPES, P. C. R.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.1, p.71-75, 1987.

LOPES, R.L. Efeitos da exposição sobre o microclima da cultura de sorgo. 1973. Tese (Doutorado) – UNESP. Jaboticabal, 1973.

MACEDO, J.R.; OTONNI FILHO, T.B.; MENEGUELLI, N.A Variabilidade de características físicas, químicas e físico-hídricas em solo Podzólico Vermelho-Amarelo de Seropédica, RJ. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.12, p.2043-2053, 1998.

MANTOVANI, E.C. Compactação do solo. **Revista Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.17, p.52-55, 1987.

MANZIONE, R.L. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em Araguari-MG. Dissertação (Mestrado) – UNESP, Botucatu, 2002.

MARTINEZ-FERNÁNDEZ, J. & CEBALLOS, A. Temporal stability of soil in a large-field experiment is Spain. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.67, p.1647-1656, 2003.

MATHERON, G. The theory of regionalized variables and its applications. Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fountoinebleau. V.05, 1971.

MATHERON, G. Traité de géostattistique appliquée. Memóries du Bureau de recherches Géologiques et Miniéres. 1962.tome I, 333p.tome II,172p.

McBRATNEY, A.B. & PRINGLE, M.J. Spatial variability in soil, implications for precision agriculture. In: SATAFFORD, J.V., ed. Spatial variability in soil and crop. Warwick, Bios Scientific Publishers, 1988. p.3-31. (Precision Agriculture, 97, v.1)

McBRATNEY, A.B. & WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, v.37, p.617-639, 1986.

McMACHAEL, B.L. Water stree adaptation. In: HESKETH, J.D. & JONES, J.W. Predicting photosynthesis for ecosystems models. Boca Raton: C.C.R. Press, Florida, 1980, v.1, p.184-203

MELLO, C.R.; OLIVEIRA, G.C.; RESCK, D.V.S.; LIMA, J.M. & DIAS JÚNIOR, M.S. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n.4, p.836-841, 2002,

MELO FILHO, J.F. & LIBARDI, P.L. Estabilidade temporal de medidas do teor e dopotencial mátrico da água no solo em uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29,p.497-506,2005.

MESSING, I & JARVIS, N.J. Temporal variation in the hydraulic conductivity of a tilled clay soil as measured by tension infiltrometers. N, Madison, v.44, p.11-24, 1993.

METZGER, L.; YARON, B. Influence of sludge organic matter on soil physical properties. **Advances in Soil Science**, v.7, p.141-163, 1987.

MORAES, S.Q.; LIBARDI, P.L.; DOURADO NETO, D. Problemas metodológicos na curva de retenção de água pelo solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.50, n.3, p.383-392, 1993.

MORRISON, J.E.; CHICHESTER, F.W. Tillage system effects on soil and plant nutrient distribution on vertisols. **Journal of Production in Agriculture**, St. Paul, v.7, n.3, p.364-375, 1994.

MÜLLER, M.M.L.; CECCON, G. & ROSOLEN, C.A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.531-538, 2001.

MUSY, A. & SOUTTER, M. Physique du sol. Laussane, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1991. 335p.

MUZILLI, O.O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n.1, p. 95-102, 1983.

MUZILLI, O.O. Manejo da Fertilidade do Solo, In; IAPAR, Plantio Direto no Estado do Paraná. Londrina: IAPAR, 1981. p.43-58 (Circular nº 23).

MUZILLI, O.O. O plantio direto com alternativas no manejo e conservação do solo. In: Curso básico par instrutores em manejo e conservação do solo. Londrina: IAPAR, 1991, 20p.

MYERS, C.A. & DEUSEN, J.L. van. Site index of ponderosa pine in the Black Hills from soil and topography. **Journal of Florestry**, v.58, n.7, p.548-555, 1960.

NERY, J.T.; MARTNS, M.L.A.F. & BALDO, M.C. Correlação da precipitação do Estado do Paraná com a anomalia da temperatura da superfície do mar no pacífico Equatorial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.2, p.305-316, 2002.

NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W.; ERH, K.T. Spatial variability of field-measured soil water properties. **Hilgardia**, Berkeley, v.42, n.7, p.251-260, 1973.

NUNES, M.J., CAMOES, M.F., MCGOVERN, F. Comparação de duas metodologias de amostragem atmosférica com ferramenta estatística não paramétrica. **Química Nova**, São Paulo,v.28, n.2, p.179-182, 2005.

NIELSEN, D.R. & WENDROTH, O. Spatial and temporal statistics-sampling field soils and their vegetation. . GeoEcology, p. 31-53, 2003.

OLEA, R.A. Optimum mapping techniques using regionalized variable theory. Lawrence, university of Kansas, 1975.137p. (Series on Spatial Analysis, 2)

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S. & CURI, N.Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.327-336, 2004.

OLIVEIRA, J.B. Pedologia aplicada. Piracicaba, FEALQ, 2005. 574p.

OLIVEIRA, J.B. & MENK, J.R.F. Variabilidade das características químicas e físicas em duas áreas homogêneas de Oxissolo. In: XIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Anais, Santa Maria, p.359-376, 1974.

ORTIZ, J.L. Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. 2003. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-ESALQ/USP. Piracicaba, 2003.

ORTOLANI, A.A. & CAMARGO, M.B.P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO, P.C.R.; FERREIRA, S.A. & YAMADA, T. Ecofisiologia da produção agrícola. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p.71-81.

ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M.B.P.; PEDRO JÜNIOR, M.J. Normais climatológicas dos postos meteorológicos do INSTITUTO AGRONÔMICO: 1. Centro Experimental de Campinas. Campinas. Instituto Agronômico, 1995. 13p. (Boletim Técnico nº 155)

OTTONI FILHO, T.B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.211-222, 2003.

PALMEIRA, P.R.T.; PAULETTO, E.A.; TEIXEIRA, C.F.A.; GOMES, A.S. & SILVA, J.B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p. 189-195, 1999.

PEDRO JÚNIOR, M.J.; PEZZOPANE, J.R. & MARTINS, F.P. Efeito do uso de quebra-ventos na produtividade da videira "Niagara Rosada". **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, p.75-79, 1998.

PEDROTTI, A. & DIAS JUNIOR, M.S. Compactação do solo:? Como evitá-la. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.9, p.50-52, 1996.

POCAY, V.G. Relações entre pedoforma e variabilidade espacial de atributos de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. Jaboticabal, Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, 2000.

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

QUEMADA, M & CABRERA, M.L. Characteristics moisture curves and maximum water content of two crop residues. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.238, p.295-299, 2002.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343p

RALSTON, C.W. Evaluation of florest site productivity. In: ROMBERGER, T.A. & MIKOLA, P. International Review of Florest Research. New York: Academic Press, v.1, p.171-201, 1964.

RALWS, W.J.; GISH, T.J.; BRAKENSIEK, D.L. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics. **Advances in Soil Science**, New York, v.16, p.213-234, 1991.

RAMÍREZ, A.A.; LÓPEZ, R.G. El água em el Suelo. In: MAÑAS, F.M.S.O.; VALERO, J.A. Agronomia del riego. Mundi-Prensa: Ediciones Madrid. 1993. p.19-69.

RAO, P.V.; RAO, P.S.C.; DAVIDSON,J.M.; HAMMOND, L.C. Use of goodness-off-fit tests for characterizing the spatial variability of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.43, p.274-278, 1979.

REICHARDT, K. & TIMM, L.C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri. Manole, 2004. 478p.

REICHARDT, K. A água nos sistemas agrícolas. São Paulo. Manole, 1990, 188p.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; CASSOL, E.A. & SILVA, V.R. A infiltração da água no solo sob manejo conservacionista. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Recife, Anais, 2005.

REINERT, D.J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris; Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo no sistema plantio direto. **Plantio Direto**, Passo Fundo, v.4, p.25-44, 1997.

REINOLDS, W.D.; GREGORICH, E.C. & CURNOE, W.E. Characterization of water transmission properties in tillage and untilled soils using tension infiltrometers. **Soil & Tillage Research**, Amsterdan, v.33, p.117-131, 1994.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. Pedologia: base para distinção de ambientes. Viçosa. NEPUT, 1999. 304p.

RIBEIRO JUNIOR, P. J. Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros de solo.Dissertação (Mestrado em estatística e Experimentação Agronômica) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

RIBEIRO, M. S. F.; MERTEN, G. H. & SKORA NETO, F. Plantio na palha na pequena propriedade, In: EMBRAPA/CNPT/FECOTRIGO/FUNDAÇÃO ABC, Plantio Direto no Brasil, Passo Fundo, Aldeia Norte, 1993. p.151-158.

ROCHA, G.C.; LIBARDI, P.L.; CARVALHO, L.A. & CRUZ, A.C.R. Estabilidade temporal da distribuição espacial da armazenagem de água em um solo cultivado com citrus. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.41-50, 2005.

ROLIM, G.S. & CAMARGO, M.B.P. Aplicabilidade do sistema de classificação climática de Köppen para estudos agrometeorológicos no estado de São Paulo. In: XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Campinas, Anais, 2005.

ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.S. & OLIVEIRA, R.H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.301-309, 2003.

ROSSATO, L.; TOMASELLA, J. & ALVALÁ, R.C.S. Avaliação da umidade do solo no Brasil durante o episódio El Nino (1982/83). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.13, n.1, p.143-153, 2005.

ROTH, C.H.; MEYER, B.; FREDE, H.G. & DERPSCH, R. Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an Oxisol in Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdan, v.11, p.81-91, 1988.

SÁ, J.C.M. Calagem no sistema semeadura direta. **Semeadura Direta**, v.41, p.18-22, 1997.

SÁ, J.C.M. Manejo da Fertilidade no Sistema de Plantio Direto, In: EMBRAPA/CNPT/FECOTRIGO/FUNDAÇÃO ABC, Plantio Direto no Brasil, Passo Fundo, Aldeia Norte, 1993, p. 37-60.

SALTON, J.C.; HERNANI, L; FONTES, C.Z. Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa-SPI; Embrapa-CPAO, 1998. 248p.

SALVIANO, A.A.C., VIEIRA, S.R., SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 115-122, 1998.

SANTIAGO, A.V.; PEREIRA, A.R.; FOLEGATTI, M.V. & MAGGIOTTO, S.R. Evapotranspiração de referência medida por lisímetros de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO-56), nas escalas mensal e decendial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.57-66, 2002.

SANTOS, A.O.; PALLONE FILHO, W.J.; UNGARO, M.R.G.; LINO, A.C.L. & RANDIN, B. Prospecção de zonas potenciais para manejo diferenciado em agricultura de precisão utilizando-se padrões de solo-planta-clima. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.463-468, 2003.

SATURNINO, H. M. Evolução do plantio direto e perspectivas nos cerrados. **Revista Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.5-12, 2001.

SCHAEFER, C.E.R.; SILVA, D.D.; PAIVA, K.W.N.; PRUSKI, F.F.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.5, p.669-678, 2002.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. & BALTINOT JUNIOR, A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I - Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.427-436, 2000.

SCHUELLER, J.K.A agricultura de precisão: visão externa. O estado-da-arte da agricultura de Precisão nos Estados Unidos. In: BALASTREIRE, L. A. O ESTUDO DA ARTE DA AGRICULTURA DE PRECISÃO NO BRASIL. Piracicaba, p. 8-16, 2000.

SECCO, D.; DA ROS, C.O.; FIORIN, J.E.; PAUTZ, CV & PASA, L. Efeito de sistemas de manejo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.27, p.35-48, 1997.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & DA ROS, C.O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.797-804, 2004.

SEIXAS, F. Compactação do solo devido à colheita de madeira. Tese (Livre – Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.

SEIXAS, J., ROLOFF, G. & RALISCH, R. Trafego de máquinas e enraizamento do milho em plantio direto. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.4, p.794-798, 2005.

SHIPITALO, M.J. & PROTZ, R. Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero-tillage. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.67, p.445-456, 1987.

SILVA, A.P. & KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p.877-883, 1997.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.44, n.1, p.81-93, 1997.

SILVA, C.L. & KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.2, p.213-220, 1997.

SILVA, M.A.V. Meteorologia e climatologia. Recife: Versão digita, 2005. 522p.

SILVA, M.L.N., CURI, N. & BLANCANEAUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 2000, v.35, n.12, p.2485-2492, 2000.

SILVA, M.L.N.; BAHIA, V.G.; BARROSO, B.G. Perdas de solo em sistemas de preparo convencional e plantio direto. **Revista Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.16, n.176, p.44-50, 1992.

SILVA, M.L.N.; CURI, N. & BLANCANEAUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.2485-2492, 2000.

SILVA, V.R. Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS, 2003.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p.795-801, 2000.

SILVA. R.B.; DIAS JÚNIOR, M.S.; SILVA. F.A.M. & FOLE, S.M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.973-983, 2003.

SILVEIRA, P.M. ; ZIMMERMANN, F.J.P. & SILVA, S.C. Amostragem e variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro em uma área experimental submetida a diferentes sistemas de preparo do solo. In: VI RENAF - Reunião Nacional de Pesquisa de Feijão, Salvador, Anais. Salvador, p. 613-616, 1999.

SIQUEIRA, G.M. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em plantio direto. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Recife, Anais, 2005.

SOARES, J.L.N., ESPINDOLA, C.R. & FOLONI, L.L. Alteração física e morfológica em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, sob sistema tradicional de manejo. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.2, p.353-359, 2005.

SOUZA, L.S.; COCO, N.P. & VIEIRA, S.R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.367-372, 1997.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J. & PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.937-944, 2004.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. & TOMM, G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.533-542, 2004.

STONE, L. F. & SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, n.2, p.395-401, 2001.

STONE, L.F. & MOREIRA, J.A.A. Efeitos de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p.835-841, 2000.

STONE, L.F. & MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n.3, p.473-481, 2001.

STONE, L.F. & SILVEIRA, P.M. Efeito do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.83-91, 1999.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto, **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.755-760, 2004.

STURARO, J.R. Mapeamento geoestatístico de propriedades geológico-geotécnicas obtidas de sondagens de simples reconhecimento. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos,Universidade de São Paulo, São Carlos. 1993.

TABOADA CASTRO, M.M. Morfologia de superfícies cultivadas. Em relación com la infiltración, la formación del excedente de agua y la erosion. Tese (Doutorado) - UDC, 2001.

TAVARES FILHO, J. & TESSIER, D. Influence dês pratiques culturales sur lê comportement et lês propriétés de sols du Paraná (Brésil). **Étude Gestion Sols**, v.5, p.61-71, 1998.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F. & FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n.3, p.725-730, 2001.

THEODORO, V.C.A., ALVARENGA, M.I.N., GUIMARAES, R.J. & SOUZA, C.S.A. Alterações químicas em um solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,Viçosa, v.27, n.6, p.1039-1047, 2003.

TIMLIM, D.J.; AHUJA, L.R.; ANKENY, M.D. Comparison of the field methods to characterize apparent macro pore conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.278-284, 1994.

TISDALL, A.L. Comparison of methods of determining apparent density of soils. **Australian Journal Agronomy Research**, Collingwood, v.2, p.349-354, 1951.

TOMMASELLI, J.T.G. & VILLA NOVA, N.A. Deficiências hídricas no solo e épocas de semeadura de milho (*Zea mays*) e seus efeitos sobre a produção em Londrina-PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.2, p.69-75, 1994.

TOMMASELLI, J.T.G.; BACCHI, O.O.S. Calibração de um equipamento de reflectometria de microondas para dois solos paulistas típicos. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25., 1995, Viçosa, Anais, p.24-26, 1995.

TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Eletromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, Washington, v.16, p.574-582,1980.

TORMENA, C.A. & ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.333-339, 1996.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C. & COSTA, A.C.S. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia. Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S., & FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.1023-1031, 2004.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. & SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.301-309, 1998.

TORRES, J.L.R. Estudo das plantas de cobertura na rotação milho-soja em sistema de plantio direto no Cerrado, na região de Uberaba-MG. Tese (Doutorado) – UNESP-Jaboticabal. Jaboticabal, 2003.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geoestatistics to spatial studies of soil properties. Advances in Agronomy, Amsterdan, v 38, p. 45-93, 1985.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G.; SUDJADE, M. Sapaial variation of soil properties and rice yield on recently cleared land. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 51, p. 668-674, 1987.

USDA-United States Department of Agriculture. *Keys to soil taxonomy*. 7.ed. Washington: USDA, 1996. 644p.

URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; NEVES, M.C.P. A necessidade de uma revolução mais verde. In SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras-UFLA; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999, p.175-181.

UTSET, A. & CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferralsol at several soil moisture conditions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdan, v.61, p.193-202, 2001.

VALANDRO, J.; BURIOL, G.A.; MARTINS, S.R.; HELDWEIN, A.B. & STANGER, R. Relação entre o conteúdo de água, potencial hídrico e resistência estomática em plantas de tomateiro cultivadas sob distintos níveis hídricos em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.12, n.1, p.57-66, 2004.

VALERIANO, M.M.; PICINI, A.G. & MELLO, M.H.A. Estratificação de efeitos anisotrópicos do relevo na geração de mapas pluviométricos por geoprocessamento. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.167-177, 2002.

van WESENBECK, I.J. & KACHANOSKI, R.G. Spatial and temporal distribution of soil water in the tiled layer under a corn crop. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, p.363-368, 1988.

VARELLA, C.A.A., PINTO, F.A.C., QUEIROZ, D.M. & SENA JÚNIOR, D.G. Determinação da cobertura do solo por análise de imagens e redes neurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.225-229, 2002.

VAUCHAUD, G., DE SILANE., P. BALABANIS, A., VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science of Society America Journal**, Madison, v.49, p.822-7, 1985.

VELLOSO, M.F.A.; OLIVEIRA, I.C. & CATALDI, M. Influência dos ventos no crescimento das plantas: uma análise experimental. In: XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e III Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, Fortaleza, p.970-928, 2001.

VIEIRA, M.J. Comportamento físico de solos em plantio direto. In: Encontro Nacional de Plantio Direto, 1985, Ponta Grossa, PR. Anais. Ponta Grossa: Fundação ABC, p.75-85, 1985.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R. & BIGGAR, J. W. Geoestatitical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v.51 n.3, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S.R. Análise da variabilidade espacial e temporal de umidade do solo em um Latossolo Vermelho eutroférrico em Campinas, São Paulo. IN: RELATÓRIO FAPESP 02/02863-3, 57p., 2004, Campinas. Relatório...

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H., SCHAEFER, G.R. (ed.) Tópicos em Ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, 2000. p. 1-54.

VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, p.181-190,1997.

VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F. & BURROWS, I.T. Mapeamento de chuva diária máxima provável para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.1, p.93-98, 1991.

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C. & REYNOLDS, W.D. Handbook for geoestatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, J.M. Tópicos em Ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2, 2002. p.1-45.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**. Oxford, v.45, p.1040-1048, 1981.

VOORHEES, W.B. Relative effectiveness of tillage and natural forces in alleviating wheel-induced soil compaction. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, p.129-133, 1983.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980.

WEBSTER, R. Is soil variation randon? **Geoderma**, v.97, p.149-163, 2000.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. **Advances in Soil Science**, New York, p. 1-70,1985.

WEBSTER, R. Statistics to support soil research and their presentation. **European Journal of Soil Science**, v.52, p.331-340, 2001.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. Statistical methods in soil and land resource survey. Spatial Information Systems, New York: Oxford University Press, p. 316, 1990.

WEIRICH NETO, P.H., ROSA, A.L.T. & GOMES, J.A. Suscetibilidade de dois tipos de solo à compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.349-353, 2002.

WENDLING, B., JUCKSCH, I., MENDONCA, E.S.; NEVES, J.C.L.. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.487-494, 2005.

WENDROTH, O.; POHL, W.; KOSZINSKI, S.; ROGASIK, H.; RITSEMA, C.J. & NIELSEN, D.R. Spatio-temporal patterns and covariance structures of soil water status in two Northeast German field sites. **Journal Hydrology**, Sacramento, v.217, p.203-224, 1999.

WEST, T.O; POST, .W.M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. **Soil Science Society of America Journal**, Madson, v.66, p.1930-1946, 2002.

WUTKE, E.B.; ARRUDA, F.B.; FANCELLI, A.L.; PEREIRA, J.CVN.A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G.M.B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.621-33, 2000.

XU, X.; NIEBER, J.L. & GUPTA, S.C. Compaction effects on the gas diffusion coeffiecients in soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.1743-1750, 1992.

ZIMBACK, C.R.L. Analise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. Tese (Tese de Livre Docência) – UNESP. Botucatu, 2001.

ANEXOS

Anexo 1 – Valores de densidade e porosidade do solo pelos diferentes métodos de amostragem ao longo da grande de coleta de dados com suas respectivas coordenadas geográficas.

Ponto	X	Y	Ds-Anel	D_{s3}	D_{s5}	D_{s7}	PT	PT-2,65	PT-2,84	Macro	Micro
			kg dm^{-3}	kg dm^{-3}	kg dm^{-3}	kg dm^{-3}	%	%	%	%	%
1	0	10	1,298	2,114	1,382	1,428	56,12	51,03	54,30	12,00	44,12
2	0	20	1,153	2,618	1,514	1,878	55,87	56,49	59,40	13,29	42,58
3	0	30	1,163	1,708	1,747	1,478	60,67	56,11	59,05	19,26	41,41
4	0	40	1,279	1,759	1,541	1,030	57,03	51,75	54,98	14,68	42,35
5	0	50	1,201	2,028	1,471	1,589	58,42	54,69	57,72	15,60	42,82
6	0	60	1,244	1,542	1,179	1,324	59,52	53,06	56,20	13,83	45,69
7	0	70	1,150	1,460	1,529	-1,000	57,55	56,60	59,50	14,44	43,11
8	0	80	1,252	1,655	1,381	1,337	55,87	52,77	55,93	8,08	47,79
9	0	90	1,246	1,656	1,387	1,395	55,59	52,98	56,13	9,23	46,36
10	0	100	1,126	1,302	1,504	1,204	60,84	57,51	60,35	18,33	42,51
11	0	110	1,127	1,078	1,256	1,411	61,84	57,47	60,32	20,17	41,67
12	0	120	1,124	1,310	1,427	1,232	61,13	57,57	60,41	18,72	42,41
13	0	130	1,076	1,435	1,296	1,357	62,01	59,41	62,13	19,41	42,60
14	0	140	1,142	1,724	1,394	1,709	58,91	56,89	59,77	16,25	42,66
15	0	150	1,117	1,556	1,216	1,833	60,14	57,84	60,66	17,09	43,05
16	0	160	1,014	1,737	1,279	1,349	64,11	61,72	64,29	23,01	41,10
17	0	170	1,089	1,866	1,384	1,801	67,97	58,91	61,65	15,95	52,02
18	10	0	1,243	1,728	1,300	1,549	46,29	53,10	56,24	22,69	23,60
19	10	10	1,165	1,271	1,542	1,496	58,88	56,02	58,96	8,80	50,08
20	10	20	1,114	1,270	0,885	-1,000	69,69	57,95	60,77	23,27	46,42
21	10	30	1,167	2,672	1,361	1,940	52,59	55,98	58,92	16,58	36,01
22	10	40	1,100	1,300	1,477	1,381	65,78	58,49	61,27	14,50	51,28
23	10	50	1,126	2,190	1,559	1,381	55,78	57,53	60,37	16,50	39,28
24	10	60	1,161	1,795	1,443	1,225	54,55	56,21	59,14	21,20	33,35
25	10	70	1,183	2,271	1,570	1,475	56,61	55,34	58,33	16,67	39,94
26	10	80	1,104	2,678	1,379	1,276	63,76	58,35	61,14	12,67	51,09
27	10	90	1,120	1,820	1,449	1,380	58,48	57,74	60,57	18,69	39,79
28	10	100	1,162	1,585	1,363	1,295	53,77	56,17	59,10	15,35	38,42
29	10	110	1,070	1,505	1,168	1,525	67,90	59,62	62,32	13,27	54,63
30	10	120	1,062	1,375	1,101	1,465	64,02	59,92	62,61	20,37	43,65
31	10	130	1,012	1,799	1,216	1,313	66,89	61,80	64,35	21,66	45,23
32	10	140	1,133	1,985	1,368	1,153	55,54	57,23	60,10	28,79	26,75
33	10	150	1,037	1,367	1,236	1,208	70,93	60,88	63,50	18,95	51,98
34	10	160	1,212	2,160	1,262	1,415	45,78	54,28	57,34	22,32	23,46
35	10	170	1,185	1,380	1,430	1,449	58,46	55,30	58,29	11,75	46,71
36	20	0	1,276	1,546	1,411	1,470	56,83	51,85	55,07	14,53	42,30
37	20	10	1,118	2,157	1,326	1,602	58,42	57,81	60,63	15,67	42,75
38	20	20	1,148	2,441	1,719	1,397	56,86	56,67	59,57	17,88	38,98
39	20	30	1,012	2,203	-1,000	1,363	64,40	61,80	64,36	26,06	38,34
40	20	40	1,155	1,198	1,442	1,396	60,31	56,41	59,32	18,25	42,06
41	20	50	1,045	1,663	1,394	1,286	63,03	60,58	63,22	24,33	38,70
42	20	60	1,166	1,746	1,497	1,309	58,10	55,99	58,93	16,31	41,79
43	20	70	1,057	2,662	1,244	1,649	58,32	60,10	62,77	17,45	40,87
44	20	80	1,106	1,796	1,969	1,466	58,07	58,26	61,05	16,74	41,33
45	20	90	1,157	1,370	1,255	1,386	58,92	56,32	59,25	18,68	40,24
46	20	100	1,150	3,335	1,529	1,441	57,37	56,59	59,50	14,62	42,75
47	20	110	1,089	1,655	1,295	1,280	60,19	58,91	61,66	18,53	41,66
48	20	120	1,111	1,448	-1,000	1,197	59,23	58,06	60,87	17,39	41,84
49	20	130	1,165	1,618	1,300	-1,000	60,21	56,03	58,97	16,95	43,26
50	20	140	1,083	1,153	1,449	1,462	59,77	59,15	61,88	17,89	41,88
51	20	150	1,072	1,575	1,359	1,319	63,53	59,53	62,24	23,10	40,43
52	20	160	1,165	1,155	1,133	1,283	56,71	56,05	58,99	13,73	42,98
53	20	170	1,104	1,624	1,383	1,258	59,02	58,35	61,14	14,42	44,60
54	30	0	1,186	1,424	1,288	1,370	56,78	55,26	58,26	16,03	40,75
55	30	10	1,073	1,531	1,328	1,447	60,89	59,52	62,23	23,46	37,43
56	30	20	1,214	1,536	-1,000	1,304	56,78	54,21	57,27	15,54	41,24

Continua...

Continuação...

57	30	30	1,088	1,801	1,358	1,535	62,33	58,96	61,70	21,66	40,67
58	30	40	1,054	2,105	1,394	1,357	60,77	60,22	62,88	21,87	38,90
59	30	50	1,224	2,271	1,499	1,312	54,58	53,82	56,91	12,74	41,84
60	30	60	1,125	1,604	1,618	1,395	57,25	57,55	60,39	18,15	39,10
61	30	70	1,120	1,551	1,304	-1,000	57,74	57,74	60,57	17,93	39,81
62	30	80	1,041	1,603	1,510	1,463	64,27	60,72	63,35	24,95	39,32
63	30	90	1,120	1,421	1,351	1,066	56,35	57,73	60,56	16,33	40,02
64	30	100	1,040	1,611	1,287	1,365	60,73	60,77	63,39	-1,00	65,75
65	30	110	1,166	2,475	1,035	1,285	58,63	56,00	58,95	16,91	41,72
66	30	120	1,196	1,452	1,278	1,246	57,46	54,87	57,89	13,42	44,04
67	30	130	1,098	1,781	1,115	1,257	59,56	58,58	61,35	17,35	42,21
68	30	140	1,115	1,488	1,424	1,229	61,98	57,92	60,74	19,16	42,82
69	30	150	1,158	1,573	1,376	1,252	58,36	56,32	59,24	15,85	42,51
70	30	160	1,170	1,371	1,384	1,249	58,53	55,86	58,81	14,61	43,92
71	30	170	1,046	1,437	1,231	1,357	63,84	60,52	63,16	25,26	38,58
72	40	0	1,172	1,630	1,478	1,536	57,88	55,77	58,73	15,30	42,58
73	40	10	1,105	1,956	1,162	1,388	59,00	58,29	61,08	16,59	42,41
74	40	20	0,991	1,622	1,327	1,606	62,63	62,62	65,12	26,57	36,06
75	40	30	1,040	1,560	1,342	1,573	64,92	60,75	63,37	26,83	38,09
76	40	40	1,218	1,871	1,482	1,555	57,66	54,05	57,13	14,40	43,26
77	40	50	1,131	1,754	1,358	1,196	59,28	57,34	60,19	18,01	41,27
78	40	60	0,991	1,547	1,485	1,442	62,48	62,60	65,11	21,64	40,84
79	40	70	1,102	1,891	1,413	1,521	59,65	58,42	61,20	20,10	39,55
80	40	80	1,108	1,895	1,259	1,656	58,60	58,19	60,99	19,21	39,39
81	40	90	0,981	2,159	1,448	1,470	64,21	63,00	65,48	23,49	40,72
82	40	100	0,988	2,781	1,148	1,232	66,62	62,71	65,20	29,16	37,46
83	40	110	1,062	2,511	1,294	1,654	66,53	59,92	62,60	27,10	39,43
84	40	120	1,084	1,353	1,255	1,439	61,41	59,11	61,85	21,84	39,57
85	40	130	1,017	1,570	1,306	1,412	63,82	61,63	64,20	26,11	37,71
86	40	140	1,054	1,668	1,396	1,325	63,33	60,24	62,90	21,56	41,77
87	40	150	1,070	1,932	1,223	1,544	63,92	59,61	62,31	23,73	40,19
88	40	160	1,120	1,774	1,280	1,306	59,45	57,75	60,58	16,08	43,37
89	40	170	1,085	1,600	1,298	-1,000	61,79	59,06	61,80	20,53	41,26
90	50	10	1,179	1,778	1,225	1,135	58,79	55,51	58,49	15,53	43,26
91	50	20	1,184	2,594	1,105	1,408	57,33	55,32	58,31	15,80	41,53
92	50	30	1,082	1,562	1,347	1,575	63,02	59,17	61,90	22,90	40,12
93	50	40	1,167	1,667	1,714	1,414	57,91	55,98	58,93	18,05	39,86
94	50	50	1,024	1,360	1,381	1,482	65,19	61,38	63,96	27,26	37,93
95	50	60	1,165	1,914	1,198	1,347	59,12	56,04	58,98	16,23	42,89
96	50	70	1,103	2,134	1,351	1,464	60,67	58,38	61,17	22,48	38,19
97	50	80	1,056	1,440	1,507	1,358	63,65	60,16	62,83	24,09	39,56
98	50	90	1,137	2,049	1,297	1,362	60,53	57,09	59,96	19,49	41,04
99	50	100	1,135	1,631	1,232	1,531	59,74	57,17	60,04	18,74	41,00
100	50	110	1,030	2,345	1,586	-1,000	65,74	61,13	63,73	28,95	36,79
101	50	120	1,117	2,770	1,279	1,586	60,05	57,84	60,66	18,61	41,44
102	50	130	1,144	1,491	1,411	1,149	59,36	56,82	59,70	18,14	41,22
103	50	140	1,016	1,804	1,134	1,004	62,05	61,66	64,22	23,59	38,46
104	50	150	1,150	2,719	1,389	1,255	59,64	56,60	59,50	18,36	41,28
105	50	160	1,073	1,509	1,320	1,140	60,33	59,51	62,22	17,68	42,65
106	50	170	1,257	2,000	1,347	1,381	56,16	52,56	55,74	12,98	43,18
107	60	10	1,139	1,372	1,284	1,402	60,37	57,03	59,90	22,46	37,91
108	60	20	1,160	1,021	1,721	1,406	57,99	56,21	59,14	20,49	37,50
109	60	30	1,090	1,313	1,361	1,410	61,90	58,89	61,64	23,33	38,57
110	60	40	1,209	1,225	1,280	1,068	57,60	54,40	57,45	15,08	42,52
111	60	50	1,233	1,368	1,381	1,241	55,33	53,48	56,59	15,26	40,07
112	60	60	1,101	1,259	1,293	1,328	60,45	58,46	61,24	21,14	39,31
113	60	70	1,249	1,119	1,343	1,658	55,52	52,88	56,03	13,60	41,92
114	60	80	1,050	1,257	1,436	1,282	63,59	60,39	63,04	25,78	37,81
115	60	90	1,091	1,214	1,395	1,375	60,43	58,85	61,60	20,66	39,77
116	60	100	1,163	1,653	-1,00	1,664	58,95	56,10	59,04	17,77	41,18
117	60	110	1,255	1,396	1,480	1,373	57,13	52,65	55,81	14,02	43,11
118	60	120	0,972	1,649	1,358	1,180	67,22	63,32	65,77	30,79	36,43
119	60	130	1,181	1,241	1,251	1,402	57,62	55,42	58,40	14,58	43,04
120	60	140	0,961	1,241	1,338	1,152	65,71	63,72	66,15	27,94	37,77
121	60	150	1,083	1,360	1,118	1,437	57,83	59,14	61,88	18,88	38,95
122	60	160	1,097	1,543	1,182	1,680	60,43	58,60	61,37	19,94	40,49
123	60	170	1,150	1,472	1,352	1,334	57,60	56,59	59,49	17,03	40,57
124	70	20	1,309	1,510	1,223	1,543	53,94	50,62	53,92	13,81	40,13

Continua...

Continuação...

125	70	30	1,052	1,570	1,352	1,424	59,75	60,31	62,96	23,46	36,29
126	70	40	1,030	1,060	1,351	1,442	64,65	61,14	63,74	28,30	36,35
127	70	50	1,012	1,410	1,333	1,258	65,07	61,82	64,37	28,07	37,00
128	70	60	1,032	1,589	1,340	1,321	65,26	61,06	63,66	28,67	36,59
129	70	70	1,144	2,145	1,480	1,436	55,63	56,82	59,70	16,75	38,88
130	70	80	1,128	1,357	1,418	1,470	62,16	57,43	60,28	22,77	39,39
131	70	90	1,306	1,192	1,312	1,423	61,55	50,72	54,02	18,26	43,29
132	70	100	1,170	1,204	1,420	1,221	57,82	55,86	58,81	16,60	41,22
133	70	110	1,188	2,108	1,412	1,545	62,50	55,19	58,19	20,18	42,32
134	70	120	1,109	1,224	1,301	1,300	61,71	58,16	60,96	22,32	39,39
135	70	130	0,980	1,244	1,206	1,173	59,99	63,03	65,51	15,91	44,08
136	70	140	1,165	1,867	1,221	1,262	61,49	56,04	58,98	24,13	37,36
137	70	150	1,259	1,212	1,437	1,037	59,16	52,49	55,67	13,33	45,83
138	70	160	1,025	1,336	1,331	1,290	63,19	61,32	63,91	24,54	38,65
139	70	170	1,161	1,304	1,196	1,372	64,95	56,19	59,12	23,80	41,15
140	80	20	1,096	1,589	1,390	1,574	61,12	58,64	61,41	20,75	40,37
141	80	30	1,128	1,275	1,404	1,387	56,91	57,45	60,30	17,50	39,41
142	80	40	1,099	1,964	1,412	1,484	62,91	58,54	61,32	21,88	41,03
143	80	50	1,104	2,155	1,412	1,104	62,01	58,35	61,13	22,07	39,94
144	80	60	1,105	1,381	1,317	1,251	62,11	58,32	61,11	21,67	40,44
145	80	70	1,112	1,331	1,782	1,461	63,45	58,06	60,86	22,57	40,88
146	80	80	1,059	1,275	1,495	1,385	62,34	60,04	62,71	23,65	38,69
147	80	90	1,135	1,074	1,301	1,585	59,59	57,16	60,02	18,60	40,99
148	80	100	1,133	1,595	1,713	1,195	61,63	57,25	60,11	21,93	39,70
149	80	110	1,045	2,055	1,027	1,227	65,02	60,56	63,20	26,75	38,27
150	80	120	1,090	1,220	1,023	1,486	61,30	58,88	61,63	19,86	41,44
151	80	130	1,003	1,319	1,530	1,423	60,94	62,14	64,68	23,40	37,54
152	80	140	0,857	1,310	1,302	1,379	70,53	67,65	69,81	34,94	35,59
153	80	150	1,105	1,357	1,330	1,638	61,28	58,31	61,10	19,85	41,43
154	80	160	1,121	1,172	1,353	1,383	57,55	57,69	60,52	13,96	43,59
155	80	170	1,145	1,538	1,182	1,464	60,18	56,81	59,70	19,71	40,47
156	90	20	1,220	1,357	1,420	1,602	55,93	53,95	57,04	16,00	39,93
157	90	30	1,270	1,498	-1,000	1,462	58,35	52,09	55,29	16,21	42,14
158	90	40	1,192	1,632	1,464	1,403	56,69	55,03	58,04	14,79	41,90
159	90	50	1,194	1,389	1,262	1,442	59,69	54,96	57,98	18,77	40,92
160	90	60	1,077	1,177	1,410	1,271	58,57	59,35	62,07	20,91	37,66
161	90	70	1,064	0,939	1,267	-1,000	57,31	59,87	62,55	18,36	38,95
162	90	80	1,230	1,327	1,462	1,361	56,72	53,60	56,70	13,38	43,34
163	90	90	1,149	1,440	1,338	1,214	63,71	56,66	59,56	21,88	41,83
164	90	100	1,192	1,475	1,524	1,339	62,05	55,00	58,01	21,19	40,86
165	90	110	1,082	1,244	1,312	1,407	62,61	59,19	61,92	22,92	39,69
166	90	120	1,031	1,106	1,271	1,403	65,80	61,11	63,71	26,70	39,10
167	90	130	1,110	2,867	2,474	1,344	59,69	58,10	60,90	18,54	41,15
168	90	140	1,159	1,745	1,197	1,333	59,70	56,28	59,20	17,49	42,21
169	90	150	1,076	1,574	1,294	1,359	65,36	59,40	62,12	24,72	40,64
170	90	160	1,040	1,012	0,824	1,452	63,16	60,76	63,38	22,85	40,31
171	90	170	1,099	1,568	1,281	1,538	61,98	58,52	61,30	22,18	39,80
172	100	30	1,122	1,831	1,572	1,316	62,54	57,68	60,51	23,37	39,17
173	100	40	1,034	1,307	1,269	1,366	63,29	61,00	63,61	25,69	37,60
174	100	50	1,080	1,332	1,479	1,642	63,81	59,26	61,99	25,55	38,26
175	100	60	1,131	1,627	1,477	1,403	65,03	57,32	60,18	24,69	40,34
176	100	70	1,054	1,746	1,240	1,370	63,39	60,24	62,90	25,48	37,91
177	100	80	1,234	1,326	1,455	1,644	60,11	53,42	56,54	17,96	42,15
178	100	90	0,930	1,154	1,326	1,347	68,56	64,91	67,25	32,92	35,64
179	100	100	1,141	1,515	1,317	1,466	61,62	56,96	59,84	20,36	41,26
180	100	110	1,139	1,442	1,428	1,498	60,36	57,01	59,89	20,07	40,29
181	100	120	1,239	1,406	1,385	1,551	60,83	53,23	56,36	15,58	45,25
182	100	130	1,170	2,767	1,582	1,494	56,15	55,86	58,82	13,39	42,76
183	100	140	1,074	1,458	1,081	1,239	66,35	59,48	62,19	25,53	40,82
184	100	150	1,166	1,843	1,393	1,247	56,44	55,99	58,93	14,51	41,93
185	100	160	0,930	1,461	1,359	1,523	68,16	64,92	67,27	33,87	34,29
186	100	170	1,074	1,369	1,406	1,290	66,58	59,46	62,18	26,27	40,31
187	100	180	1,027	1,352	1,392	1,584	61,99	61,23	63,83	22,71	39,28
188	110	30	1,156	1,240	1,340	1,607	65,08	56,38	59,30	24,80	40,28
189	110	40	1,160	1,932	1,358	1,505	58,84	56,22	59,14	18,53	40,31
190	110	50	1,204	2,022	-1,000	1,391	61,47	54,55	57,59	22,71	38,76
191	110	60	1,043	1,464	1,067	1,398	63,02	60,63	63,26	25,64	37,38
192	110	70	1,142	1,401	1,414	1,041	61,54	56,91	59,79	20,77	40,77

Continua...

Continuação...

193	110	80	1,356	1,309	1,434	1,497	55,81	48,84	52,26	11,90	43,91
194	110	90	1,277	1,565	1,390	1,665	59,50	51,80	55,02	13,11	46,39
195	110	100	1,056	1,790	0,991	1,866	64,83	60,15	62,81	27,89	36,94
196	110	110	1,113	1,369	1,410	1,453	59,15	57,98	60,80	19,56	39,59
197	110	120	1,056	1,654	1,416	1,644	60,97	60,15	62,81	23,06	37,91
198	110	130	1,084	2,140	1,485	1,573	63,94	59,11	61,85	24,38	39,56
199	110	140	1,083	1,660	1,363	1,434	62,67	59,12	61,86	23,40	39,27
200	110	150	1,188	1,466	1,357	1,980	58,17	55,15	58,15	15,17	43,00
201	110	160	1,097	2,224	1,205	1,558	62,42	58,62	61,39	21,96	40,46
202	110	170	1,142	1,770	1,231	1,297	61,96	56,91	59,80	18,82	43,14
203	110	180	1,136	1,173	1,228	1,396	58,37	57,15	60,01	18,78	39,59
204	120	30	1,186	1,442	1,429	1,495	57,21	55,23	58,23	13,18	44,03
205	120	40	1,242	1,426	1,303	1,488	55,89	53,12	56,26	11,57	44,32
206	120	50	1,293	1,794	1,291	1,710	54,16	51,22	54,48	11,63	42,53
207	120	60	1,286	2,010	1,516	1,663	53,38	51,46	54,71	12,76	40,62
208	120	70	1,124	1,852	1,321	1,451	62,19	57,60	60,44	22,99	39,20
209	120	80	1,105	1,105	1,489	1,406	59,70	58,29	61,08	18,86	40,84
210	120	90	1,126	1,344	1,440	1,362	60,03	57,50	60,34	22,53	37,50
211	120	100	1,255	1,851	1,173	1,448	54,03	52,65	55,82	10,81	43,22
212	120	110	1,068	1,333	1,029	1,462	55,74	59,70	62,39	21,71	34,03
213	120	120	1,181	1,409	1,533	1,822	48,61	55,42	58,40	18,35	30,26
214	120	130	1,293	1,426	1,496	1,283	54,77	51,20	54,47	14,79	39,98
215	120	140	1,171	-1,000	1,418	1,328	-1,00	55,82	58,77	-1,00	-1,00
216	120	150	1,169	-1,000	1,461	1,556	49,40	55,88	58,83	20,31	29,09
217	120	160	1,057	1,466	1,188	1,087	61,68	60,10	62,77	17,95	43,73
218	120	170	1,177	1,445	2,467	1,370	60,09	55,57	58,55	15,27	44,82
219	120	180	1,057	2,235	1,456	1,844	61,27	60,12	62,79	21,45	39,82
220	130	30	1,214	1,393	1,279	1,605	57,64	54,19	57,25	19,82	37,82
221	130	40	1,253	0,907	1,442	1,004	49,09	52,72	55,88	17,67	31,42
222	130	50	1,048	1,394	1,577	1,379	65,33	60,46	63,11	21,04	44,29
223	130	60	1,116	1,665	1,440	1,343	59,35	57,89	60,71	23,09	36,26
224	130	70	1,271	1,680	1,648	1,308	53,16	52,04	55,25	12,25	40,91
225	130	80	1,203	2,022	1,287	1,460	50,35	54,60	57,63	21,17	29,18
226	130	90	1,244	1,622	1,787	1,392	54,34	53,06	56,20	16,17	38,17
227	130	100	1,295	2,216	1,227	1,349	47,66	51,15	54,42	15,65	32,01
228	130	110	1,125	-1,000	1,104	1,033	58,31	57,56	60,40	17,84	40,47
229	130	120	1,133	1,421	1,223	1,332	57,52	57,26	60,12	20,06	37,46
230	130	130	1,102	1,454	1,139	1,329	59,75	58,42	61,20	21,05	38,70
231	130	140	1,179	1,485	1,212	1,362	59,66	55,51	58,49	10,40	49,26
232	130	150	1,135	1,372	1,126	1,038	55,41	57,19	60,05	16,99	38,42
233	130	160	1,195	2,159	1,200	1,273	56,48	54,89	57,91	14,75	41,73
234	130	170	1,142	0,915	1,667	1,453	55,32	56,89	59,78	12,87	42,45
235	130	180	1,041	1,533	1,422	1,004	64,73	60,71	63,34	27,01	37,72
236	140	30	1,072	1,374	1,206	1,722	70,27	59,54	62,25	21,24	49,03
237	140	40	1,183	1,859	1,587	1,593	54,68	55,35	58,34	16,27	38,41
238	140	50	1,217	1,288	1,861	1,420	53,84	54,06	57,14	16,62	37,22
239	140	60	1,144	1,845	1,458	1,238	57,65	56,82	59,70	20,49	37,16
240	140	70	1,088	-1,000	1,440	1,383	59,04	58,96	61,70	23,96	35,08
241	140	80	1,126	-1,000	1,493	1,486	61,84	57,49	60,34	25,29	36,55
242	140	90	1,040	1,502	1,322	1,095	58,31	60,77	63,40	22,46	35,85
243	140	100	1,242	1,445	1,715	1,680	54,81	53,12	56,25	13,04	41,77
244	140	110	1,293	2,102	-1,000	1,390	54,72	51,21	54,47	13,13	41,59
245	140	120	1,174	1,416	1,439	1,495	58,68	55,70	58,67	21,39	37,29
246	140	130	1,136	1,627	1,218	1,369	57,96	57,13	60,00	20,97	36,99
247	140	140	1,151	1,400	1,145	1,497	55,14	56,57	59,47	17,59	37,55
248	140	150	1,282	1,453	1,284	1,344	53,71	51,63	54,86	12,23	41,48
249	140	160	1,142	1,262	1,100	1,362	53,89	56,92	59,80	16,34	37,55
250	140	170	1,166	1,533	1,617	1,690	60,18	56,00	58,95	18,89	41,29
251	140	180	1,080	1,539	1,570	1,463	68,05	59,24	61,97	17,31	50,74
252	140	190	0,912	1,619	1,053	1,266	75,77	65,59	67,89	19,72	56,05
253	150	30	1,132	1,576	1,364	1,330	58,94	57,30	60,16	21,41	37,53
254	150	40	1,089	0,926	1,630	1,252	56,39	58,89	61,64	22,05	34,34
255	150	50	1,180	1,556	1,554	1,557	53,66	55,49	58,47	17,67	35,99
256	150	60	1,255	2,398	1,433	1,330	47,70	52,63	55,80	17,92	29,78
257	150	70	1,096	1,625	1,302	1,256	60,95	58,66	61,43	24,45	36,50
258	150	80	1,195	1,557	1,298	1,800	58,58	54,91	57,92	20,82	37,76
259	150	90	1,156	1,536	1,234	1,326	57,56	56,39	59,31	19,49	38,07
260	150	100	1,090	2,020	1,263	1,285	60,89	58,86	61,61	24,25	36,64

Continua...

Continuação...

261	150	110	1,204	1,445	1,675	1,375	59,84	54,55	57,59	21,55	38,29
262	150	120	1,038	1,433	1,229	1,205	61,64	60,82	63,44	26,82	34,82
263	150	130	1,166	1,652	1,380	1,306	58,88	56,00	58,94	21,83	37,05
264	150	140	1,113	1,648	1,196	1,608	65,17	58,00	60,81	15,68	49,49
265	150	150	1,025	2,511	1,326	1,270	60,34	61,33	63,92	25,79	34,55
266	150	160	1,321	1,429	1,344	1,264	41,26	50,17	53,50	22,72	-1,00
267	150	170	1,125	2,134	1,411	1,248	59,87	57,56	60,40	19,18	40,69
268	150	180	1,178	1,457	1,034	1,315	42,37	55,57	58,54	25,28	-1,00
269	150	190	1,146	1,440	1,243	1,241	57,58	56,77	59,66	13,08	44,50
270	160	40	1,035	1,478	1,454	1,646	58,16	60,93	63,54	21,67	36,49
271	160	50	1,083	1,731	1,478	1,234	55,21	59,13	61,87	17,38	37,83
272	160	60	1,362	1,493	1,430	1,368	54,88	48,62	52,06	13,75	41,13
273	160	70	1,159	2,162	1,407	1,323	59,57	56,25	59,18	17,73	41,84
274	160	80	1,018	1,817	1,712	1,496	59,22	61,58	64,15	24,82	34,40
275	160	90	1,077	2,316	1,641	1,289	60,71	59,35	62,07	22,55	38,16
276	160	100	1,136	1,021	1,349	1,825	57,54	57,12	59,99	20,03	37,51
277	160	110	1,184	1,388	1,156	1,317	51,90	55,31	58,30	17,88	34,02
278	160	120	1,059	1,089	1,387	1,239	61,06	60,05	62,72	21,67	39,39
279	160	130	0,947	1,629	1,286	1,090	65,60	64,26	66,65	30,27	35,33
280	160	140	1,044	1,101	1,377	1,327	60,40	60,62	63,25	26,12	34,28
281	160	150	1,067	1,492	1,382	1,469	56,31	59,75	62,44	18,97	37,34
282	160	160	1,172	1,343	1,373	1,342	55,80	55,77	58,73	16,46	39,34
283	160	170	1,104	1,991	1,496	1,261	57,15	58,34	61,13	21,37	35,78
284	160	180	1,166	1,461	1,352	1,563	57,10	56,02	58,96	16,24	40,86
285	160	190	1,107	1,334	1,274	1,329	59,23	58,23	61,02	20,83	38,40
286	170	40	1,181	0,979	1,456	1,453	56,20	55,45	58,43	18,74	37,46
287	170	50	1,059	1,526	1,259	1,356	56,80	60,04	62,71	21,99	34,81
288	170	60	1,192	1,641	1,595	1,277	54,76	55,01	58,02	15,47	39,29
289	170	70	1,232	2,386	1,309	1,231	53,45	53,52	56,63	13,22	40,23
290	170	80	1,261	1,640	1,492	1,369	53,87	52,42	55,60	13,63	40,24
291	170	90	1,105	2,270	1,354	1,432	58,14	58,31	61,10	20,59	37,55
292	170	100	1,138	1,657	1,602	1,282	55,92	57,06	59,94	19,94	35,98
293	170	110	1,174	1,136	1,389	1,405	57,69	55,71	58,67	20,94	36,75
294	170	120	1,150	1,623	1,377	1,508	53,50	56,62	59,52	16,24	37,26
295	170	130	1,157	1,812	1,399	1,338	55,32	56,34	59,26	17,32	38,00
296	170	140	1,224	1,645	1,220	1,620	59,02	53,81	56,90	18,60	40,42
297	170	150	1,129	1,690	1,165	1,133	58,57	57,39	60,24	21,01	37,56
298	170	160	0,977	1,713	1,276	1,252	63,10	63,12	65,59	27,09	36,01
299	170	170	0,972	1,322	1,495	1,300	60,86	63,34	65,79	24,94	35,92
300	170	180	1,058	1,622	1,503	1,244	62,62	60,08	62,75	24,71	37,91
301	170	190	1,059	1,498	1,589	1,132	60,44	60,06	62,73	23,84	36,60
302	170	200	1,103	1,457	1,506	1,201	58,41	58,38	61,17	18,80	39,61

Anexo 2 – Valores de umidade do solo obtidos por diferentes métodos de amostragem ao longo da grade de coleta de dados com suas respectivas coordenadas geográficas.

Ponto	X	Y	U-Anel %	A-A %	U-B %	U-C %	U-M %	U-TDR09 %	U-TDR11 %
1	0	10	46,24	24,51	25,89	26,08	25,50	8	9
2	0	20	45,77	27,51	31,19	34,06	30,92	12	12
3	0	30	45,69	32,05	30,17	27,95	30,06	10	10
4	0	40	46,45	29,13	25,30	30,48	28,30	12	9
5	0	50	46,75	31,81	29,82	30,36	30,66	8	11
6	0	60	50,08	32,42	33,13	31,15	32,23	12	11
7	0	70	48,28	28,82	28,79	30,85	29,49	10	9
8	0	80	50,34	27,88	30,03	32,10	30,00	11	17
9	0	90	49,42	30,14	28,99	29,46	29,53	11	9
10	0	100	47,08	30,43	26,70	30,38	29,17	12	11
11	0	110	45,88	28,52	35,12	32,28	31,97	10	8
12	0	120	46,45	31,84	30,41	31,94	31,40	8	10
13	0	130	48,25	30,39	30,81	30,57	30,59	13	12
14	0	140	45,59	30,82	30,27	31,27	30,79	10	15
15	0	150	48,64	31,61	32,48	27,98	30,69	9	9
16	0	160	44,80	33,16	27,23	25,96	28,78	13	7
17	0	170	54,90	27,51	23,22	27,64	26,12	9	7
18	10	0	27,59	26,81	28,44	28,78	28,01	10	9
19	10	10	52,38	30,30	21,13	28,99	26,81	7	10
20	10	20	50,33	32,93	31,49	29,55	31,32	11	8
21	10	30	40,44	29,87	29,27	30,15	29,76	10	8
22	10	40	55,75	28,48	32,71	31,29	30,83	14	13
23	10	50	44,01	33,37	26,14	29,88	29,80	11	13
24	10	60	37,58	31,77	31,33	30,92	31,34	16	13
25	10	70	46,27	31,45	-1,00	35,70	22,05	13	16
26	10	80	54,39	32,32	31,08	31,71	31,70	14	10
27	10	90	44,82	40,05	29,90	31,23	33,73	15	12
28	10	100	41,40	29,82	28,30	31,27	29,80	14	14
29	10	110	59,38	32,86	32,80	33,26	32,97	14	8
30	10	120	47,64	30,55	29,56	30,81	30,30	10	10
31	10	130	48,13	37,33	29,74	22,95	30,01	11	11
32	10	140	31,58	48,84	30,83	26,40	35,36	13	11
33	10	150	55,77	33,60	29,45	36,49	33,18	12	11
34	10	160	27,62	31,52	37,61	30,13	33,09	11	10
35	10	170	48,72	33,24	30,47	31,93	31,88	7	11
36	20	0	45,18	27,28	33,12	29,47	29,96	11	11
37	20	10	46,26	32,17	41,70	32,70	35,53	10	13
38	20	20	42,54	29,14	32,75	33,74	31,88	14	13
39	20	30	44,55	49,83	35,73	34,24	39,93	11	12
40	20	40	45,98	39,32	25,06	31,03	31,81	16	11
41	20	50	43,73	28,04	31,35	31,78	30,39	18	13
42	20	60	47,00	32,96	39,59	32,68	35,08	11	12
43	20	70	46,50	34,22	31,46	30,59	32,09	13	12
44	20	80	45,68	34,82	36,64	35,58	35,68	13	10
45	20	90	47,17	30,71	28,15	35,15	31,34	12	11
46	20	100	48,11	32,29	36,26	29,32	32,62	12	10
47	20	110	46,81	33,02	30,94	31,72	31,89	11	9
48	20	120	46,01	29,90	21,39	28,72	26,67	12	9
49	20	130	45,80	29,78	41,13	32,30	34,40	12	9
50	20	140	46,04	28,30	30,52	30,66	29,83	10	9
51	20	150	45,00	29,67	24,39	31,22	28,43	12	12
52	20	160	45,94	29,55	29,69	31,21	30,15	12	10
53	20	170	46,15	28,44	37,55	31,17	32,39	12	13
54	30	0	45,70	29,87	38,40	28,66	32,31	13	14
55	30	10	42,27	32,25	24,49	33,62	30,12	11	12
56	30	20	44,74	31,80	36,56	32,17	33,51	11	11
57	30	30	44,70	29,12	27,58	33,22	29,97	13	14
58	30	40	43,71	29,35	30,09	29,63	29,69	12	14
59	30	50	43,73	33,72	25,51	32,43	30,55	14	15
60	30	60	42,79	31,04	30,66	30,14	30,61	12	11
61	30	70	44,69	26,55	36,90	32,25	31,90	14	10
62	30	80	44,81	31,30	27,71	30,98	29,99	12	9
63	30	90	44,48	31,70	29,57	32,09	31,12	12	14
64	30	100	42,89	32,18	35,45	68,87	45,50	13	10

Continua...

Continuação...

65	30	110	45,02	31,31	31,09	29,98	30,80	13	12
66	30	120	48,92	29,73	29,82	30,31	29,95	13	10
67	30	130	46,68	29,47	20,98	34,50	28,32	15	12
68	30	140	45,33	31,46	22,34	32,11	28,64	14	10
69	30	150	46,32	29,59	25,09	29,07	27,92	18	10
70	30	160	47,47	32,38	36,82	32,45	33,89	14	10
71	30	170	44,09	29,75	27,51	27,88	28,38	17	10
72	40	0	46,23	31,08	21,21	31,64	27,98	12	10
73	40	10	44,07	33,84	18,30	32,12	28,09	12	10
74	40	20	41,61	32,47	28,13	31,68	30,76	14	12
75	40	30	42,97	37,37	30,95	34,27	34,19	16	16
76	40	40	48,13	31,15	24,27	30,89	28,77	9	16
77	40	50	45,95	28,95	35,42	32,18	32,18	13	11
78	40	60	47,61	32,70	30,64	33,49	32,28	13	12
79	40	70	45,22	30,55	22,88	29,20	27,54	10	9
80	40	80	44,86	33,53	18,85	30,00	27,46	10	9
81	40	90	45,20	34,03	30,71	34,39	33,05	12	12
82	40	100	43,69	35,78	31,72	33,30	33,60	12	14
83	40	110	43,64	30,21	32,27	32,67	31,72	9	13
84	40	120	42,57	34,08	37,85	34,36	35,43	11	11
85	40	130	40,52	29,76	22,71	32,80	28,42	12	8
86	40	140	45,29	32,05	44,13	32,83	36,33	12	11
87	40	150	44,08	35,36	42,22	33,83	37,14	12	11
88	40	160	46,08	32,82	18,65	33,00	28,16	10	8
89	40	170	44,73	31,87	33,90	29,77	31,85	10	11
90	50	10	47,36	29,30	26,14	29,32	28,25	12	9
91	50	20	-1,00	27,71	17,83	30,56	25,37	12	11
92	50	30	43,13	42,42	16,48	30,87	29,92	13	11
93	50	40	43,27	30,75	38,88	31,42	33,68	11	9
94	50	50	42,49	36,36	25,56	28,04	29,99	14	9
95	50	60	48,09	31,65	30,27	30,91	30,94	12	10
96	50	70	42,11	32,05	38,59	32,70	34,45	13	8
97	50	80	41,68	30,10	23,87	29,53	27,84	13	8
98	50	90	44,74	31,44	32,51	34,44	32,79	11	12
99	50	100	44,29	29,81	28,47	32,81	30,36	14	9
100	50	110	40,59	31,41	27,28	34,03	30,91	11	12
101	50	120	44,98	30,07	28,47	30,76	29,77	14	11
102	50	130	43,99	30,56	30,67	32,01	31,08	13	14
103	50	140	41,86	37,61	26,66	31,83	32,03	13	10
104	50	150	44,05	31,79	28,35	33,88	31,34	10	10
105	50	160	45,05	27,38	30,93	30,97	29,76	11	9
106	50	170	45,30	29,45	27,87	36,07	31,13	10	11
107	60	10	39,95	24,11	24,48	30,72	26,44	12	10
108	60	20	41,11	29,01	27,92	28,24	28,39	10	9
109	60	30	42,02	32,86	31,82	36,05	33,58	9	13
110	60	40	45,98	31,29	29,41	28,64	29,78	12	12
111	60	50	42,04	33,30	28,76	30,77	30,94	14	11
112	60	60	41,75	31,17	30,98	34,29	32,15	14	11
113	60	70	44,75	32,53	48,95	15,20	32,23	13	11
114	60	80	40,58	31,61	27,81	30,35	29,92	12	12
115	60	90	43,34	33,36	32,29	31,25	32,30	12	11
116	60	100	44,59	29,03	31,95	27,57	29,52	13	10
117	60	110	46,17	30,28	28,21	30,84	29,78	13	11
118	60	120	40,18	31,23	32,56	35,56	33,11	14	11
119	60	130	44,72	31,60	33,07	31,22	31,96	14	20
120	60	140	41,70	31,17	31,56	29,98	30,90	12	11
121	60	150	41,09	32,49	31,11	32,63	32,08	11	8
122	60	160	42,01	31,11	22,16	27,72	27,00	12	9
123	60	170	42,11	29,02	24,87	23,33	25,74	14	10
124	70	20	38,36	26,93	24,25	23,12	24,77	12	12
125	70	30	35,09	30,97	30,03	26,83	29,28	14	11
126	70	40	34,89	29,77	25,40	30,66	28,61	12	8
127	70	50	36,11	33,01	36,21	29,11	32,78	11	9
128	70	60	37,13	31,29	34,18	34,32	33,26	13	11
129	70	70	38,92	30,53	29,26	31,60	30,46	14	13
130	70	80	38,64	27,10	28,43	33,47	29,67	12	10
131	70	90	43,38	26,70	24,71	38,15	29,85	13	8
132	70	100	41,32	31,89	27,64	29,84	29,79	13	13

Continua...

Continuação...

133	70	110	40,77	29,52	25,39	31,61	28,84	11	11
134	70	120	40,35	27,21	26,95	33,42	29,19	10	11
135	70	130	41,44	29,84	29,81	33,80	31,15	16	16
136	70	140	35,40	31,34	32,17	30,06	31,19	10	9
137	70	150	43,21	32,15	26,80	30,92	29,96	11	10
138	70	160	35,16	34,71	32,93	31,28	32,97	11	9
139	70	170	39,18	29,02	40,53	24,36	31,30	12	11
140	80	20	40,39	34,02	20,12	30,69	28,28	12	14
141	80	30	39,19	29,61	34,00	30,68	31,43	9	12
142	80	40	42,67	31,81	38,13	31,30	33,75	10	11
143	80	50	37,46	29,72	30,01	31,96	30,56	11	11
144	80	60	42,36	32,13	36,61	30,76	33,17	10	12
145	80	70	40,73	32,86	31,33	31,70	31,96	13	14
146	80	80	38,68	34,42	43,49	28,55	35,49	12	15
147	80	90	39,71	30,46	29,72	33,88	31,35	11	7
148	80	100	38,71	36,93	29,06	35,87	33,96	9	13
149	80	110	36,76	39,75	43,44	31,92	38,37	12	11
150	80	120	40,91	24,69	42,93	28,23	31,95	14	12
151	80	130	35,99	28,05	40,65	30,66	33,12	13	11
152	80	140	36,08	38,04	34,02	31,89	34,65	12	14
153	80	150	41,03	46,41	34,25	42,40	41,02	13	9
154	80	160	43,60	35,55	33,29	29,58	32,81	10	13
155	80	170	36,82	44,18	28,36	26,14	32,89	11	10
156	90	20	38,84	31,77	42,79	32,14	35,57	9	11
157	90	30	41,42	36,07	40,75	39,77	38,86	9	9
158	90	40	40,84	39,58	31,44	31,49	34,17	12	11
159	90	50	41,25	39,22	43,69	38,36	40,42	11	15
160	90	60	38,34	40,60	30,85	33,67	35,04	15	14
161	90	70	39,78	57,09	43,41	21,45	40,65	15	16
162	90	80	44,10	30,85	57,87	51,68	46,80	14	19
163	90	90	40,43	53,58	45,84	50,47	49,96	12	14
164	90	100	38,99	47,08	39,18	21,36	35,87	10	13
165	90	110	38,26	20,05	36,19	24,31	26,85	9	14
166	90	120	39,25	36,00	33,96	39,66	36,54	10	11
167	90	130	41,25	19,07	37,51	42,94	33,17	13	9
168	90	140	43,85	35,26	32,86	44,55	37,56	9	11
169	90	150	40,80	36,22	39,55	29,02	34,93	12	11
170	90	160	39,98	37,00	32,48	44,12	37,87	12	12
171	90	170	37,17	40,77	29,95	40,02	36,91	10	9
172	100	30	37,75	30,89	32,85	34,22	32,65	10	10
173	100	40	37,40	39,04	33,12	33,02	35,06	9	10
174	100	50	36,94	33,12	33,95	31,78	32,95	11	7
175	100	60	39,05	37,51	34,42	35,44	35,79	12	11
176	100	70	38,35	35,16	34,39	35,37	34,98	12	12
177	100	80	41,54	33,20	34,68	37,51	35,13	11	10
178	100	90	35,26	35,77	34,57	37,82	36,06	12	11
179	100	100	38,20	35,65	31,04	35,20	33,96	14	8
180	100	110	39,43	38,29	35,25	36,36	36,63	12	7
181	100	120	47,28	35,68	39,44	27,15	34,09	14	12
182	100	130	42,35	39,66	37,17	30,96	35,93	10	12
183	100	140	41,87	30,49	30,61	27,98	29,70	14	12
184	100	150	41,37	28,54	29,93	34,80	31,09	14	12
185	100	160	33,87	34,96	30,58	29,92	31,82	12	9
186	100	170	38,42	33,37	36,11	35,85	35,11	12	7
187	100	180	37,78	-1,00	28,28	32,82	20,03	12	11
188	110	30	39,98	28,11	27,78	62,84	39,58	8	11
189	110	40	39,29	28,52	23,41	29,50	27,14	12	11
190	110	50	39,30	25,69	26,31	51,15	34,39	10	9
191	110	60	36,39	26,56	27,40	24,17	26,04	11	8
192	110	70	41,19	28,81	29,15	28,97	28,98	11	9
193	110	80	42,41	46,35	26,25	62,80	45,13	10	11
194	110	90	46,89	15,95	28,45	21,41	21,94	11	11
195	110	100	36,87	31,41	25,39	41,95	32,92	11	11
196	110	110	38,49	21,02	27,91	33,37	27,43	11	11
197	110	120	38,08	28,25	41,99	20,88	30,37	12	17
198	110	130	37,90	26,42	23,64	16,36	22,14	9	8
199	110	140	40,85	45,12	26,70	42,05	37,96	13	11
200	110	150	43,24	22,44	47,35	49,60	39,79	15	12

Continua...

Continuação...

201	110	160	41,57	43,70	17,64	19,11	26,82	18	13
202	110	170	44,46	37,92	22,79	31,83	30,85	10	18
203	110	180	39,49	31,07	46,27	24,71	34,01	10	12
204	120	30	50,49	38,19	46,87	44,18	43,08	14	12
205	120	40	46,90	45,14	27,22	30,12	34,16	12	9
206	120	50	43,36	27,42	26,40	27,50	27,11	9	9
207	120	60	40,11	56,31	26,83	26,29	36,48	10	11
208	120	70	38,74	28,75	40,15	29,04	32,65	10	10
209	120	80	41,90	29,69	31,74	13,42	24,95	12	9
210	120	90	34,06	30,46	24,88	30,68	28,68	11	9
211	120	100	43,27	35,20	34,16	29,62	33,00	10	10
212	120	110	33,33	37,31	16,53	29,33	27,72	10	10
213	120	120	29,10	28,28	28,82	30,30	29,13	12	8
214	120	130	38,93	29,89	43,02	27,07	33,32	8	11
215	120	140	60,52	26,61	34,75	31,77	31,04	11	11
216	120	150	29,56	32,04	14,01	31,36	25,80	9	14
217	120	160	44,37	32,76	42,15	30,96	35,29	15	13
218	120	170	47,01	31,73	22,99	31,93	28,88	11	12
219	120	180	41,15	31,22	27,03	34,29	30,85	11	8
220	130	30	38,97	33,15	13,74	32,67	26,52	13	16
221	130	40	31,47	34,05	29,27	31,30	31,54	13	11
222	130	50	41,55	28,96	32,62	24,66	28,75	11	10
223	130	60	34,19	30,02	29,78	29,82	29,87	11	12
224	130	70	41,12	28,30	16,32	30,01	24,88	11	9
225	130	80	30,97	35,96	14,48	-1,00	16,48	9	11
226	130	90	37,30	41,43	46,94	38,03	42,13	10	10
227	130	100	32,62	35,97	31,08	56,07	41,04	13	13
228	130	110	40,35	68,04	51,69	52,47	57,40	10	13
229	130	120	36,53	55,32	61,82	43,77	53,64	8	11
230	130	130	37,59	44,28	22,53	46,11	37,64	10	9
231	130	140	49,11	54,71	68,27	46,02	56,33	8	13
232	130	150	38,11	42,23	27,77	51,92	40,64	7	13
233	130	160	41,69	44,96	31,46	54,64	43,69	16	15
234	130	170	44,64	53,58	54,05	45,79	51,14	16	14
235	130	180	39,00	37,79	58,30	38,26	44,78	11	11
236	140	30	50,09	27,89	28,79	31,03	29,24	8	12
237	140	40	40,79	30,77	30,96	33,18	31,64	11	11
238	140	50	37,65	27,89	31,56	28,40	29,28	10	13
239	140	60	37,41	31,62	55,16	27,15	37,97	13	10
240	140	70	35,55	26,61	35,35	26,22	29,39	10	14
241	140	80	33,75	29,88	63,89	24,43	39,40	11	12
242	140	90	34,71	31,40	40,54	30,34	34,09	16	9
243	140	100	41,94	33,45	47,33	30,11	36,96	12	13
244	140	110	39,66	26,69	15,48	29,86	24,01	13	11
245	140	120	33,64	30,29	18,33	31,73	26,78	9	10
246	140	130	33,68	32,15	36,90	30,44	33,16	10	13
247	140	140	35,24	29,21	58,68	28,39	38,76	12	15
248	140	150	38,93	34,34	32,38	38,65	35,12	14	13
249	140	160	35,91	34,16	51,16	35,24	40,19	16	13
250	140	170	42,55	36,66	33,38	35,47	35,17	13	12
251	140	180	52,74	30,99	30,31	29,88	30,39	16	14
252	140	190	53,41	24,34	30,85	27,28	27,49	15	10
253	150	30	39,07	26,33	26,78	27,03	26,71	12	11
254	150	40	36,36	26,33	26,63	29,80	27,58	12	10
255	150	50	36,58	30,37	28,34	36,14	31,62	13	11
256	150	60	32,54	27,02	31,60	28,51	29,04	14	14
257	150	70	34,81	31,47	34,14	19,93	28,52	12	12
258	150	80	36,19	32,02	30,32	26,96	29,77	12	11
259	150	90	39,02	31,99	30,19	47,82	36,66	15	14
260	150	100	36,81	32,33	28,77	58,20	39,77	17	14
261	150	110	35,58	30,44	32,68	28,57	30,56	10	11
262	150	120	34,92	31,63	29,37	13,09	24,70	14	12
263	150	130	33,01	27,84	28,49	55,48	37,27	12	13
264	150	140	47,81	25,48	29,65	12,35	22,49	16	10
265	150	150	33,83	31,28	30,24	-1,00	20,17	21	13
266	150	160	-1,00	29,49	31,85	30,99	30,78	15	9
267	150	170	41,48	46,92	28,86	32,28	36,02	16	12
268	150	180	-1,00	30,80	34,47	31,33	32,20	16	18

Continua...

Continuação...

269	150	190	45,53	29,74	27,68	26,86	28,09	12	10
270	160	40	38,21	29,54	29,74	32,72	30,66	18	14
271	160	50	42,01	34,20	31,84	31,75	32,60	15	14
272	160	60	40,55	30,90	28,09	26,22	28,41	15	15
273	160	70	45,46	28,44	32,61	31,28	30,77	17	15
274	160	80	35,06	31,01	30,38	32,28	31,22	10	13
275	160	90	40,11	34,35	30,86	27,13	30,78	11	13
276	160	100	36,90	35,31	30,73	-1,00	21,68	12	10
277	160	110	31,39	35,17	30,52	29,29	31,66	12	14
278	160	120	34,45	33,92	31,68	30,83	32,14	11	12
279	160	130	35,96	42,99	53,26	31,14	42,46	13	10
280	160	140	31,00	32,75	30,57	31,49	31,61	13	9
281	160	150	34,05	30,25	23,01	30,05	27,77	10	17
282	160	160	36,83	32,90	45,16	31,57	36,54	13	10
283	160	170	34,02	32,49	19,04	35,91	29,15	13	16
284	160	180	43,87	37,06	28,70	33,65	33,14	14	20
285	160	190	40,12	34,90	44,86	32,64	37,47	14	19
286	170	40	40,17	32,06	35,42	34,62	34,03	14	18
287	170	50	36,70	27,24	55,35	30,38	37,66	16	19
288	170	60	41,12	30,80	32,87	29,64	31,10	15	12
289	170	70	40,93	28,35	24,41	29,25	27,34	16	13
290	170	80	38,17	31,81	-1,00	27,92	19,58	13	16
291	170	90	38,03	26,31	-1,00	27,50	17,60	12	11
292	170	100	33,82	33,14	32,07	9,39	24,87	13	12
293	170	110	36,77	31,22	24,56	29,08	28,29	13	12
294	170	120	34,17	28,33	-1,00	27,72	18,35	12	13
295	170	130	34,51	34,81	31,83	26,76	31,13	14	12
296	170	140	40,80	31,99	31,70	28,34	30,68	14	11
297	170	150	35,65	34,70	33,39	31,35	33,15	14	10
298	170	160	38,11	32,21	32,87	26,98	30,68	14	11
299	170	170	34,65	35,17	30,98	31,31	32,48	15	11
300	170	180	39,11	31,49	32,86	28,59	30,98	12	14
301	170	190	36,13	32,64	28,06	32,14	30,95	12	12
302	170	200	37,10	26,81	28,52	27,34	27,56	12	13

Anexo 3 – Valores do armazenamento de água nas diferentes datas de amostragem e da perda média diária de água pelo solo nos períodos de estudo, ao longo da grade de coleta de dados com suas respectivas coordenadas geográficas.

Ponto	X	Y	A-Anel	A-A	A-B	A-C	A-M	A-TDR09	A-TDR11	P-A	P-B	P-C	P-M	P-TDR
			mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm dia^{-1}	mm dia^{-1}	mm dia^{-1}	mm dia^{-1}	mm dia^{-1}
1	0	10	46,24	31,81	33,60	33,85	33,09	8	9	0,992	1,073	1,084	1,049	0,006
2	0	20	45,77	31,71	35,96	39,27	35,65	12	12	0,532	0,726	0,876	0,711	0,075
3	0	30	45,69	37,27	35,09	32,51	34,96	10	10	0,331	0,231	0,114	0,225	-0,059
4	0	40	46,45	37,25	32,34	38,96	36,18	12	9	-0,125	-0,348	-0,047	-0,173	0,150
5	0	50	46,75	38,20	35,81	36,45	36,82	8	11	-0,536	-0,645	-0,616	-0,599	0,015
6	0	60	50,08	40,32	41,21	38,75	40,09	12	11	-0,895	-0,854	-0,966	-0,905	-0,056
7	0	70	48,28	33,14	33,11	35,49	33,91	10	9	-1,675	-1,677	-1,569	-1,640	0,054
8	0	80	50,34	34,89	37,58	40,17	37,55	11	17	-2,050	-1,928	-1,810	-1,930	0,059
9	0	90	49,42	37,55	36,12	36,70	36,79	11	9	-2,384	-2,449	-2,423	-2,419	0,013
10	0	100	47,08	34,26	30,07	34,21	32,85	12	11	-2,988	-3,179	-2,990	-3,052	0,094
11	0	110	45,88	32,14	39,58	36,37	36,03	10	8	-3,539	-3,201	-3,347	-3,362	-0,073
12	0	120	46,45	35,80	34,19	35,91	35,30	8	10	-3,827	-3,901	-3,822	-3,850	0,039
13	0	130	48,25	32,69	33,14	32,89	32,90	13	12	-4,423	-4,403	-4,414	-4,413	-0,006
14	0	140	45,59	35,21	34,58	35,72	35,17	10	15	-4,763	-4,792	-4,740	-4,765	0,026
15	0	150	48,64	35,31	36,29	31,26	34,29	9	9	-5,213	-5,169	-5,397	-5,260	-0,114
16	0	160	44,80	33,64	27,62	26,33	29,19	13	7	-5,744	-6,017	-6,076	-5,946	-0,02
17	0	170	54,90	29,96	25,29	30,10	28,45	9	7	-6,365	-6,578	-6,359	-6,434	0,109
18	10	0	27,59	33,32	35,35	35,76	34,81	10	9	1,515	1,607	1,626	1,582	0,009
19	10	10	52,38	35,31	24,63	33,78	31,24	7	10	1,151	0,665	1,081	0,965	0,208
20	10	20	50,33	36,69	35,08	32,92	34,90	11	8	0,759	0,686	0,587	0,677	-0,04
21	10	30	40,44	34,85	34,15	35,17	34,72	10	8	0,220	0,189	0,235	0,215	0,023
22	10	40	55,75	31,33	35,98	34,41	33,91	14	13	-0,394	-0,183	-0,254	-0,277	-0,036
23	10	50	44,01	37,56	29,43	33,63	33,54	11	13	-0,565	-0,935	-0,744	-0,748	0,096
24	10	60	37,58	36,87	36,35	35,88	36,37	16	13	-1,051	-1,075	-1,096	-1,074	-0,011
25	10	70	46,27	37,21	-1,00	42,24	-1,00	13	16	-1,490	-1,000	-1,262	-1,000	-0,131
26	10	80	54,39	35,67	34,30	35,00	34,99	14	10	-2,015	-2,077	-2,046	-2,046	0,016
27	10	90	44,82	44,85	33,48	34,97	37,77	15	12	-2,052	-2,569	-2,501	-2,374	0,034
28	10	100	41,40	34,64	32,87	36,32	34,61	14	14	-2,971	-3,051	-2,895	-2,972	0,078
29	10	110	59,38	35,16	35,09	35,59	35,28	14	8	-3,402	-3,405	-3,382	-3,396	0,011
30	10	120	47,64	32,44	31,39	32,72	32,18	10	10	-3,980	-4,028	-3,967	-3,992	0,030
31	10	130	48,13	37,79	30,11	23,24	30,38	11	11	-4,191	-4,540	-4,853	-4,528	-0,156
32	10	140	31,58	55,35	34,95	29,92	40,07	13	11	-3,848	-4,775	-5,004	-4,542	-0,114
33	10	150	55,77	34,83	30,53	37,82	34,39	12	11	-5,235	-5,431	-5,099	-5,255	0,166
34	10	160	27,62	38,19	45,57	36,50	40,09	11	10	-5,537	-5,201	-5,614	-5,451	-0,206
35	10	170	48,72	39,37	36,09	37,83	37,76	7	11	-5,938	-6,087	-6,008	-6,011	0,039
36	20	0	45,18	34,81	42,26	37,61	38,22	11	11	1,582	1,921	1,709	1,737	-0,106
37	20	10	46,26	35,97	46,63	36,57	39,72	10	13	1,180	1,665	1,208	1,351	-0,229
38	20	20	42,54	33,46	37,61	38,74	36,60	14	13	0,612	0,800	0,852	0,755	0,026
39	20	30	44,55	50,45	36,17	34,66	40,42	11	12	0,929	0,280	0,212	0,474	-0,034
40	20	40	45,98	45,43	28,95	35,85	36,74	16	11	0,247	-0,502	-0,189	-0,148	0,157
41	20	50	43,73	29,29	32,74	33,19	31,74	18	13	-0,941	-0,784	-0,764	-0,830	0,010
42	20	60	47,00	38,44	46,17	38,12	40,91	11	12	-0,980	-0,629	-0,995	-0,868	-0,183
43	20	70	46,50	36,18	33,27	32,35	33,93	13	12	-1,537	-1,670	-1,712	-1,640	-0,021
44	20	80	45,68	38,52	40,53	39,36	39,47	13	10	-1,886	-1,794	-1,847	-1,842	-0,027
45	20	90	47,17	35,54	32,58	40,69	36,27	12	11	-2,476	-2,610	-2,242	-2,442	0,184
46	20	100	48,11	37,14	41,71	33,72	37,52	12	10	-2,857	-2,650	-3,013	-2,840	-0,181
47	20	110	46,81	35,96	33,69	34,54	34,73	11	9	-3,366	-3,469	-3,430	-3,421	0,019
48	20	120	46,01	33,23	23,77	31,92	29,64	12	9	-3,944	-4,374	-4,004	-4,107	0,185
49	20	130	45,80	34,70	47,92	37,64	40,09	12	9	-4,332	-3,731	-4,198	-4,087	-0,234
50	20	140	46,04	30,64	33,04	33,20	32,29	10	9	-4,971	-4,862	-4,855	-4,896	0,004
51	20	150	45,00	31,82	26,16	33,48	30,49	12	12	-5,372	-5,629	-5,296	-5,432	0,166
52	20	160	45,94	34,42	34,58	36,36	35,12	12	10	-5,708	-5,701	-5,620	-5,676	0,040
53	20	170	46,15	31,39	41,45	34,40	35,75	12	13	-6,300	-5,843	-6,164	-6,102	-0,160
54	30	0	45,70	35,41	45,52	33,97	38,30	13	14	1,610	2,069	1,544	1,741	-0,262
55	30	10	42,27	34,59	26,27	36,06	32,31	11	12	1,118	0,739	1,185	1,014	0,223
56	30	20	44,74	38,59	44,36	39,03	40,66	11	11	0,845	1,107	0,865	0,939	-0,121
57	30	30	44,70	31,67	30,00	36,13	32,60	13	14	0,076	0,000	0,279	0,118	0,139
58	30	40	43,71	30,94	31,72	31,24	31,30	12	14	-0,412	-0,377	-0,398	-0,396	-0,011
59	30	50	43,73	41,26	31,22	39,68	37,39	14	15	-0,397	-0,854	-0,469	-0,573	0,192
60	30	60	42,79	34,92	34,49	33,91	34,44	12	11	-1,140	-1,159	-1,186	-1,162	-0,013
61	30	70	44,69	29,73	41,33	36,12	35,72	14	10	-1,831	-1,303	-1,540	-1,558	-0,118
62	30	80	44,81	32,58	28,84	32,24	31,22	12	9	-2,156	-2,325	-2,171	-2,217	0,077

Continua...

Continuação...

63	30	90	44,48	35,51	33,12	35,94	34,86	12	14	-2,477	-2,585	-2,457	-2,507	0,064
64	30	100	42,89	33,46	36,86	71,61	47,31	13	10	-3,025	-2,870	-1,290	-2,395	0,790
65	30	110	45,02	36,51	36,25	34,95	35,90	13	12	-3,341	-3,352	-3,411	-3,368	-0,030
66	30	120	48,92	35,55	35,66	36,25	35,82	13	10	-3,838	-3,833	-3,807	-3,826	0,013
67	30	130	46,68	32,35	23,03	37,87	31,08	15	12	-4,439	-4,862	-4,188	-4,496	0,337
68	30	140	45,33	35,08	24,92	35,81	31,94	14	10	-4,769	-5,231	-4,736	-4,912	0,248
69	30	150	46,32	34,26	29,05	33,64	32,32	18	10	-5,261	-5,498	-5,289	-5,349	0,105
70	30	160	47,47	37,88	43,07	37,96	39,64	14	10	-5,551	-5,315	-5,547	-5,471	-0,116
71	30	170	44,09	31,12	28,78	29,17	29,69	17	10	-6,313	-6,419	-6,401	-6,378	0,009
72	40	0	46,23	36,43	24,86	37,08	32,79	12	10	1,656	1,130	1,685	1,490	0,278
73	40	10	44,07	37,40	20,23	35,50	31,04	12	10	1,245	0,465	1,159	0,956	0,347
74	40	20	41,61	32,16	27,87	31,38	30,47	14	12	0,553	0,358	0,517	0,476	0,080
75	40	30	42,97	38,87	32,19	35,65	35,57	16	16	0,403	0,100	0,257	0,253	0,079
76	40	40	48,13	37,93	29,55	37,61	35,03	9	16	-0,094	-0,475	-0,109	-0,226	0,183
77	40	50	45,95	32,73	40,05	36,38	36,39	13	11	-0,785	-0,452	-0,619	-0,619	-0,083
78	40	60	47,61	32,40	30,36	33,19	31,99	13	12	-1,254	-1,347	-1,219	-1,273	0,064
79	40	70	45,22	33,66	25,21	32,17	30,35	10	9	-1,652	-2,036	-1,719	-1,802	0,158
80	40	80	44,86	37,15	20,89	33,24	30,43	10	9	-1,948	-2,687	-2,125	-2,253	0,281
81	40	90	45,20	33,37	30,11	33,72	32,40	12	12	-2,574	-2,722	-2,558	-2,618	0,082
82	40	100	43,69	35,36	31,35	32,91	33,21	12	14	-2,938	-3,120	-3,050	-3,036	0,035
83	40	110	43,64	32,09	34,28	34,70	33,69	9	13	-3,541	-3,442	-3,423	-3,469	0,010
84	40	120	42,57	36,93	41,02	37,23	38,39	11	11	-3,776	-3,590	-3,762	-3,709	-0,086
85	40	130	40,52	30,26	23,09	33,35	28,90	12	8	-4,534	-4,860	-4,393	-4,595	0,233
86	40	140	45,29	33,77	46,49	34,59	38,28	12	11	-4,829	-4,250	-4,791	-4,624	-0,271
87	40	150	44,08	37,85	45,19	36,21	39,75	12	11	-5,098	-4,764	-5,172	-5,011	-0,204
88	40	160	46,08	36,74	20,88	36,94	31,52	10	8	-5,603	-6,323	-5,594	-5,840	0,365
89	40	170	44,73	34,57	36,78	32,30	34,55	10	11	-6,156	-6,055	-6,259	-6,157	-0,102
90	50	10	47,36	34,55	30,82	34,56	33,31	12	9	1,116	0,946	1,117	1,060	0,085
91	50	20	-1,00	32,80	21,11	36,19	30,03	12	11	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	0,000
92	50	30	43,13	45,90	17,83	33,40	32,38	13	11	0,723	-0,553	0,154	0,108	0,354
93	50	40	43,27	35,87	45,36	36,65	39,29	11	9	-0,188	0,244	-0,152	-0,032	-0,198
94	50	50	42,49	37,21	26,16	28,70	30,69	14	9	-0,581	-1,084	-0,968	-0,878	0,058
95	50	60	48,09	36,88	35,26	36,01	36,05	12	10	-1,051	-1,124	-1,090	-1,089	0,017
96	50	70	42,11	35,35	42,56	36,06	37,99	13	8	-1,575	-1,247	-1,543	-1,455	-0,148
97	50	80	41,68	31,78	25,20	31,18	29,39	13	8	-2,192	-2,491	-2,219	-2,301	0,136
98	50	90	44,74	35,75	36,97	39,17	37,29	11	12	-2,466	-2,411	-2,311	-2,396	0,050
99	50	100	44,29	33,84	32,31	37,24	34,46	14	9	-3,007	-3,077	-2,853	-2,979	0,112
100	50	110	40,59	32,35	28,10	35,05	31,83	11	12	-3,529	-3,723	-3,407	-3,553	0,158
101	50	120	44,98	33,59	31,81	34,37	33,26	14	11	-3,928	-4,009	-3,892	-3,943	0,058
102	50	130	43,99	34,97	35,10	36,63	35,57	13	14	-4,320	-4,313	-4,244	-4,292	0,035
103	50	140	41,86	38,22	27,09	32,34	32,55	13	10	-4,626	-5,132	-4,894	-4,884	0,119
104	50	150	44,05	36,57	32,61	38,97	36,05	10	10	-5,156	-5,336	-5,047	-5,180	0,144
105	50	160	45,05	29,38	33,18	33,23	31,93	11	9	-5,937	-5,764	-5,762	-5,821	0,001
106	50	170	45,30	37,02	35,03	45,34	39,13	10	11	-6,044	-6,135	-5,666	-5,949	0,234
107	60	10	39,95	27,46	27,88	34,99	30,11	12	10	0,794	0,813	1,136	0,914	0,162
108	60	20	41,11	33,66	32,40	32,78	32,95	10	9	0,621	0,564	0,581	0,588	0,008
109	60	30	42,02	35,81	34,67	39,28	36,58	9	13	0,264	0,212	0,422	0,299	0,105
110	60	40	45,98	37,82	35,54	34,62	35,99	12	12	-0,099	-0,203	-0,245	-0,182	-0,021
111	60	50	42,04	41,05	35,45	37,93	38,15	14	11	-0,407	-0,661	-0,549	-0,539	0,056
112	60	60	41,75	34,31	34,10	37,74	35,39	14	11	-1,168	-1,177	-1,012	-1,119	0,083
113	60	70	44,75	40,62	61,12	18,99	40,24	13	11	-1,335	-0,403	-2,319	-1,353	-0,958
114	60	80	40,58	33,18	29,20	31,86	31,41	12	12	-2,128	-2,309	-2,188	-2,209	0,060
115	60	90	43,34	36,38	35,22	34,08	35,22	12	11	-2,437	-2,490	-2,542	-2,490	-0,026
116	60	100	44,59	33,77	37,17	32,07	34,34	13	10	-3,010	-2,856	-3,088	-2,985	-0,116
117	60	110	46,17	38,00	35,40	38,70	37,37	13	11	-3,273	-3,391	-3,241	-3,302	0,075
118	60	120	40,18	30,35	31,64	34,57	32,19	14	11	-4,075	-4,016	-3,883	-3,991	0,066
119	60	130	44,72	37,33	39,07	36,88	37,76	14	20	-4,212	-4,133	-4,233	-4,193	-0,050
120	60	140	41,70	29,96	30,34	28,82	29,71	12	11	-5,002	-4,984	-5,054	-5,013	-0,035
121	60	150	41,09	35,18	33,69	35,33	34,73	11	8	-5,219	-5,287	-5,212	-5,239	0,037
122	60	160	42,01	34,12	24,31	30,41	29,62	12	9	-5,722	-6,168	-5,890	-5,927	0,139
123	60	170	42,11	33,38	28,61	26,83	29,61	14	10	-6,210	-6,427	-6,508	-6,381	-0,040
124	70	20	38,36	35,24	31,74	30,25	32,41	12	12	0,693	0,534	0,466	0,564	-0,034
125	70	30	35,09	32,57	31,59	28,22	30,79	14	11	0,117	0,072	-0,081	0,036	-0,077
126	70	40	34,89	30,66	26,15	31,57	29,46	12	8	-0,425	-0,630	-0,383	-0,479	0,123
127	70	50	36,11	33,40	36,65	29,46	33,17	11	9	-0,754	-0,607	-0,934	-0,765	-0,163
128	70	60	37,13	32,29	35,27	35,41	34,33	13	11	-1,259	-1,124	-1,118	-1,167	0,003
129	70	70	38,92	34,94	33,48	36,16	34,86	14	13	-1,594	-1,660	-1,538	-1,597	0,061
130	70	80	38,64	30,57	32,08	37,76	33,47	12	10	-2,247	-2,178	-1,920	-2,115	0,129

Continua...

Continuação...

131	70	90	43,38	34,87	32,26	49,81	38,98	13	8	-2,506	-2,624	-1,827	-2,319	0,399
132	70	100	41,32	37,31	32,33	34,91	34,85	13	13	-2,850	-3,076	-2,959	-2,961	0,059
133	70	110	40,77	35,05	30,15	37,54	34,25	11	11	-3,407	-3,629	-3,294	-3,443	0,168
134	70	120	40,35	30,17	29,89	37,06	32,37	10	11	-4,083	-4,096	-3,770	-3,983	0,163
135	70	130	41,44	29,23	29,20	33,11	30,51	16	16	-4,580	-4,582	-4,404	-4,522	0,089
136	70	140	35,40	36,51	37,48	35,02	36,34	10	9	-4,704	-4,660	-4,772	-4,712	-0,056
137	70	150	43,21	40,47	33,75	38,93	37,72	11	10	-4,978	-5,284	-5,049	-5,104	0,118
138	70	160	35,16	35,58	33,76	32,06	33,80	11	9	-5,656	-5,738	-5,816	-5,736	-0,039
139	70	170	39,18	33,69	47,06	28,28	36,34	12	11	-6,196	-5,588	-6,442	-6,075	-0,427
140	80	20	40,39	37,29	22,05	33,63	30,99	12	14	0,786	0,093	0,620	0,500	0,263
141	80	30	39,19	33,39	38,34	34,60	35,44	9	12	0,154	0,379	0,209	0,247	-0,085
142	80	40	42,67	34,95	41,89	34,38	37,07	10	11	-0,230	0,086	-0,255	-0,133	-0,171
143	80	50	37,46	32,80	33,12	35,28	33,74	11	11	-0,782	-0,767	-0,669	-0,739	0,049
144	80	60	42,36	35,49	40,44	33,98	36,64	10	12	-1,114	-0,889	-1,183	-1,062	-0,147
145	80	70	40,73	36,52	34,82	35,24	35,53	13	14	-1,522	-1,599	-1,580	-1,567	0,009
146	80	80	38,68	36,45	46,06	30,23	37,58	12	15	-1,980	-1,543	-2,262	-1,928	-0,360
147	80	90	39,71	34,58	33,74	38,46	35,60	11	7	-2,519	-2,557	-2,343	-2,473	0,107
148	80	100	38,71	41,84	32,92	40,64	38,47	9	13	-2,643	-3,049	-2,698	-2,797	0,175
149	80	110	36,76	41,55	45,40	33,37	40,10	12	11	-3,112	-2,936	-3,483	-3,177	-0,273
150	80	120	40,91	26,90	46,78	30,76	34,81	14	12	-4,232	-3,328	-4,056	-3,872	-0,364
151	80	130	35,99	28,14	40,78	30,76	33,23	13	11	-4,630	-4,055	-4,511	-4,399	-0,228
152	80	140	36,08	32,62	29,16	27,34	29,71	12	14	-4,881	-5,038	-5,121	-5,013	-0,041
153	80	150	41,03	51,28	37,85	46,85	45,33	13	9	-4,487	-5,098	-4,689	-4,758	0,205
154	80	160	43,60	39,86	37,32	33,16	36,78	10	13	-5,461	-5,576	-5,766	-5,601	-0,095
155	80	170	36,82	50,57	32,46	29,92	37,65	11	10	-5,429	-6,252	-6,367	-6,016	-0,058
156	90	20	38,84	38,77	52,21	39,21	43,40	9	11	0,853	1,464	0,873	1,064	-0,295
157	90	30	41,42	45,80	51,74	50,49	49,34	9	9	0,718	0,988	0,931	0,879	-0,028
158	90	40	40,84	47,17	37,47	37,53	40,72	12	11	0,326	-0,115	-0,112	0,033	0,001
159	90	50	41,25	46,81	52,14	45,78	48,25	11	15	-0,145	0,097	-0,192	-0,080	-0,144
160	90	60	38,34	43,73	33,24	36,27	37,74	15	14	-0,740	-1,217	-1,079	-1,012	0,069
161	90	70	39,78	60,71	46,16	22,81	43,23	15	16	-0,422	-1,084	-2,145	-1,217	-0,531
162	90	80	44,10	37,93	71,16	63,54	57,55	14	19	-1,912	-0,402	-0,748	-1,021	-0,173
163	90	90	40,43	61,54	52,64	57,96	57,38	12	14	-1,294	-1,698	-1,456	-1,483	0,121
164	90	100	38,99	56,14	46,71	25,46	42,77	10	13	-1,994	-2,422	-3,388	-2,601	-0,483
165	90	110	38,26	21,68	39,14	26,29	29,03	9	14	-4,015	-3,221	-3,805	-3,680	-0,292
166	90	120	39,25	37,10	34,99	40,87	37,65	10	11	-3,768	-3,864	-3,597	-3,743	0,134
167	90	130	41,25	21,18	41,65	47,68	36,83	13	9	-4,947	-4,016	-3,742	-4,235	0,137
168	90	140	43,85	40,85	38,07	51,62	43,51	9	11	-4,507	-4,633	-4,017	-4,386	0,308
169	90	150	40,80	38,97	42,55	31,22	37,58	12	11	-5,047	-4,884	-5,399	-5,110	-0,258
170	90	160	39,98	38,48	33,78	45,88	39,38	12	12	-5,524	-5,737	-5,187	-5,483	0,275
171	90	170	37,17	44,81	32,92	43,99	40,57	10	9	-5,690	-6,231	-5,728	-5,883	0,252
172	100	30	37,75	34,65	36,84	38,38	36,62	10	10	0,211	0,311	0,381	0,301	0,035
173	100	40	37,40	40,35	34,24	34,13	36,24	9	10	0,016	-0,262	-0,267	-0,171	-0,002
174	100	50	36,94	35,75	36,65	34,30	35,57	11	7	-0,648	-0,607	-0,713	-0,656	-0,053
175	100	60	39,05	42,42	38,93	40,09	40,48	12	11	-0,799	-0,958	-0,905	-0,887	0,026
176	100	70	38,35	37,05	36,23	37,27	36,85	12	12	-1,498	-1,535	-1,488	-1,507	0,024
177	100	80	41,54	40,98	42,81	46,30	43,36	11	10	-1,774	-1,691	-1,532	-1,665	0,079
178	100	90	35,26	33,27	32,15	35,18	33,53	12	11	-2,579	-2,629	-2,492	-2,567	0,069
179	100	100	38,20	40,66	35,41	40,15	38,74	14	8	-2,697	-2,936	-2,721	-2,785	0,108
180	100	110	39,43	43,62	40,15	41,43	41,73	12	7	-3,017	-3,175	-3,117	-3,103	0,029
181	100	120	47,28	44,22	48,88	33,65	42,25	14	12	-3,445	-3,233	-3,925	-3,534	-0,346
182	100	130	42,35	46,39	43,47	36,21	42,02	10	12	-3,801	-3,933	-4,263	-3,999	-0,165
183	100	140	41,87	32,75	32,87	30,05	31,89	14	12	-4,875	-4,870	-4,998	-4,914	-0,064
184	100	150	41,37	33,29	34,91	40,59	36,26	14	12	-5,305	-5,231	-4,973	-5,170	0,129
185	100	160	33,87	32,50	28,43	27,81	29,58	12	9	-5,795	-5,981	-6,009	-5,928	-0,014
186	100	170	38,42	35,85	38,78	38,51	37,71	12	7	-6,098	-5,964	-5,977	-6,013	-0,006
187	100	180	37,78	-1,00	29,05	33,71	-1,00	12	11	-1,000	-6,861	-6,649	-1,000	0,106
188	110	30	39,98	32,48	32,11	72,63	45,74	8	11	0,113	0,096	1,938	0,716	0,921
189	110	40	39,29	33,09	27,16	34,22	31,49	12	11	-0,314	-0,584	-0,263	-0,387	0,161
190	110	50	39,30	30,95	31,69	61,61	41,41	10	9	-0,866	-0,832	0,528	-0,390	0,680
191	110	60	36,39	27,71	28,58	25,22	27,17	11	8	-1,468	-1,428	-1,581	-1,492	-0,076
192	110	70	41,19	32,90	33,29	33,09	33,09	11	9	-1,687	-1,668	-1,678	-1,678	-0,005
193	110	80	42,41	62,84	35,59	85,15	61,19	10	11	-0,780	-2,019	0,234	-0,855	1,126
194	110	90	46,89	20,38	36,34	27,36	28,03	11	11	-3,165	-2,439	-2,847	-2,817	-0,204
195	110	100	36,87	33,17	26,82	44,30	34,76	11	11	-3,038	-3,327	-2,532	-2,965	0,397
196	110	110	38,49	23,40	31,07	37,16	30,54	11	11	-3,936	-3,588	-3,311	-3,612	0,138
197	110	120	38,08	29,83	44,35	22,05	32,08	12	17	-4,099	-3,439	-4,452	-3,996	-0,507
198	110	130	37,90	28,62	25,61	17,73	23,99	9	8	-4,608	-4,745	-5,103	-4,819	-0,179

Continua...

Continuação...

199	110	140	40,85	48,87	28,93	45,55	41,12	13	11	-4,142	-5,049	-4,293	-4,495	0,378
200	110	150	43,24	26,67	56,27	58,94	47,29	15	12	-5,606	-4,260	-4,139	-4,669	0,061
201	110	160	41,57	47,92	19,35	20,95	29,41	18	13	-5,095	-6,393	-6,320	-5,936	0,036
202	110	170	44,46	43,30	26,02	36,35	35,22	10	18	-5,759	-6,544	-6,075	-6,126	0,235
203	110	180	39,49	35,28	52,55	28,06	38,63	10	12	-6,578	-5,793	-6,907	-6,426	-0,557
204	120	30	50,49	45,30	55,61	52,42	51,11	14	12	0,696	1,164	1,019	0,960	-0,072
205	120	40	46,90	56,07	33,81	37,42	42,43	12	9	0,731	-0,281	-0,117	0,111	0,082
206	120	50	43,36	35,45	34,13	35,56	35,05	9	9	-0,661	-0,722	-0,657	-0,680	0,032
207	120	60	40,11	72,43	34,51	33,81	46,91	10	11	0,565	-1,159	-1,191	-0,595	-0,016
208	120	70	38,74	32,30	45,12	32,63	36,68	10	10	-1,714	-1,131	-1,699	-1,514	-0,284
209	120	80	41,90	32,82	35,08	14,84	27,58	12	9	-2,145	-2,042	-2,962	-2,383	-0,460
210	120	90	34,06	34,31	28,02	34,56	32,30	11	9	-2,531	-2,817	-2,520	-2,623	0,149
211	120	100	43,27	44,17	42,87	37,17	41,40	10	10	-2,538	-2,597	-2,856	-2,663	-0,129
212	120	110	33,33	39,84	17,66	31,33	29,61	10	10	-3,189	-4,197	-3,576	-3,654	0,311
213	120	120	29,10	33,41	34,04	35,79	34,42	12	8	-3,936	-3,907	-3,828	-3,890	0,040
214	120	130	38,93	38,65	55,63	35,00	43,09	8	11	-4,152	-3,381	-4,318	-3,950	-0,469
215	120	140	60,52	31,15	40,69	37,20	36,35	11	11	-4,948	-4,514	-4,673	-4,711	-0,079
216	120	150	29,56	37,46	-1,00	36,66	-1,00	9	14	-5,116	-1,000	-5,152	-1,000	-2,076
217	120	160	44,37	34,64	44,57	32,73	37,31	15	13	-5,698	-5,247	-5,785	-5,577	-0,269
218	120	170	47,01	37,36	27,07	37,59	34,01	11	12	-6,029	-6,497	-6,019	-6,182	0,239
219	120	180	41,15	32,99	28,57	36,25	32,60	11	8	-6,682	-6,883	-6,534	-6,700	0,174
220	130	30	38,97	40,24	16,68	39,67	32,20	13	16	0,466	-0,605	0,439	0,100	0,522
221	130	40	31,47	42,66	36,67	39,21	39,52	13	11	0,121	-0,151	-0,036	-0,022	0,058
222	130	50	41,55	30,34	34,18	25,83	30,12	11	10	-0,894	-0,719	-1,098	-0,904	-0,190
223	130	60	34,19	33,50	33,23	33,27	33,34	11	12	-1,204	-1,217	-1,215	-1,212	0,001
224	130	70	41,12	35,97	20,75	38,14	31,62	11	9	-1,547	-2,239	-1,448	-1,744	0,395
225	130	80	30,97	43,26	17,43	-1,00	-1,00	9	11	-1,670	-2,844	-3,682	-3,682	-0,419
226	130	90	37,30	51,53	58,40	47,31	52,41	10	10	-1,748	-1,437	-1,940	-1,708	-0,252
227	130	100	32,62	46,57	40,23	72,58	53,13	13	13	-2,429	-2,717	-1,246	-2,131	0,735
228	130	110	40,35	76,53	58,14	59,01	64,56	10	13	-1,521	-2,357	-2,318	-2,065	0,020
229	130	120	36,53	62,65	70,01	49,57	60,74	8	11	-2,607	-2,272	-3,201	-2,693	-0,464
230	130	130	37,59	48,79	24,83	50,81	41,48	10	9	-3,691	-4,781	-3,600	-4,024	0,591
231	130	140	49,11	64,50	80,49	54,25	66,41	8	13	-3,432	-2,705	-3,898	-3,345	-0,596
232	130	150	38,11	47,91	31,51	58,91	46,11	7	13	-4,641	-5,386	-4,141	-4,722	0,623
233	130	160	41,69	53,74	37,61	65,32	52,22	16	15	-4,830	-5,563	-4,304	-4,899	0,630
234	130	170	44,64	61,21	61,74	52,31	58,42	16	14	-4,945	-4,921	-5,350	-5,072	-0,214
235	130	180	39,00	39,34	60,70	39,83	46,62	11	11	-6,394	-5,423	-6,371	-6,063	-0,474
236	140	30	50,09	29,90	30,87	33,28	31,35	8	12	-0,004	0,039	0,149	0,061	0,055
237	140	40	40,79	36,40	36,63	39,26	37,43	11	11	-0,163	-0,153	-0,034	-0,117	0,060
238	140	50	37,65	33,95	38,42	34,57	35,65	10	13	-0,729	-0,526	-0,701	-0,652	-0,087
239	140	60	37,41	36,19	63,12	31,07	43,46	13	10	-1,082	0,142	-1,315	-0,752	-0,729
240	140	70	35,55	28,94	38,45	28,51	31,97	10	14	-1,866	-1,434	-1,886	-1,729	-0,226
241	140	80	33,75	33,66	71,96	27,51	44,38	11	12	-2,107	-0,365	-2,386	-1,619	-1,010
242	140	90	34,71	32,64	42,14	31,54	35,44	16	9	-2,607	-2,175	-2,657	-2,480	-0,241
243	140	100	41,94	41,56	58,81	37,40	45,92	12	13	-2,657	-1,872	-2,845	-2,458	-0,486
244	140	110	39,66	34,51	20,01	38,61	31,05	13	11	-3,431	-4,090	-3,245	-3,589	0,423
245	140	120	33,64	35,56	21,52	37,25	31,44	9	10	-3,838	-4,476	-3,761	-4,025	0,358
246	140	130	33,68	36,53	41,92	34,58	37,68	10	13	-4,249	-4,004	-4,337	-4,196	-0,167
247	140	140	35,24	33,62	67,55	32,68	44,61	12	15	-4,836	-3,293	-4,878	-4,336	-0,792
248	140	150	38,93	44,02	41,51	49,54	45,02	14	13	-4,817	-4,931	-4,566	-4,772	0,183
249	140	160	35,91	39,00	58,41	40,23	45,88	16	13	-5,500	-4,618	-5,444	-5,187	-0,413
250	140	170	42,55	42,74	38,91	41,36	41,00	13	12	-5,785	-5,959	-5,847	-5,864	0,056
251	140	180	52,74	33,47	32,74	32,27	32,83	16	14	-6,660	-6,694	-6,715	-6,690	-0,011
252	140	190	53,41	22,20	28,13	24,87	25,07	15	10	-7,627	-7,358	-7,506	-7,497	-0,074
253	150	30	39,07	29,79	30,30	30,58	30,22	12	11	-0,010	0,014	0,026	0,010	0,006
254	150	40	36,36	28,68	29,01	32,46	30,05	12	10	-0,515	-0,500	-0,343	-0,452	0,079
255	150	50	36,58	35,82	33,42	42,63	37,29	13	11	-0,644	-0,753	-0,335	-0,578	0,209
256	150	60	32,54	33,91	39,67	35,79	36,46	14	14	-1,186	-0,924	-1,100	-1,070	-0,088
257	150	70	34,81	34,48	37,40	21,83	31,24	12	12	-1,615	-1,482	-2,189	-1,762	-0,354
258	150	80	36,19	38,26	36,24	32,22	35,57	12	11	-1,897	-1,989	-2,172	-2,019	-0,091
259	150	90	39,02	36,97	34,88	55,26	42,37	15	14	-2,411	-2,505	-1,579	-2,165	0,463
260	150	100	36,81	35,25	31,37	63,46	43,36	17	14	-2,943	-3,119	-1,661	-2,575	0,729
261	150	110	35,58	36,66	39,36	34,41	36,81	10	11	-3,334	-3,211	-3,436	-3,327	-0,112
262	150	120	34,92	32,84	30,49	13,59	25,64	14	12	-3,962	-4,068	-4,837	-4,289	-0,384
263	150	130	33,01	32,47	33,22	64,70	43,46	12	13	-4,433	-4,399	-2,968	-3,934	0,715
264	150	140	47,81	28,36	33,00	13,74	25,03	16	10	-5,075	-4,864	-5,739	-5,226	-0,438
265	150	150	33,83	32,05	30,99	-1,00	-1,00	21	13	-5,361	-5,410	-1,000	-1,000	2,205
266	150	160	-1,00	38,94	42,06	40,92	40,64	15	9	-5,503	-5,361	-5,413	-5,425	-0,026

Continua...

Continuação...

267	150	170	41,48	52,76	32,46	36,30	40,51	16	12	-5,329	-6,252	-6,077	-5,886	0,087
268	150	180	-1,00	36,26	40,59	36,89	37,91	16	18	-6,534	-6,337	-6,505	-6,459	-0,084
269	150	190	45,53	34,06	31,71	30,78	32,18	12	10	-7,088	-7,195	-7,237	-7,174	-0,021
270	160	40	38,21	30,58	30,79	33,88	31,75	18	14	-0,428	-0,419	-0,278	-0,375	0,070
271	160	50	42,01	37,04	34,48	34,38	35,30	15	14	-0,589	-0,705	-0,710	-0,668	-0,002
272	160	60	40,55	42,08	38,25	35,70	38,68	15	15	-0,815	-0,989	-1,104	-0,969	-0,058
273	160	70	45,46	32,97	37,80	36,26	35,68	17	15	-1,683	-1,464	-1,534	-1,560	-0,035
274	160	80	35,06	31,57	30,93	32,86	31,79	10	13	-2,201	-2,231	-2,143	-2,191	0,044
275	160	90	40,11	37,01	33,24	29,23	33,16	11	13	-2,409	-2,580	-2,762	-2,584	-0,091
276	160	100	36,90	40,12	34,92	-1,00	-1,00	12	10	-2,722	-2,958	-1,000	-1,000	0,979
277	160	110	31,39	41,65	36,15	34,69	37,50	12	14	-3,107	-3,357	-3,423	-3,296	-0,033
278	160	120	34,45	35,92	33,54	32,64	34,03	11	12	-3,822	-3,930	-3,971	-3,908	-0,020
279	160	130	35,96	40,71	50,43	29,49	40,21	13	10	-4,059	-3,617	-4,569	-4,081	-0,476
280	160	140	31,00	34,18	31,91	32,87	32,98	13	9	-4,810	-4,913	-4,870	-4,864	0,022
281	160	150	34,05	32,27	24,55	32,05	29,62	10	17	-5,351	-5,702	-5,361	-5,472	0,171
282	160	160	36,83	38,56	52,94	37,00	42,83	13	10	-5,520	-4,867	-5,591	-5,326	-0,362
283	160	170	34,02	35,87	21,02	39,65	32,18	13	16	-6,097	-6,772	-5,925	-6,265	0,423
284	160	180	43,87	43,20	33,45	39,22	38,62	14	20	-6,218	-6,661	-6,399	-6,426	0,131
285	160	190	40,12	38,64	49,67	36,14	41,48	14	19	-6,880	-6,379	-6,994	-6,751	-0,307
286	170	40	40,17	37,84	41,82	40,87	40,18	14	18	-0,098	0,083	0,040	0,008	-0,022
287	170	50	36,70	28,85	58,61	32,17	39,88	16	19	-0,961	0,391	-0,810	-0,460	-0,601
288	170	60	41,12	36,72	39,19	35,33	37,08	15	12	-1,058	-0,946	-1,121	-1,042	-0,088
289	170	70	40,93	34,92	30,07	36,04	33,67	16	13	-1,595	-1,815	-1,544	-1,651	0,136
290	170	80	38,17	40,11	-1,00	35,21	-1,00	13	16	-1,813	-1,000	-2,036	-1,000	-0,518
291	170	90	38,03	29,07	-1,00	30,38	-1,00	12	11	-2,770	-1,000	-2,710	-1,000	-0,855
292	170	100	33,82	37,71	36,49	10,68	28,29	13	12	-2,831	-2,887	-4,060	-3,259	-0,587
293	170	110	36,77	36,64	28,82	34,13	33,20	13	12	-3,335	-3,690	-3,449	-3,491	0,121
294	170	120	34,17	32,57	-1,00	31,87	-1,00	12	13	-3,974	-1,000	-4,006	-1,000	-1,503
295	170	130	34,51	40,28	36,82	30,97	36,02	14	12	-4,078	-4,235	-4,502	-4,272	-0,133
296	170	140	40,80	39,16	38,80	34,70	37,55	14	11	-4,584	-4,600	-4,787	-4,657	-0,093
297	170	150	35,65	39,19	37,71	35,40	37,43	14	10	-5,037	-5,104	-5,209	-5,117	-0,052
298	170	160	38,11	31,48	32,12	26,36	29,98	14	11	-5,842	-5,813	-6,075	-5,910	-0,131
299	170	170	34,65	34,17	30,10	30,42	31,56	15	11	-6,174	-6,359	-6,344	-6,293	0,007
300	170	180	39,11	33,31	34,76	30,24	32,77	12	14	-6,668	-6,602	-6,807	-6,692	-0,103
301	170	190	36,13	34,55	29,70	34,02	32,76	12	12	-7,066	-7,286	-7,090	-7,147	0,098
302	170	200	37,10	29,57	31,45	30,15	30,39	12	13	-7,747	-7,661	-7,720	-7,710	-0,030

Anexo 4 – Valores dos elementos meteorológicos envolvidos neste estudo coletados na Estação Meteorológica Automática do Centro experimental Central do Instituto Agronômico (IAC), nos 151 dias julianos que envolvem este estudo (de janeiro a maio de 2005).

Dia Juliano	Temperatura Máxima (ºC)	Radiação Solar (MJ m^2 dia^{-1})	Velocidade do Vento (m s^{-1})	Direção do Vento
1	33.1	20.72	5.11	W
2	31.1	15.53	5.46	NW
3	30.1	20.78	4.91	W
4	24.3	9.74	3.42	E
5	26.5	13.95	3.38	SW
6	29.1	14.84	3.13	SW
7	30.4	21.29	2.89	NW
8	32.5	26.67	3.25	NW
9	30.5	20.08	3.66	W
10	31.0	21.70	2.93	NW
11	25.2	6.16	3.50	SW
12	28.1	22.68	5.31	SW
13	30.8	21.35	3.95	S
14	33.0	26.23	3.60	SE
15	32.4	26.84	2.93	NW
16	31.1	16.30	4.60	SW
17	27.7	13.99	4.05	SE
18	29.4	10.63	3.72	S
19	23.7	5.97	2.54	S
20	25.6	9.06	4.17	SW
21	27.8	9.94	2.76	W
22	27.9	12.46	3.27	W
23	32.0	20.48	3.09	N
24	30.8	17.11	4.15	NW
25	29.0	12.96	3.40	SW
26	22.2	9.64	6.25	S
27	21.2	7.01	4.80	SE
28	24.4	8.80	3.44	S
29	24.3	9.29	3.46	SW
30	27.9	11.02	4.64	SW
31	30.1	28.07	4.95	N
32	28.8	22.55	4.35	N
33	30.4	18.80	3.54	W
34	30.9	15.67	3.95	NW
35	29.6	19.77	4.68	NW
36	28.4	24.26	4.11	W
37	27.9	22.33	4.09	W
38	27.5	28.66	4.76	S
39	28.1	28.10	4.01	SW
40	29.8	28.08	4.46	E
41	30.4	25.32	3.50	SE
42	30.2	21.27	4.11	NW
43	30.6	23.77	5.07	SE
44	29.4	23.61	4.21	SE
45	29.4	26.04	3.68	SE
46	29.9	22.65	3.78	SE
47	32.3	25.39	3.64	W
48	32.9	21.43	6.48	W

Continua...

Continuação...

49	34.0	25.28	2.70	NE
50	32.3	20.73	3.70	SW
51	30.8	24.31	4.21	SW
52	29.8	25.52	2.97	S
53	33.5	25.10	2.76	N
54	33.9	24.41	3.21	SE
55	34.6	20.07	3.44	W
56	33.1	14.90	5.33	NW
57	27.3	15.30	3.82	SW
58	29.0	10.98	3.01	SW
59	31.3	21.13	2.31	W
60	31.0	20.16	4.72	W
61	28.4	19.97	3.89	NE
62	24.6	11.93	4.25	N
63	28.7	18.97	5.40	NE
64	28.5	22.00	4.42	NE
65	29.6	21.73	3.85	SE
66	32.5	24.10	3.78	S
67	34.2	24.45	4.09	E
68	33.8	23.14	1.38	W
69	34.0	23.16	3.01	E
70	34.2	20.36	2.82	W
71	32.0	13.69	3.52	SW
72	32.6	20.54	2.83	W
73	30.2	11.68	3.72	S
74	28.4	9.92	3.76	W
75	24.7	6.51	3.11	E
76	28.1	10.12	2.25	SW
77	29.1	11.75	2.72	SW
78	31.3	21.02	3.13	S
79	30.8	15.64	3.36	W
80	27.9	11.07	1.89	W
81	27.3	10.69	1.99	W
82	29.8	14.54	3.29	SW
83	25.5	6.55	2.27	W
84	26.3	15.55	4.36	NW
85	26.8	17.76	3.72	S
86	30.0	19.25	4.09	S
87	29.1	14.82	3.78	W
88	31.1	20.72	3.19	SE
89	32.0	21.20	3.23	S
90	31.5	19.05	3.33	S
91	31.9	19.25	3.52	S
92	31.6	19.77	2.21	NW
93	32.3	19.00	3.44	S
94	31.7	17.46	3.48	SE
95	29.2	16.57	3.97	SE
96	32.1	20.09	4.21	NW
97	31.5	19.16	2.62	S
98	33.5	19.65	4.40	S
99	33.4	17.46	4.25	SW
100	32.0	19.83	3.56	SE
101	31.7	20.18	2.97	NW
102	31.9	20.02	2.36	NW
103	30.4	18.59	3.66	W

Continua...

Continuação...

104	31.5	19.33	3.60	E
105	31.5	18.71	2.62	W
106	31.7	15.42	3.44	SE
107	32.1	17.77	4.46	SE
108	30.2	17.07	3.23	NE
109	30.6	17.78	2.56	N
110	30.6	16.94	3.17	NE
111	28.9	16.02	3.40	NE
112	30.2	18.14	3.56	NE
113	29.4	15.19	4.36	SW
114	30.9	17.86	2.66	N
115	24.6	6.35	3.38	NE
116	21.4	9.57	5.44	NE
117	24.2	16.01	3.68	N
118	20.6	4.97	3.11	N
119	26.9	14.20	2.42	NE
120	23.0	11.82	3.07	SE
121	24.1	17.05	3.97	SW
122	24.1	18.29	3.13	SE
123	25.7	18.13	3.89	N
124	27.3	18.05	3.33	SE
125	27.3	17.75	2.95	N
126	26.5	17.12	2.52	W
127	27.8	17.03	3.54	SW
128	28.3	16.97	3.54	E
129	27.7	10.67	3.60	N
130	28.3	9.50	2.31	N
131	30.2	16.93	1.95	SW
132	30.2	16.70	2.36	W
133	30.4	16.64	3.13	W
134	29.6	16.65	3.07	SE
135	29.2	16.67	3.05	SE
136	29.5	16.27	3.36	SE
137	29.7	13.16	2.15	SE
138	29.5	14.38	2.21	S
139	30.6	14.11	3.34	SE
140	30.8	14.24	2.66	S
141	27.6	8.42	3.99	E
142	19.5	5.78	3.62	N
143	25.0	10.60	2.58	N
144	21.6	2.02	4.89	E
145	19.8	3.19	2.89	E
146	24.4	16.17	3.25	N
147	25.4	16.15	4.11	N
148	26.2	15.97	3.23	N
149	27.1	15.74	3.56	SW
150	26.8	8.61	2.31	N
151	29.0	14.87	2.56	W