

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DETERMINAÇÃO DE ESQUEMAS DE AMOSTRAGEM PARA AVALIAÇÃO DE  
PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE  
PREPARO**

**POR**

**JOÃO CARLOS DE SOUZA MAIA**

Orientador Prof. Dr. Luiz Antonio DANIEL

Co-Orientador Prof. Dr. Cláudio Bianor SVERZUT

Tese apresentada à Comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, como cumprimento parcial dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor, na área de concentração em Máquinas Agrícolas

Campinas, SP , Janeiro de 1999

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

M28d      Maia, João Carlos de Souza  
            Determinação de esquemas de amostragem para  
            avaliação de propriedades físicas do solo sob  
            diferentes sistemas de preparo / João Carlos de  
            Souza Maia.--Campinas, SP: [s.n.], 1999.

            Orientadores: Luiz Antonio Daniel; Cláudio  
            Bianor Sverzut.

            Tese (doutorado) - Universidade Estadual de  
            Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

            1. Solos. 2. Solos - Amostragem. 3. Solos –  
            Análise. 4. Solo adequado para agricultura  
            5. Máquinas agrícolas I. Daniel, Luiz Antonio. II.  
            Sverzut, Cláudio Bianor. III. Universidade Estadual  
            de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola.  
            IV. Título.

Dedico este trabalho aos meus pais Pedro e Antonia, à minha esposa Elaine Adélia e aos meus filhos Pedro Henrique, Ella Marina e Anna Eduarda.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Mato Grosso e à CAPES, pela oportunidade de qualificação que me foi dispensada;

Aos professores Luiz Antonio DANIEL, Cláudio Bianor SVERZUT, Carlos Roberto ESPINDOLA, Paulo Sérgio Graziano MAGALHÃES, Antonio José da Silva MACIEL e Newton Roberto BONI pela orientação e pelo interesse que dispensaram à realização deste trabalho;

À Coordenação de Pós Graduação, em especial à Ana Paula MONTAGNE, pelo apoio inquestionável na condução da nossa vida acadêmica durante o curso;

Ao professor Eduardo Guimarães COUTO que não mediu esforços para que este trabalho pudesse ser concluído colaborando de uma forma extremamente profissional e dedicada;

Aos colegas de trabalho José Ricardo Freitas LUCARELLI e Manfredo Luiz LINS e SILVA pela excelente ajuda e companheirismo na realização dos trabalhos práticos de campo e laboratório;

Ao pessoal do Laboratório de Instrumentação e Eletrônica da Feagri, em especial ao Engenheiro Cláudio Umezu, pelo apoio fornecido em relação aos equipamentos e socorro nas horas difíceis;

Ao pessoal de campo, que tanto nos ajudou nas coletas das amostras e em especial, ao Jurandir Fagundes de CARVALHO, que tão bem conseguiu coordenar os trabalhos de coletas de vários grupos de amostras;

Aos Professores Walter BOLLER e Sidney Rosa VIEIRA pelo carinho e pela orientação dispensada na consecução deste trabalho;

Aos Professores Carlos Antonio GAMERO o e Sérgio Hugo BENEZ pelo incentivo e pela disponibilização de infra-estrutura da UNESP/Botucatu, para realização deste trabalho;

Ao amigo Eduardo BOEL e a ODEON INFORMÁTICA pelo apoio, perseverança e dedicação os quais não mediram esforços para que este trabalho pudesse ser realizado dentro de um padrão de qualidade;

Ao Centro de Pesquisas Agropecuária dos Cerrados (CPAC) nas pessoas dos Engenheiros Sérgio FOLLE e Cláudio Alberto Bento FRANZ pela amizade, colaboração e incentivo na realização deste trabalho.

# SUMÁRIO

RESUMO .....	VIII
SUMMARY.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABELAS.....	XIII
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. HIPÓTESES E OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
3.1 O SOLO .....	5
3.1.1 <i>Preparo do solo</i> .....	6
3.1.1.1 Arado de discos.....	10
3.1.1.2 Escarificador.....	12
3.1.1.3 Grade pesada.....	14
3.1.1.4 Grade leve.....	16
3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO.....	17
3.2.1.1 Densidade do solo (Ds).....	18
3.2.1.2 Porosidade do solo (Pt).....	19
3.2.1.3 Macro e microporosidade (Ma e Mi).....	19
3.2.1.4 Umidade do solo ( $\theta$ ).....	20
3.2.1.5 Resistência do solo à penetração (RSP).....	21
3.2.1.6 Infiltração de água no perfil do solo.....	23
3.2.1.7 Permeabilidade do solo.....	24
3.2.1.8 Agregados.....	24
3.2.1.9 Coesão e atrito interno do solo.....	25
3.3 VARIABILIDADE ESPACIAL.....	27
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
4.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	29
4.2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DO EXPERIMENTO.....	29
4.3. MATERIAL.....	31
4.3.1. <i>Caracterização dos equipamentos agrícolas utilizados</i> .....	31
4.3.1.1. Trator.....	32
4.3.1.2. Arado de discos.....	32
4.3.1.3. Escarificador.....	33
4.3.1.4. Grade pesada.....	35
4.3.1.5. Grade leve.....	36
4.3.1.6. Roçadora.....	37
4.3.2 <i>Caracterização dos equipamentos para coleta de dados</i> .....	37

4.3.2.1	Penetrômetro eletrônico .....	37
4.3.2.2	Peneira rotativa .....	38
4.3.2.3	Permeâmetro IAC.....	39
4.3.2.4	Amostrador hidráulico IAC.....	40
4.4.	MÉTODOS .....	41
4.4.1.	<i>Delimitação experimental</i> .....	41
4.4.2.	<i>Tratamentos</i> .....	43
4.4.3.	<i>Esquema de amostragem e coleta de dados</i> .....	43
4.4.4.	<i>Análise estatística</i> .....	45
4.4.4.1.	Krigagem .....	48
4.4.5.	<i>Parâmetros determinados</i> .....	48
4.4.5.1.	Densidade do solo.....	49
4.4.5.2.	Porosidade .....	49
4.4.5.3.	Umidade do solo.....	50
4.4.5.4.	Resistência do solo à penetração:.....	51
4.4.5.5.	Infiltração de água no solo .....	51
3.3.1.1	Análise de agregados:.....	53
<b>5.</b>	<b>Resultados e discussão .....</b>	<b>55</b>
5.1.	PARÂMETROS FÍSICOS DO SOLO .....	56
5.1.1.	<i>Densidade do solo (Ds)</i> .....	56
5.1.1.1.	Profundidade de trabalho de 0-100 mm .....	57
5.1.1.2.	Profundidade de trabalho de 100-200 mm .....	59
5.1.1.3.	Determinação do número de amostras .....	60
5.1.2.	<i>Macroporosidade (Ma)</i> .....	62
5.1.2.1.	Profundidade de trabalho de 0-100 mm .....	62
5.1.2.2.	Profundidade de trabalho de 100-200 mm .....	63
5.1.2.3.	Determinação do número de amostras .....	64
5.1.3.	<i>Microporosidade (Mi)</i> .....	66
5.1.3.1.	Profundidade de trabalho de 0-100 mm .....	66
5.1.3.2.	Profundidade de 100-200 mm .....	67
5.1.3.3.	Determinação do número de amostras .....	68
5.1.4.	<i>Porosidade total (Pt)</i> .....	69
5.1.4.1.	Profundidade de 0-100 mm .....	70
5.1.4.2.	Profundidade de 100-200 mm .....	71
5.1.4.3.	Determinação do número de amostras .....	72
5.1.5.	<i>Resistência do Solo à Penetração (RSP)</i> .....	72
5.1.5.1.	Profundidade de 0-100 mm .....	73
5.1.5.2.	Profundidade de 100-200 mm .....	74
5.1.5.3.	Profundidade de 0-200 mm .....	75
5.1.5.4.	Determinação do número de amostras .....	76
5.1.6.	<i>Estabilidade de agregados em água - Diâmetro Médio Ponderado (DMP)</i> .....	79
5.1.6.1.	Profundidade de 0-100 mm .....	79
5.1.6.2.	Profundidade de 100-200 mm .....	80
5.1.7.	<i>Estabilidade de Agregados a Seco - Diâmetro Médio Ponderado (DMP)</i> .....	82

5.1.8	<i>Diâmetro Médio Geométrico (DMG)</i> .....	84
5.1.9	<i>Infiltração de Água no Solo</i> .....	87
5.1.10	<i>Umidade</i> .....	89
5.2.	<i>Variabilidade espacial</i> .....	92
5.2.1	<i>Macroporosidade</i> .....	93
5.2.1.1	<i>Semivariogramas</i> .....	94
5.2.1.2	<i>Krigagem</i> .....	96
5.2.2	<i>Porosidade total</i> .....	99
5.2.2.1	<i>Semivariograma</i> .....	99
5.2.2.2.	<i>Krigagem</i> .....	100
5.2.3.	<i>Resistência do Solo à Penetração (RSP)</i> .....	102
5.2.3.1	<i>Semivariogramas</i> .....	102
5.2.3.2	<i>Krigagem</i> .....	104
5.2.4	<i>Estabilidade de agregados à seco (DMP)</i> .....	107
5.2.4.1	<i>Semivariograma</i> .....	108
5.2.4.2	<i>Krigagem</i> .....	108
5.2.5	<i>Diâmetro Médio Geométrico (DMG)</i> .....	111
5.2.5.1	<i>Semivariograma</i> .....	111
5.2.5.2	<i>Krigagem</i> .....	112
5.2.6	<i>Infiltração de água no solo</i> .....	115
5.2.6.1	<i>Semivariogramas</i> .....	116
5.2.6.2	<i>Krigagem</i> .....	116
5.2.7	<i>Umidade</i> .....	119
5.2.7.1	<i>Semivariograma</i> .....	119
5.2.7.2	<i>Krigagem</i> .....	120
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>131</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>133</b>
	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>147</b>

## RESUMO

**MAIA, J.C. de S.** Determinação de esquemas de amostragem para avaliação de propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas de preparo. Campinas, 1998. 173p. (Doutorado em Engenharia Agrícola, área de concentração Máquinas Agrícolas). Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 1998.

A metodologia atual de avaliação dos efeitos do preparo do solo (com ferramentas larga ou estreita), tem sido limitada e não tem conseguido capaz de detectar diferenças estatísticas significativas e nem tampouco orientar a coleta de dados quanto à forma e o número de amostras para avaliar propriedades físicas do solo. A utilização de uma nova proposta metodológica de avaliação, tendo a geoestatística mostrou que os diferentes tipos de implementos causaram modificações específicas nos principais parâmetros físicos do solo analisados. Todos os parâmetros analisados quando comparados por grupos de cinco e quarenta e cinco amostras registraram diferenças estatísticas ao nível de 5% de probabilidade. Quando relacionados ao esquema de amostragem, também apresentaram diferenças estatísticas significativas entre o modelo convencional de amostragem e o modelo proposto neste trabalho. A maioria dos parâmetros físicos do solo em suas respectivas profundidades, demonstraram não possuir dependência espacial e apresentaram efeito pepita puro. O tratamento com escarificador apresentou o maior número de modelos geoestatísticos ajustados. A profundidade de 0 a 200 mm apresentou o maior percentual de modelos geoestatísticos onde os semivariogramas mostraram dependência espacial dos dados.

**PALAVRAS-CHAVE:** sistemas de preparo, geoestatística, propriedades físicas do solo, amostragem de solo

## SUMMARY

**MAIA, J.C. of S.** Soil physical parameter evaluation methodology as functions of different systems of soil prepare. Campinas, 1998.173p. (Agricultural Engineering Doctorate, Agricultural Machines concentration area). Faculty of Agricultural Engineering, UNICAMP, 1998.

The current methodology of evaluation the soil tillage effects by using wide and narrow tines has been limited and it has not been able to detect significant statistical differences and has not be able to guide the sample size requirements for assessing soil physical properties. The use of a new approach based on geostatistics showed that different type of agricultural implements caused specific modifications in the main physical parameters. All studied parameters when compared by groups of five and forty five samples, registered statistical differences at the level of 5% of probability. When related to the soil sampling schemes, they also presented significant statistical differences among the conventional sampling and the model proposed in this work. Most of the soil physical parameters do not showed spatial dependence, only pure nugget effect. The treatment with chisel plough presented the largest number of fitted geostatistical models. The depth from 0 to 200 mm showed the highest percentile of fitted geostatistical models.

WORD-KEY: soil tillage, geostatistics, physical soil properties, soil sampling.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.2 - Trator agrícola utilizado nas operações de preparo do solo .....	32
Figura 4.3 - Arado reversível de discos, utilizado nas operações de preparo do solo .....	33
Figura 4.4 - Escarificador utilizado nas operações de preparo do solo .....	34
Figura 4.5 - Área de solo mobilizada por ferramenta estreita e interação entre duas ferramentas .....	35
Figura 4.6 - Grade pesada utilizada nas operações de preparo do solo .....	36
Figura 4.7 - Grade leve utilizada nas operações de preparo do solo .....	36
Figura 4.8 - Roçadora utilizada nas operações iniciais de preparo do solo .....	37
Figura 4.9 - Penetrômetro eletrônico utilizado na coleta de dados .....	38
Figura 4.10 - Vista geral da peneira rotativa .....	39
Figura 4.11 - Detalhes da coleta dos agregados do solo .....	39
Figura 4.12 - Permeâmetro de GUELPH – modelo IAC .....	40
Figura 4.13 - Amostrador hidráulico para coleta da densidade do solo .....	40
Figura 4.15 - Identificação das células dentro da parcela .....	41
Figura 4.16 - Posição de coleta das amostras, em cada célula .....	42
Figura 4.18 - Abertura das trincheiras para coleta das amostras de solo .....	44
Figura 4.19 - Representação de um modelo ideal de semivariograma .....	47
Figura 4.20 - Instalação do Permeâmetro de GUELPH, modelo IAC .....	52
Figura 5.1.1 - Número de amostras necessárias para se estimar a densidade do solo na profundidades de 0 a 100 mm e 100 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens .....	61
Figura 5.1.2 - Número de amostras necessárias para estimar a macroporosidade nas profundidades de 0 a 100 e 100 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens .....	65
Figura 5.1.3 - Número de amostras necessárias para se estimar a microporosidade nas profundidades de 0 a 100 e 100 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens .....	69
Figura 5.1.4 - Número de amostras necessárias para se estimar a porosidade total do solo, nas profundidade de 0 a 100 e 100 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens .....	72
Figura 5.1.5 - Número de amostras necessárias para se estimar a Resistência do Solo à Penetração (RSP), nas profundidade de 0 a 100 e 100 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens .....	77
Figura 5.1.6 - Número de amostras necessárias para se estimar a Resistência do Solo à Penetração (RSP) na profundidade de 0 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens .....	78
Figura 5.1.7 - Número de amostras necessárias para se estimar o Diâmetro Médio Ponderado (DMP), via úmida, nas profundidades de 0 a 100 e 100 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens .....	81

Figura 5.8 - Número de amostras necessárias para se estimar o Diâmetro Médio Ponderado (DMP), via seca, conforme diferentes esquemas de amostragens.....	83
Figura 5.1.9 - Número de amostras necessárias para se estimar o Diâmetro Médio Geométrico (DMG), na profundidade de 0 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens.....	86
Figura 5.1.10 - Número de amostras necessárias para se estimar o Infiltração de água em Latossolo Roxo distrófico, na profundidade de 0 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens.....	89
Figura 5.1.11 - Número de amostras necessárias para se estimar a umidade do solo, na profundidade de 0 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens. ....	91
Figura 5.2.1 - Representação dos modelos ajustados e não ajustados referentes às profundidades de 0 –100 e 100 – 200 mm, no parâmetro macroporosidade.....	94
Figura 5.2.2 - Semivariograma modelo exponencial da macroporosidade na profundidade de 0 –100 mm, sem mobilização. ....	95
Figura 5.2.3 - Semivariograma modelo exponencial da macroporosidade na profundidade de 100 – 200 mm, no solo mobilizado por grade pesada + grade leve.....	95
Figura 5.2.4 - Distribuição espacial e variância do parâmetro macroporosidade na profundidade de 0 - 100 mm, no tratamento 1 (Testemunha), estimado por krigagem.....	97
Figura 5.2.5 - Distribuição espacial e variância do parâmetro macroporosidade na profundidade de 100 - 200 mm, no tratamento 4 (grade pesada+grade niveladora), estimado por krigagem. ....	98
Figura 5.2.6 - Representação dos modelos ajustados e não ajustados referentes à profundidade de 0 – 100 mm, no parâmetro porosidade total.....	99
Figura 5.2.7 - Semivariograma esférico da porosidade total , à profundidade de 0 – 100 mm, mobilizado por escarificador + Grade leve.....	100
Figura 5.2.8 - Distribuição espacial e variância do parâmetro porosidade total na profundidade de 0- 100 mm, no tratamento 3 (Escarificador+grade leve) estimado por krigagem. ....	101
Figura 5.2.9 - Representação dos modelos ajustados e não ajustados referentes às profundidades de 100 – 200 e 0 – 200 mm, no parâmetro resistência do solo à penetração.....	102
Figura 5.2.10 - Semivariograma esférico da Resistência do Solo à Penetração , à profundidade de 100 – 200 mm, mobilizado por escarificador + grade leve. ....	103
Figura 5.2.11 - Semivariograma esférico da Resistência do Solo à Penetração , à profundidade de 0 – 200 mm, mobilizado por escarificador + Grade leve.....	104
Figura 5.2.12 - Distribuição espacial e variância do parâmetro resistência do solo à penetração na profundidade de 100 - 200 mm, no tratamento 3 (escarificador+grade leve), estimado por krigagem.....	105

Figura 5.2.13 - Distribuição espacial e variância do parâmetro resistência do solo à penetração na profundidade de 0 - 200 mm, no tratamento 3 (escarificador+grade leve), estimado por krigagem.....	106
Figura 5.2.14 - Representação dos modelos ajustados e não ajustados referentes às profundidades de 0 – 200 mm, no parâmetro diâmetro médio ponderado, à seco. ....	107
Figura 5.2.15 - Semivariograma exponencial da estabilidade de agregados, via seca, à profundidade de 0 –200 mm, no solo, mobilizado por escarificador + Grade leve.....	108
Figura 5.2.16 - Distribuição espacial e variância do parâmetro diâmetro médio ponderado , por via seca, na profundidade de 0 - 200 mm, no tratamento 3 (escarificador+grade leve), estimado por krigagem.....	110
Figura 5.1.17 - Representação dos modelos ajustados e não ajustados referentes às profundidades de 0 – 200 mm, no parâmetro diâmetro médio geométrico. ....	111
Figura 5.2.18 - Semivariograma esférico do Diâmetro Médio Geométrico , à profundidade de 0 –200 mm, mobilizado por escarificador + Grade leve.....	112
Figura 5.2.19 - Distribuição espacial e variância do parâmetro diâmetro médio geométrico na profundidade de 0 – 200 mm, no tratamento 3 (escarificador+grade leve), estimado por krigagem.....	114
Figura 5.2.20 - Representação dos modelos ajustados e não ajustados referentes às profundidades de 0 – 200 mm , no parâmetro infiltração.....	115
Figura 5.2.21 - Semivariograma esférico da infiltração de água no solo, na profundidade de 0 –200 mm , no solo mobilizado por arado de disco + Grade leve.....	116
Figura 5.2.22 - Distribuição espacial e variância do parâmetro infiltração na profundidade de 0 - 200 mm, no tratamento 2, estimado por krigagem em Latossolo Roxo distrófico , Campinas 1998.....	118
Figura 5.2.23 - Representação dos modelos ajustados e não ajustados referente à profundidade de 0 – 200 mm, no parâmetro físico umidade.....	119
Figura 5.2.24 - Semivariograma exponencial da umidade do solo, na profundidade de 0–200 mm, no solo mobilizado por arado de disco + Grade leve.....	120
Figura 5.2.25 - Distribuição espacial e variância do parâmetro umidade na profundidade de 0 - 200 mm, no tratamento 2, estimado por krigagem em Latossolo Roxo distrófico , Campinas 1998.....	121

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Análises granulométricas da área experimental .....	31
Tabela 5.1 - Valores de densidade do solo ( $Mg.m^{-3}$ ). .....	57
Tabela 5.2 - Valores de macroporosidade do solo (%). .....	62
Tabela 5.3 - Valores de microporosidade (%). .....	66
Tabela 5.4 - Valores de porosidade total do solo (%) .....	70
Tabela 5.5 - Valores de resistência do solo à penetração, nas profundidades de 0-100 mm e 100-200 mm (MPa). .....	73
Tabela 5.6 - Valores de Resistência do Solo à Penetração, de 0-200 mm (MPa). .....	76
Tabela 5.7 - Valores de diâmetro médio ponderado de agregados por via úmida (mm). .....	79
Tabela 5.8 - Valores de diâmetro médio ponderado de agregados por via seca (mm). .....	82
Tabela 5.9 - Valores de diâmetro médio geométrico de agregados, de 0 a 200 mm (mm). .....	85
Tabela 5.10 - Valores de taxa de infiltração de água no solo, de 0-200 mm (mm/h). .....	87
Tabela 5.11 - Valores de umidade do solo, de 0 a 200 mm (%). .....	90
Tabela 5.12 - Parâmetros dos semivariogramas selecionados, para valores de $e < 0,5$ e $SSD/SST < 0,5$ . .....	92
Tabela 5.13 - Número necessário de amostras para estimar parâmetros físicos de um Latossolo Roxo distrófico solo considerando cinco pontos aleatórios e um erro de 10% em torno da média. ....	122
Tabela 5.14 - Número necessário de amostras para estimar parâmetros físicos do solo considerando quarenta e cinco pontos aleatórios e um erro de 10% em torno da média. ....	123
Tabela 5.15 - Número necessário de amostras para estimar parâmetros físicos do solo considerando cinco pontos amostrados em diagonal ascendente e um erro de 10% em torno da média. ....	124
Tabela 5.16 - Número necessário de amostras para estimar parâmetros físicos do solo considerando cinco pontos amostrados em diagonal descendente e um erro de 10% em torno da média. ....	125
Tabela 5.17 - Número necessário de amostras para estimar parâmetros físicos do solo considerando cinco pontos amostrados na posição longitudinal e um erro de 10% em torno da média. ....	126
Tabela 5.18 - Número necessário de amostras para estimar parâmetros físicos do solo considerando cinco pontos amostrados na posição transversal e um erro de 10% em torno da média. ....	127
Tabela 5.19 - Representação média do número de amostras coletadas em função dos melhores esquemas de amostragens, profundidade de amostragens e tipos de manejos. ....	128

**“Quanto mais aumenta o nosso conhecimento, mais  
evidente fica nossa ignorância”**

**John F. Kennedy.**

# 1. Introdução

Uma das características mais importantes no estudo da relação máquina/solo, com consequência imediata às plantas, é a alteração das propriedades físicas das camadas de solo por interferência mecânica. Conseqüentemente, o estudo para determinação das principais características físicas do solo agrícola, no intuito de adequá-lo às necessidades das plantas a serem cultivadas, é um fator importante no processo de produção agrícola.

Segundo MAGALHÃES (1992), para o bom desenvolvimento de uma cultura, é importante ter um solo em ótimas condições físicas, pois essa é uma exigência para o acondicionamento físico, químico e biológico do meio produtivo agrícola. Com essa condição física satisfeita, obtém-se uma distribuição adequada de espaços porosos no solo, otimizando-se a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas e as trocas gasosas no sistema solo-planta-atmosfera, proporcionando condições favoráveis ao desenvolvimento das plantas e, principalmente, do sistema radicular.

Vários fatores influenciam a produção e produtividade das culturas. Dentre eles, o preparo do solo tem demonstrado ser uma das fases mais importante da produção agrícola. Além de ser considerado um fator primordial na conservação do solo, é a base da sustentabilidade agrícola.

O preparo do solo, como técnica para adequar um leito ideal para a colocação das sementes, tem sido bastante discutido em todo o mundo, devido, principalmente, às peculiaridades de cada região. Além disso, o preparo do solo objetiva criar condições ideais para armazenamento de água às plantas, seja através do processo de melhoria na infiltração, seja por meio da diminuição das perdas por escoamento superficial e/ou subsuperficial e/ou por evaporação.

As modificações criadas pelos diferentes tipos de sistemas de preparo, requerem estudos especiais na avaliação das camadas do solo modificadas pela uso de ferramentas agrícolas pois a relação entre a ferramenta e a estrutura do solo e suas diversas condições, criam necessidades de desenvolvimento de técnicas e metodologias que possam representar, mais adequadamente, estas relações.

A maioria dos sistemas de preparo periódico do solo realizado em culturas anuais no Brasil, é proveniente da ação de equipamentos cujos órgãos ativos são discos. Dentre os sistemas conservacionistas, principalmente aqueles que utilizam hastes com ponteiros como órgãos ativos, somente algumas regiões têm adotado estes sistemas, em função de uma série de fatores, principalmente aqueles relacionados ao conhecimento do tipo de equipamento e seus efeitos sobre o solo.

Assim, utilizando-se de uma nova proposta metodológica de avaliação, espera-se obter resultados mais consistentes nos estudos e experimentações que comparam diferentes tipos de equipamentos usados no preparo e cultivo do solo, obtendo-se dessa maneira a indicação quantitativa e qualitativa de amostras para diversos parâmetros que avaliem as condições físicas do mesmo em função do tipo de órgão ativo utilizado para a sua mobilização.

## 2. Hipóteses e objetivos

A hipótese principal deste trabalho é que a mobilização do solo provocada por diferentes tipos de ferramentas proporciona alterações significativamente diferenciadas no perfil do solo, induzindo resultados onde a metodologia comumente aplicada na avaliação dos parâmetros físicos do solo não é capaz de detectar diferenças em função do número reduzido de amostras e devido a aleatoriedade da coleta que provoca indução de resultados não compatíveis com a realidade do manejo.

O objetivo geral deste trabalho foi estudar e propor uma metodologia que pudesse garantir que o número de amostras de alguns parâmetros utilizados na comparação de aspectos físicos do solo pudesse representá-las quando se pretende comparar diferentes tipos de preparo realizado com equipamentos de hastes e de discos, cuja homogeneidade na mobilização do perfil agropedológico nem sempre ocorre.

Os objetivos específicos foram:

- a - Avaliar o efeito dos equipamentos sobre as condições finais de diferentes sistemas de preparo, através das seguintes propriedades físicas do solo: densidade global; porosidade; umidade; resistência do solo à penetração; permeabilidade; e agregação;
- b - Identificar, dentre os parâmetros físicos do solo analisados, aqueles essenciais para a comparação de diferentes tipos de preparo do solo; e,
- c – Determinar a quantidade de amostras, por parâmetro físico do solo, necessárias para a realização do trabalho de coleta de dados quando se pretende avaliar preparo do solo realizado com arado de discos, escarificador e grade aradora.

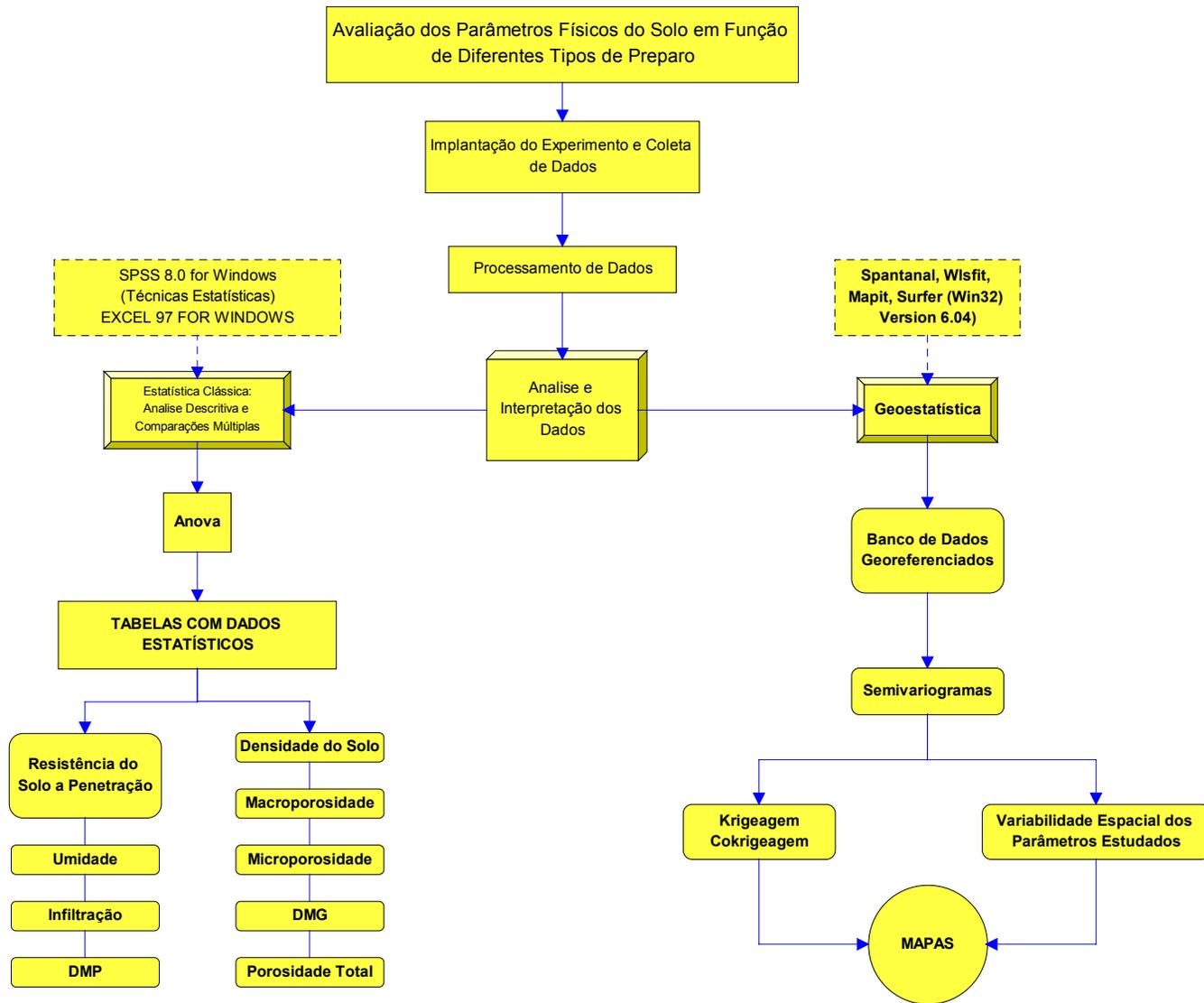


Figura 2.1 - Fluxograma metodológico

## 3. Revisão da literatura

### 3.1 O Solo

De acordo com CURI et al. (1993), o solo é um material mineral ou orgânico inconsolidado na superfície da terra que serve como um meio natural para o crescimento e desenvolvimento de plantas terrestres.

GAVANDE (1973), define o solo como um sistema complexo, heterogêneo, disperso e trifásico, que depende de uma série de características mecânicas, temperatura e mobilidade de ar e água para ser colocado como um meio de desenvolvimento de culturas.

Para efeito de manejo, a estrutura do solo é a parte mais importante (REICHARDT, 1985). Qualquer alteração significativa na estrutura do solo, reduzindo a porcentagem de espaços vazios acima de um certo valor crítico, afeta as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Segundo MAGALHÃES (1990), o preparo do solo e o tráfego de veículos são alguns dos fatores que causam estas alterações, mas os valores limites para o desenvolvimento das culturas tropicais ainda estão por ser estabelecidos. A principal exigência para o bom desenvolvimento de uma cultura é um solo com ótimas condições físicas e isto significa uma boa estrutura. Esta condição obtida, fornece uma distribuição adequada de espaços porosos, otimizando a disponibilidade de água e troca gasosa, proporcionando o desenvolvimento das raízes sem impedimentos mecânicos e temperaturas adequadas.

Em função do manejo a que está submetido, o solo é passível tanto de desagregação quanto de melhoramento em seu potencial produtivo, visto que esse recurso natural está inserido em um ecossistema e portanto, sujeito a variações dos demais componentes, tais como a água, o relevo, a macro e a

microfauna e flora, os quais podem ser afetados pelo homem (MELO FILHO & SILVA, 1993).

### **3.1.1 Preparo do solo**

Para que o solo possa ser um meio de desenvolvimento das plantas, necessita, segundo HILLEL (1980), estar em condições adequadas de equilíbrio entre os principais fatores que o constituem tais como a água, o ar e as suas próprias condições mecânicas, favorecendo assim, ao desenvolvimento das raízes das plantas.

O objetivo maior do preparo do solo é a obtenção de uma condição adequada para o desenvolvimento das plantas mediante sistemas de preparo que alteram as suas condições físicas (FREIRE, 1972).

CASSEL (1982) e SHAFER & JOHNSON (1982) definem preparo como a manipulação mecânica que altera as condições do solo. Preparos com o objetivo de misturar, erradicar ou controlar ervas daninhas, incorporar resíduos de plantas, estabelecer perfil desejado na superfície solo, incorporação de agroquímicos, produzem certo grau de compactação no solo. Muitos tipos de máquinas são utilizadas para executar estas operações. Cada operação de preparo, indiferentemente do implemento ou força exercida sobre o solo, altera as suas propriedades físicas.

A mobilização do solo é realizada principalmente para aumentar a aeração e a infiltração da água, incorporação de corretivos, restos culturais e controle de pragas, moléstias e plantas invasoras. A maioria dos solos brasileiros utilizados para culturas anuais são preparados mecanicamente, com o uso de arados e/ou grades de discos, ferramentas de corte e revolvimento com elevadas pressões sobre o solo. O uso contínuo de equipamentos de preparo constituídos de discos favorece a ocorrência de erosão, agravada pela degradação física dos solos, com surgimento de crostas superficiais e adensamentos subsuperficiais. O número

excessivo de operações de preparo, sempre à mesma profundidade, em solos com elevados teores de água, expõe o solo a esta degradação (DALLMEYER, 1994).

O preparo do solo, como a operação que visa proporcionar condições ótimas de implantação e desenvolvimento de culturas, deve levar em conta, segundo DALLMEYER & BOLLER (1988), as seguintes características:

- a) torná-lo menos resistente à penetração das raízes;
- b) permitir livre absorção e moderada retenção de água;
- c) permitir ótima relação solo-ar, com moderada troca gasosa com a atmosfera;
- d) facilitar a colocação e a incorporação de adubação verde e outros resíduos orgânicos;
- e) promover melhor atividade biológica;
- f) permitir condições estáveis de tração de implementos agrícolas; e,
- g) assegurar uma máxima resistência à erosão.

Segundo SCHAFER & JOHNSON (1982), ferramentas de preparo que causam movimentação no solo com o objetivo de produção agrícola, modificam as suas condições físicas. A estrutura do solo depende ativamente das forças nele aplicadas, reagindo de forma bastante característica em função das diferentes máquinas de preparo.

A produção de alterações nas condições físicas do solo, causadas pelo seu manejo, com emprego de ferramentas agrícolas, envolve, segundo MAGALHÃES (1992), dois aspectos diferentes: a quantidade de práticas de manipulação do solo e a magnitude das forças necessárias para causar alteração. Estas alterações devem ser feitas de uma maneira eficiente e de forma aceitável, sendo influenciadas pelos seguintes fatores:

- 1) condições iniciais do solo e determinação de quando e quanto estas condições devem ser alteradas pela mobilização; 2) pelo formato da ferramenta; em geral a

estrutura do solo será alterada pelo corte ou rompimento da camada a ser preparada, utilizando lâminas, discos de corte, cinzéis ou facas rotativas; e, 3) pelo movimento da ferramenta; normalmente, as ferramentas apresentam um movimento linear em relação ao solo.

A falta de conhecimento das potencialidades dos diferentes equipamentos disponíveis no mercado nacional, por parte de técnicos e agricultores, tem sido um dos principais motivos de inúmeros insucessos, o que tem provocado sérios problemas conservacionistas (GAMERO & BENEZ, 1990).

O manejo inadequado do solo, principalmente com excessivo número de operações sobre uma mesma área com a finalidade de adequá-la às condições de plantio e colheita das culturas exploradas, principalmente a soja, milho, e arroz, tem causado problemas sérios de compactação do solo, diminuição na produção e produtividade, além de favorecer enormemente as perdas de solo por erosão (MAZUCHOWSKI & DERPSCH, 1984).

De acordo com LARSON & OSBORNE (1982), resultados de pesquisas têm demonstrado que o preparo é responsável pela maior parte da deterioração da estrutura do solo. Os efeitos adversos do preparo na estrutura do solo são bem estabelecidos: decomposição da matéria orgânica por exposição na superfície; dispersão das partículas do solo pelo efeito do impacto da gota da chuva no solo descoberto e pela ação dos implementos de preparo do solo. Como consequência, têm-se a erosão do solo pela ação da água e do vento. Quando a redução no movimento da água e do ar é maior há impedimentos para emergência das plantas ou penetração das raízes.

O efeito do preparo do solo não depende apenas do implemento empregado mas também da forma e intensidade de seu uso. Em muitas ocasiões o efeito benéfico de determinado implemento pode ser anulado pelo seu uso inadequado ou excessivo. O preparo intenso do solo, além de ocasionar a aceleração do

processo erosivo, resulta em sérios prejuízos às suas características físicas (CASTRO, 1985).

Dentre os métodos de preparar o solo, segundo HAYES (1984), a diferença entre eles está na quantidade de solo que é revolvido. Esta quantidade é caracterizada pela ação dos diferentes tipos de implementos utilizados.

O sistema de cultivo convencional envolve uma série de operações. Dependendo da região, os implementos são diferentes e o número de operações para a realização de uma determinada tarefa é variado (MAIA, 1990)

No sistema convencional, os implementos agrícolas de preparo mobilizam os resíduos superficiais, incorporando-os ao solo, além de provocarem excessiva pulverização na camada superficial. Esta mobilização dá-se em função da ação dos órgãos ativos sobre o solo (MAZUCHOWSKI & DERPSCH, 1984; LARSON & OSBORNE, 1982; SCHAFER & JOHNSON, 1982).

Segundo BELTRAME et al. (s.d.); MACHADO & BRUM (1978) e MACHADO et al. (1981), os trabalhos de preparo, principalmente os preparos convencionais, provocam alterações nas propriedades físicas e destroem a estrutura natural do solo, principalmente a densidade, macro, microporosidade e agregados.

Estas alterações serão maiores quando houver maior intensidade do preparo e este, associado aos diferentes métodos, provocará modificações mais significativas nas características físicas do solo e na produção das culturas envolvidas, sendo as modificações dependentes do tipo de solo, drenagem e clima (GRIFFITH et al., 1973).

MAGALHÃES (1992) divide em dois grupos os elementos que fazem a interação entre a máquina e o solo, conforme suas funções, a saber: o primeiro, denominado ferramentas estreitas, dentre os quais, o escarificador; o segundo,

denominado ferramentas largas, onde se destacam o arado de discos, grades e a enxada rotativa.

As máquinas e implementos para o preparo periódico do solo, segundo GADANHA Jr. et al. (1991), atendem às seguintes características: 1) corte e inversão; 2) desagregação e revolvimento; e, 3) compactação e destorroamento do solo.

BIELDERS et al. (1996), estudando a distribuição espacial de um solo no leste da África, observou que o preparo do solo provocou aumento da rugosidade na fase inicial da atividade diminuindo gradativamente em função do tempo ou de operações posteriores. Salaria que este fato é função do histórico da área e do processo erosivo a que está o solo.

### **3.1.1.1 Arado de discos**

A aração é uma fase do preparo do solo que consiste no corte, elevação e posterior inversão da fatia de solo (SILVEIRA, 1988).

Os arados de discos foram desenvolvidos para suprir deficiências dos arados de aivecas em relação a solos com presença de raízes e outros obstáculos pegajosos e atritantes (BALASTREIRE 1987; ORTIZ-CAÑAVATE, 1980). Estes passaram a ter a preferência dos agricultores brasileiros, seja para o preparo periódico do solo ou para cumprir funções específicas, como a incorporação do calcário permitindo uma mistura melhor do material do que o arado de aivecas (SILVEIRA, 1988).

BARAÑAO & CHIESA (1982) e SILVEIRA (1988) apontam para a importância dos arados na agricultura e o seu manejo adequado salientando que o tamanho e a geometria dos discos influem numa série de parâmetros quando a relação máquina/solo/planta é levada em consideração, além de proporcionar alterações em algumas propriedades físicas como densidade, macro e microporosidade,

estabilidade de agregados e tamanho de agregados.

A aração é a operação de preparo do solo cuja característica principal é o corte do solo em fatias e sua inversão. O sistema de preparo com arados tem-se mostrado de grande utilidade principalmente por época da incorporação do calcário no solo, controle de ervas daninhas, etc. (MAZUCHOSWIKI & DERPSCH, 1984).

Segundo BARAÑAO & CHIESA (1982), a aração compreende três operações simultâneas e elementares: o corte vertical na superfície do solo, o corte horizontal e a inversão da leiva que, após torcionada e flexionada, é apoiada sobre a leiva imediatamente anterior. Este processo, permite o aumento na capacidade de infiltração de água e ar entre os blocos de solo recortados, os quais sofrerão a ação do meio em que estão.

Dois tipos básicos de aração são utilizados no Brasil: a aração com discos e com aivecas. Outra vantagem da aração é a descompactação na faixa de 100 a 200 mm. Como desvantagens do processo de aração aparecem baixo rendimento, em comparação com outros implementos; alto consumo de combustível; enterrio completo dos restos culturais, o que acelera rapidamente a sua decomposição, especialmente em solos de cerrados; difícil penetração dos órgãos ativos quando sobre a superfície do solo existe resteva úmida; não devem ser usados em terrenos recém desbravados; e, necessitam de cuidados especiais na regulagem (MAZUCHOWSKI e DERPSCH, 1984).

O arado de discos segundo JUSTINO (1990), provoca a formação de camadas compactadas logo abaixo da área de atuação devido principalmente, a pressão dos discos sobre o solo.

OLIVEIRA (1975), estudando a influência do tipo de arado nas modificações do solo, concluiu que a melhoria de algumas características físicas provocadas pela

aração, tiveram sua permanência por pouco tempo. Resultados semelhantes foram obtidos por BENNATTI Jr. et al. (1981).

### **3.1.1.2 Escarificador**

Podem ser considerados cultivo reduzido, os sistemas de preparo em que o revolvimento do solo e o tráfego de máquinas sejam o mínimo possível em relação ao preparo convencional, pois diminuem a pulverização do solo resultando, segundo MAZUCHOWSKI & DERPSCH (1984), em menores riscos de erosão. Estes sistemas podem ser realizados através de operações com implementos como grades, escarificadores e implementos combinados.

UNGER e McCALLA (1981) afirmam que em qualquer sistema de preparo do solo, as máquinas utilizadas devem propiciar satisfatoriamente um leito de semeadura, semear e controlar plantas invasoras e voluntárias. Citam ainda que, como o sistema de preparo reduzido baseia-se no resíduo superficial para o controle de erosão e conservação de água, é imperativo que as máquinas sejam capazes de operar satisfatoriamente quando grandes quantidades de resíduos estiverem sobre a superfície. Os resíduos devem permanecer na superfície e em boa quantidade, uma vez que a não incorporação de resíduos de culturas melhora as condições ou retenção de água no solo (LAL, 1974).

Técnicas de preparo que consistem em enterrio de resíduos vegetais, deixando a superfície do solo nu por muitos meses, mostraram, sob condições de altas temperaturas e chuvas intensas, com alta energia cinética e relevo ondulado, efeito desastrosos em termos de perdas de solo por erosão (CASTRO, 1985), e que o principal fator na absorção da água da chuva é o estado em que se encontra a superfície do solo. Completa ainda, dizendo que a cobertura do solo com restos culturais é fundamental, pois a matéria orgânica resultante da sua decomposição ajudará na estruturação do solo, mantendo uma porosidade que permita melhor utilização da água e conseqüente redução do escoamento superficial.

Segundo MAGALHÃES (1992), a avaliação da condição final do solo após a operação de preparo deve atender a critérios associados ao comportamento do solo para determinado fim, permitindo desta forma, a comparação entre diferentes equipamentos ou de trabalhos de pesquisa realizados em diferentes culturas ou localidades.

Tradicionalmente, ferramentas de corte e cizalhamento do solo são montadas em chassis de implementos agrícolas cuja largura de corte são maiores do que a profundidade de trabalho, quer sejam grades, cultivadores, rippers, arados ou subsoladores. No entanto, alguns implementos como é o caso dos escarificadores, promovem mobilização do solo abaixo da superfície de tal forma que se torna difícil uma avaliação exata da largura de corte do implemento, principalmente em função da sobreposição das áreas trabalhadas (McKYES, 1985).

Outro fator que influencia significativamente o trabalho da ferramenta estreita, é a velocidade de operação que pode, segundo McKYES (1985), formar sulcos mais profundos quando há aumento na velocidade de operação.

Segundo ASHBURNER & SIM (1984), uma maior velocidade de avanço da ferramenta ocasiona acréscimo na aceleração das partículas e agregados do solo. Por esta razão, a força de arrasto tende a ser proporcional à velocidade ao quadrado. Pela velocidade, também aumenta o esforço normal solo/interface e pode crescer o esforço entre as partículas; este eleva a resistência do solo e assim a força de arrasto.

Quando duas ferramentas estreitas são montadas lado a lado, aparecerá uma área de solo entre as quais não há mobilização, em função das linhas de rompimento do solo. Esta área tende a aumentar à medida que o espaçamento entre as ferramentas aumenta (McKYES, 1985).

O preparo do solo com escarificador pode manter e até melhorar a parte física, por desagregar o mínimo possível a sua estrutura e preservar uma cobertura morta capaz de proteger, até certo ponto, a superfície da radiação solar e do impacto das gotas da chuva (DERPSCH, 1984).

Escarificar significa romper o solo da camada arável, até uma profundidade máxima de 300 mm, utilizando-se implementos de hastes chamados escarificadores, para o preparo primário do solo (MAZUCHOWSKI e DERPSCH, 1984). Além de permitir economia de combustível, a escarificação proporciona uma melhor conservação do solo e uma maior capacidade operacional do sistema, permitindo assim, uma economia de tempo e dinheiro.

MIRANDA (1986), estudando alterações físicas em solos sob condições de preparo reduzido, relata que esse tipo de preparo constitui, muitas vezes, uma forma de prepará-lo sem inversão, mantendo certa quantidade de resíduos como cobertura protetora da superfície do solo. Afirma ainda que esta cobertura deve estar em quantidade suficiente para reduzir as perdas por erosão, de maneira significativa, em relação aos sistemas que incorporam ou removem os resíduos vegetais.

### **3.1.1.3 Grade pesada**

O uso de grades de discos, como equipamento de preparo primário do solo, está, segundo GAMERO et al. (1995), bastante difundido no Brasil, principalmente nas regiões de cerrados e na cultura da cana-de-açúcar em função da maior rapidez com que estes equipamentos trabalham o solo, devido às maiores larguras de corte e das velocidades com as quais se deslocam.

A gradagem complementa a operação de aração, embora possa ser usada também antes ou, até mesmo, substituindo os arados em algumas situações. Apresenta como objetivos: a gradeação propriamente dita, o destorroamento, a pulverização, o nivelamento e o assentamento do solo feito pelo arado. As

grades têm também a função de eliminar as ervas daninhas em estado de sementeira, realizando assim, uma capina; picar, cortar ou fragmentar restos de cultura que podem permanecer sobre a superfície do solo ou serem incorporados pelo arado; enterrar sementes miúdas jogadas à lanço sobre a superfície do terreno; inverter a camada superficial do solo para a incorporação de fertilizantes ou defensivos; escarificar superficial ou profundamente solos cultivados por vários anos; possibilitar picar e enterrar adubos verdes; permitir a construção de práticas mecânicas de controle à erosão em culturas permanentes (BALASTREIRE, 1987).

A aplicação dos sistemas de preparo considerados convencionais, principalmente aqueles usados pela maioria dos agricultores, como é o caso de preparos com gradagens pesadas seguidas de gradagens niveladoras (MAIA, 1990), têm causado muitas modificações em algumas propriedades e características físicas, químicas e biológicas do solo. (BURWELL, 1968) verifica que a médio e longo prazos o solo perde suas características produtivas naturais em relação ao desenvolvimento das culturas vegetais de interesse econômico.

A grade pesada de discos consiste num implemento usado para o preparo primário do solo e tem como objetivo soltar e misturar o solo superficialmente, assim como eliminar as ervas daninhas (MAZUCHOWSKI e DERPSCH, 1984). A grande maioria das propriedades agrícolas têm utilizado as grades pesadas para o preparo periódico do solo. Geralmente, após a operação com grade pesada, submete-se o solo a uma ou mais passadas com grades leves. Devido ao trabalho constante e geralmente às mesmas profundidades, as grades formam camadas endurecidas e, assim, contribuem para o aumento da compactação no solo.

Outro fator importante no preparo do solo, segundo MAZUCHOWSKI e DERPSCH (1984), é o espelhamento causado pelos discos quando em trabalho com solo úmido, fechando os poros e dificultando a infiltração da água. Além disso, devido às velocidades desenvolvidas pelas grades, ocorre uma pulverização excessiva do solo quando seco, com diminuição sensível dos macroporos que são os

responsáveis pelo condicionamento da água e desenvolvimento das raízes. É comum observar, em áreas trabalhadas com grades pesadas, o encharcamento na época das chuvas, devido à falta de uma rápida infiltração da água no perfil do solo.

#### **3.1.1.4 Grade leve**

Como fato corrente na agricultura brasileira, o uso das grade leves niveladoras tem sido praticado de uma forma muito intensa, seja para o destorroamento e nivelamento do terreno, seja para incorporação de herbicidas que possam controlar o desenvolvimento de plantas daninhas. Esta prática, muitas vezes em grande intensidade e em situações desfavoráveis de umidade, tem contribuído para a desestruturação das camadas de solo agricultáveis, provocando alterações significativas em alguns parâmetros físicos do solo, como é o caso da densidade, porosidade e agregação.

CENTURION & DEMATTÊ (1985), estudando os efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja, verificaram a existência de camadas compactas na faixa de 100-130 mm para o sistema reduzido de preparo (grade pesada + niveladora) e 200-230 para os sistemas convencional (aração + gradagem pesada + niveladora) e superpreparo (duas arações + gradagem pesada + niveladora).

A excessiva compactação do solo, segundo Dwyer, citado por GAMERO et al.(1987), pode revelar um efeito direto no crescimento das plantas impedindo desenvolvimento das raízes, e um efeito indireto, pela restrição à passagem do ar e da água.

A operação agrícola, seja ela qual for, se efetuada quando o solo estiver com teor de umidade inadequado, provocará deterioração de suas condições físicas; preparo excessivo, com quantidade exagerada de operações; produção de um número muito grande de pequenos agregados e formação de crostas na

superfície; drenagem inadequada, tanto na superfície como no subsolo. Estes fatores são, segundo CAMARGO (1983), as maiores causas de compactação dos solos durante as operações agrícolas.

FERNANDES et al. (1983), mostraram que as camadas de compactação subsuperficial do solo impedem o crescimento normal das raízes e o eficiente suprimento de água e nutrientes para o desenvolvimento das plantas.

### **3.2 Características físicas do solo**

As alterações físicas provocadas pela maquinaria agrícola influem diretamente na movimentação da água e do ar no solo, provocando diminuição da macroporosidade e da estabilidade dos agregados, com crescentes aumento da densidade do solo e conseqüente dificuldade de desenvolvimento do sistema radicular das plantas, através do perfil do solo.

Com as operações de preparo do solo, principalmente quando realizadas em condições inadequadas de umidade, ocorrem modificações nas suas propriedades físicas. Essas alterações são diferentes conforme o tipo de solo, o equipamento empregado e a intensidade de seu uso. A avaliação da influência dos sistemas de manejo nas propriedades físicas pode ser feita mediante a determinação da densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, tamanho e estabilidade de agregados e retenção de água no solo.

Segundo BERTRAND (1967), o efeito da operação de preparo depende muito das propriedades físicas do solo, incluindo fatores como umidade do solo, textura, solidez da massa e estabilidade de agregados. O efeito direto do preparo na superfície exerce influência sobre a retenção de água, afetando a infiltração. Fluxos de líquidos e gases são diferentes quando avaliadas em camadas preparadas e não preparadas.

### 3.2.1.1 Densidade do solo (Ds)

KIEHL (1979) e JORGE (1985) afirmam que a densidade global é variável para um mesmo solo, alterando-se de acordo com sua estruturação. Afirmam, que o manejo incorreto de um solo de cultura pode provocar a compactação, alterando a estruturação e, conseqüentemente, a densidade global. Salienta também que, a estrutura influencia o desenvolvimento das plantas de várias maneiras, como: reguladora da aeração; armazenamento e circulação de água; penetração das raízes; disponibilidade de nutrientes; atividade micro e macrobiológica; e, temperatura do solo.

Archer e Smith, citados por CORRÊA (1984), afirmam que as mudanças da densidade do solo, além de afetarem a quantidade de água disponível e a capacidade de armazenamento, influenciam fortemente a permeabilidade e a penetração de raízes.

CASSEL (1982) salienta que uma das propriedades físicas que quase sempre é alterada pelo preparo é a densidade do solo, facilmente mensurada e comumente relatada nos estudos de campo e laboratório. Densidades em camadas recém preparadas com excesso de umidade tendem a aumentar, principalmente quando associada à falta de cobertura do solo.

CORRÊA (1985), estudando a influência de três diferentes métodos de preparo (convencional, enxada rotativa e plantio direto) sobre as propriedades físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso, detectou alteração na densidade global, cujos valores foram superiores quando comparados aos de floresta virgem. Observou que, quando se deu a maior mobilização no solo durante o preparo da área, os valores de densidade foram menores.

A variável densidade do solo é importante no estudo da relação solo/planta. No entanto, a porosidade é o termo mais significativo para uso na discussão da

compactação do solo, porque, segundo CHANCELLOR (1977), ela descreve diretamente a proporção do volume do solo disponível para as raízes das plantas e a água e o ar que elas requerem.

### **3.2.1.2 Porosidade do solo (Pt)**

Segundo BERTRAND (1967), embora seja conhecido que a porosidade tem que ser igual na germinação e no crescimento das raízes para difusão do  $O_2$ , é difícil definir a condição exata de quanto  $O_2$  será necessário para a planta, do começo ao fim da sua vida. O preenchimento de ar nos poros e, conseqüentemente, a difusão de  $O_2$  e  $CO_2$  são afetados pelos torrões e pelo tamanho de agregados, densidade da massa e teor de água no solo e sua distribuição.

O aumento relativo observado na quantidade de poros com diâmetros médios e pequenos, resultante da redução do número de operações de cultivo, poderá ser de grande importância na capacidade de retenção de água e na proporção de poros de arejamento, em determinados solos FERNANDES et al. (1983) encontraram valores maiores para a totalidade de poros no preparo com escarificador mais gradagem niveladora na camada de 0 - 100 mm, quando comparados com as observações feitas no sistema convencional (aração + duas gradagens niveladoras) e plantio direto.

### **3.2.1.3 Macro e microporosidade (Ma e Mi)**

KIEHL (1979) argumenta que a porosidade total de um solo não constitui uma informação muito importante para caracterizar suas propriedades; para isso, é necessário saber qual a distribuição do tamanho de seus poros que podem ser classificados em macro e microporos. Os macroporos são responsáveis pela aeração e movimento da água no solo e a microporosidade pela retenção da água no solo.

Reforçando a argumentação de diversos pesquisadores, RAIJ(1983) assegura que dois tipos de poros podem ser reconhecidos nos solos: os macroporos que são os de maior diâmetro e os microporos, cujo diâmetro é menor. Os macroporos, continua VAN RAIJ(1983), são aqueles que permitem a drenagem da água e o ar se move livremente, enquanto que os microporos ficam como responsáveis pela retenção de água por capilaridade.

THIEN(1976), estudando o comportamento de agregados conforme diferentes tipos de manejo, salienta que agregados pequenos ou quebrados tendem a diminuir o percentual de macroporos na camada superficial, reduzindo assim, o movimento de ar e água no solo.

O aumento relativo, observado na quantidade de poros de diâmetros médios e pequenos, resultante da redução do número de operações de cultivo, poderá ser de grande importância na capacidade de retenção de água e na proporção de poros de arejamento, em determinados solos (FERNANDES et al., 1983).

#### **3.2.1.4 Umidade do solo ( $\theta$ )**

A umidade do solo é um dos atributos que têm sido muito estudado pelos pesquisadores da área de solos, como REICHARDT (1985), RIBEIRO JUNIOR (1995) e JORGE (1985), dentre outros muitos.

Segundo BERTRAND (1967), a umidade do solo é muito importante na predição da reação do solo ao preparo. Ao tracionar uma ferramenta para preparar o solo em condições úmidas, existe grande tendência à compactação, com aumento da resistência do solo. Preparo em solo argiloso em condições seco, resulta em quebra de grandes massas de solo. Portanto, este deve ser preparado com teor adequado de água para produzir tamanho adequado de torrões e requerer um mínimo de esforço para as operações.

A influência do teor de umidade no preparo do solo pode ser considerado, do ponto de vista dos seus efeitos, um fenômeno importante no transporte e armazenagem da água, porque se não houver entrada de água no solo, certamente esta não pode ser armazenada.

DENARDIN (1984) afirma que preparos de solos realizados sistematicamente com implemento operando à mesma profundidade e com teores elevados de umidade são fatores condicionantes de sua desestruturação.

A operação agrícola, seja ela qual for, se efetuada quando o solo estiver com teor de umidade inadequado, provocará deterioração de suas condições físicas; o preparo excessivo, produz um número muito grande de pequenos agregados, a formação de crostas na superfície e uma drenagem inadequada, tanto na superfície como no subsolo. Estes fatores são, segundo CAMARGO (1983), as maiores causas de compactação dos solos durante as operações agrícolas.

Segundo CASTRO (1985), o teor de umidade ideal para o preparo do solo é aquele no qual as necessidades de tração são mínimas e a ação que se pretende seja máxima.

### **3.2.1.5 Resistência do solo à penetração (RSP)**

A impedância mecânica pode ser considerada um dos fatores mais importantes para se ter uma idéia do grau de dificuldade que o solo oferece ao desenvolvimento das raízes de uma determinada cultura (BRADFORD, 1986). Pode ser expressa, segundo o autor, pela relação entre a força exercida para fazer penetrar um cone metálico no solo e sua área basal, comumente denominada I.C. (Índice de Cone).

Conforme a ASAE (1978), o penetrômetro de cone é recomendado como um aparelho para medir a resistência do solo à penetração, caracterizando um método padrão de uniformidade de dados.

A resistência do solo à penetração não é um parâmetro independente, sendo resultado de combinações de ruptura (cisalhamento, atrito, compressão, etc.) que ocorrem nas vizinhanças da ponta de um penetrômetro que avança verticalmente ao longo do perfil. A resistência do solo à penetração é, tipicamente, um parâmetro composto (RÍPOLI et al., 1985).

TORMENA (1991) afirma que existe ampla evidência da dependência da resistência à penetração em relação a outras propriedades físicas do solo, independentemente do tamanho ou tipo de penetrômetro utilizado na coleta de dados. Esta dependência dificulta a análise dos resultados, pela impossibilidade de certificar se estes ocorrem devido aos efeitos dos tratamentos ou variações das propriedades do solo.

Segundo MANTOVANI (1987), a resistência do solo à penetração é um indicador secundário de compactação, não constituindo, pois, medição física direta de qualquer condição do solo. Muitos outros fatores, além da compactação, afetam a resistência do solo, dentre os quais se destaca o teor de umidade, mas servindo como parâmetros para comparação com outros indicadores.

O tamanho, a forma e a técnica de introdução no solo dos vários penetrômetros disponíveis sugerem o uso de um modelo matemático para caracterizar o comportamento do solo à penetração. São eles: a) força ou pressão exigida para penetração de uma ponta cônica, expressa em termos do chamado índice de cone versus a profundidade atingida pela ponta; b) energia exigida para causar a penetração de uma ponta cônica, expressa em termos de batidas, versus a profundidade atingida pela ponta

Segundo LINS E SILVA (1995), a resistência à penetração está padronizada em função dos seguintes objetivos: a) promover um método comum, para expressar as propriedades mecânicas do solo e facilitar as interpretações e comparações entre os trabalhos produzidos nos diferentes centros de pesquisas; b) atender a necessidade de comparações de propriedades dos solos, em trabalhos que utilizam diversos tipos e condições de solos; c) promover um sistema de caracterização de propriedades do solo, no qual pode ser possível estabelecer relações de desempenho e predição de modelos.

### **3.2.1.6 Infiltração de água no perfil do solo**

Infiltração é a entrada de água no perfil de um solo. Segundo FREESE et al. (1993), a infiltração de água no solo é controlada pela intensidade de chuva e pelo conteúdo inicial de água no solo. REICHARDT (1985) afirma que o conhecimento e as relações da velocidade de infiltração e infiltração acumulada com as propriedades do solo são importantes para o eficiente manejo do solo e da água.

A infiltração como entrada vertical da água no perfil do solo (FORSYTHE, 1975) contribui para a determinação do seu estado de resistência à penetração. Um dos sintomas mais freqüentes notados em relação à infiltração, de acordo com CAMARGO (1983), é a água empoçada em determinada área.

REICHARDT (1985) confirma que a quantidade de água retida em um perfil de solo é tanto maior quanto mais profunda a camada considerada. Relata ainda que, uma forma de oferecer mais água para as plantas é conduzir o sistema radicular para as camadas mais profundas.

Preparos que desestruturam o solo, aumentam a porosidade e a capacidade de infiltração da água. Porém, o aumento da porosidade pelo preparo é transitório, sendo recomposto após um certo tempo. Além disso, a formação de crostas

superficiais e impermeáveis limita a infiltração de água e reduz os benefícios do acréscimo da porosidade (FREESE et al., 1993).

### **3.2.1.7 Permeabilidade do solo**

Permeabilidade é a propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento da água através dele, sendo o seu grau de permeabilidade expresso numericamente pelo coeficiente de permeabilidade (CAPUTO, 1983). É uma das características importantes dos solos e intervém em grande número de problemas da área de engenharia, segundo considerações de VARGAS (1977).

A permeabilidade é determinada pelo coeficiente de permeabilidade do solo que varia de acordo com o tipo de solo e, segundo CAPUTO (1983), para um mesmo solo, depende essencialmente da temperatura e do índice de vazios do mesmo.

### **3.2.1.8 Agregados**

O estado de agregação do solo, segundo FREIRE (1972), tem especial importância no estudo das propriedades físicas, podendo ser uma limitação para o desenvolvimento vegetal, mesmo nos solos que apresentem condições ideais de fertilidade. Esta agregação, continua FREIRE (1972), está sujeita às alterações devidas aos fenômenos naturais e ao sistema de manejo a que o solo estiver submetido.

A agregação das partículas do solo não têm influência direta sobre o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, mas, segundo MENDES (1982), pode ser considerada importante quando provoca modificações no espaço poroso do solo, alterando desta forma, o ambiente físico e químico no qual as raízes se desenvolvem.

O efeito imediato no uso de um implemento de preparo do solo é o revolvimento, maior ou menor, provocado pelo órgão ativo, resultando numa modificação do tamanho e distribuição dos torrões, aumento de volume e porosidade e, conseqüentemente, modificação do comportamento térmico, hídrico, químico e biológico do solo (ORTOLANI, 1989).

GILL e VANDEN BERG (1967) salientam que quando uma ferramenta avança sobre o solo, este reage de maneira contrária, conforme suas condições. Esta relação solo/ferramenta provoca condições diferenciadas, principalmente quando o grau de aplicação é intenso, como no caso da agricultura usualmente praticada nas diversas regiões dos cerrados.

ABRÃO et al. (1979), comparando o efeito de métodos de preparo do solo sobre algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico encontraram maior índice de estabilidade de agregados em água, em sistemas com menor mobilização.

Segundo Lyles e Wooderuff e Baver et al. citados por KLEIN (1990), diversos fatores afetam a distribuição do tamanho de agregados no solo: teor de umidade, textura, densidade do solo e, principalmente, o tipo de ferramenta e sua forma de ação.

THIEN (1976) estudando o comportamento de agregados conforme diferentes tipos de manejo, salienta que agregados pequenos ou quebrados tendem a diminuir os macroporos no solo superficial, reduzindo, assim, o movimento de ar e água no solo.

### **3.2.1.9 Coesão e atrito interno do solo**

A resistência de um solo à deformação por compressão ou deformação por cisalhamento está determinada, segundo ASHBURNER e SIMS (1984), por sua resistência mecânica, que consiste em dois componentes: resistência coesiva e

resistência friccional. Os valores variam consideravelmente e dependem do conteúdo de umidade, tamanho das partículas, tamanho e forma dos agregados e o grau de consolidação. Estes fatores existem em tantas combinações que somente a medição direta dos componentes de coesão e fricção podem permitir prever a resistência verdadeira de um solo em uma determinada condição.

O conceito de atrito entre sólidos está fundamentalmente ligado ao movimento: o atrito surge quando se verifica tendência ao movimento. Tendo em conta que só há movimento, por ação de forças, pode-se entender, segundo BARATA (1984), o atrito como sendo uma força resistente que se opõe à força provocadora do deslocamento.

Sob a denominação genérica de atrito interno de um solo, inclui-se não só o atrito físico entre suas partículas, como o atrito fictício, proveniente do entrosamento de suas partículas; nos solos não existe uma superfície nítida de contato, ao contrário, há uma infinidade de contatos pontuais (CAPUTO, 1973).

Do ponto de vista mecânico, é conveniente definir os esforços aos quais está sujeito um solo, em termos de tensão, compressão e corte por cisalhamento. Qualquer sistema de esforços complexos pode sempre resultar nestes três tipos de forças. O corte do solo em função de uma ferramenta de preparo depende dos parâmetros de resistência na superfície de corte, que consiste de uma interface solo/solo e outro normalmente de solo/metal (ASHBURNER e SIMS, 1984).

Conforme expõe MACIEL (1993), a resistência é definida como sendo a tensão de cisalhamento atuante sobre o plano principal de ruptura, durante a ruptura. Na mecânica dos solos, é usualmente assumido que a tensão de cisalhamento é dada pelo critério de ruptura de Mohr-Coulomb. Sendo assim, pode-se caracterizar a tensão de cisalhamento pela equação:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots[3.1]$$

onde:

$\tau$ =tensão de cisalhamento

c = coesão

$\phi$ =ângulo de atrito interno do solo

$\sigma$ =tensão normal aplicada ao plano de ruptura

Conforme a equação de Coulomb, a resistência ao cisalhamento de um solo compõe-se basicamente de duas componentes: a coesão e o atrito interno (CAPUTO, 1973). A coesão em um solo pode ser definida como sendo a força que mantém ligações sólido-sólido ou líquido-líquido, devido a atração entre as moléculas semelhantes.

A coesão é aquele estado que a fração argilosa empresta ao solo, pela qual o mesmo se torna capaz de se manter coeso, em forma de torrões ou blocos, ou pode ser cortado de diversas outras maneiras mantendo essa geometria. De forma geral, pode-se definir coesão como a resistência ao cisalhamento de um solo, quando, sobre ele, não atua pressão externa alguma.

### **3.3 Variabilidade espacial**

A variabilidade e a distribuição espacial de propriedades do solo ocorre em diferentes níveis de complexibilidade, podendo estar relacionadas, segundo GUIMARÃES et al. (1995) aos processos e fatores de formação do solo e ou relacionadas aos efeitos de técnicas de uso e manejo. Em geral, projetos relacionados a essas técnicas devem levar em consideração a umidade e a densidade do solo, onde valores médios são usualmente utilizados. Para que essas médias sejam confiáveis, faz-se necessário, que a amostragem seja representativa de toda área.

O objetivo da geoestatística é pesquisar a variabilidade espacial das propriedades e características dos solos e fazer estimativas, utilizando o princípio da variabilidade espacial. Nos experimentos agrícolas instalados em campo, o solo é um material que possui influência direta sobre os resultados da pesquisa. Na quase totalidade desses casos, os valores médios são considerados representantes fiéis dessas propriedades em toda área experimental, mesmo quando o coeficiente de variação é relativamente alto. A homogeneidade dos solos, geralmente, é determinada apenas visualmente, quando da montagem dos experimentos, considerando apenas a unidade do solo, manejo, topografia, enfim, características visuais (GUIMARÃES et al., 1996).

As estimativas são realizadas considerando os pontos da vizinhança e o modelo de variabilidade espacial, proporcionando, desta forma, variância mínima e, portanto, o menor erro nas estimativas (VIEIRA et al., 1983).

A metodologia que estuda a variabilidade espacial (Geoestatística), procura separar a variabilidade que pode ser explicada pela relação entre amostras (por exemplo, a variação devido ao manejo e/ou preparo do solo) da variação casual (esta considerada pela estatística clássica), conforme GUIMARÃES et al. (1996).

LIBARDI et al. (1986), estudando a variabilidade espacial de parâmetros físicos do solo em Terra Roxa Estruturada, concluíram que as funções geoestatísticas possibilitaram informações acerca das distâncias entre amostras e suas correlações, reafirmando a importância de se ter tais funções em futuros esquemas de amostragens.

Outros pesquisadores, como PREVEDELLO (1987), SILVA et al. (1986) e VIEIRA (1981) também estudaram o comportamento de parâmetros do solo pelo uso da geoestatística e comprovaram a excelente relação que se atribui à variabilidade espacial dos dados às coletas de campo.

## **4. Material e métodos**

### **4.1. Localização da área**

O presente trabalho de pesquisa foi desenvolvido no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, cujas coordenadas geográficas são as seguintes: Latitude 22°48'57" Sul , Longitude 47°03'33" Oeste e altitude média de 640 m.

Conforme a classificação climática de Köeppen, a região de estudo é definida como uma transição entre os tipos Cwa e Cfa, o que indica um clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido. As temperaturas do mês mais quente e do mais frio são, respectivamente, superiores a 22°C (fevereiro) e menores que 18°C (junho). A precipitação média anual é de 1.382 mm, com o período chuvoso estando entre outubro a março (1.048 mm), o que representa 75% do total de chuva anual. Já o período mais seco ocorre de junho a setembro, quando há uma deficiência hídrica no solo em torno de 7mm (LUCARELLI, 1997).

### **4.2. Características da área do experimento**

O presente trabalho foi instalado em 1997/98, em área de Latossolo Roxo distrófico textura argilosa, Unidade Barão Geraldo (OLIVEIRA & ROTTA, 1979), localizada no terço médio de uma encosta com 9% de declive, orientação norte-sul e exposição oeste.

A programação para implantação do experimento foi feita em função do teor de umidade do solo desejado para as parcelas experimentais. Para isso, procurou-se controlar a umidade mediante leituras periódicas nos tensiômetros instalados no campo, conforme mostra a figura 4.1. Como houve um período de seca

prolongado durante a fase experimental, adotou-se a irrigação da área através do sistema de aspersão.



Figura 4.1 – Instalação dos tensiômetros na área experimental

Para caracterização inicial da área, foram aplicados alguns procedimentos indispensáveis à implantação do experimento à campo, como é o caso da análise granulométrica e determinação de outras características físicas do solo.

A determinação da coesão e do atrito interno foi uma das características do solo para servir de base às inferências que se devem dar quando se trabalha com avaliações de preparo. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica dos solos da Faculdade de Engenharia da Unicamp, utilizando-se dos ensaios triaxiais rápidos, não drenados e corpos de prova. Os valores obtidos nos testes para a coesão e o atrito interno foram, respectivamente,  $c=37,8$  kPa e  $\phi=15,50$  graus.

A análise granulométrica para determinação dos teores de areia, silte e argila, foi realizada utilizando-se o método da pipeta, descrita em CAMARGO et al. (1986). A amostragem foi determinada segundo uma malha sistemática de 45 pontos na parcela tida como testemunha e cujo os resultados são apresentados na tabela 4.1.

Conforme a posição de amostragem descrita no item 4.4.1 e observada na figura 4.16, as amostras foram retiradas na parcela testemunha por ocasião da amostragem para determinação da agregação do solo por via úmida, formando uma amostra composta de quarenta e cinco valores.

Tabela 4.1 – Análises granulométricas da área experimental

HORIZONTE		COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (g.kg <sup>-1</sup> )		
SÍMBOLO	PROFUNDIDADE (cm)	ARGILA	SILTE	AREIA TOTAL
Ap	0 – 13	580	90	330
AB	13 – 40	600	80	320

### 4.3. MATERIAL

O material utilizado no presente trabalho foi: um trator agrícola de rodas, um arado de discos, um escarificador, uma grade pesada, uma grade leve, uma roçadora, material de laboratório para análises dos parâmetros físicos do solo, um penetrômetro eletrônico, um permeâmetro de Guelf, uma peneira rotativa, uma área com 6.000 m<sup>2</sup> para desenvolvimento dos trabalhos, ferramentas para coleta de material, trenas, tensiômetros, máquina gráfica e notebook para computação de dados.

#### 4.3.1. Caracterização dos equipamentos agrícolas utilizados

Os equipamentos agrícolas utilizados nas operações de preparo do solo foram:

#### 4.3.1.1. Trator

A fonte de tração utilizada nos trabalhos de preparo do solo foi um trator agrícola, marca<sup>(\*)</sup> Massey Ferguson (Figura 4.2), modelo 290, de potência máxima de 58 kW a 2200 rpm, com tração simples, lastragem traseira e equipado com pneus traseiros 18.4/15x34, peso de 3270 kgf.



Figura 4.2 -Trator agrícola utilizado nas operações de preparo do solo

#### 4.3.1.2. Arado de discos

Foi utilizado um arado de acoplamento hidráulico de 3 (três) pontos, marca Santa Izabel, reversível, com discos côncavos de 660 mm de diâmetro, regulados para trabalharem à profundidade de 200 mm, distância entre eixos de 480 mm e peso de 480 kgf (Figura 4.3).

---

(\*) A citação de marcas comerciais não implica em recomendações do autor



Figura 4.3 - Arado reversível de discos, utilizado nas operações de preparo do solo

#### **4.3.1.3. Escarificador**

Foi utilizado um esscarificador marca MARCHESAN, de arrasto, modelo super Tatu, com 5 hastes parabólicas, flexíveis, distância de 305mm entre hastes, órgãos rompedores tipo cinzel, com ponteira de 75 mm de largura e 20 mm de espessura e ângulo de ataque de 22°, hastes distribuídas alternadamente em duas secções, sendo 2 hastes à frente e 3 atrás, largura máxima de operação de 1200mm e peso de 270 kgf.



Figura 4.4 - Escarificador utilizado nas operações de preparo do solo

De acordo com os parâmetros escolhidos, a profundidade e o espaçamento de trabalho foram determinados em função da largura de corte da ponteira da haste do escarificador e transferida para os demais tratamentos, no intuito de adequar coleta de amostras representativas na relação máquina/implemento/solo.

Para considerar a área a ser mobilizada pelas hastes, usou-se o conceito de mobilização referenciada em McKYES (1985), adequada às condições de solo da área experimental, como um parâmetro de comparação para entre os demais tratamentos, uma vez que o objetivo deste trabalho foi comparar os efeitos de diferentes sistemas de preparo entre hastes e discos.

Pela proposta de McKYES, a equação para cálculo da área mobilizada é:

$$A_d = (d * s_p - A_1) = \left\{ d * s_p - 1 / (s_p - w)^2 \right\} \tan \phi \dots\dots\dots [4.1]$$

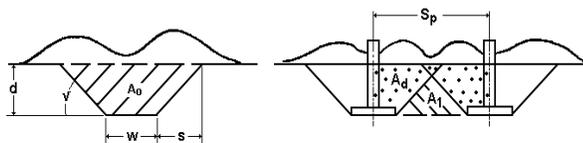


Figura 4.5 - Área de solo mobilizada por ferramenta estreita e interação entre duas ferramentas.

Onde:

$\tan\phi$  -  $d/s$

$A_d$  - área mobilizada ( $\text{cm}^2$ );

$d$  - profundidade de trabalho (cm);

$s$  - distância da extremidade da ponteira ao limite máximo de mobilização (cm);

$w$  - largura da ponteira (cm);

$A_1$  - área não mobilizada ( $\text{cm}^2$ ); e

$s_p$  - distância entre hastes (cm).

A fração do solo entre as ferramentas que não está sendo mobilizada, será avaliada pela relação:

$$A_1 / d * s_p = 1 / 4 (s_p - w)^2 / s_p * s \dots\dots\dots [4.2]$$

onde:

$A_1$  - área não mobilizada ( $\text{cm}^2$ );

$d$  - profundidade de trabalho (cm);

$s_p$  - distância entre hastes (cm);

$w$  - largura da ponteira (cm);

$s$  - distância da extremidade da ponteira ao limite máximo de mobilização (cm).

#### 4.3.1.4. Grade pesada

Utilizou-se uma Grade pesada, de arrasto, marca Tatu, modelo GAM 16, com 16 discos de 660,4 mm (26"), de bordo recortado, duas seções, sendo a segunda regulável e ajustável em relação à linha de deslocamento, profundidade máxima de 180 mm, largura máxima de corte de 1730 mm, espaçamento entre discos de 230 mm e peso de 1310 kgf.



Figura 4.6 - Grade pesada utilizada nas operações de preparo do solo

#### 4.3.1.5. Grade leve

Foi utilizada uma grade leve marca TATU, modelo GNCR 42, de arrasto, com 42 discos de 50,8 c (20"), espaçamento de 170 mm entre discos, largura de corte de 3400 mm, peso de 897 kgf e secções dianteira e traseira reguláveis em relação à linha de deslocamento.



Figura 4.7 - Grade leve utilizada nas operações de preparo do solo.

#### **4.3.1.6. Roçadora**

Foi utilizada uma roçadora de engate em três pontos, marca Jan, modelo Rotter 180, com largura de corte de 1700 mm, acionada pela TDP (Tomada de Potência) a 540 rpm com roda de controle de profundidade.



Figura 4.8 - Roçadora utilizada nas operações iniciais de preparo do solo.

### **4.3.2 Caracterização dos equipamentos para coleta de dados**

#### **4.3.2.1 Penetrômetro eletrônico**

Utilizou-se um penetrômetro eletrônico composto por um módulo principal com sensor de profundidade, sensor de força, haste de penetração, placa condicionadora de sinais e placa de aquisição de dados, microcomputador do tipo "palmtop" HP-95LX, com força máxima programável de 0 a 100 Kgf e profundidade máxima programável de 0 à 600 mm.



Figura 4.9 – Penetrômetro eletrônico utilizado na coleta de dados.

#### 4.3.2.2 Peneira rotativa

A peneira rotativa concêntrica utilizada para caracterização da distribuição do tamanho de agregados do solo à seco era constituída de 7 malhas de 80 a 1,2 mm, por um fator 1/2, com 8 classe de torrões em peneiras de 80; 40; 19,3; 9,4; 5,1; 2,5; 1,2 e <1,2mm (DALLMEYER et. al. 1991).



Figura 4.10 – Vista geral da peneira rotativa.



Figura 4.11 – Detalhes da coleta dos agregados do solo.

#### 4.3.2.3 Permeômetro IAC

Utilizou-se um permeômetro baseado no princípio de Mariotte (WINTER, 1986) , tipo GUELPH, modificado por VIEIRA<sup>1</sup> (1997) com o objetivo de fornecer água ao solo não saturado com cargas hidráulicas de 3 e 6cm com um orifício de 3cm de diâmetro no solo, conforme Figura 4.12.

<sup>1</sup> VIEIRA, S.R. Seção de Conservação do Solo do IAC - Campinas (Comunicação Pessoal)



Figura 4.12 – Permeâmetro de GUELPH – modelo IAC.

#### 4.3.2.4 Amostrador hidráulico IAC

Para coletar as amostras de solo, utilizou-se um macaco hidráulico, regulável em sua extensão, com bocal para acondicionamento do anel e cabo hidráulico para bombeamento do óleo conforme pode ser visto na Figura 4.13



Figura 4.13 - Amostrador hidráulico para coleta da densidade do solo

## 4.4. MÉTODOS

### 4.4.1. Delineamento experimental

O experimento foi constituído de 4 (quatro) tratamentos, sendo 03 (três) referentes ao tipo de preparo do solo e 01 (um) para caracterização inicial da área, dispostos no campo experimental da FEAGRI, entre dois terraços, conforme indicado na Figura 4.14.

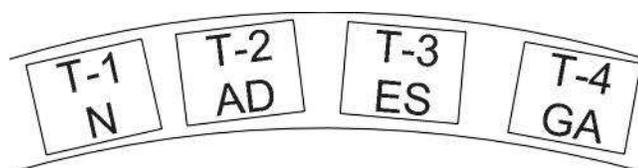


Figura 4.14 Disposição dos tratamentos nas parcelas experimentais.

Cada parcela ocupou uma área de 600 m<sup>2</sup> (20m x 30m), sendo que a área útil para determinação dos parâmetros do solo foi de 180 m<sup>2</sup> (10m x 18m). O restante da área serviu como bordadura e área de escape para manobras da maquinaria agrícola.

A área útil das parcelas foi subdividida em quarenta e cinco subparcelas, designadas como células (Figura 4.15).

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	17	16	15	14	13	12	11	10
19	20	21	22	23	24	25	26	27
36	35	34	33	32	31	30	29	28
37	38	39	40	41	42	43	44	45

Figura 4.15 - Identificação das células dentro da parcela

Compondo os esquema de amostragem conforme descrito a seguir, onde em cada uma delas, sistematicamente, localizaram-se os pontos de amostragens dos parâmetros estudados, como mostra a Figura 4.16.

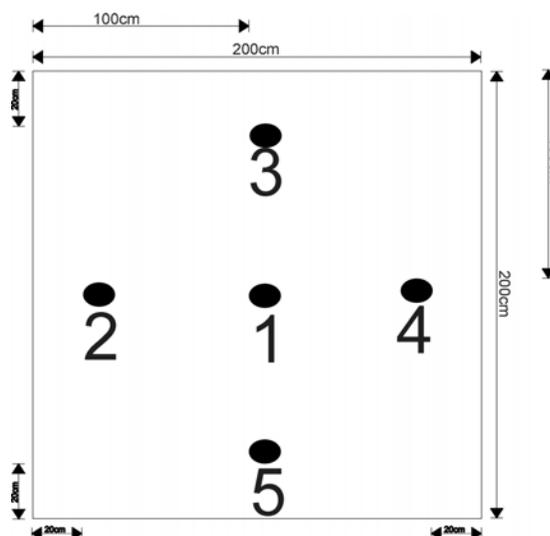


Figura 4.16 Posição de coleta das amostras, em cada célula.

Identificação do esquema de amostragem contendo cinco amostras em cada um:

- a) diagonal descendente - pontos 1, 16, 23, 30 e 45;
- b) diagonal ascendente - pontos 9, 12, 23, 34 e 37;
- c) transversal - pontos 5, 14, 23, 32 e 41;
- d) longitudinal - pontos 19, 21, 23, 25 e 27;
- e) aleatório;
- f) malha com 45 pontos.

A disposição dos pontos dentro das células foi feita para proporcionar uma amostragem confiável sem a interferência mecânica na coleta das amostras. Preliminarmente, dentro do planejamento experimental, designou-se a distribuição dos pontos de coleta, em todas as células, obedecendo a seguinte a ordem:

1. Coleta de amostras para determinação da infiltração de água no solo;
2. Coleta de dados para determinação da densidade, macro, micro e porosidade total;

3. Coleta de dados para determinação do diâmetro médio geométrico;
4. Coleta de dados para determinação da estabilidade de agregados, via úmida; e
5. Coleta de dados para determinação da resistência do solo à penetração.

#### **4.4.2. Tratamentos**

Com exceção da área considerada como testemunha e designada como tratamento 1 (T1), cuja parcela destinou-se a obtenção de dados referentes as condições e características naturais da área experimental em pousio durante 2 (dois) anos, todos os demais tiveram seus tratamentos aplicados em uma mesma direção no que se refere ao deslocamento do conjunto tratorizado e em nível aos terraços laterais à área experimental, cujas passadas operacionais foram paralelas entre si. Assim sendo, definiu-se os demais tratamentos da seguinte forma:

Tratamento 1 (T1): Área testemunha;

Tratamento 2 (T2): Preparo do solo com arado de discos (AD) seguido de gradagem leve niveladora (GN);

Tratamento 3 (T3): Preparo do solo com escarificador (ES) seguido de gradagem leve niveladora (GN);

Tratamento 4 (T4): Preparo do solo com grade pesada (GA), seguido de gradagem leve niveladora (GN);

#### **4.4.3. Esquema de amostragem e coleta de dados**

O esquema de amostragem e coleta de dados foi feito a partir da determinação sistemática em malha retangular (Figura 4.15), observando os esquema de amostragem e seus pontos de identificação, com espaçamentos pré-determinados (Figura 4.16), segundo a metodologia descrita por GUIMARÃES et. al. (1995).

O objetivo da aplicação de cada um dos equipamentos foi condicionar o solo a determinadas e específicas orientações de direcionamento espacial de

deslocamento dos órgãos ativo (discos e hastes), acarretando tendências longitudinais e verticais de mobilização e formação de sulcos e linhas de ruptura, tanto superficial como subsuperficial, promovendo distintos estados físicos e mobilização do solo.

Para a determinação de alguns parâmetros físicos como a densidade, a macro e a microporosidade do solo e agregados à seco, procurou-se adotar critérios bastantes rígidos para evitar a interferência mecânica no momento da coleta, como foi o caso do caminhamento dentro das parcelas, retirada, localização e recolhimento das amostras coletadas além do trabalho de identificação das amostras.

As trincheiras abertas para a coleta das amostras proporcionaram condições para que todo o material oriundo da trincheira fosse disposto de tal forma que viabilizasse a movimentação das pessoas no campo (Figura 4.18).



Figura 4.18 - Abertura das trincheiras para coleta das amostras de solo

Em função da análise de retenção de água, calculou-se a porosidade total, macro e microporosidade e a densidade do solo. As amostras foram acondicionadas em caixas e levadas ao laboratório da Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

O volume de poros totais (VPT), macro e microporosidade foram determinados pelo método direto, que consiste em utilizar os valores obtidos na curva de retenção de água para os cálculos.

O Volume de Poros Totais foi obtido a partir da saturação das amostras, sendo:

$$\theta \text{ saturado} = \text{VPT} \dots \dots \dots [4.3]$$

A microporosidade foi obtida pela diferença da umidade saturada e a umidade na pressão de 6 kPa;

$$\text{Microporosidade} = \theta \text{ sat.} - \theta \text{ 6 kPa} \dots \dots \dots [4.4]$$

A microporosidade foi considerada como sendo a umidade obtida em 6 kPa.

$$\text{Microporosidade} = \theta \text{ sat.} - \theta \text{ 6 kPa} \dots \dots \dots [4.5]$$

#### 4.4.4. Análise estatística

A análise dos dados foi determinada sob duas formas: a primeira, por meio da estatística clássica comparando as médias entre os tratamentos, através do teste de TUKEY ao nível de 5% de probabilidade e pela estatística descritiva (média, desvio padrão, erro padrão da média, mínimo, máximo, coeficiente de variação, assimetria, curtose e análise de variância) realizada através do SPSS 8.0, programa for Windows (SPSS, 1997). A segunda, através da análise de variabilidade espacial a partir do semivariograma proposto por VIEIRA et. al. (1983).

Os dados obtidos em campo foram elaborados em planilhas eletrônicas do software Microsoft Excel 97.

O número de amostras necessárias para estimar a média da população dentro dos limites de tolerância para cada tratamento em função de cada parâmetro, foi determinado pela equação 4.6 obtida de COUTO (1997).

$$n = \frac{t^2 cv^2}{p^2} \dots\dots\dots[4.6]$$

Onde:

- n - número de amostras necessárias para estimar a média;
- t - 1,96 (usado para construir um intervalo de confiança de 95% quando  $n \rightarrow \infty$ );
- p - erro provável, em percentagem ( $p=0,10$ );
- cv – coeficiente de variação.

Segundo VIEIRA et al., (1983) a geoestatística (estudo da variabilidade espacial) é uma proposta de análise estatística relativamente recente, principalmente em estudos de solos para fins agrícolas. A função semivariância foi determinada através da equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} N(h) * \sum [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \dots\dots\dots[4.7]$$

onde:

- $\gamma(h)$  - semivariância;
- $N(h)$  - nº de pares de observações;
- $Z(x_i)$ ;  $Z(x_i+h)$  - coordenadas dos pontos;
- h - distância entre os pares de observações (x+h), (x);

Os modelos geoestatísticos foram selecionados através da relação SSD/SST que é a soma dos quadrados dos desvios pela soma dos quadrados totais e pela

relação ( $e$ ) que representa o componente aleatório da dependência espacial entre o efeito pepita ( $C_0$ ) e o componente  $C$  conforme a seguinte equação:

$$e = \frac{C_0}{C} \dots\dots\dots[4.8]$$

onde:

$e$  – erro admissível do componente aleatório;

$C_0$  – efeito pepita;

$C$  – componente da variância da população.

A Figura 4.19 representa um modelo ideal de semivariograma. Na forma do gráfico, o semivariograma apresenta as condições ideais ou seja: se " $L$ " tende a zero,  $\gamma(L)$  que é a semivariância, tende a zero; se " $L$ " tende a aumentar,  $\gamma(L)$  cresce e se aproxima da constante ( $C$ ) que é a variância da população. A soma da constante ( $C$ ) e do ( $C_0$ ) constituem o patamar.

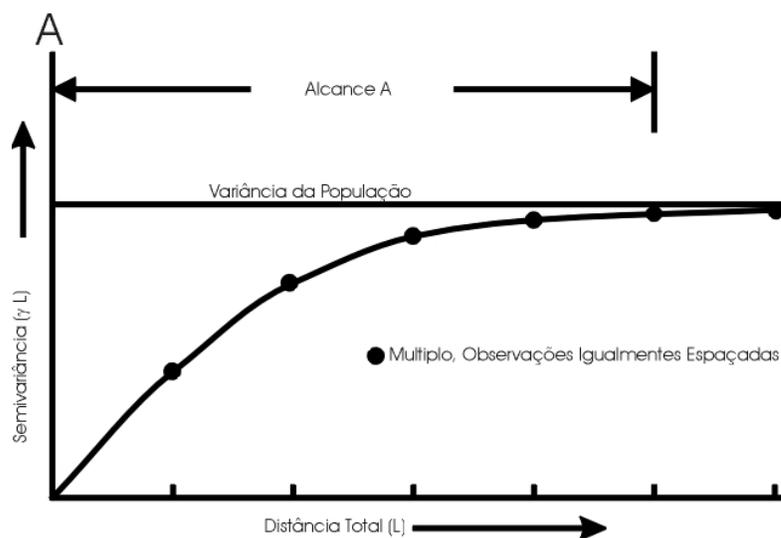


Figura 4.19 - Representação de um modelo ideal de semivariograma

As condições para escolha dos modelos foram adotadas conforme os seguintes critérios:

- a) se  $e < 0,15$ , o componente aleatório foi pouco significativo;
- b) se  $0,15 < e < 0,5$ , o componente aleatório foi significativo; e
- c) se  $e > 0,5$ , o componente aleatório foi muito significativo.

#### **4.4.4.1. Krigagem**

Como técnica adotada para a minimização da variância do erro, a Krigagem foi escolhida como método de consideração dos valores em torno dos pontos pelos quais foram amostrados os parâmetros do solo influenciados pela ação das ferramentas de preparo.

Considerando as observações feitas nos locais pré-determinados, as observações são consideradas dependentes, ao menos a certas distâncias, e aí utilizam-se os vizinho do ponto a ser predito para obter a estimativa. A idéia é atribuir pesos a estes vizinhos, de forma que o preditor é, simplesmente, uma média ponderada dos valores observados na vizinhança (RIBEIRO JUNIOR, 1995).

Uma vantagem, segundo Warrick et al. citados por COUTO (1997) é que esta técnica de interpolação proporciona valor de variância estimada para cada observação, indicando quais são as regiões que apresentam maior confiabilidade para os valores estimados, sendo função do padrão de amostragem e do modelo do variograma. Estas estimativas foram expressas em forma de mapas para cada modelo que apresentou dependência espacial.

#### **4.4.5. Parâmetros determinados**

A escolha dos parâmetros físicos deu-se em função da sua maior representatividade em nível de influência, quando se trabalha com máquinas e equipamentos de preparo do solo.

#### 4.4.5.1. Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel de Ulhand com volume de 100 cm<sup>3</sup>. Para cada tratamento, foram retiradas quarenta e cinco amostras, seguindo orientação conforme pode ser visto nas Figuras 4.14 e 4.15. Cada amostra foi retirada na célula numa mesma posição, caracterizando assim coordenadas x e y. O amostrador, conforme pode ser visto na Figura 4.12, constituía-se de um êmbolo hidráulico acionado por uma bomba manual, que permitia a penetração na trincheira mantendo uma mesma velocidade de acionamento. A equação utilizada para o cálculo da densidade do solo foi:

$$D_g = \frac{M_s}{V_t} \dots\dots\dots[4.9]$$

onde:

$D_g$  – Densidade do solo (Mg.m<sup>-3</sup>)

$M_s$  – massa de sólidos do solo - peso seco do solo (Mg);

$V_t$  – volume total do solo - volume do anel (m<sup>3</sup>).

Das amostras para densidade do solo, calculou-se a porosidade do solo.

#### 4.4.5.2. Porosidade

A determinação da porosidade do solo obedeceu à metodologia de análise em função da curva característica de água no solo, usando a tensão de 6 kPa. Tendo sido a base de cálculo a macro e a microporosidade, a determinação da porosidade total foi considerada como sendo o volume total ocupado por ar e água; para tanto, aplicou-se a seguinte equação:

$$P = \frac{V_a}{V_t} \dots\dots\dots[4.10]$$

onde:

$P$  – porosidade ( $m^3m^{-3}$ );

$V_a$  – volume de água no solo saturado ( $m^3$ );

$V_t$  - volume total do solo - igual ao volume do anel ( $m^{-3}$ ).

A macroporosidade do solo, considerada como sendo o volume de água ocupado pelos macroporos, foi determinada pela equação:

$$M_a = \frac{V_{ac}}{V_t} \dots\dots\dots[4.11]$$

onde:

$M_a$  – macroporosidade ( $m^3m^{-3}$ );

$V_{ac}$  – volume ocupado por macroporos ( $m^3$ );

$V_t$  – volume total ( $m^{-3}$ ).

A microporosidade do solo, considerada como sendo o volume de água retido pelos microporos, foi determinada através da equação:

$$M_i = \frac{V_{ic}}{V_t} \dots\dots\dots[4.12]$$

onde:

$M_i$  – microporosidade ( $m^3m^{-3}$ );

$V_{ic}$  – volume ocupado por microporos ( $m^3$ );

$V_t$  – volume total ( $m^{-3}$ ).

#### **4.4.5.3. Umidade do solo**

A umidade do solo foi determinada pelo método descrito em EMBRAPA (1979). O cálculo da umidade do solo foi feito através da equação:

$$\theta = \left( m_u - m_s \right) * 100 / m_s \dots\dots\dots[4.13]$$

onde:

$\theta$  - umidade do solo (%);

$m_u$  - massa de solo úmido (g);

$m_s$  - massa de solo seco (g).

#### **4.4.5.4. Resistência do solo à penetração:**

A determinação da Resistência do solo à penetração foi realizado por um penetrômetro eletrônico (Figura 4.9) , desenvolvido pela FEAGRI/UNICAMP, conforme CAPELLI et al. (1993) e aplicado de acordo com a Norma ASAE S-313 (ASAE, 1990), à profundidade de 0-200mm, registrando o índice de cone(IC) a cada centímetro de profundidade de penetração da haste no solo.

Os dados de campo foram armazenados diretamente em um “laptop” sendo, em seguida, transferidos para um computador pessoal, para posterior processamento.

#### **4.4.5.5. Infiltração de água no solo**

Os testes de infiltração foram realizados com o permeâmetro de Guelph, conforme mostra a Figura 4.20, segundo o método estabelecido por Reynolds e Elrick, citados por VIEIRA(1983) e modificado segundo a metodologia adotada pelo IAC.



Figura 4.20 Instalação do Permeâmetro de GUELPH, modelo IAC.

A condutividade hidráulica foi calculada utilizando-se das equações:

$$Q_1 = \left( \frac{2\pi H_1}{C_1} + \pi a^2 \right) \times Kfs + \left( \frac{2\pi H_1}{C_1} \right) \times \phi m \dots\dots\dots [4.14]$$

$$Q_2 = \left( \frac{2\pi H_2}{C_2} + \pi a^2 \right) \times Kfs + \left( \frac{2\pi H_2}{C_2} \right) \times \phi m \dots\dots\dots [4.15]$$

onde:

$Q_1$  – fluxo constante sob carga hidráulica de 3 cm;

$Q_2$  - fluxo constante sob carga hidráulica de 6 cm;

$H_1$  – carga hidráulica em 3 cm;

$H_2$  – carga hidráulica em 6 cm;

$C_1$  e  $C_2$  – fatores de geometria;

$a$  – raio do orifício;

$Kfs$  – condutividade hidráulica; e

$\phi m$  – potencial matricial de fluxo.

A infiltração foi obtida a partir do fluxo constante, através da equação:

$$I = 60 \times \left( \frac{D_p^2}{D_o^2 + 4D_o H_2} \right) \times Q \dots\dots\dots [4.17]$$

onde:

I – Infiltração [cm/h];

$D_p$  – diâmetro do permeâmetro [cm];

$D_o$  – diâmetro do orifício da amostragem [cm];

$H_2$  – carga hidráulica utilizada na medição;

Q – fluxo de taxa constante [mm/min].

A determinação da Taxa de Infiltração foi calculada pelo programa “Guia prático para utilização dos programas de Geoestatística” desenvolvido pelo IAC<sup>2</sup> (s.d.).

### 3.3.1.1 Análise de agregados:

#### a) Determinação de agregados por via seca

As percentagens de agregados obtidos pelo método de via seca retidos por classe de tamanho, módulo de finura e diâmetro médio geométrico, foram determinadas conforme metodologia descrita por DALLMEYER et al. (1991). As amostras foram obtidas a partir de um amostrador metálico, de forma quadrada, com dimensões laterais de 300 x 300 mm e 200 mm de altura, o qual permite retirar a amostra do perfil do solo (da superfície até 200 mm de profundidade ) sem qualquer perturbação do estado estrutural em que se encontra após o preparo motomecanizado . Nesse mesmo estado , a amostra foi acondicionada em caixa de papelão , que após secagem em estufa de aeração forçada à 105 °C; foi colocada em processo de peneiramento em uma peneira rotativa (Figura 4.10) e que quando totalmente processada é depositada em gavetas (Figura 4.11) que definem oito classes de agregados, que traspassaram peneiras com malhas de

<sup>2</sup> VIEIRA, S.R. Seção de conservação do solo do IAC (Comunicação pessoal)

furos redondos com os seguintes diâmetros: 80; 40; 19,3; 9,4; 5,1; 2,5, 1,2 e menor que 1,2 mm.

O Diâmetro Médio Geométrico foi determinado pela equação:

$$DMG = \text{ant log} \left( \frac{\sum_{i=1}^n W_i * \log d_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \right) \dots\dots\dots [4.18]$$

onde:

DMG - Diâmetro Médio Geométrico [mm];

$W_i$  -Peso retido em cada classe de tamanho [g]; e,

$d_i$  - Tamanho médio da classe [mm].

#### b) Determinação dos agregados por via úmida

A análise do parâmetro agregados, obtida pelo método da via úmida foi feita a partir da retirada de amostras em duas profundidades: de 0 a 100 mm e de 100 a 200 mm. A avaliação da estabilidade dos agregados foi feita através diâmetro médio ponderado (DMP), pelo método de porcentagem de agregados via úmida, segundo CAMARGO et al. (1986).

O método descrito por CAMARGO et al. (1986), usado no Laboratório de Solos da FEAGRI/UNICAMP determina o percentual de agregados retidos em peneiras de malhas de 2,0 mm; 1,0 mm; 0,5 mm; 0,25 mm e 0,125 mm, após terem passadas por malhas de 6,35 mm e 2,0 mm.

## 5. Resultados e discussão

A análise dos resultados e sua respectiva discussão foi efetuada por meio da sistematização de dois grupos de compilação de dados, quais sejam:

- Um primeiro grupo diz respeito àqueles obtidos a partir de 45 pontos de amostras devidamente georeferenciadas;

- Um segundo grupo diz respeito aos dados mensurados a partir de 5 amostras em diferentes arranjos, os quais são:

1 - selecionados aleatoriamente;

2 - distribuídos longitudinalmente ao longo do centro;

3 - distribuídos transversalmente ao longo do centro;

4 - distribuídos ao longo da diagonal ascendente;

5 - distribuídos ao longo da diagonal descendente;

6 – todas as amostras.

Tendo como base esses dois grupos de dados, a análise e interpretação dos mesmos baseou-se na estatística tradicional, contrapondo-se a análise do grupo de 5 pontos de amostras, assim como comumente se aplica em experimentações com máquina/solo, em relação ao grupo de 45 pontos georeferenciados de amostras.

Outra forma de análise e interpretação dos dados obtidos foi realizada com a aplicação da geoestatística, onde o banco de dados georeferenciado foi avaliado em função do ajuste de modelos de semivariogramas com conseqüente produção da distribuição espacial das propriedades estudadas através da interpolação por krigagem.

## **5.1. Parâmetros físicos do solo**

### **5.1.1. Densidade do solo (Ds)**

Os dados de densidade do solo obtidos na profundidade de 0-100 mm mostram valores superiores para o tratamento testemunha ( $1,11 \text{ Mg.m}^{-3}$ ) quando comparado aos demais tratamentos ( $AD+GN=0,92 \text{ Mg/m}^3$ ;  $ES+GN=0,94 \text{ Mg/m}^3$  e  $GA+GN=0,86 \text{ Mg/m}^3$ ) diferindo estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de TUKEY (Tabela 5.1).

Como a coleta de dados foi feita após o preparo do solo, os dados apresentam a mais real possível situação de interferência da ferramenta no perfil, modificando de forma característica a estrutura do solo.

O tratamento 1 representa a situação do solo sem ação das diferentes ferramentas de preparo. Os demais tratamentos apresentam uma forma distinta de mobilização do solo pela ferramenta agrícola, em que cada tipo induz reações diferentes, conduzindo a valores de densidade relativamente diferentes. Os valores de densidade para dois grupos de amostras foram incluídos numa análise por profundidade, conforme podem ser observados nas tabelas 5.1.

Tabela 5.1 - Valores de densidade do solo ( $\text{Mg.m}^{-3}$ ).

Tratamento	Grupo de 5 amostras coletadas aleatoriamente				Grupo de 45 amostras coletadas em malha sistemática			
	0-100 mm		100-200 mm		0-100 mm		100-200 mm	
	cv %	Média	cv %	Média	cv %	Média	cv %	Média
Testemunha	4,00	1,11 a	6,28	1,29 a	9,32	1,14 a	6,94	1,26 a
Arado de disco	5,17	0,92 bc	19,62	1,18 a	6,92	0,91 bc	10,64	1,24 a
Escarificador	3,30	0,94 b	9,35	1,10 a	11,52	0,92 b	11,15	1,15 b
Grade Pesada	2,55	0,86 c	6,75	1,21 a	9,89	0,87 c	9,41	1,18 b

(N.B) Válido somente entre tratamentos: valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de TUKEY ao nível de 5% de probabilidade.

#### 5.1.1.1. Profundidade de trabalho de 0-100 mm

Nesta profundidade, e em função do tipo de mobilização, constataram-se valores inferiores para o parâmetro densidade do solo no tratamento com grades, quando levado em consideração apenas cinco pontos de amostragens. O conjunto grade aradora + grade niveladora apresentou os menores valores de densidade, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Esta constatação deve-se ao fato do maior poder de revolvimento do solo pelas grades nesta profundidade, onde a intensidade de trabalho é bem maior quando comparada à de outros tipos de revolvimento, como são os casos do arado de discos e do escarificador. A ação das grades em uma determinada profundidade no perfil do solo o conduz, naquele momento, a uma condição mais intensa homogênea de mobilização.

Ao se referir aos quarenta e cinco pontos de amostragens, não foi possível detectar alterações na relação entre os tratamentos quando comparados entre a quantidade de amostras coletadas na metodologia convencional (5 amostras) e a proposta (45 amostras), mas foi possível constatar que os valores médios para a densidade do solo aumentaram, em função da população que passou a constituir um bloco maior de médias para as análises, confirmados pelas alterações dos coeficientes de variação que passaram de um intervalo de 2,5 a 5,2 % para 6,9 a 11,5 %. Este fato é bastante importante ser registrado quando se adota uma

metodologia de coleta de dados com baixo número de observações, como no caso em questão.

Os dados de densidade observados na tabela 5.1 relacionados ao tratamento testemunha registram valores superiores na camada de 0 a 100 mm para o grupo de 45 amostras. Este fato pode estar relacionado a ilhas de concentrações diferenciadas do parâmetro analisado. No caso específico da densidade, não foi possível fazer tal constatação através do mapa de isolinhas porque o parâmetro estudado apresentou efeito pepita puro, ou seja, não detectou dependência espacial dos dados.

A referência ao tratamento testemunha, onde são registrados os maiores valores para o parâmetro densidade do solo ( $1,1 \text{ Mg/m}^3$ ) deve estar em função da acomodação das partículas do solo geradas por intensos tipos de preparo, como registrados no histórico da área. Isto tem um significado importante uma vez que este tratamento não recebeu qualquer tipo de interferência mecânica por época da instalação do experimento e a época de coleta dos dados foi imediatamente à realização do preparo do solo. Diversos pesquisadores como DENARDIN (1984), MACHADO & BRUM (1978), LEITE & MEDINA (1984), MAIA (1990) encontraram valores de densidade superiores em áreas com maior percentual de mobilização.

O Tratamento 3 (escarificador + Grade leve) apresenta, à semelhança do conjunto arado de discos + grade niveladora, diferença média significativamente superior ao tratamento 4 (Grade pesada + Grade leve).

Os dados da densidade do solo obtidos nos diferentes tratamentos, estão numa faixa de valores entre 0,85 e  $1,1 \text{ mg/m}^3$ . KIEHL(1979) argumenta que para solos argilosos, os valores aceitáveis de densidade devem estar entre 1,0 e  $1,25 \text{ Mg/m}^3$ .

### **5.1.1.2. Profundidade de trabalho de 100-200 mm**

Considerando a profundidade de 100 - 200 mm, é possível constatar que houve aumentos nos valores médios dos dados para todos os tratamentos. Isto pode ser explicado em função do tipo da estrutura do solo que, segundo LUCARELLI (1997), é composta de blocos médios e pequenos que se desfazem em granular.

Ao comparar os valores entre os tratamentos levando-se em consideração apenas cinco pontos de amostragens, observa-se que as médias de densidade não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre si, pelo teste de médias ao nível de 5%. Apesar disso, constatou-se valores superiores para os tratamentos 1 e 4 em relação aos tratamentos 2 e 3, sendo que o tratamento que apresenta a menor média de densidade é composto pelo escarificador, seguido da Grade leve.

Quando se analisa um outro conjunto de valores, obtidos nesta mesma profundidade, com 45 pontos de amostragens registrando uma maior população de dados, constatam-se diferenças estatísticas entre os tratamentos, sendo que aqueles que apresentaram maiores médias de densidade foram os tratamentos testemunha seguido do arado discos + Grade leve. É interessante observar que a média de valores para o tratamento com escarificador seguido da grade niveladora apresenta o menor valor médio para este parâmetro. A ação característica do equipamento com menor poder de revolvimento do solo à profundidades maiores, provoca fissuras internas no solo, criando condições internas de estrutura mais apropriadas, diminuindo o grau de densidade do solo cujos resultados podem ser constatados nas médias comparativas aos demais tratamentos.

Analisando os coeficientes de variação encontrados para as duas profundidades estudadas, (0-100 e 100-200 mm), pode-se constatar que a variabilidade em

ambas as profundidades ficou muito próxima uma da outra. Isto é um bom indicativo para análise e confiabilidade dos dados que foram amostrados.

Os dados médios de densidade do solo aumentaram quando se passou da profundidade 1 (0-100 mm) para a profundidade 2 (100-200 mm) nos tratamentos que receberam os implementos de preparo do solo. É importante registrar que a média encontrada no tratamento testemunha, que representa a área em seu estado antes de aplicação das ferramentas, teve valores médios de densidade superiores nessa camada de 100 a 200 mm.

#### **5.1.1.3. Determinação do número de amostras**

A determinação do número de amostras relativa a densidade envolvendo área mobilizada, área mobilizada por arado de discos, escarificador e grade pesada todas seguidas por operações de nivelamento, pode ser observada em diferentes situações ou esquema de amostragem, conforme pode ser visto nas tabelas 5.13 a 5.18.

A Figura 5.1.1 representa a relação entre o Número necessário de amostras em função de diferentes pontos e formas de amostragens, quando se considera um determinado percentual de erro ( $p$ ), para a densidade do solo.

Ao analisar o referido gráfico em função do coeficiente de variação, constata-se que a coleta para o formato longitudinal utilizando cinco pontos, foi a que apresentou menor exigência de amostras considerando as diversas probabilidades de erro enquanto o formato de coleta transversal foi o que apresentou maior percentual ou seja, para poder comparar a densidade do solo nos diversos tratamentos com uma probabilidade de erro igual a 10% é necessário maior quantidade de amostras neste plano, representando um acréscimo de 33%.

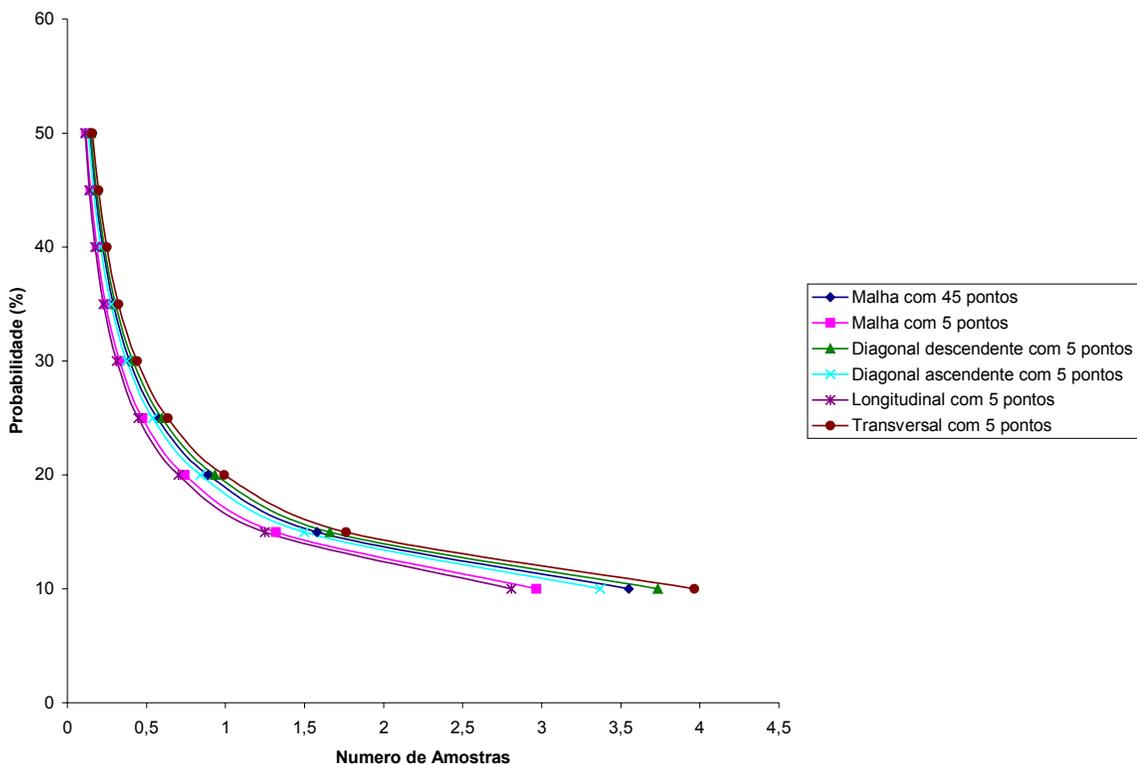


Figura 5.1.1 - Número de amostras necessárias para se estimar a densidade do solo na profundidades de 0 a 100 mm e 100 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens.

TSEGAYE & HILL (1998), estudando a variabilidade espacial de propriedades do solo sob o efeito de preparos intensivos como aração com aivecas, subsolagem e gradagem pesada, em duas profundidades (60 a 90 mm e 270 a 300 mm), encontraram estrutura espacial para estes parâmetros. Concluíram ainda que profundidade de 60 a 90 mm, o número de amostras necessário era menor em função da maior intensidade de preparo.

STARR et al. (1995) em experimento conduzido em Beltsville (EUA) não encontrou dependência espacial do parâmetro densidade global. Este fato pode estar relacionado à quantidade de amostras (36) coletadas para análise geoestatística.

### 5.1.2. Macroporosidade (Ma)

A avaliação da macroporosidade em função do manejo a que são submetidos os solos agrícolas, pelo uso de máquinas e implementos de preparo, permite tomadas de decisões importantíssimas quando se pretende adotar técnicas de manejo onde o preparo do solo é indispensável.

Submetendo-se os dois grupos de análise, nos quais constam os tratamentos testemunha, arado de discos, escarificador e grade pesada, pode se verificar, conforme tabela 5.8, que as diferenças podem ser observadas a partir da análise contendo maior percentual de dados tanto na profundidade de 0 a 100 mm como de 100 a 200 mm.

Tabela 5.2 - Valores de macroporosidade do solo (%).

Tratamento	Grupo de 5 amostras				Grupo de 45 amostras			
	0-100 mm		100-200 mm		0-100 mm		100-200 mm	
	CV %	Média	CV %	Média	CV %	Média	CV %	Média
Testemunha	18,03	16,24 <b>b</b>	33,90	10,73 <b>b</b>	39,17	16,21 <b>c</b>	70,97	10,31 <b>c</b>
Arado de disco	20,63	22,47 <b>ab</b>	41,41	19,00 <b>ab</b>	19,05	24,03 <b>ab</b>	47,58	14,36 <b>b</b>
Escarificador	18,17	26,04 <b>a</b>	20,07	22,63 <b>a</b>	18,31	25,84 <b>a</b>	30,17	19,93 <b>a</b>
Grade Pesada	10,89	23,63 <b>a</b>	26,85	14,24 <b>ab</b>	15,63	22,32 <b>b</b>	32,37	15,54 <b>b</b>

(N.B) Válido somente entre tratamentos: valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de TUKEY ao nível de 5% de probabilidade.

#### 5.1.2.1. Profundidade de trabalho de 0-100 mm

Analisando os dados da Tabela 5.2 verifica-se que na profundidade de 0-100 mm considerando cinco pontos de amostragens, a macroporosidade teve o menor valor percentual atribuído ao tratamento testemunha (sem preparo) enquanto que o tratamento 3 (escarificador + grade niveladora) foi aquele que apresentou o maior valor médio percentual seguido dos tratamentos com arado de discos e grade pesada. Constata-se que, extrapolando para uma maior população de dados, é possível estratificar melhor as variações entre os tratamentos ou seja,

variações entre alguns tratamentos onde o modelo convencional não foi possível identificar, foram observadas.

Considerando o grupo de 45 amostras, o tratamento que possibilitou o maior percentual de macroporos foi o escarificador (25,84%), seguido pelo arado de discos (24,02%) e aquele que apresentou os menores percentuais de macroporos foi o tratamento testemunha (16,21%) com um índice percentual de diferença na ordem de 60%. Quando se relaciona com o tratamento composto por grades, a diferença percentual passa a ser de 16%. Este fato de tendências na diminuição do percentual analisado somente se deu na profundidade de 0-100 mm.

#### **5.1.2.2. Profundidade de trabalho de 100-200 mm**

Considerando a segunda camada de solo e amostragens com apenas cinco pontos) à profundidade de 100-200 mm, os tratamentos com escarificador, arado de discos e grade pesada, foram considerados estatisticamente superior ao tratamento testemunha que por sua vez apresentou valores médios de macroporosidade semelhantes aos tratamentos com arado de discos e grade pesada, não registrando diferenças estatísticas significativas. Isto posto, ao se fazer a análise estatística dos dados, pôde se constatar que a tendência dos dados seguiu a primeira análise, onde os tratamentos que receberam o efeito das ferramentas diferiam daquele considerado testemunha, ou seja, o tratamento que não sofreu a ação das ferramentas agrícolas.

Em estudos para avaliar os efeitos do preparo sobre algumas propriedades do solo, ALAKUKKU (1998) encontrou variações de macroporos quando comparou diferentes camadas de solo sob o efeito de diferentes sistemas de manejo (cultivo reduzido, preparo convencional com arado. Solos cultivados (siltoso e argiloso) apresentaram diferentes percentuais de macroporosidade em função dos diferentes tipos de manejo e diferentes profundidades de trabalho.

Reportando-se ao grupo de dados com quarenta e cinco pontos amostrados por tratamento, observa-se uma identificação melhor nas diferenças entre os efeito da

ferramenta agrícola de preparo do solo. Identifica-se, por exemplo, que o tratamento testemunha registra os menores valores de macroporos (10,3%) enquanto o tratamento com escarificador registra os maiores valores (19,9%), ou seja, uma diferença de quase 100% nos índices de macroporos nesta profundidade. Os tratamentos com arado e grade, apresentam semelhança entre si e são estatisticamente superiores ao tratamento testemunha. A variação média dos valores registra um intervalo de coeficientes entre 30 e 70% para este parâmetro, o que de certa forma é muito alto. As figuras 5.2.4 e 5.2.5 ajudam a entender o porque desta variação tão alta dos coeficientes. As áreas não apresentam homogeneidade e ilhas muito diferentes de macroporos situam-se ao longo das malhas de coleta, confirmadas pelos altos C.Vs. Comparando aos dados coletados com cinco pontos de amostragens, este intervalo varia entre 15,6 e 39,1% coincidindo com os valores encontrados por ARZENO(1990) e MAIA (1990).

### **5.1.2.3. Determinação do número de amostras**

Os números de amostras necessárias para comparações entre área mobilizada por arado de discos, escarificador e grade aradora e área não mobilizada, em função de diferentes esquemas de amostragens, podem ser vistos nas tabelas de 5.13 a 5.18. Registra-se, nas duas profundidades analisadas, que este parâmetro requer uma grande quantidade de amostras em todos os tratamentos, quando se referir a profundidade de 100-200 mm. Quanto a profundidade de 0-100 mm, o número de amostras é consideravelmente inferior. É obvio que esta diferença, relacionada ao número mínimo de amostras necessárias para a avaliação do parâmetro, está relacionada ao efeito da ferramenta no sistema de manejo utilizado e a característica e suscetibilidade do poro uma vez que na estrutura do solo, os macroporos estão muito mais sujeitos às modificações estruturais do que, por exemplo, os microporos.

A Figura 5.1.2 apresenta diversos modelos de curvas em que cada uma representa uma forma diferente de coletar amostras para avaliação da macroporosidade entre os tratamentos estudados.

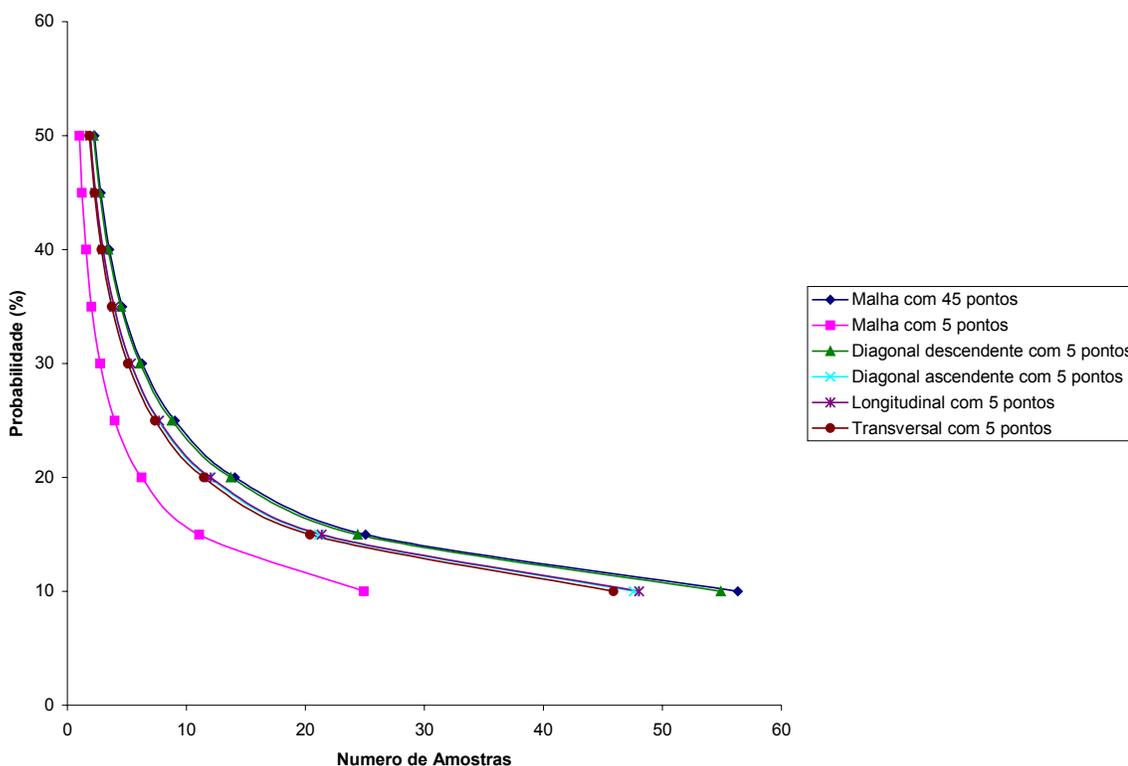


Figura 5.1.2 - Número de amostras necessárias para estimar a macroporosidade nas profundidades de 0 a 100 e 100 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens.

O modelo aleatório (malha com 5 pontos) registra, conforme a Figura 5.1.2, um número relativamente menor de amostras para representar a macro porosidade em Latossolo Roxo distrófico, quando comparada às duas formas de coleta. Observa-se no entanto que o conjunto "malha com 45 pontos" registra o maior número de amostras para representar a população de dados.

Levando-se em consideração um erro de 10% em torno da média e comparando os diversos esquemas de amostragem, constata-se que na profundidade de 0 a 100 mm a variabilidade dos dados é muito grande. Enquanto no esquema de cinco pontos aleatórios o tratamento com arado de discos apresentou o maior

percentual de macroporos (16,35%) contra 4,56% do tratamento com grades. No esquema de amostragem diagonal descendente o percentual de macroporos passa para 23,82% enquanto que o tratamento com grades passa para 11,22%. Ao se referir ao esquema de amostragem com 45 pontos em malha sistemática, observa-se que o tratamento que apresentou maior percentual de macroporos foi o tratamento testemunha com 58,95% e o menor percentual foi registrado no ao tratamento com grades (9,39%).

### 5.1.3. Microporosidade (Mi)

A microporosidade, como um parâmetro responsável pela disponibilidade de água no solo, teve uma relação indireta com a macroporosidade ou seja, tratamentos com percentuais maiores de macroporos induzem percentuais menores de microporos e vice-versa, concordando com a maioria dos pesquisadores dentre os quais THIEN(1976), MACHADO & BRUM(1978), SOUZA & COGO(1978), LEITE & MEDINA(1984) e CORREA(1985).

Tabela 5.3 - Valores de microporosidade (%)

Tratamento	Grupo de 5 amostras				Grupo de 45 amostras			
	0-100 mm		100-200 mm		0-100 mm		100-200 mm	
	CV %	Média	CV %	Média	CV %	Média	CV %	Média
Testemunha	2,73	43,29 <b>a</b>	4,99	46,45 <b>a</b>	10,68	44,54 <b>a</b>	8,22	46,87 <b>a</b>
Arado de disco	10,04	41,16 <b>ab</b>	8,63	45,31 <b>a</b>	12,35	39,30 <b>b</b>	10,69	47,22 <b>a</b>
Escarificador	12,24	39,35 <b>ab</b>	2,65	42,09 <b>a</b>	11,52	37,76 <b>b</b>	10,43	42,72 <b>b</b>
Grade Pesada	4,84	36,62 <b>b</b>	4,84	44,91 <b>a</b>	8,21	38,06 <b>b</b>	6,49	44,47 <b>b</b>

(N.B) Válido somente entre tratamentos: valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de TUKEY ao nível de 5% de probabilidade.

#### 5.1.3.1. Profundidade de trabalho de 0-100 mm

Na camada de 0 - 100 mm , considerando apenas 5 pontos de amostragens , o tratamento 1 apresenta valor superior (43,3%) aos demais tratamentos, diferindo estatisticamente apenas do tratamento que utilizou as grades de discos (36,2%) como ferramentas de mobilização. Os C.Vs são considerados baixos para este

parâmetro, significando que a variação dos dados refere-se a intervalos pequenos, ou seja, não há grandes variações entre os grupos de médias.

Ao extrapolar para uma população maior de dados, pode-se constatar que já aparecem algumas diferenças na estratificação das amostras, permitindo inferir algumas diferenças entre o grupo de 5 e de 45 amostras. No primeiro caso, os tratamentos 1, 2 e 3 foram iguais estatisticamente. No segundo caso, o tratamento 1 difere dos demais, que, entre si, são considerados iguais pelo teste de médias, ao nível de 5% de probabilidade.

### **5.1.3.2 Profundidade de 100-200 mm**

Ao considerar a camada de 100–200 mm, considerando cinco pontos de amostragens, não foi possível detectar diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, mas foi importante verificar que a microporosidade aumentou nesta camada, quando comparada à camada de 0 - 100 mm. Isto pode ser considerado um fator positivo quando se tratar da condição de reserva de água no solo, principalmente por ocasião da implantação das culturas porque os microporos são os responsáveis pelo armazenamento de água, o que, de certa forma, em solos tropicais favorece enormemente a relação de crescimento com as plantas cultivadas .

Pode se observar, analisando o grupo de quarenta e cinco amostras, que a microporosidade do solo foi significativamente diferente dos tratamentos 1 (46,9%) e 2 (47,2%) para o tratamento 3 (42,7%) e tratamento 4 (44,5%) quando relacionada a um. Parcelas experimentais que receberam a ação de ferramenta de preparo (escarificador) e grades apresentaram valores médios de microporosidade semelhantes não apresentando diferenças estatísticas ao nível de 5%.

Os coeficientes de variação para os valores registrados foram baixos, variando mais para o sistema que utilizou o arado como componente de preparo assim como do sistema que utilizou o escarificador como opção de manejo. Pela forma

como atua no solo, as hastes têm uma forma característica onde apenas parte do solo é mobilizado mais intensamente, restando outra parte onde as áreas são rompidas por cisalhamento. Isto favorece a variabilidade dos dados, sendo portanto, detectados pelo coeficiente de variação usado na estatística descritiva. Percebe-se ainda, como aconteceu na análise anterior, um pequeno aumento de microporosidade, em todos os tratamentos, ao passar da profundidade 1 para a profundidade 2, ou seja, do perfil de 0 - 100 mm para 100 - 200 mm.

#### **5.1.3.3. Determinação do número de amostras**

Um pequeno número de amostras, dadas as condições em que foram coletadas e analisadas para o fator microporos, é necessário para se proceder uma segura coleta de dados. Especificamente analisando uma população maior de dados (45 pontos de amostragens), é possível detectar tendências à coleta de dados, como é o caso das profundidades de análises. Em termos de comparações, a microporosidade induz diferentes números de amostras a serem coletadas por tratamentos.

A relação entre o número de amostras e a probabilidade que se pretende ter do erro para a microporosidade do solo pode ser vista na figura 5.1.3.

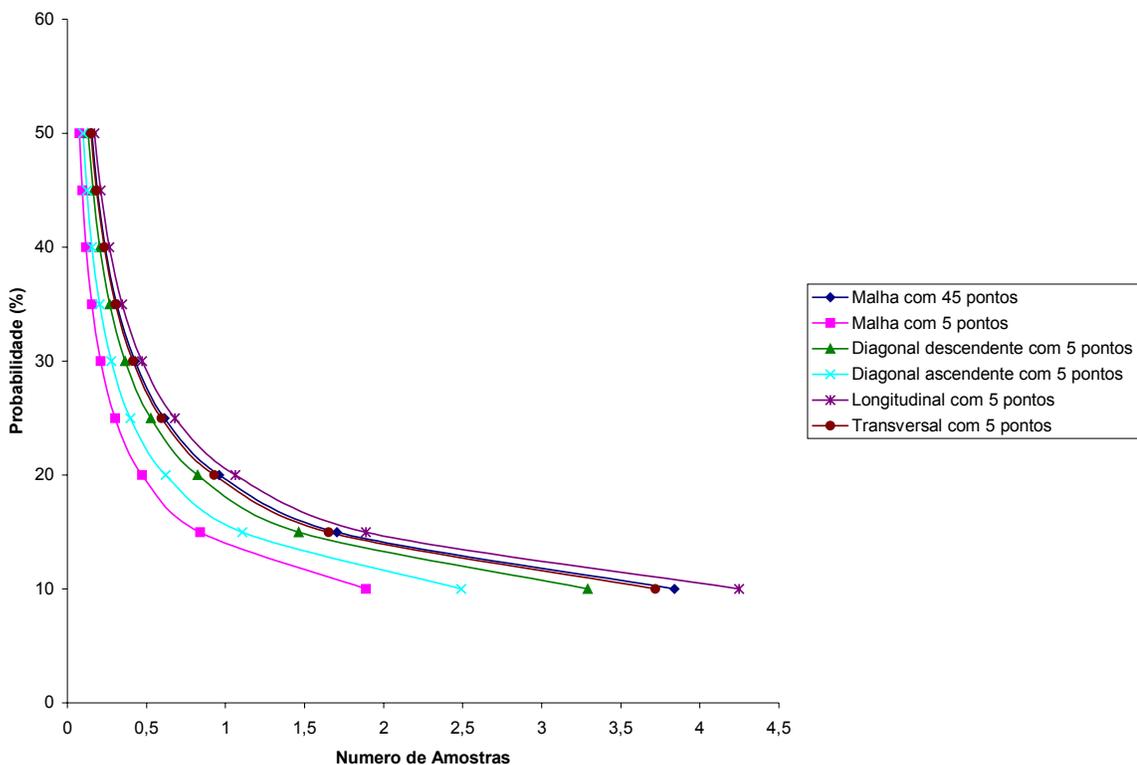


Figura 5.1.3 - Número de amostras necessárias para se estimar a microporosidade nas profundidades de 0 a 100 e 100 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens.

Observa-se, que ao comparar as diversas formas de coleta, o modelo aleatório (malha com 5 pontos) representou melhor o conjunto de dados amostrados exigindo um número consideravelmente menor que o modelo longitudinal que representa a maior necessidade de observações, ou mesmo, a malha com 45 pontos. Este fato contribui, em muito, com a idéia de adequação de formas estratégicas de coletas.

#### 5.1.4. Porosidade total (Pt)

A porosidade total de um solo destinado ao uso agrícola é um dos parâmetros que pode ser utilizado na caracterização deste ambiente tão importante para o desenvolvimento das culturas. O efeito imediato provocado pela maquinaria agrícola pode contribuir tanto para o aumento quanto para a diminuição da porosidade de um solo.

A tabela 5.4 registra os valores de porosidade de um Latossolo Roxo distrófico submetido a diferentes tipos de mobilizações. Como pode se observar, a ação das ferramentas agrícolas provocou modificações na porosidade total do solo tanto ao nível de 0 - 100 mm quanto no de 100 - 200 mm.

Tabela 5.4 - Valores de porosidade total do solo (%)

Tratamento	Grupo de 5 amostras				Grupo de 45 amostras			
	0-100 mm		100-200 mm		0-100 mm		100-200 mm	
	CV %	Média	CV %	Média	CV%	Média	CV %	Média
Testemunha	4,30	59,53 b	6,13	57,19 b	6,45	60,75 b	10,18	57,18 c
Arado de disco	5,08	63,62 ab	7,51	64,31 a	5,57	63,33 a	5,28	61,58 ab
Escarificador	2,21	65,38 a	6,50	64,73 a	5,58	63,60 a	5,21	62,65 a
Grade Pesada	3,69	60,24 b	4,91	59,15 ab	5,55	60,38 b	5,04	60,01 b

(N.B) Válido somente entre tratamentos: valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de TUKEY ao nível de 5% de probabilidade.

#### 5.1.4.1. Profundidade de 0-100 mm

As médias registradas na tabela 5.4 para a porosidade total indicam que o tratamento que maior valor teve quando comparados aos demais, foi o que utilizou o escarificador como parte do manejo, seguido do tratamento com arado de discos. Os valores de porosidade total para estes tratamentos, tanto nos 5 pontos de amostragens como para 45, são, respectivamente, 65%, 63% e 64%, 62%. Os dados são considerados valores-base para a avaliação percentual da modificação da porosidade em função do tipo de equipamento usado. Como pode ser visto, o tratamento que utilizou o escarificador apresentou os maiores valores médios de porosidade, diferindo estatisticamente dos tratamentos testemunha e aquele que utilizou o preparo com grades. O fato de introduzir uma ferramenta do tipo hastes produziu um acréscimo de 10% na porosidade do solo, o mesmo não ocorrendo com a grade pesada, que não diferiu estatisticamente do tratamento testemunha.

#### **5.1.4.2. Profundidade de 100-200 mm**

Ao analisar a profundidade de 100 - 200 mm sob coleta com grupo de cinco amostras, foi possível constatar a mesma tendência dos dados, em que onde os tratamentos com escarificador e arado de discos registram valores superiores, estatisticamente, de porosidade total quando comparados ao tratamento testemunha. Para esta profundidade de trabalho , é possível verificar um acréscimo de 13% na porosidade entre o tratamento com escarificador e a grade pesada.

Na tabela 5.4, considerando 45 pontos de amostragens , foi possível detectar maiores diferenças estatísticas. Neste caso, analisando os dados na profundidade de 100 - 200 mm, registra-se que o tratamento 3( escarificador + grade niveladora ) e o tratamento 2 (arado de discos + grade niveladores) diferem dos demais tratamentos pelo teste de TUKEY ao nível de 5%, sendo que o tratamento com arado de discos não apresentou diferenças estatísticas do tratamento com grades. O escarificador foi o tratamento que apresentou os maiores valores de porosidade total (63%).

Os coeficientes de variação atribuídos ao parâmetro de porosidade , permitem inferir afirmações bastantes consistentes na análise comparativa dos dados, tendo em vista que a variação dos C.V. na primeira profundidade ficou entre 5 e 6,5 e na segunda profundidade no intervalo de 5 a 10. Estes C.Vs podem ser considerados baixos e delineiam a figura da metodologia como sendo uma ferramenta importante na avaliação de um parâmetro do solo modificado por diferentes tipos de implementos.

A Figura 5.1.4 representativo da porosidade total , indica que o melhor modelo para determinação do número de amostras em função do erro admissível quando se pretende comparar diferentes tipos de função, é o modelo Longitudinal seguido do modelo aleatório (malha com 5 pontos). Na comparação entre os tratamentos ,

o modelo diagonal descendente registrou a maior necessidade de coleta de amostras. É bem provável, que em função da variabilidade dos dados com maior concentração na região central da parcela amostrada, como pode ser visto na figura 5.2.8, o esquema longitudinal possa representar melhor a área amostrada porque consegue captar a melhor representatividade da área.

### 5.1.4.3. Determinação do número de amostras

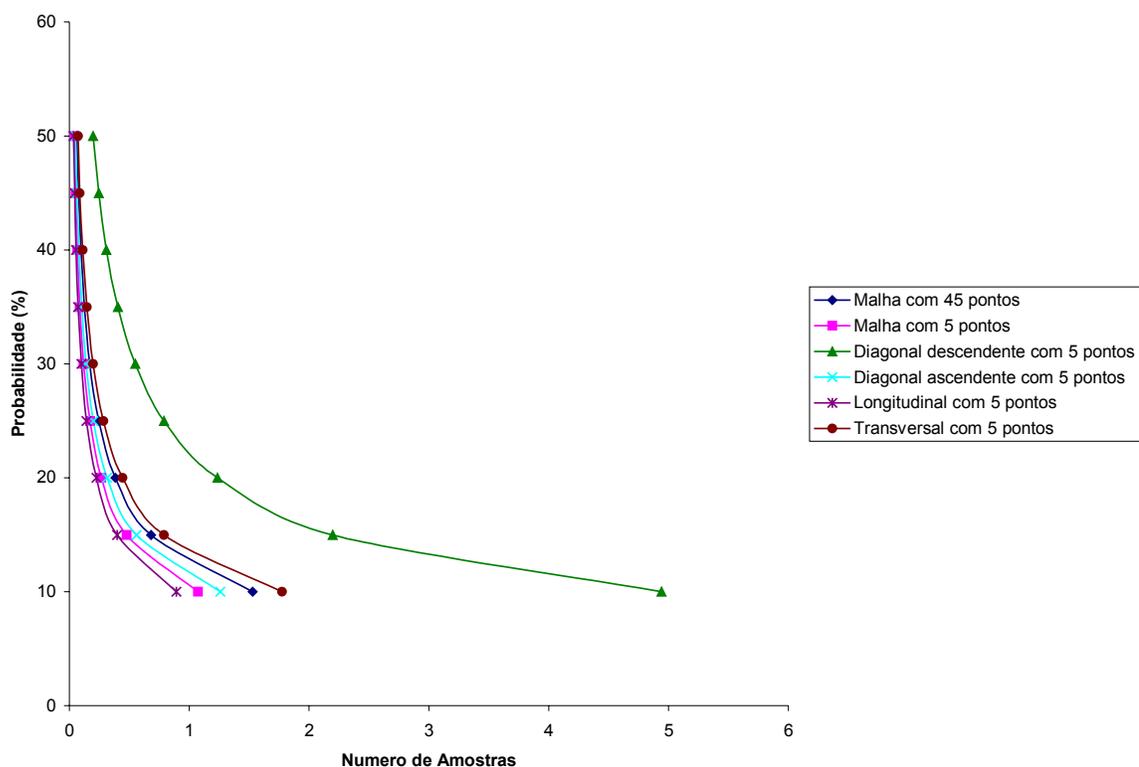


Figura 5.1.4 - Número de amostras necessárias para se estimar a porosidade total do solo, nas profundidades de 0 a 100 e 100 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens.

### 5.1.5. Resistência do Solo à Penetração (RSP)

A resistência à penetração é um parâmetro muito importante na análise da resistência que um determinado solo oferece ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas .

A RSP apresentou valores médios, em alguns tratamentos, acima da recomendação da ASAE que é de 2,25 MPa. Valores superiores são considerados limitantes ao crescimento das raízes, o que, de certa forma, induzem à observações metodológicas de avaliação do comportamento do solo em relação à atuação dos sistemas de manejo empregados na agricultura comercial.

Tabela 5.5 - Valores de resistência do solo à penetração, nas profundidades de 0-100 mm e 100-200 mm (MPa).

Tratamento	Grupo de 5 amostras				Grupo de 45 amostras			
	0-100 mm		100-200 mm		0-100 mm		100-200 mm	
	CV %	Média	CV %	Média	CV %	Média	CV %	Média
Testemunha	26,34	1,56 <b>a</b>	25,58	2,27 <b>a</b>	35,57	1,12 <b>c</b>	33,00	1,70 <b>b</b>
Arado de disco	19,00	2,34 <b>a</b>	3,55	2,62 <b>a</b>	45,23	1,80 <b>b</b>	16,13	2,68 <b>a</b>
Escarificador	35,67	2,07 <b>a</b>	19,08	2,91 <b>a</b>	50,79	1,88 <b>b</b>	27,38	2,67 <b>a</b>
Grade Pesada	24,74	2,39 <b>a</b>	33,37	2,39 <b>a</b>	20,82	2,66 <b>a</b>	21,95	2,72 <b>a</b>

(N.B) Válido somente entre tratamentos: valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de TUKEY ao nível de 5% de probabilidade.

#### 5.1.5.1. Profundidade de 0-100 mm

Os dados registrados na tabela 5.5 relacionam as médias obtidas entre os tratamentos com 5 pontos de amostragens, executados em duas profundidades básicas de coleta: 0 - 100 mm e 100 - 200 mm. Como pode ser observado, o tratamento com escarificador apresenta os maiores valores de RSP, não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos pelo teste de TUKEY ao nível de 5% de probabilidade. Registra-se ainda, que os coeficientes de variação podem ser considerados médios ou seja, nem alto nem baixo, para este bloco de dados, dando a entender que a variação dos dados nesta profundidade de trabalho tem uma maior amplitude. Ao se relacionar à uma população maior de avaliação, constata-se que, na realidade, existem diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos e que não foram detectadas quando se analisaram os dados a partir de um grupo pequeno de amostras.

O tratamento 4 (Grade pesada + Grade leve), no grupo de quarenta e cinco amostras, registrou valores superiores aos demais tratamentos (2,66 Mpa), valor este considerado significativo ao crescimento das plantas cultivadas segundo. MISRA et al. (1986) salienta que a pressão exercida pela maioria das raízes das plantas varia entre 0,9 e 1,3 MPa.

TAYLOR & GARDNER (1963) estudando a influência da RSP ao desenvolvimento de raízes de algodão, concluíram que quando a resistência excedeu 2,0 MPa as raízes da cultura não conseguiram penetrar o solo.

Segue-se ao tratamento 4, os tratamentos com escarificador e arado de discos sendo que o tratamento testemunha apresenta os valores menores de resistência, na faixa de 1,12 MPa. Isto pode ser atribuído ao maior percentual de umidade no solo por época da coleta das amostras.

#### **5.1.5.2. Profundidade de 100-200 mm**

Os dados de RSP registrados na profundidade de 100-200 mm são maiores do que as médias registradas na profundidade de 0-100 mm. Como aconteceu na densidade do solo, uma das causas está relacionada à estrutura do solo. Nesta profundidade de trabalho, pela qual os implementos de preparo atuaram de forma característica ou seja, dependendo da ferramenta de preparo, as condições do solo foram rearranjadas diferentemente, e isto pode ser constatado pelos cálculos efetuados. No grupo de 5 amostras, não foram detectadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, apesar do tratamento com escarificador ter apresentado os maiores valores de RSP. Ao extrapolar para a população de 45 pontos de amostragens, verifica-se diferenças significativas entre o tratamento 1 e os demais.

### 5.1.5.3. Profundidade de 0-200 mm

A Tabela 5.6 registra valores médios para a resistência do solo à penetração quando se considerou a profundidade de 0 a 200 mm, determinando comparações em uma faixa de trabalho muito importante do ponto de vista agrônomo, pois a relação entre o sistema radicular das plantas e a camada de solo mobilizada determina condições essenciais ao desenvolvimento das mesmas.

Analisando os dados obtidos no grupo de 5 amostras, observa-se que entre os tratamentos não foi possível detectar diferenças estatísticas significativas. No entanto, ao se compararem os tratamentos numa população maior de dados, é possível constatar diferenças entre os tratamentos que sofreram a influência da ferramenta agrícola e o tratamento sem mobilização. O tratamento que apresentou a maior resistência do solo à penetração foi o de número 4 (2,72 MPa) referente a uma gradagem pesada seguida de uma gradagem leve que por sua vez não diferiu do tratamento 2 (2,67 Mpa) e do tratamento 3 (2,67 Mpa). O tratamento 1 apresentou a média mais baixa de RSP, sendo considerado estatisticamente diferente dos demais tratamentos.

STELLUTTI et al. (1998) salientam que a profundidade de manejo dos solos associada aos resíduos na superfície influencia significativamente à RSP. Encontraram diferença significativa entre o cultivo mínimo (2,90 MPa) e os demais tratamentos estudados como preparo convencional (2,15 Mpa), preparo combinado (2,15 MPa) e preparo superficial com discos (2,31 MPa).

Tabela 5.6 - Valores de Resistência do Solo à Penetração, de 0-200 mm (MPa)

Tratamento	Grupo de 5 amostras		Grupo de 45 amostras	
	0-200 mm		0-200 mm	
	CV %	Média	CV %	Média
Testemunha	25,6	2,3 <b>a</b>	33	1,7 <b>b</b>
Arado de disco	3,5	2,6 <b>a</b>	16,1	2,7 <b>a</b>
Escarificador	19,1	2,9 <b>a</b>	27,4	2,7 <b>a</b>
Grade Pesada	33,4	2,4 <b>a</b>	21,9	2,7 <b>a</b>

(N.B) Válido somente entre tratamentos: valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de TUKEY ao nível de 5% de probabilidade.

Este fato pode ser analisado sob o ponto de vista da influência da umidade e da porosidade do solo sobre o tratamento.

#### 5.1.5.4. Determinação do número de amostras

A RSP é considerado um parâmetro muito variável, porque está relacionada ao teor de umidade do solo no momento da coleta, e isto é um complicador para quem quer fazer comparações entre tratamentos com formato de mobilizações e intensidades diferentes. As figuras 5.5 e 5.6 mostram comparações diferentes esquemas de amostragens valores para o número de amostras necessárias quando se relaciona o tratamento e a profundidade de análise dos dados. Considerando as tabelas 5.13 a 5.19, na profundidade de 0-100 mm, a variação é muito grande quando se pretende comparar diferentes tipos de preparo em diferentes esquemas de amostragens. O tratamento com escarificador exige um número em torno de 99 amostras enquanto que o tratamento com grades registra uma necessidade mínima de, aproximadamente, 17 amostras.

Outro tratamento que exigiu um grande número de amostras foi o arado de discos. Era de se esperar que tal fato diferencial ocorresse tendo em vista que o tratamento com escarificador tende a provocar mobilizações do solo bastante heterogêneas quando comparadas às grades. Uma análise à profundidade de 100 a 200 mm permite considerações diferenciadas, uma vez que o tratamento que exige maior quantidade de amostras está relacionado ao tratamento sem

mobilização (42 amostras) e o tratamento com menor exigência é o tratamento com arado de discos (10 amostras).

Na Figura 5.1.5, os valores plotados sobre a relação entre diferentes probabilidades de erro e a necessidade de amostras, na comparação da resistência do solo à penetração quando comparada entre diferentes tipos de mobilização. O esquema de amostragem que se ajusta melhor aos dados coletados em Latossolo Roxo distrófico, com 9% de declividade, é o aleatório (malha com 5 pontos) e a maior necessidade de amostras que possa representar o conjunto de dados é o modelo de coleta na diagonal descendente enquanto que o modelo aleatório (malha com 5 pontos) exige uma quantidade bem menor de amostras quando comparado ao esquema de amostragem sob formato diagonal descendente, que praticamente triplica a necessidade de amostragens.

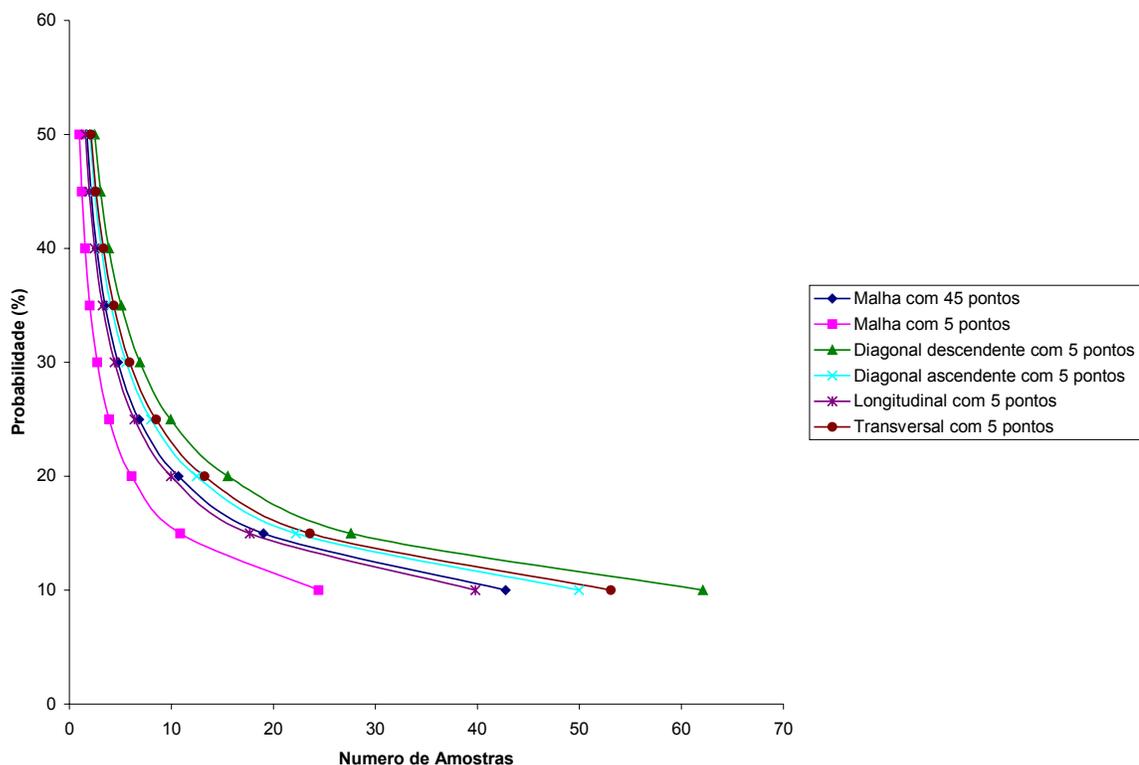


Figura 5.1.5 - Número de amostras necessárias para se estimar a Resistência do Solo à Penetração (RSP), nas profundidades de 0 a 100 e 100 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens.

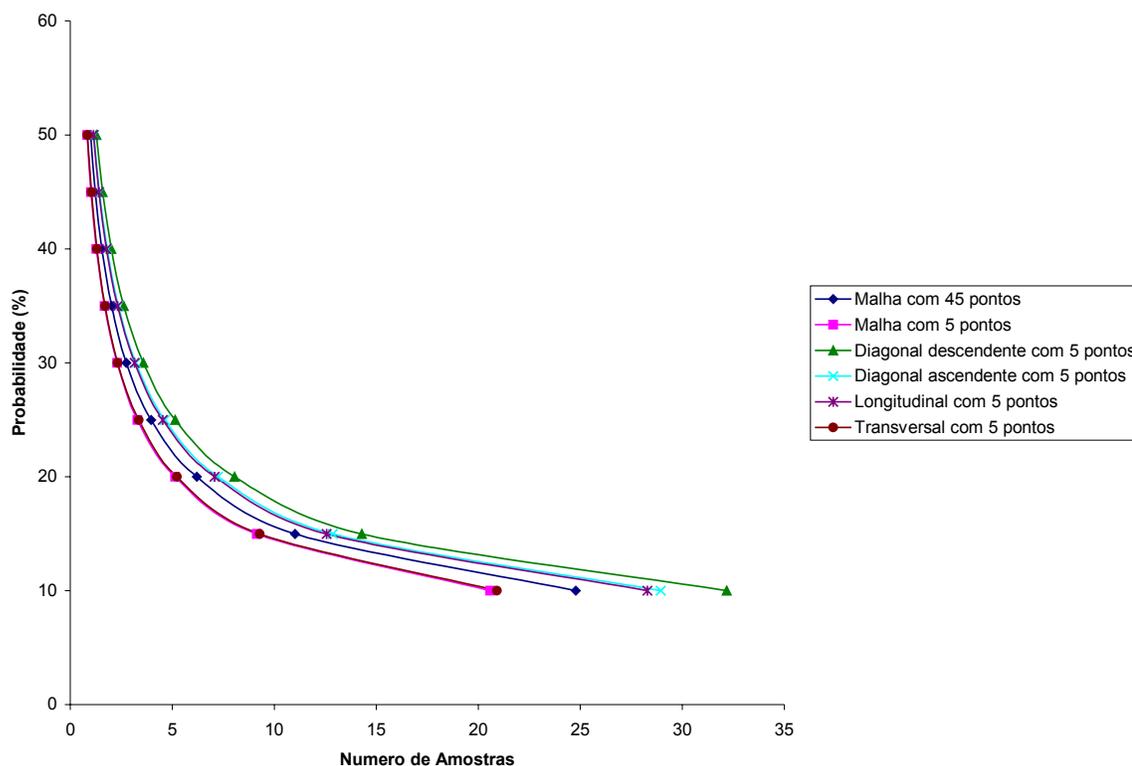


Figura 5.1.6 - Número de amostras necessárias para se estimar a Resistência do Solo à Penetração (RSP) na profundidade de 0 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens.

Na profundidade de 0 à 200 mm, conforme pode ser visto na figura 5.1.6, os modelos aleatório com 5 pontos e o transversal com 5 pontos, apresentam menor exigência de número de amostras, sendo que o modelo representando o plano diagonal descendente apresenta maior exigência de amostras. Esta característica foi também observada no conjunto das observações para as profundidades de 0 à 100 mm e 100 à 200 mm para os modelos aleatórios (malha com 5 pontos) e diagonal descendente.

### 5.1.7. Estabilidade de agregados em água - Diâmetro Médio Ponderado (DMP)

A Tabela 5.7 mostra os valores de Diâmetro Médio Ponderado (DMP) obtidos para o solo em estudos sob os diferentes tipos de preparo. O umedecimento dos agregados, conforme trata a metodologia, preconiza que deva ocorrer uma expansão interna dos agregados, que, durante o processo de agitação, permitirá o rompimento nas regiões onde houver fissuras naturais ou provocadas pela ação da ferramenta mecânica. É uma característica muito importante na avaliação qualitativa do preparo do solo.

Tabela 5.7 - Valores de diâmetro médio ponderado de agregados por via úmida (mm).

Tratamento	Grupo de 5 amostras				Grupo de 45 amostras			
	0-100 mm		100-200 mm		0-100 mm		100-200 mm	
	CV %	Média	CV %	Média	CV %	Média	CV %	Média
Testemunha	10,84	26,68 a	19,89	24,59 a	13,58	27,90 a	11,32	27,07 a
Arado de disco	11,50	26,51 a	9,64	27,64 a	15,37	27,71 a	14,98	27,86 a
Escarificador	12,02	28,59 a	12,44	25,58 a	16,42	25,85 a	15,62	25,00 b
Grade Pesada	6,06	20,65 b	17,36	21,43 a	14,81	23,12 b	13,43	22,68 c

(N.B) Válido somente entre tratamentos: valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de TUKEY ao nível de 5% de probabilidade.

#### 5.1.6.1. Profundidade de 0-100 mm

Como se pode observar na profundidade de 0 a 100 mm, as maiores médias de DMP foram atribuídas aos tratamentos testemunha, arado de discos e escarificador, quando se leva em consideração a amostragem feita com grupo de cinco amostras por tratamentos, sendo que o tratamento com grades apresentou os mais baixos valores de DMP, sendo considerado estatisticamente diferente dos demais tratamentos.

Ao analisar os dados sob a ótica de uma maior população de dados, observa-se que as médias se comportaram semelhantemente aos dados do grupo de 5

pontos de amostras. Isto é interessante registrar, uma vez que o parâmetro DMP, obtido através de uma metodologia de laboratório, reduz a possibilidade de interferência da profundidade de avaliação tendo em vista que o tamanho dos agregados foram previamente definidos e selecionados.

Os coeficientes de variação para esta faixa de análise variaram de 6% a 12% para o grupo de 5 amostras e de 13% a 16% para 45 amostras.

#### **5.1.6.2. Profundidade de 100-200 mm**

Nesta profundidade, registra-se que os valores de DMP não diferem entre si, pelo teste de médias utilizado neste trabalho. Ressalta-se que esta avaliação está sendo observada em 5 pontos de amostragens, nas parcelas experimentais. Ao se referir à 45 pontos, esta situação estatística difere consideravelmente, porque os tratamentos testemunha e arado de discos apresentam valores superiores ao tratamento com escarificador que por sua vez é considerado diferente do tratamento com grades. A estabilidade dos agregados em água em parcelas experimentais que não sofreram ação mecânica é registrada por diversos pesquisadores como THIEN (1976), MACHADO & BRUM (1978) e LUCARELLI (1997) como ideais e as mais importantes na manutenção das características do solo em suas condições de exploração.

A Figura 5.7 mostra a necessidade do número de amostras em função da forma e posição quando se atribui um determinado erro na amostragem.

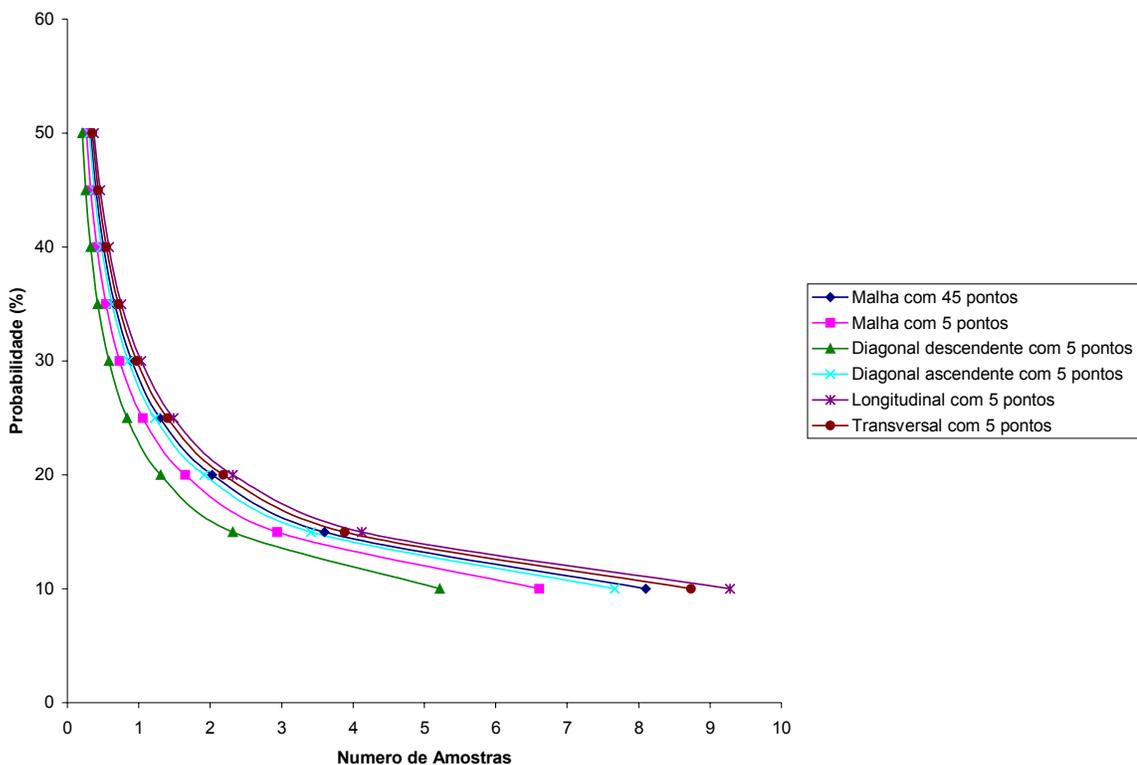


Figura 5.1.7 - Número de amostras necessárias para se estimar o Diâmetro Médio Ponderado (DMP), via úmida, nas profundidades de 0 a 100 e 100 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens.

Ao comparar diferentes tratamentos (área sem mobilização, arado de discos, escarificador e Grade pesada) onde os modelos representam a relação entre a necessidade do número de amostras em função do erro (p%) para o parâmetro diâmetro médio ponderado de agregados em água verifica-se que a coleta obedecendo a direção em diagonal descendente apresenta um melhor ajuste em relação aos demais modelos. Ressalta-se que o modelo representativo das coletas na forma longitudinal é o mais exigente em termo de necessidade de coletas.

### 5.1.7. Estabilidade de Agregados a Seco - Diâmetro Médio Ponderado (DMP)

A estabilidade dos agregados é muito importante no processo de mecanização agrícola porque, segundo GAMERO et al. (1990), ela ajuda na formação e conservação das boas condições estruturais no solo.

Avaliando os dados obtidos, é possível constatar que no grupo de amostras com 5 pontos, não foram detectadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos na profundidade considerada. O coeficiente de variação para o parâmetro agregados a seco, foi na ordem de 21,0 %.

Tabela 5.8 - Valores de diâmetro médio ponderado de agregados por via seca (mm).

Tratamento	Grupo de 5 amostras		Grupo de 45 amostras	
	0-200 mm		0-200 mm	
	CV %	Média	CV %	Média
Testemunha	21,0	34,4 a	21,0	33,5 a
Arado de disco	23,1	33,3 a	23,1	30,8 a
Escarificador	35,2	26,9 a	35,2	25,6 b
Grade Pesada	32,8	19,9 a	32,8	17,3 c

(N.B) Válido somente entre tratamentos: valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de TUKEY ao nível de 5% de probabilidade

Ao se elevar para um grupo de dados maior, é possível detectar que, na realidade, diferenças estatísticas entre os tratamentos que anteriormente eram considerados iguais, pois passando a apresentar diferenças, comprovando a tese de que, na avaliação da metodologia convencional, que trabalha com a coleta de pequena quantidade de amostras, diversas diferenças não são detectadas.

Os tratamentos testemunha e arado de discos + Grade leve, apresentaram as maiores médias para o DMP (33,5 mm e 30,8 mm respectivamente), diferindo estatisticamente dos tratamentos Escarificador + Grade leve (25,6) e Grade pesada + Grade leve (17,3).

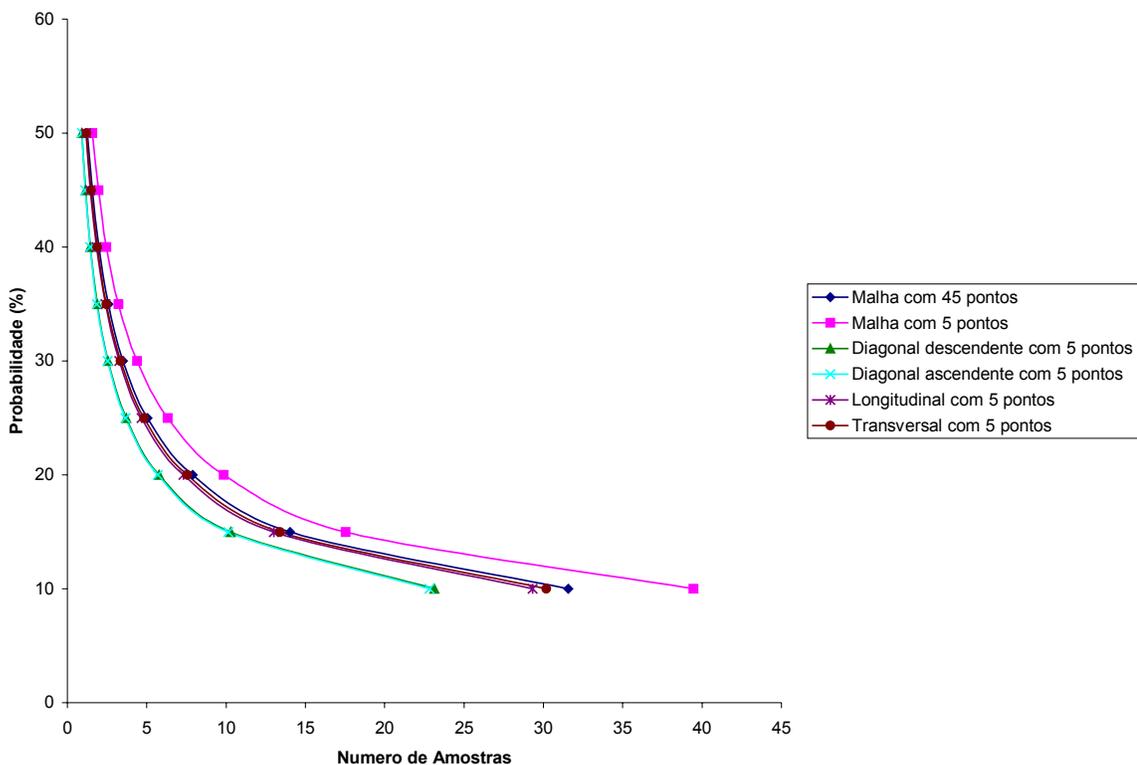


Figura 5.8 Número de amostras necessárias para se estimar o Diâmetro Médio Ponderado (DMP), via seca, conforme diferentes esquemas de amostragens.

A necessidade do número de amostras para o Diâmetro Médio Ponderado (DMP) dos agregados à seco sob diferentes formas de coletas na parcelas experimental, é mostrada na Figura 5.8 onde as formas diagonal ascendente e diagonal descendente mostraram-se mais representativas ou seja, apresentaram necessidade menor de amostras do que as demais formas tais como malha com 45 pontos, amostragem aleatória com 5 pontos, amostragem em diagonal e amostragem transversal. É bem provável que conforme a direção e o sentido de trabalho dos equipamentos agrícolas, os agregados maiores tendam a se concentrar em determinadas linhas ou áreas das parcelas o que pode ser minimizado pela forma de coleta das amostras.

### 5.1.8 Diâmetro Médio Geométrico (DMG)

Os diferentes tratamentos aplicados à profundidade de 0 a 200 mm, apresentaram diferenças estatísticas entre si, tanto no grupo composto por cinco amostras quanto no formado por quarenta e cinco amostras. Esta verificação de diferenças entre as médias nos tratamentos qualifica o DMG como um importante parâmetro na avaliação do preparo do solo, principalmente quando se pretende comparar diferentes tipos de mobilizações. Vale considerar que no grupo de 5 amostragens, os tratamentos 1 (Testemunha), 2 (Arado de discos) e tratamento 3 (Escarificador) foram considerados iguais, entre si, sendo que os tratamentos testemunha e arado de discos diferem apenas do tratamento com Grades.

Considerando os quarenta e cinco pontos de amostragens, detectaram-se diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos 3 (ES) e 4(GA). O DMG médio para o tratamento com grades foi consideravelmente menor em relação os demais tratamentos analisados. Este fato corrobora com as informações obtidas na literatura porque a ação das ferramentas no solo está em função de diversos fatores tais como forma, velocidade de deslocamento na camada do solo, posição em relação à linha de deslocamento, área de contato, etc, e isto pode ser verificado no conjunto Grade pesada + Grade leve, onde a ação dos discos foi mais intensa, provocando, desta forma, diminuição no tamanho médio dos agregados.

Os tratamentos (testemunha) e (arado de discos seguido de gradagem niveladora) apresentaram valores médios de DMG de 13,6 mm e 12,5 mm, respectivamente. O tratamento 3 (ES) registra média de DMG igual a 10,8 mm enquanto 4 (GA) registra uma média de DMG igual a 6,5 mm. Em trabalho realizado por GAMERO (1990), utilizando-se da mesma metodologia de avaliação, foram registrados valores médios de 8,2 mm para tratamento com arado de discos seguido de gradagens niveladoras; 27,1 mm para tratamento com escarificador seguido de

gradagem leve niveladora e, 6,4 mm para o tratamento com Grade pesada seguido de gradagem leve niveladora.

Tabela 5.9 - Valores de diâmetro médio geométrico de agregados, de 0 a 200 mm (mm).

Tratamento	Grupo de 5 amostras		Grupo de 45 amostras	
	0-200 mm		0-200 mm	
	CV %	Média	CV %	Média
Testemunha	9,61	14,33 a	22,38	13,64 a
Arado de disco	27,76	13,81 a	22,85	12,51 a
Escarificador	46,32	11,21 ab	35,63	10,78 b
Grade Pesada	24,9	6,90 b	26,20	6,56 c

(N.B) Válido somente entre tratamentos: valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de TUKEY ao nível de 5% de probabilidade

Os diversos tratamentos apresentam diferentes coeficientes de variação. Constata-se que o tratamento que apresentou maior índice de variação nos dados, (C.V.=35,63%) foi o tratamento com escarificador. Pela dinâmica desta ferramenta, era de se esperar exatamente que isto viesse a acontecer uma vez que a área de mobilização do solo sofre um formato característico mesclando áreas com índice variável de mobilização, conforme pode ser visto na Figura 5.1.9.

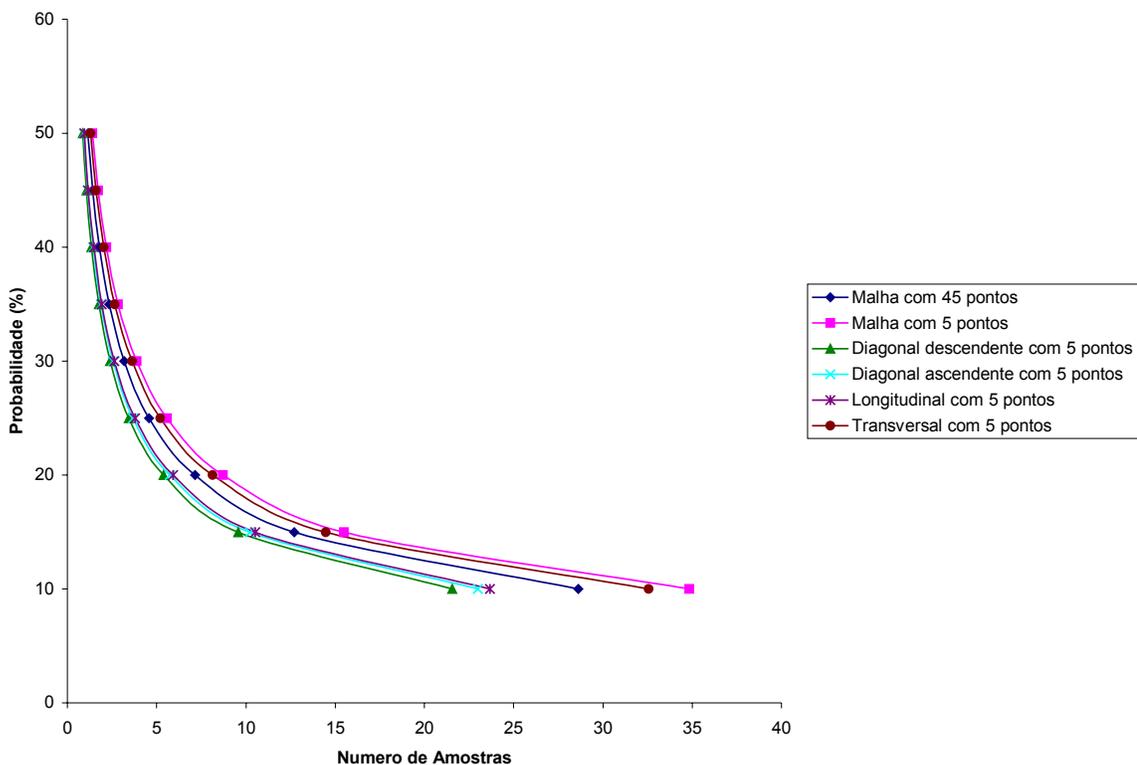


Figura 5.1.9 - Número de amostras necessárias para se estimar o Diâmetro Médio Geométrico (DMG), na profundidade de 0 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens.

Semelhante ao DMP, o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) analisado em diferentes direções de coleta, aponta os modelos diagonal descendente e diagonal ascendente com 5 pontos como os mais representativos pois sugere um menor número de amostras para serem coletadas quando comparado aos demais.

Em função do sentido de operação das ferramentas agrícolas utilizadas no trabalho, o modelo "diagonal descendente" ajustou-se melhor ao conjunto de dados, reforçando a teoria da melhor representatividade para o DMG.

PERFECT et al. (1995) estudando a influência na caracterização estatística de agregados à seco, concluíram pela importância dos agregados nos estudos de preparo relacionado à erosão. Tamanhos diferenciados de agregados provocados

pelo preparo do solo e suas interações variáveis, influenciam a resistência à agregação.

### 5.1.9 Infiltração de Água no Solo

Os dados de infiltração de água no solo, obtidos através do permeâmetro IAC, registram valores médios de infiltração de água no solo para os tratamentos estudados conforme as Tabela 5.10. Considerando 5 pontos de amostragens, pôde-se verificar que os tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas entre si, no nível de 5% de probabilidade. Ao considerar quarenta e cinco pontos, as diferenças passaram a ser detectadas onde os tratamentos testemunha (131,9 mm/h), o tratamento com arado de discos seguido de Grade leve (100,9 mm/h) e o tratamento com escarificador seguido de Grade leve (113,2 mm/h) foram considerados estatisticamente iguais. Os tratamentos com arado e escarificador, diferem, ao nível de 5% pelo teste de TUKEY, do tratamento com grades (73,37 mm/h).

Tabela 5.10 – Valores de taxa de infiltração de água no solo, de 0-200 mm (mm/h).

Tratamento	Grupo de 5 amostras		Grupo de 45 amostras	
	0-200 mm		0-200 mm	
	CV %	Média	CV %	Média
Testemunha	70,8	162,3 a	70,5	131,9 a
Arado de disco	91,0	111,8 a	64,0	100,9 ab
Escarificador	33,5	142,0 a	59,4	113,2 a
Grade Pesada	30,3	75,7 a	56,2	73,4 b

(N.B) Válido somente entre tratamentos: valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de TUKEY ao nível de 5% de probabilidade.

Esta comprovação de maiores taxas de infiltração de água em função do tipo de preparo foi obtida na literatura. MAIA (1990), trabalhando em Latossolo vermelho escuro no município e Diamantino-MT, encontrou menores valores de infiltração de água no solo estatisticamente diferentes de tratamentos que utilizaram de ferramentas como hastes em escarificador e discos côncavos, em arados.

Conforme o tipo de solo e o tipo de preparo, a taxa de infiltração de água no solo pode ser bastante variável. Conclusão como esta, pode ser vista no trabalho de SALIH et al. (1998) que usando três diferentes tipos de preparo (gradagem, aração com discos e subsolagem) concluíram, que na profundidade de 40 mm não detectou diferença significativa para a subsolagem, ou seja, não houve aumento da taxa de infiltração em função da subsolagem.

DANIEL et al. (1995) avaliando a permeabilidade do Latossolo Roxo distrófico submetido a diferentes tipos de manejo, observou que a infiltração de água no solo deu-se com taxas de 79,0 mm/h para o tratamento com grades, semelhante ao que foi encontrado neste trabalho (73,4 mm/h).

ARZENO (1990) trabalhando com diversos sistemas de preparo dentre os quais o escarificador, seguido de grade, o arado de discos e gradagem leve, encontrou valores médios na ordem de 54,70 mm/h para o sistema escarificador e 35,93 mm/h para o sistema arado de discos, no mesmo solo da unidade Barão Geraldo. Estes dados são compatíveis com os valores encontrados neste trabalho.

Ainda nesse mesmo solo e sob condições de manejos diferenciados, LUCARELLI (1997) encontrou valores médios de infiltração de água utilizando infiltrômetros, para tratamentos semelhantes ao deste trabalho, na ordem de 66,0 mm/h para grades pesada aradora; 84,0 mm/h para arado de discos; 570,0 mm/h para escarificador e 714,0 mm/h para área não mobilizada.

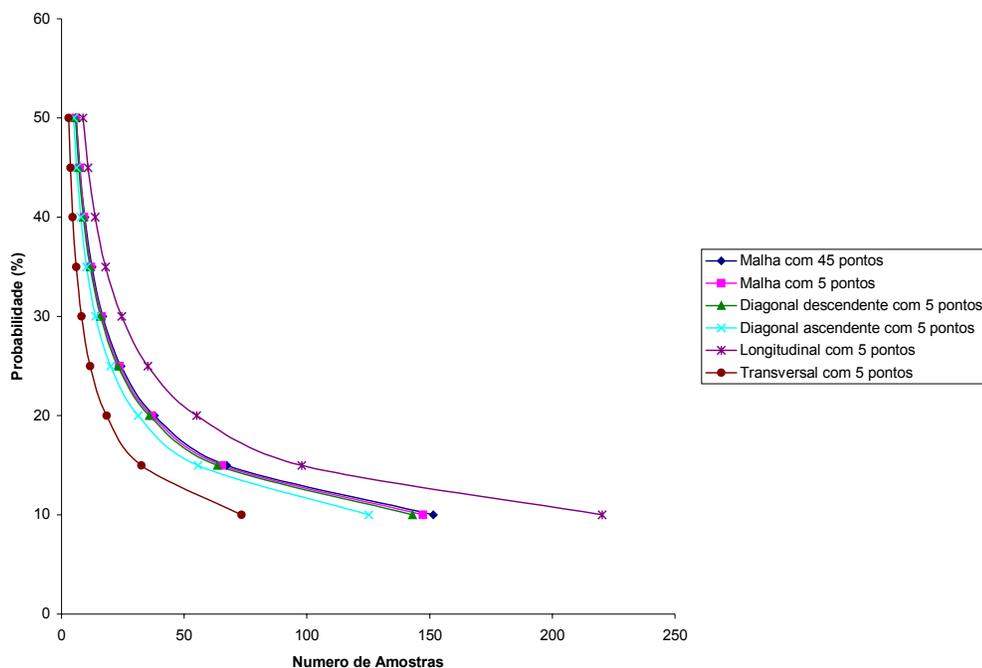


Figura 5.1.10 – Número de amostras necessárias para se estimar o Infiltração de água em Latossolo Roxo distrófico, na profundidade de 0 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragem.

O modelo que melhor se ajustou aos dados de infiltração de água no solo em função dos dados médios dos tratamentos estudados está relacionado ao tipo de coleta transversal com 5 pontos de amostragem (Figura 5.1.10). O fato deste tipo de coleta, coincidindo com a declividade do terreno, se apresentar como melhor plano, pode estar relacionado ao movimento mais uniforme da água, uma vez que os pontos foram determinados numa mesma linha de conduta. A forma longitudinal de coleta apresentou-se como o modelo com maior exigência de informações, passando de uma média aproximada de 70 para 220 coletas, representando um acréscimo significativo.

### 5.1.10 Umidade

A Tabela 5.11 registra os dados de umidade no solo durante a coleta de amostras à profundidade de 0 a 200 mm. A avaliação dos dados referentes ao primeiro grupo de amostras que contém 5 coletas por tratamento, apresenta o tratamento

testemunha, ou seja, a área que não foi mobilizada, como resultado da maior média (29,02%) de umidade encontrada, quando comparada aos demais tratamentos que receberam a ferramenta agrícola como órgão ativo de mobilização do solo.

Tabela 5.11- Valores de umidade do solo, de 0 a 200 mm (%).

Tratamento	Grupo de 5 amostras		Grupo de 45 amostras	
	0-200 mm		0-200 mm	
	CV %	Média	CV %	Média
Testemunha	7,52	29,2027 a	4,58	28,64 a
Arado de disco	9,73	14,6019 c	8,45	15,21 d
Escarificador	8,69	15,89 c	8,96	15,92 c
Grade Pesada	11,44	21,1838 b	4,98	22,02 b

(N.B) Válido somente entre tratamentos: valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de TUKEY ao nível de 5% de probabilidade.

A análise feita com um segundo grupo de amostras (45 valores), estratifica melhor esta relação da umidade em função do tipo de manejo e identifica diferenças não observadas anteriormente como é o caso dos tratamentos com escarificador e com arado de discos que se mostraram iguais estatisticamente, ao nível de 5%, quando a relação dependia de 5 amostras. Quando se extrapolou para uma população maior de amostragem, foram verificadas diferenças.

Analisando os valores registrados, o tratamento testemunha apresenta média de umidade de 28,64%, condizendo com a maioria dos pesquisadores estudados, como UNGER & McCALLA (1981) e MELO FILHO & SILVA (1993), que encontraram valores superiores nos tratamentos onde a mobilização do solo não era feita.

No que se refere aos demais tratamentos, todos sob efeito da ferramenta agrícola de preparo cujas características de mobilização são peculiares, o tratamento com grades registrou média igual a 22,0%, superior aos tratamentos com escarificador (15,9%) e arado de discos (15,2%). Este fato pode estar relacionado ao percentual

de microporos encontrados no tratamento com grades uma vez que isto pode contribuir na formação de maior percentual de água no solo.

Importante observar que os coeficientes de variação são considerados baixos indicando pouca variabilidade na coleta e manipulação dos dados.

A Figura 5.1.11 representa uma comparação entre diferentes formas de coleta de dados para determinação da umidade no Latossolo Roxo distrófico, sob 9% de declividade.

O modelo transversal registra um melhor desempenho em relação aos demais, uma vez que, para a umidade do solo, a necessidade do número de amostras está em torno de 1 (um,) enquanto que no sistema aleatório (malha com 5 pontos) a exigência mínima é de aproximadamente 3,5 amostras, representando 350% superior ao modelo transversal.

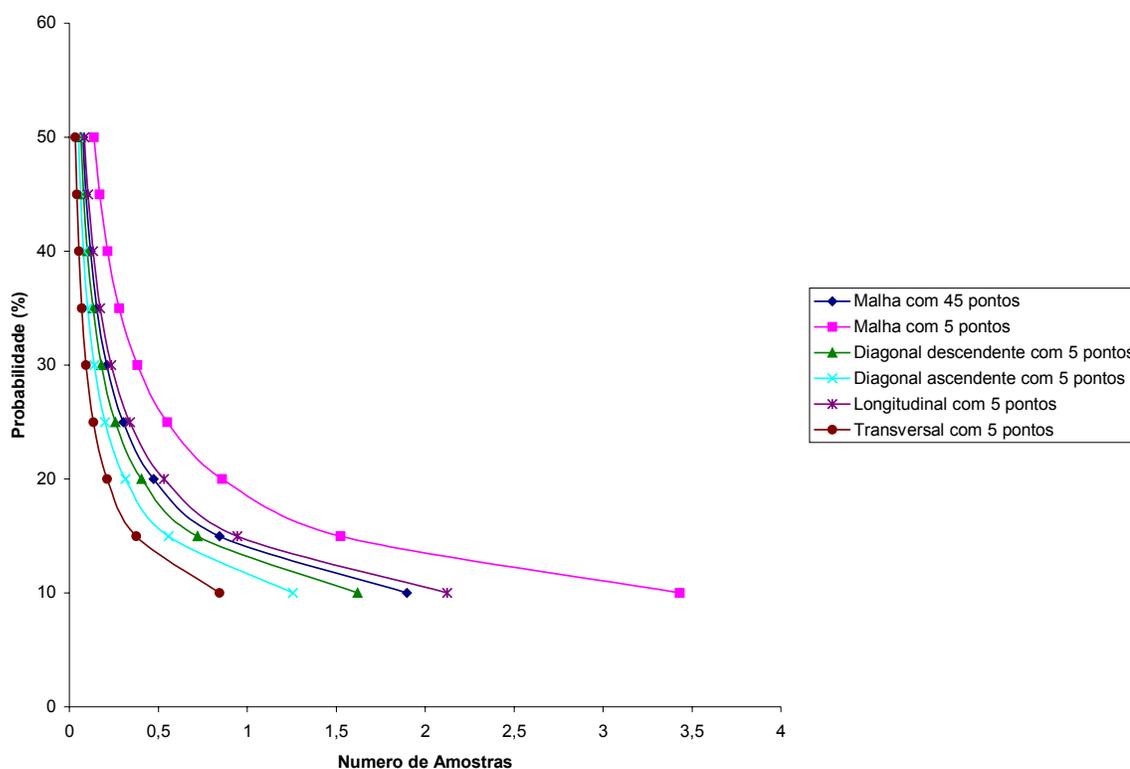


Figura 5.1.11 – Número de amostras necessárias para se estimar a umidade do solo, na profundidade de 0 a 200 mm, conforme diferentes esquemas de amostragens.

## 5.2. Variabilidade espacial

Fazendo uma análise dos dados referentes as amostras obtidas na profundidade de 0-100 mm, pôde-se destacar, conforme o capítulo 5 (resultados e discussão), as diferentes necessidades para determinação do número de amostras, por parâmetro físico analisado, necessárias, que representem a população de dados, em função do tratamento, da profundidade e do plano de coleta.

A variabilidade espacial dos parâmetros físicos estudados foi analisada em função das profundidades de trabalho (0 a 100 mm), (100 a 200 mm) e (0 a 200 mm). Estas caracterizações foram feitas porque o manejo do solo influenciou diferentemente nas camadas mobilizadas, e os efeitos, conforme pôde ser visto anteriormente, mostraram resultados compatíveis com a hipótese central deste trabalho.

Adotando critérios semelhantes aos apresentados por COUTO (1997), a seleção dos semivariogramas foi feita obedecendo à sistemática do componente aleatório, no qual a relação entre o efeito pepita ( $C_0$ ) e o componente C (variância estrutural) que compõe o patamar ( $C_0+C$ ) fosse representativo de um erro com significância menor que 0,5.

Tabela 5.12 - Parâmetros dos semivariogramas selecionados, para valores de  $e < 0,5$  e  $SSD/SST < 0,5$ .

Trat.	Par.	Prof. (mm)	Modelos	$C_0$	C	R	$e=C_0/C$	SSD SST
T3	DMG	0 - 200	Esférico	5,37E+00	1,09E+01	5,88E+00	0,490859	0,339
T3	DMP	0 - 200	Exponencial	2,68E+01	6,64E+01	2,74E+00	0,403614	0,382
T2	INF	0 - 200	Esférico	1,09E+03	2,97E+03	3,42E+00	0,367003	0,730
T1	MA	0 - 100	Exponencial	1,04E+01	3,09E+01	2,01E+00	0,336570	0,171
T4	MA	100 - 200	Exponencial	8,38E+00	1,91E+01	1,62E+00	0,438743	0,624
T3	PT	0 - 100	Esférico	3,25E-01	1,28E+01	2,65E+00	0,025391	0,948
T3	RSP	100 - 200	Esférico	1,60E-01	4,05E-01	6,94E+00	0,395062	0,215
T3	RSP	0 - 200	Esférico	1,60E-01	4,05E-01	6,94E+00	0,395062	0,215
T2	UM	0 - 200	Exponencial	1,51E-01	1,56E+00	1,05E+00	0,096795	0,877

(N.B) DMG - Diâmetro Médio Geométrico; DMP - Diâmetro Médio Ponderado (via seca); INF - Infiltração de água; MA - Macroporosidade; PT - Porosidade Total; RSP - Resistência do Solo à Penetração; UM - Umidade

Considerando as relações descritas no capítulo 4 (item 4.4.4) adotaram-se critérios para a escolha dos modelos de acordo com os valores de  $e < 0,5$  e/ou a relação  $SSD/SST \leq 0,5$ . A Tabela 5.12 mostra os principais modelos que ajustaram às exigências de dependência espacial dos dados amostrados, em função da profundidade de trabalho, do tratamento considerado e do parâmetro estudado. Para os demais parâmetros e profundidades, a dependência espacial não foi observada ou não se caracterizou como uma propriedade, mostrando segundo COUTO (1997), que o esquema de amostragem utilizado não permitiu identificar a estrutura de dependência espacial.

Vários outros parâmetros mostraram-se com dependência espacial, mas não foram classificados dentro dos critérios adotados, porque apresentaram pequena dependência espacial, ou seja, a componente aleatório foi muito significativa (maior que 0,5).

Com exceção da densidade do solo, que apresentou efeito pepita puro, ou seja, nenhuma dependência espacial em qualquer profundidade, os demais parâmetros estudados mostraram-se representativos em alguma situação.

SILVA (1988), estudando a variabilidade espacial de diversos parâmetros, entre eles, a densidade do solo e da partícula, não encontrou dependência espacial em Latossolo roxo, localizada no IAC, Campinas.

### **5.2.1 Macroporosidade**

Dos parâmetros analisados, a macroporosidade do solo teve 8 modelos estudados, dos quais apenas 25% se ajustaram às exigências de dependência espacial, conforme mostra a Figura 5.2.1.

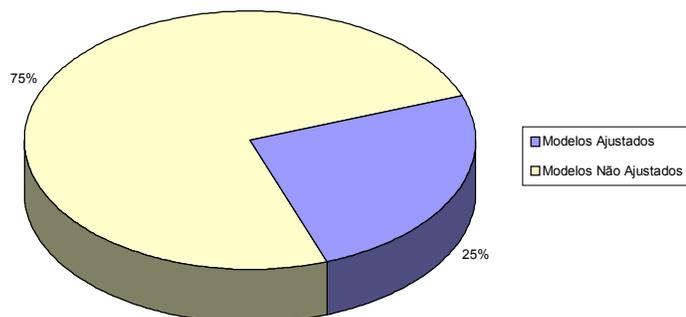


Figura 5.2.1 - Representação dos modelos ajustados e não ajustados referentes às profundidades de 0 – 100 e 100 – 200 mm, no parâmetro macroporosidade.

### 5.2.1.1 Semivariogramas

As Figura 5.2.2 e 5.2.3 representam os dados de macroporosidade nas profundidades de 0 a 100 mm e 100 a 200 mm, que se ajustaram aos modelos de semivariogramas. Pode-se observar que a estrutura de variância dos dados (gamma) para a macroporosidade na profundidade de 100 a 200 mm é menor quando comparada à profundidade de 0 a 100 mm. A dependência espacial expressa pelo alcance mostra que o maior valor (2,01 m) foi encontrado na profundidade de 0 à 100 mm.

Existe, neste caso, duas variáveis a serem consideradas: a profundidade de coletados dados e o efeito dos tratamentos nas camadas de solo, estudadas. A menor dependência espacial deve estar associada ao tipo de implemento utilizado no preparo do solo.

Vale destacar, que a dependência espacial dos dados de macroporosidade analisados, foram observados apenas nos tratamentos T1 (testemunha) e T4

(grade pesada), sendo que nos demais tratamentos não foram observados ajustes aos modelos teóricos.

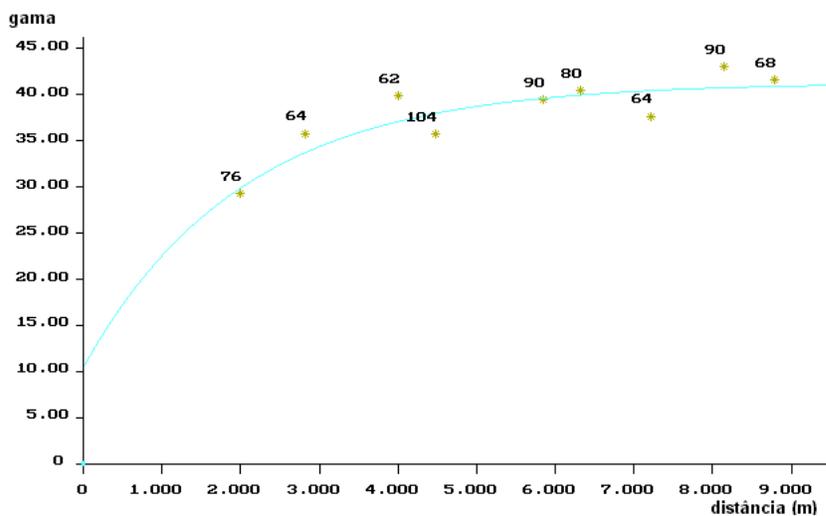


Figura 5.2.2 - Semivariograma modelo exponencial da macroporosidade na profundidade de 0 – 100 mm, sem mobilização.

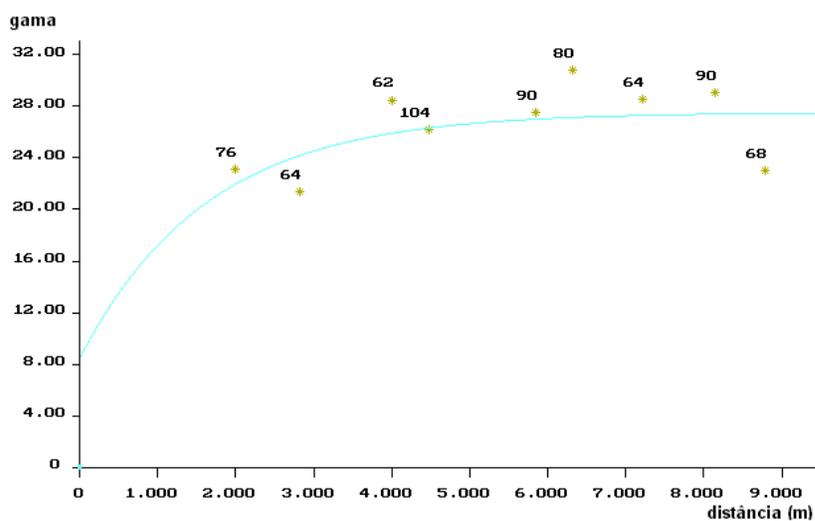


Figura 5.2.3 - Semivariograma modelo exponencial da macroporosidade na profundidade de 100 – 200 mm, no solo mobilizado por grade pesada + grade leve.

### 5.2.1.2 Krigagem

As Figuras 5.2.4 e 5.2.5 mostram os mapas da distribuição espacial estimada por krigagem desvio padrão da macroporosidade submetido aos tratamentos sem mobilização e mobilizado por grade pesada, respectivamente, nas profundidades de 0 a 100 mm e 100 a 200 mm. A macroporosidade do solo, analisada no tratamento sem mobilização, considerando a profundidade de 0 a 100 mm, apresenta grande variabilidade espacial dos dados, podendo-se observar que existe uma tendência à concentração de menores valores na face esquerda da parcela experimental, onde a amplitude dos valores é maior, quando comparada aos valores produzidos no tratamento com grades e na profundidade de 100 à 200 mm (Figura 5.2.4).

Paralelamente, na profundidade de 100 a 200 mm, sob tratamento com grade pesada, observa-se distribuição maior da macroporosidade na região mais central da parcela. Era de se esperar uma homogeneidade maior para este tratamento. O efeito da ferramenta associado às condições do solo antes do preparo pode ter causado uma redistribuição tanto dos agregados quanto da vegetação, provocando desta forma uma distribuição espacial muito heterogênea ao longo da malha.

O mapa de erros expressa os valores estimados de variância pela interpolação por krigagem e de forma indireta, pode indicar os locais onde deveriam ocorrer futuras amostragens adicionais. Os maiores valores de variâncias são encontrados entre os centros dos pontos amostrados (Figura 5.2.4 e 5.2.5).

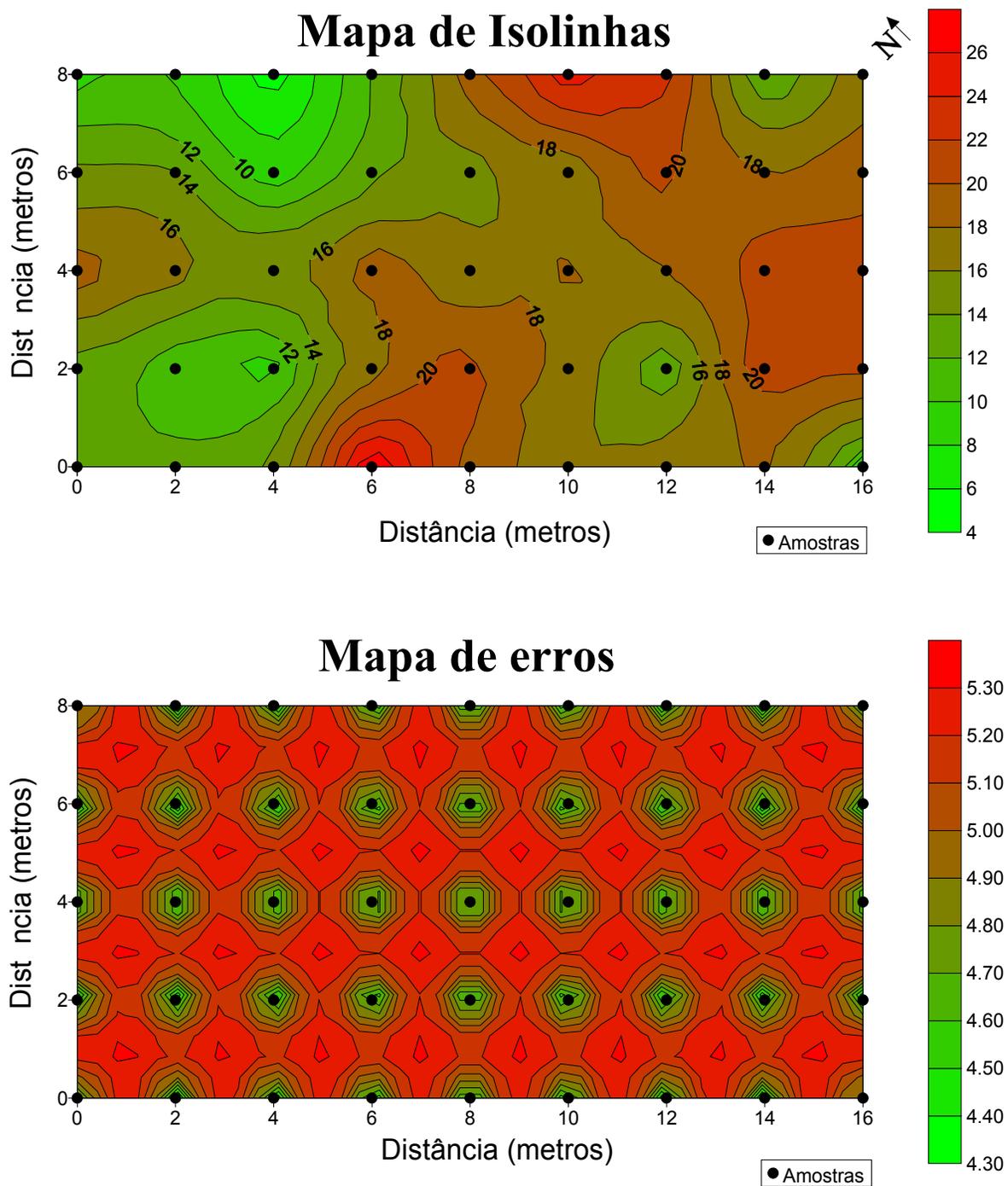


Figura 5.2.4 - Distribuição espacial e variância do parâmetro macroporosidade na profundidade de 0 - 100 mm, no tratamento 1 (Testemunha), estimado por krigagem.

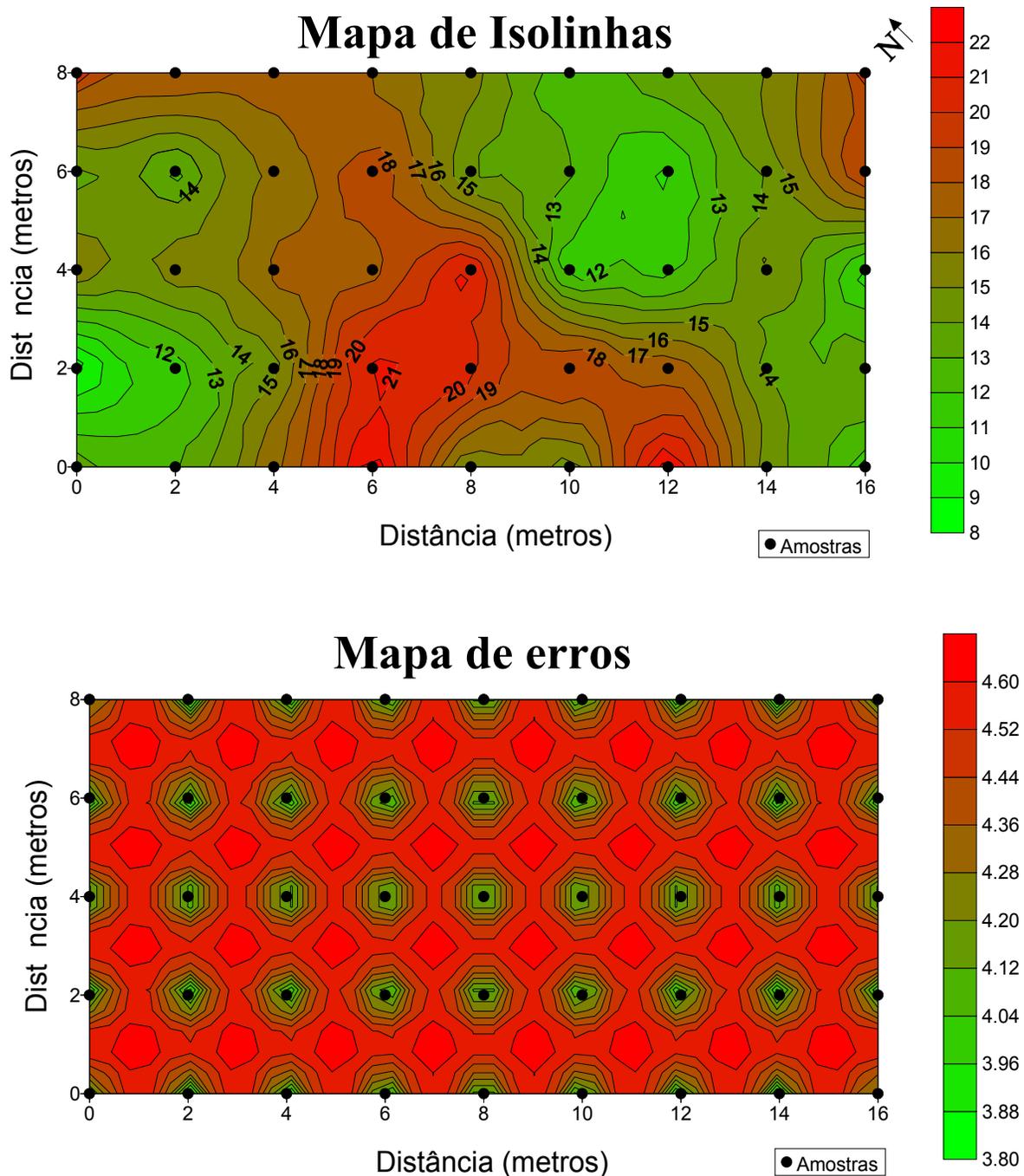


Figura 5.2.5 - Distribuição espacial e variância do parâmetro macroporosidade na profundidade de 100 - 200 mm, no tratamento 4 (grade pesada+grade niveladora), estimado por krigagem.

### 5.2.2 Porosidade total

Dos 8 (oito) combinações para a porosidade total nas profundidades estudadas, apenas 13% se ajustaram aos critérios adotados, conforme pode ser visto no Figura 5.2.6. A maioria dos modelos (87%) não proporcionou ajustes, por não atenderem os critérios estipulados, conforme pode ser visto no capítulo 4, ou por ter apresentado efeito pepita puro, significando que os dados não possuem estrutura de dependência entre si.

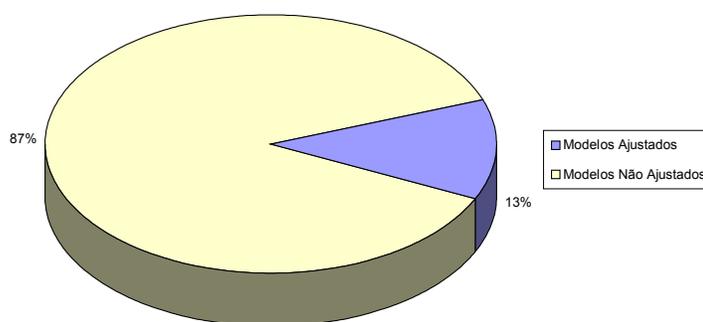


Figura 5.2.6 - Representação dos modelos ajustados e não ajustados referentes à profundidade de 0 – 100 mm, no parâmetro porosidade total.

#### 5.2.2.1 Semivariograma

A porosidade total analisada sob a profundidade de 0 a 100 mm, apresenta um semivariograma do tipo esférico, onde somente o tratamento 3 (escarificador seguido de Grade leve) teve um modelo ajustado. Verificou-se ainda, que o alcance obtido por este modelo é igual a 2,65 m. Isto quer dizer que a distância

ideal para análise da porosidade total, sem comprometer o conjunto de dados neste tipo de solo, poderia ser adotada em torno deste valor.

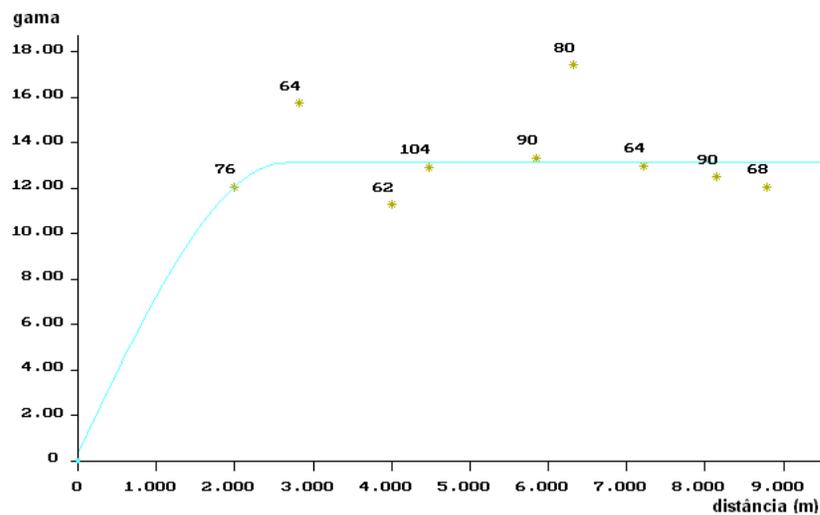


Figura 5.2.7 - Semivariograma esférico da porosidade total , à profundidade de 0 – 100 mm, mobilizado por escarificador + Grade leve.

#### 5.2.2.2. Krigagem

No mapa de isolinhas apresentado na Figura 5.2.8, pode-se observar que a porosidade total varia entre 60 e 70%, concentrando os maiores valores na área central do mapa. É importante observar que os menores valores concentram-se nas áreas periféricas. Por se tratarem de dados obtidos por ação do escarificador, é possível que o recobrimento das hastes conforme mostra a Figura 5.2.8, tenha influenciado a relação da porosidade, apresentando menores percentuais nas áreas laterais.

O mapa do desvio padrão da porosidade total registrou tendência de aumento entre os pontos amostrados, permitindo uma visão mais clara sobre os dados, caracterizando posições relativas e suas relações intrínsecas.

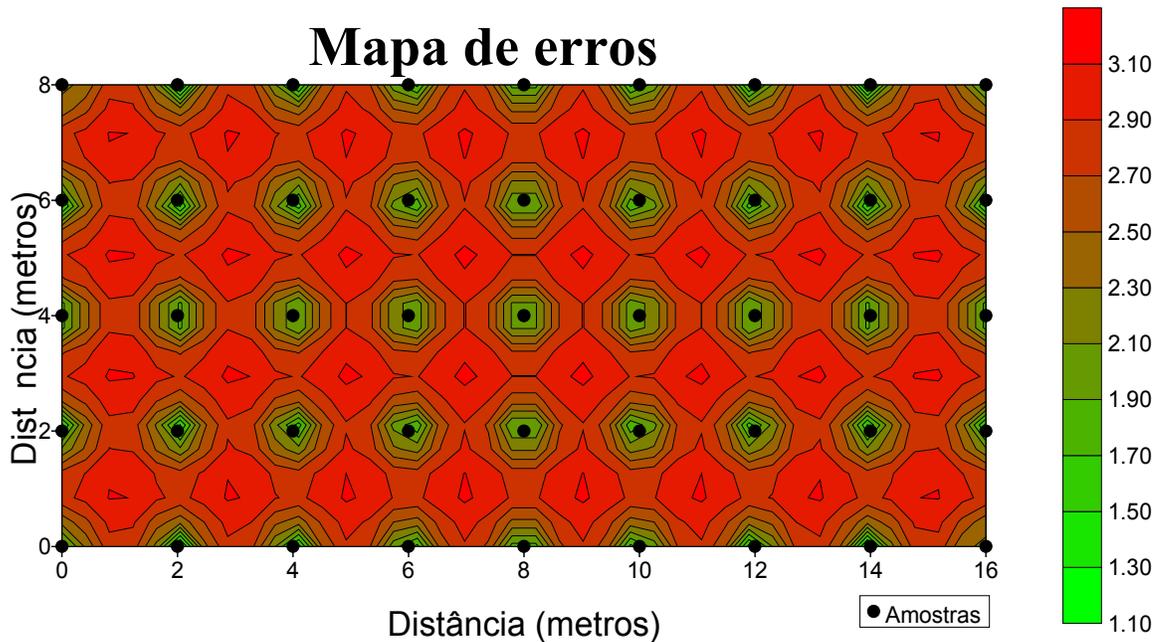
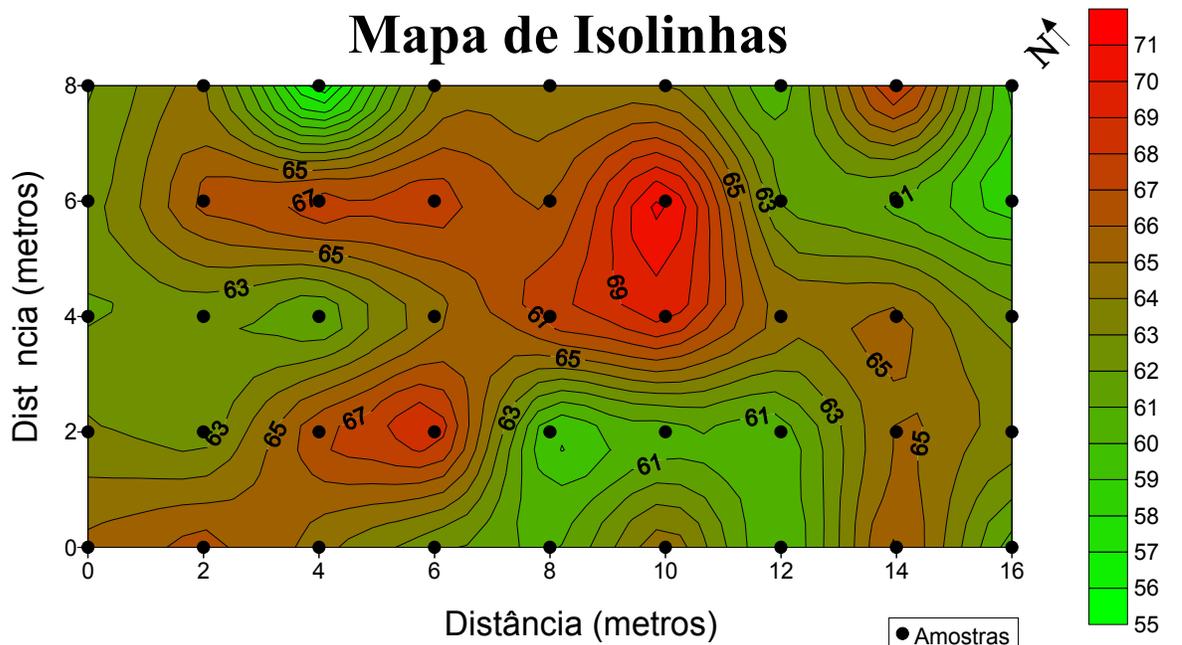


Figura 5.2.8 - Distribuição espacial e variância do parâmetro porosidade total na profundidade de 0- 100 mm, no tratamento 3 (Escarificador+grade leve) estimado por krigagem.

### 5.2.3. Resistência do Solo à Penetração (RSP)

Dos parâmetros analisados sob o ponto de vista de seleção de modelos que puderam ser analisados, a RSP foi o parâmetro que mais contribuiu na formação do bloco de dados. Dos 68 modelos previstos, a RSP contribuiu com 12, representando aproximadamente 18%. Dos modelos analisados, apenas 17% foram ajustados, sendo um modelo esférico para a profundidade de 100 a 200 mm, e outro também como modelo esférico para a profundidade de 0 a 200 mm.

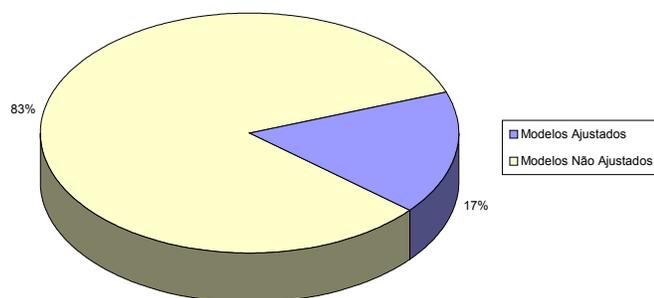


Figura - 5.2.9 - Representação dos modelos ajustados e não ajustados referentes às profundidades de 100 – 200 e 0 – 200 mm, no parâmetro resistência do solo à penetração.

#### 5.2.3.1 Semivariogramas

A Figura 5.2.10 apresenta o semivariograma, com modelo esférico para o parâmetro RSP nas profundidades de 100 a 200 mm. Da mesma forma que a porosidade total, o modelo refere-se ao tratamento 3(escarificador + Grade leve), o que reforça a tese da maior homogeneidade produzida pelo uso deste implemento.

Vale ressaltar que o alcance foi de aproximadamente 7 m, indicando que para a RSP no tratamento com escarificador, nas condições do experimento, esta distância poderia ser trabalhada e representaria os dados em sua estimativa.

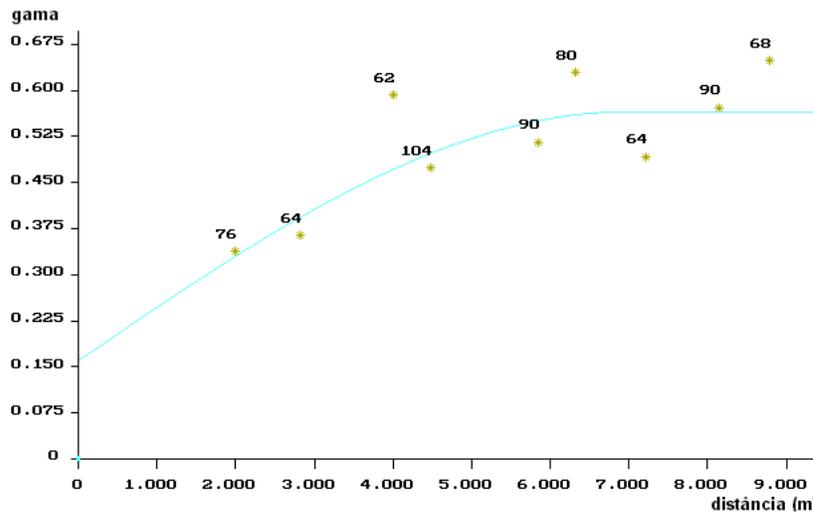


Figura 5.2.10 - Semivariograma esférico da Resistência do Solo à Penetração, à profundidade de 100 – 200 mm, mobilizado por escarificador + grade leve.

Para a profundidade de 0 a 200 mm, o semivariograma para a RSP mostrou-se semelhante ao modelo anteriormente descrito. Este fato identificando modelos iguais para a RSP tem sentido a partir dos dados que foram coletados e analisados, porque fazem parte de um mesmo conjunto, ou seja, os dados são os mesmos atribuídos às duas profundidades.

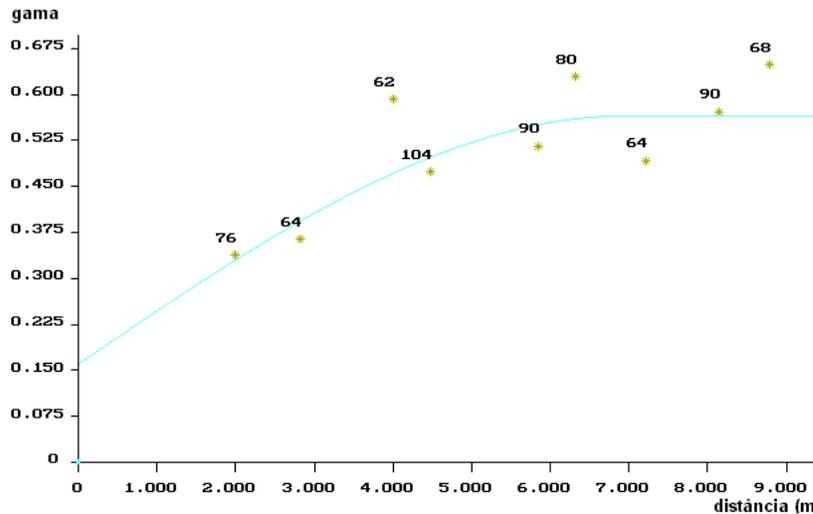


Figura 5.2.11 - Semivariograma esférico da Resistência do Solo à Penetração , à profundidade de 0 – 200 mm, mobilizado por escarificador + Grade leve.

### 5.2.3.2 Krigagem

As Figuras 5.2.12 e 5.2.13 mostram os mapas da distribuição espacial estimado por krigagem e desvio padrão da resistência do solo à penetração obtidos nas profundidades de 100 a 200 mm e 0 a 200 mm, no tratamento 3 (escarificador + Grade leve), estimados por krigagem.

O mapa de isolinhas demonstra homogeneidade da RSP na maior parte da área trabalhada, apresentando valores de RSP em torno de 2 MPa. Nas áreas localizadas na parte superior direita da parcela os valores de resistência são maiores, ultrapassando os limites estipulados pela ASAE, que é de 2,25 Mpa. O percentual da área com valores abaixo do limite pode ser considerado significativo.

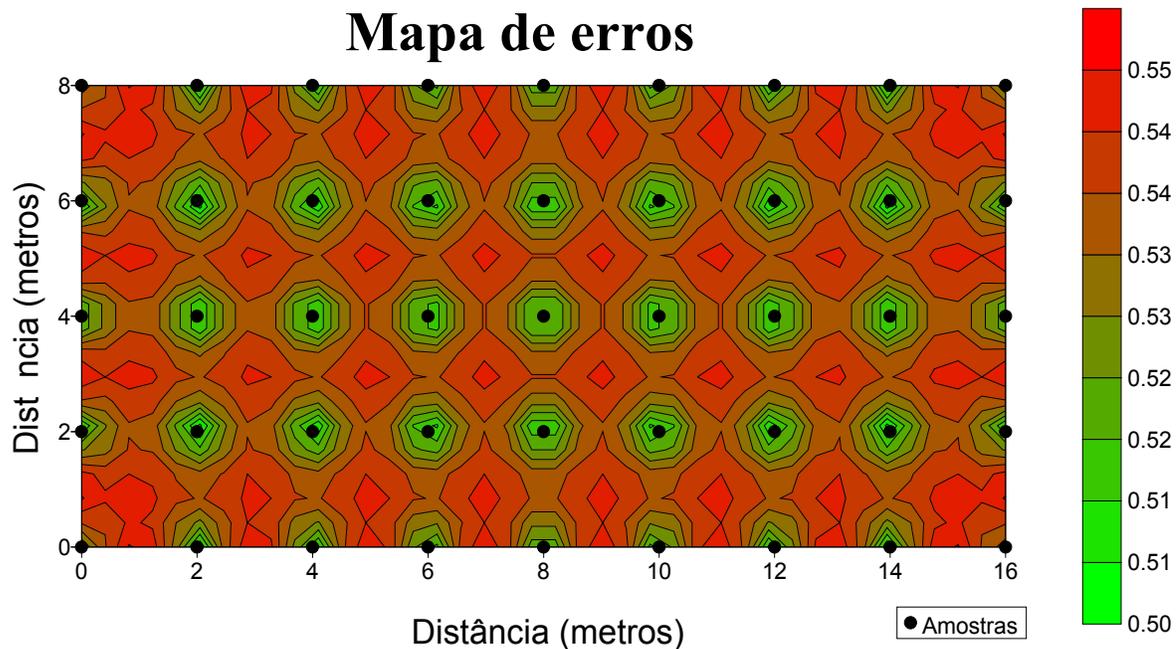
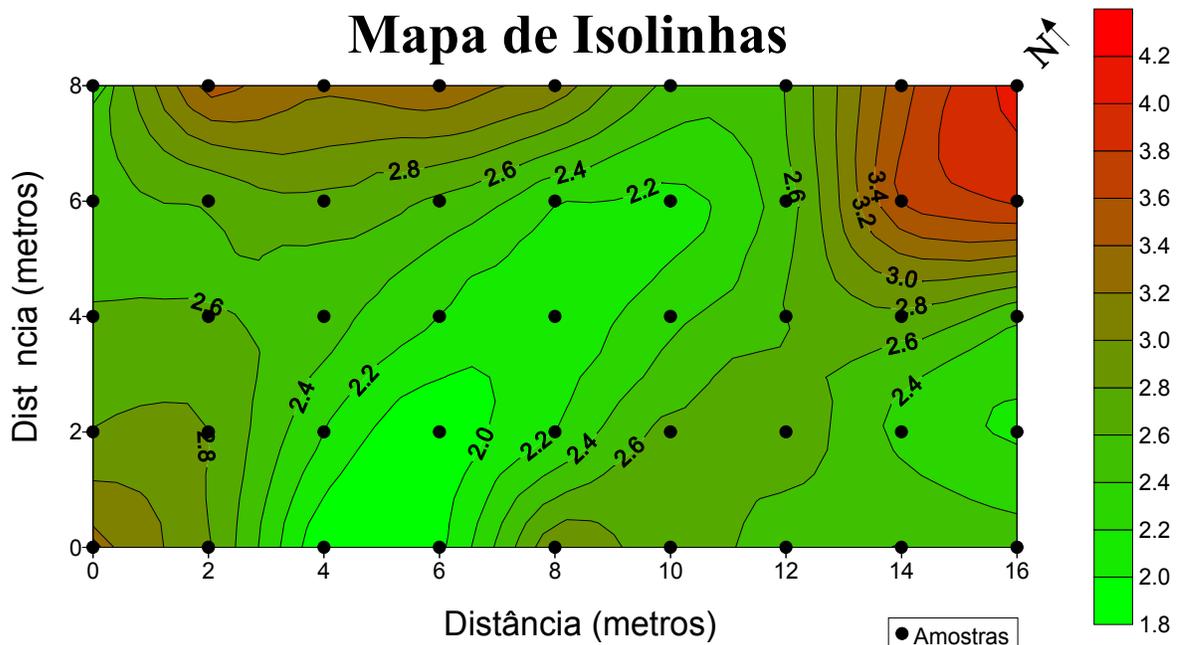


Figura 5.2.12 - Distribuição espacial e variância do parâmetro resistência do solo à penetração na profundidade de 100 - 200 mm, no tratamento 3 (escarificador+grade leve), estimado por krigagem.

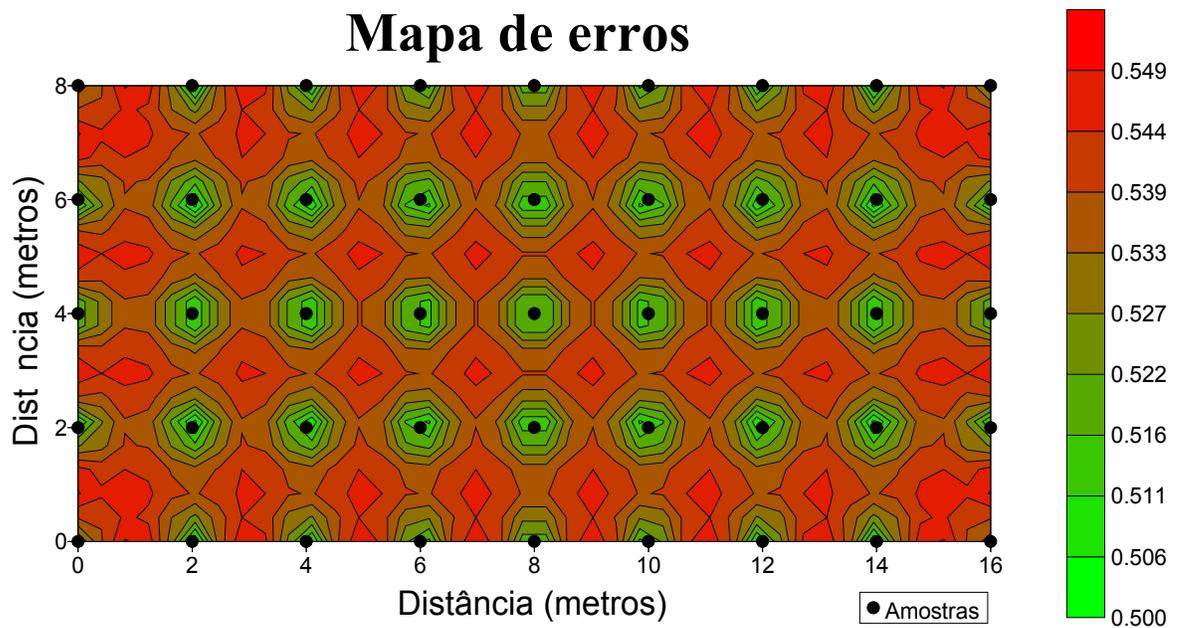
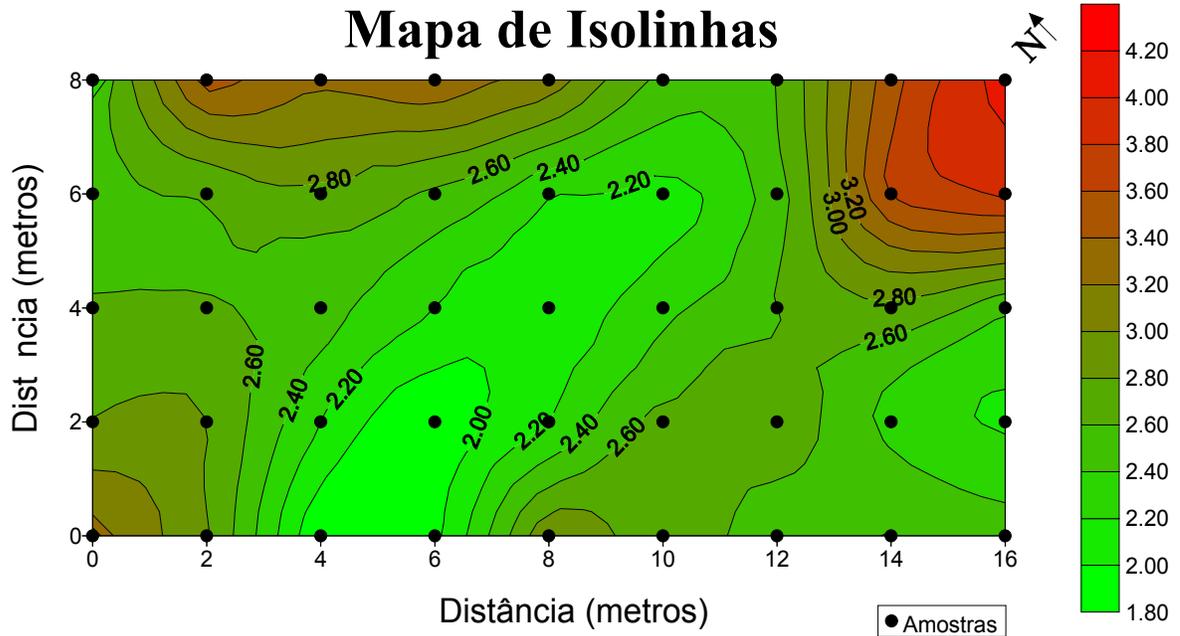


Figura 5.2.13 - Distribuição espacial e variância do parâmetro resistência do solo à penetração na profundidade de 0 - 200 mm, no tratamento 3 (escarificador+grade leve), estimado por krigagem.

Em função do tipo de solo estudado, ALAKUKKU (1998) encontrou maior RSP em solo argiloso para a profundidade de 350 a 430 mm enquanto para solo siltoso a RSP foi maior na profundidade de 250 a 350 mm.

Para solos com textura mais arenosa, MAPFUMO & CHANASYL (1998) encontraram correlação entre a RSP e a densidade global. Com o aumento da RSP, aumentou também a densidade. Para solos mais argilosos, a relação foi semelhante. Com o aumento da umidade, houve uma diminuição na RSP. Além disso, BECHER (1998) também verificou aumento da RSP com a profundidade de trabalho e com o aumento da tensão da água no agregado do solo.

#### 5.2.4 Estabilidade de agregados à seco (DMP)

A Figura 5.2.14 representa o percentual de modelos ajustados (25%) do parâmetro estabilidade de agregados, via seca, em função da participação do DMP. Dos 4 (quatro) modelos disponíveis, apenas o exponencial na profundidade de 0 a 200 mm atendeu aos critérios estabelecidos para ajuste.

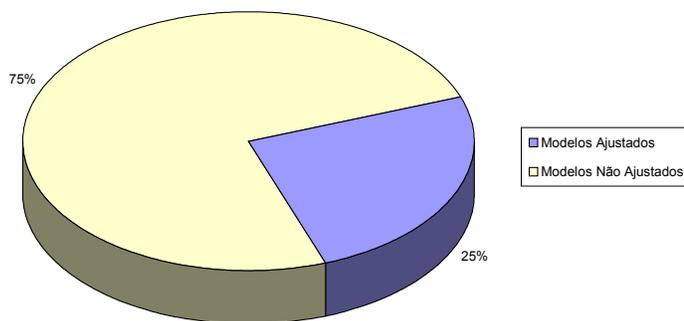


Figura 5.2.14 - Representação dos modelos ajustados e não ajustados referentes às profundidades de 0 – 200 mm, no parâmetro diâmetro médio ponderado, à seco

### 5.2.4.1 Semivariograma

A análise da dependência espacial para o tratamento com escarificador seguido de Grade leve (T3), na profundidade de 0 a 200 mm, mostra um semivariograma do tipo exponencial, com alcance de 2,74 m (Figura 5.2.15).

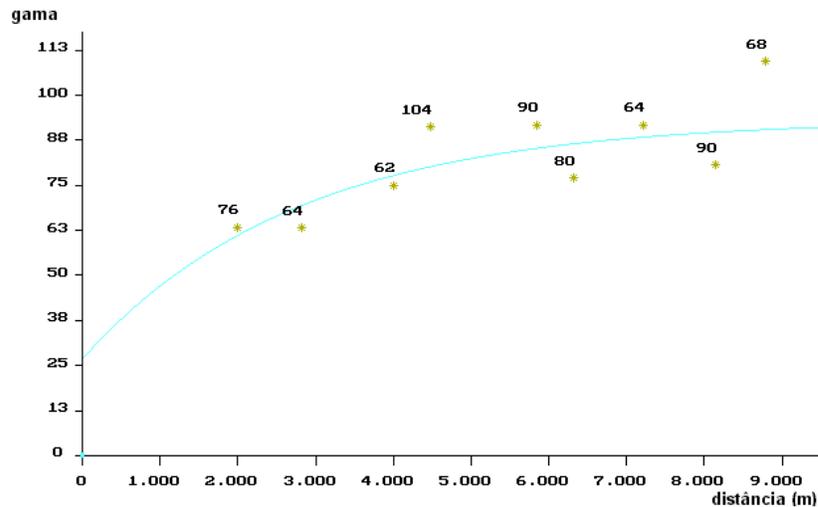


Figura 5.2.15 Semivariograma exponencial da estabilidade de agregados, via seca, à profundidade de 0 –200 mm, no solo, mobilizado por escarificador + Grade leve.

### 5.2.4.2 Krigagem

Os mapas oriundos dos dados obtidos na estabilidade de agregados via seca registram informações visuais de como se comportou o DMP do solo ao aplicar sobre um tipo de mobilização, como é o caso do tratamento 3 (escarificador + Grade leve).

Os maiores diâmetros médios ponderados estão localizados na parte central da parcela objeto do estudo, sendo que os menores diâmetros ficaram expostos na área lateral superior, ou seja, a área mais alta da parcela (Figura 5.2.16). É bem provável que a ação da grade niveladora tenha influenciado na concentração dos agregados nesta faixa lateral, em função do modelo da grade e também porque no

meio da parcela a ação de recobrimento pode ter influenciado na quebra dos agregados.

Análise complementar pode ser vista no mapa de erros do parâmetro estudado (figura 5.2.16) onde a tendência em apresentar maiores variações entre os pontos estudados estão justamente tendendo às maiores distâncias.

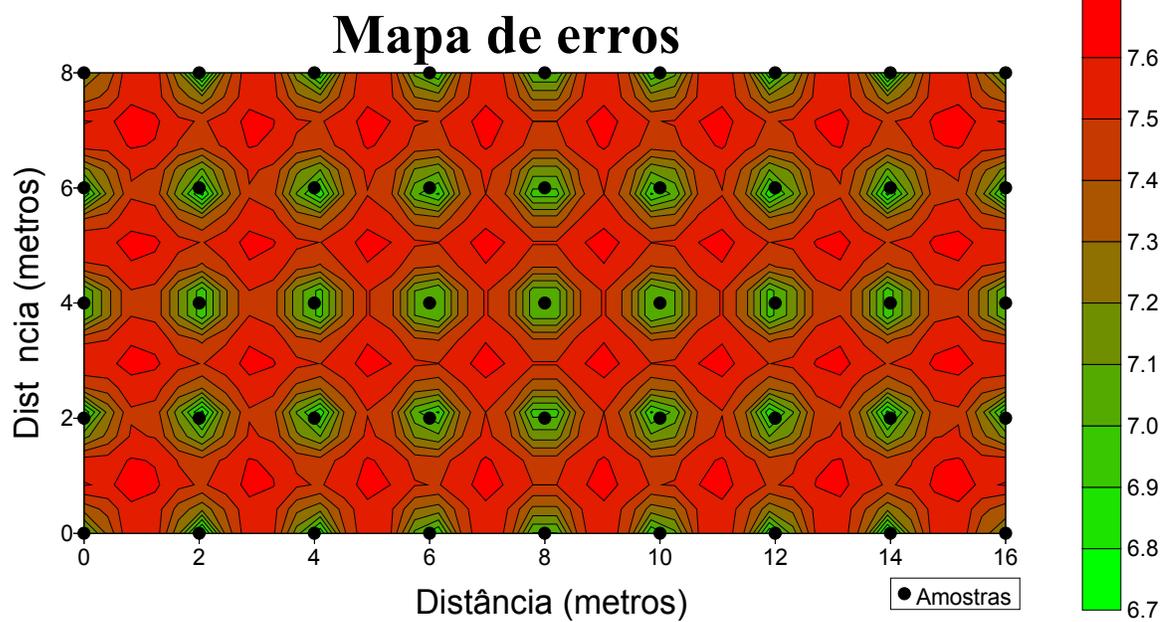
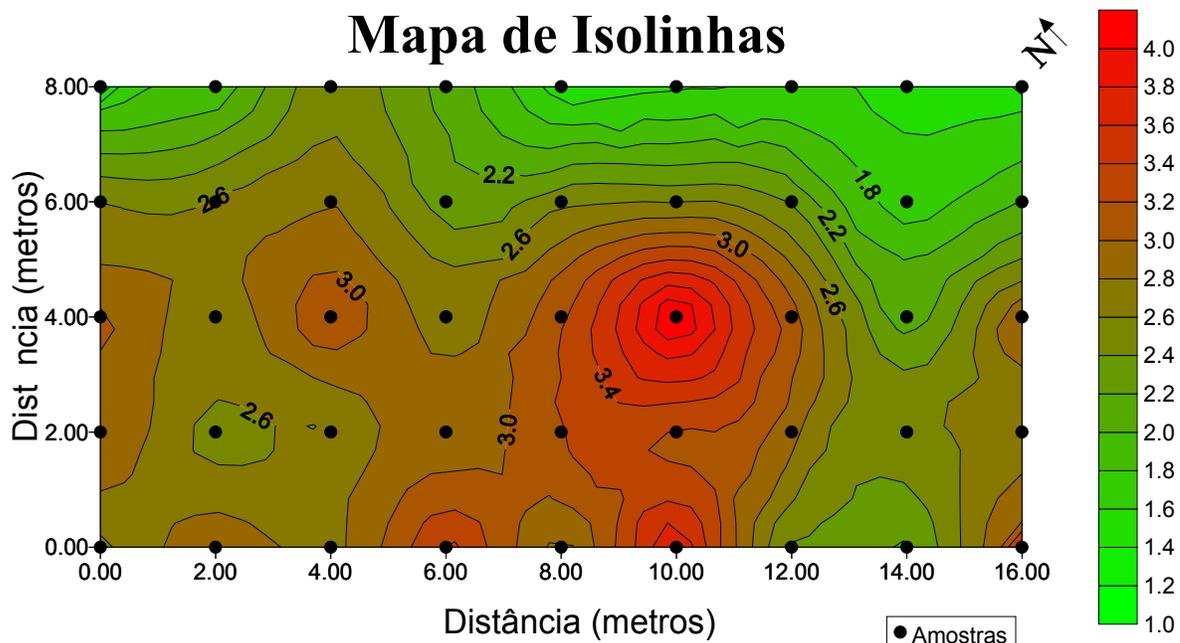


Figura 5.2.16 - Distribuição espacial e variância do parâmetro diâmetro médio ponderado, por via seca, na profundidade de 0 - 200 mm, no tratamento 3 (escarificador+grade leve), estimado por krigagem.

### 5.2.5 Diâmetro Médio Geométrico (DMG)

A determinação da agregação do solo via seco permitiu ajustar apenas um modelo referente à profundidade de 0 a 200 mm, conforme pode ser visto na Figura 5.2.17.

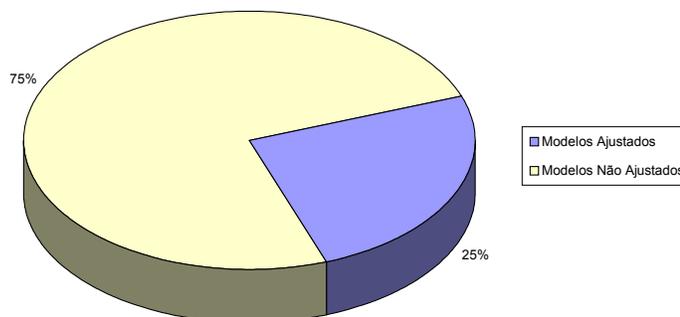


Figura 5.1.17 - Representação dos modelos ajustados e não ajustados referentes às profundidades de 0 – 200 mm, no parâmetro diâmetro médio geométrico.

#### 5.2.5.1 Semivariograma

O semivariograma para o parâmetro DMG apresenta um modelo esférico que representa a profundidade de 0 a 200 mm, cujo alcance foi de 5,88 m, ou seja, ao coletar amostras para análises de DMG nas condições em que foram desenvolvido este trabalho, considerando a dependência espacial, esta distância pode ser considerada.

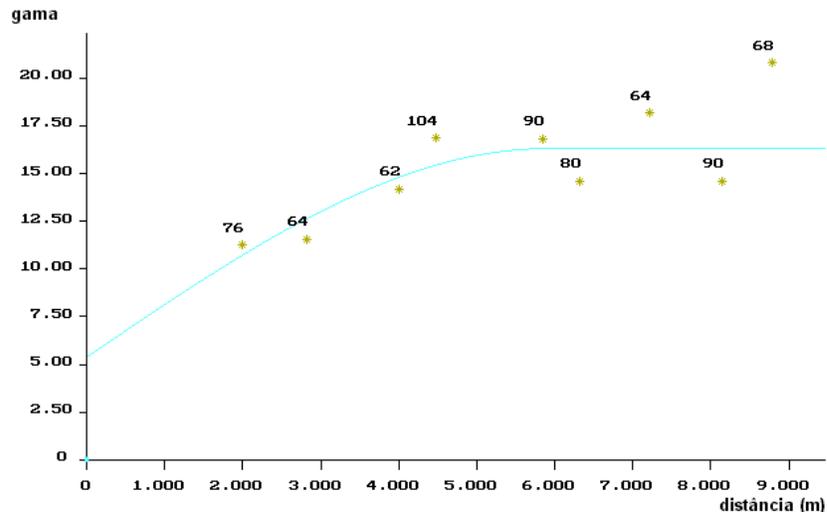


Figura 5.2.18 - Semivariograma esférico do Diâmetro Médio Geométrico , à profundidade de 0 -200 mm, mobilizado por escarificador + Grade leve.

### 5.2.5.2 Krigagem

A figura 5.2.19 mostra os gráficos de DMG na profundidade de 0 a 200 mm, representando a distribuição espacial dos dados coletados, revelando uma variação entre 6 e 16 mm para os agregados, numa visão espacial bastante heterogênea.

Na porção central da área analisada observou-se maior concentração de agregados com diâmetros maiores, enquanto na parte superior direita, pode-se visualizar uma concentração de agregados com diâmetros menores. Sem dúvida, a ação da ferramenta agrícola é a responsável por esta concentração de percentual maior de agregados na parte central. É possível que em função da direção e sentido das operações isto pode explicar o fato de que, no centro das parcelas, acumulou mais agregados maiores. Outra explicação pode estar relacionada à declividade do terreno e ao estado inicial do solo.

O mapa de erros expressa os valores estimados de variância pela interpolação por krigagem e de forma indireta, podendo indicar os locais onde deveriam ocorrer

futuras amostragens adicionais. A medida que se afasta dos pontos amostrados, aumenta-se o erro sobre os valores estimados.

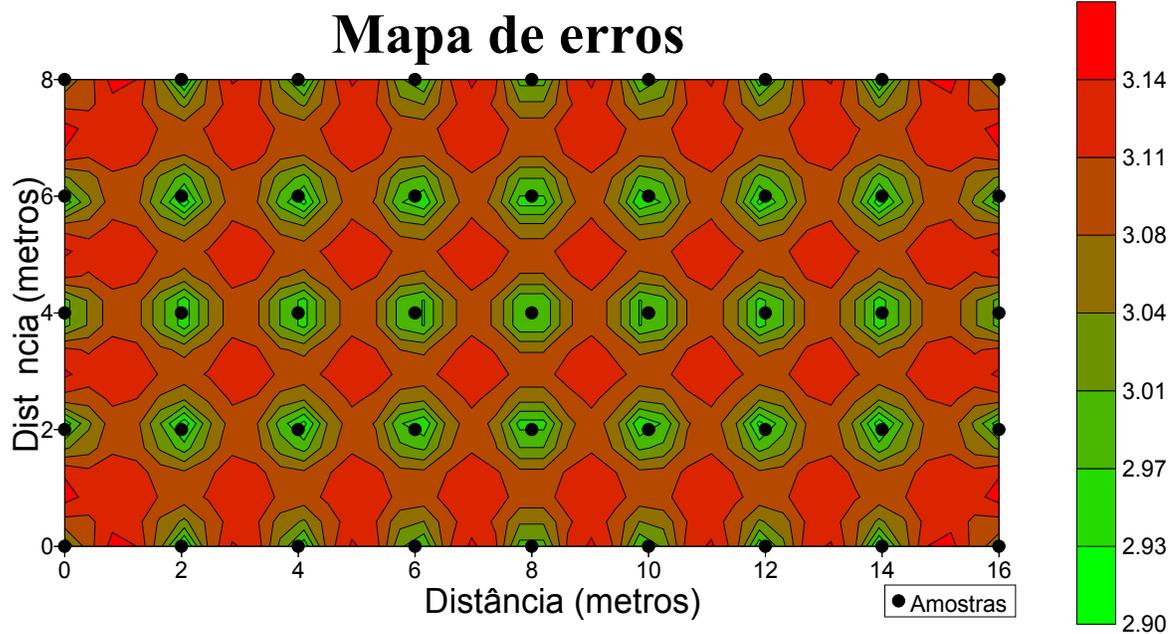
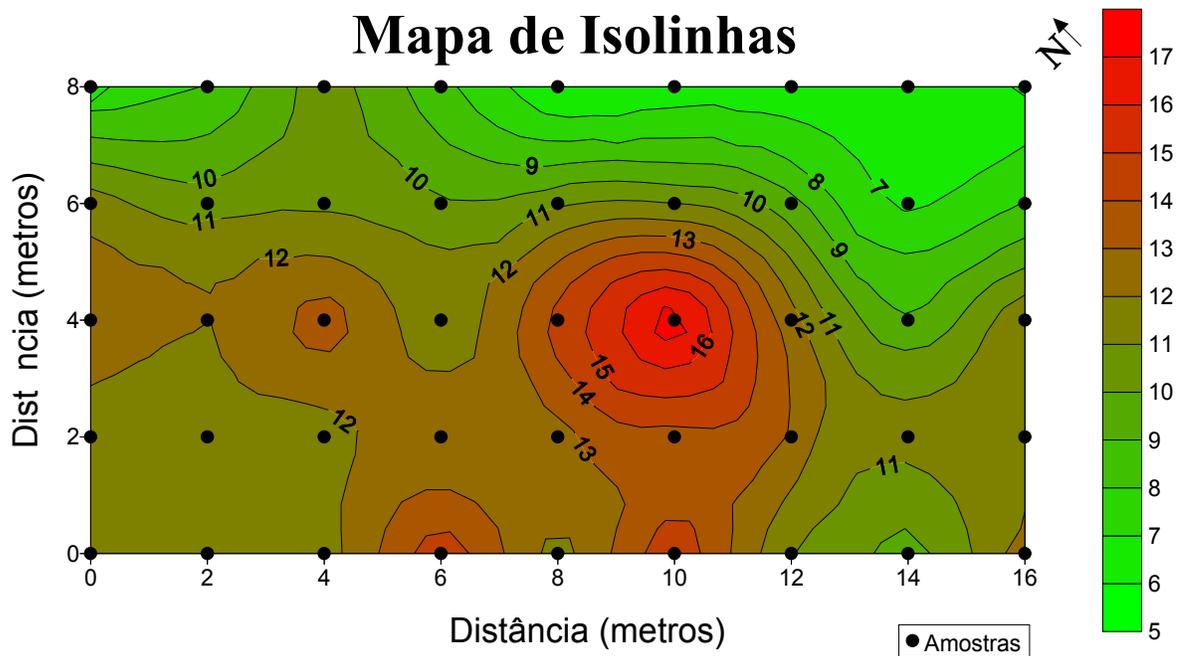


Figura 5.2.19 - Distribuição espacial e variância do parâmetro diâmetro médio geométrico na profundidade de 0 – 200 mm, no tratamento 3 (escarificador+grade leve), estimado por krigagem.

### 5.2.6 Infiltração de água no solo

Como um dos parâmetros mais importantes na avaliação das condições em que se encontra a superfície no momento do contato entre a água e o solo, a infiltração depende das modificações na estrutura do solo afetadas pelos equipamentos de preparo. É importante observar, que a relação entre a estabilidade dos agregados do solo, da macro e microporosidade assim como da densidade, proporcionam taxas de infiltração diferentes quando se modifica a estrutura, pelo uso de máquinas e implementos agrícolas.

A figura 5.2.20 representa o percentual de modelos ajustados e não ajustados para o parâmetro infiltração de água no solo.

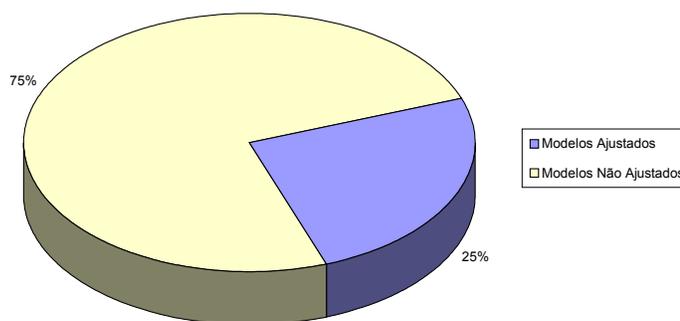


Figura 5.2.20 - Representação dos modelos ajustados e não ajustados referentes às profundidades de 0 – 200 mm , no parâmetro infiltração.

A infiltração de água no solo, obedecendo aos critérios previamente estabelecidos para a seleção de semivariogramas, produziu um modelo, do tipo esférico, relacionando-o à profundidade de 0 a 200 mm, conforme pode-se ver na figura 5.2.21. Analisando a estrutura deste modelo, verifica-se um alcance para determinação da distância igual a 3,42 metros, significando desta forma, que considerando a dependência espacial, esta distância poderá ser adotada como limite entre pontos coletados.

### 5.2.6.1 Semivariogramas

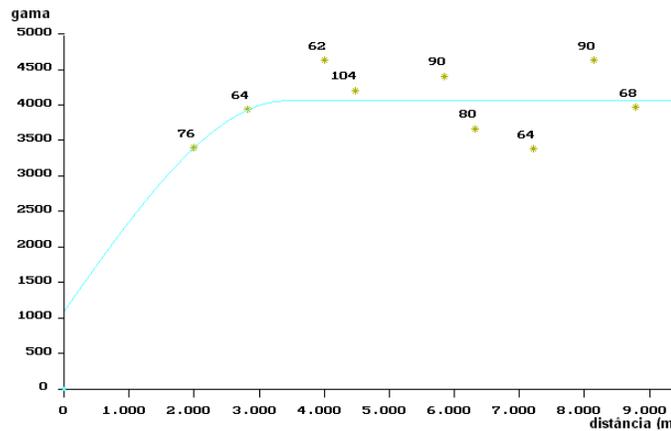


Figura 5.2.21 - Semivariograma esférico da infiltração de água no solo, na profundidade de 0 –200 mm , no solo mobilizado por arado de disco + Grade leve.

Dependendo do tipo e das condições do solo, a taxa de infiltração pode ser muito variável. VIEIRA et al. (1981) mediram a taxa de infiltração em um solo considerado homogêneo e verificaram dependência espacial sobre uma distância igual a 50 metros, enquanto outros pesquisadores, como Gurovich & Stern, citados por SILVA (1988) encontram dependência espacial para taxas de infiltração em torno de 20 metros.

### 5.2.6.2 Krigagem

A determinação dos mapas de variabilidade espacial e erros mostra que a infiltração de água no solo foi bastante homogênea ao longo da área estudada ou seja, em grande parte da parcela, o tratamento com arado de discos produziu situações mais regulares. Apenas uma pequena área apresentou infiltração em torno de 160 mm/hora.

Ao longo da parcela experimental é possível verificar que há uma tendência de valores para as taxas de infiltração de água no solo em função de áreas

localizadas. É possível que a concentração de alguns pontos com maiores taxas de infiltração sejam função de fatores não relacionados à ferramenta em estudo, que neste caso, foi o arado de discos.

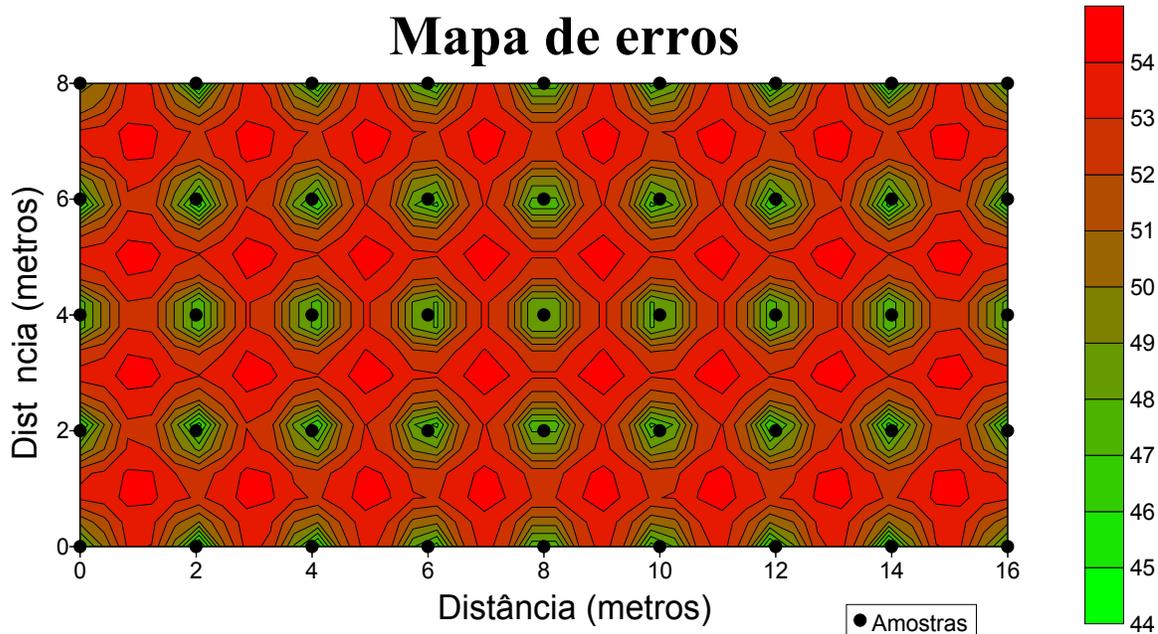
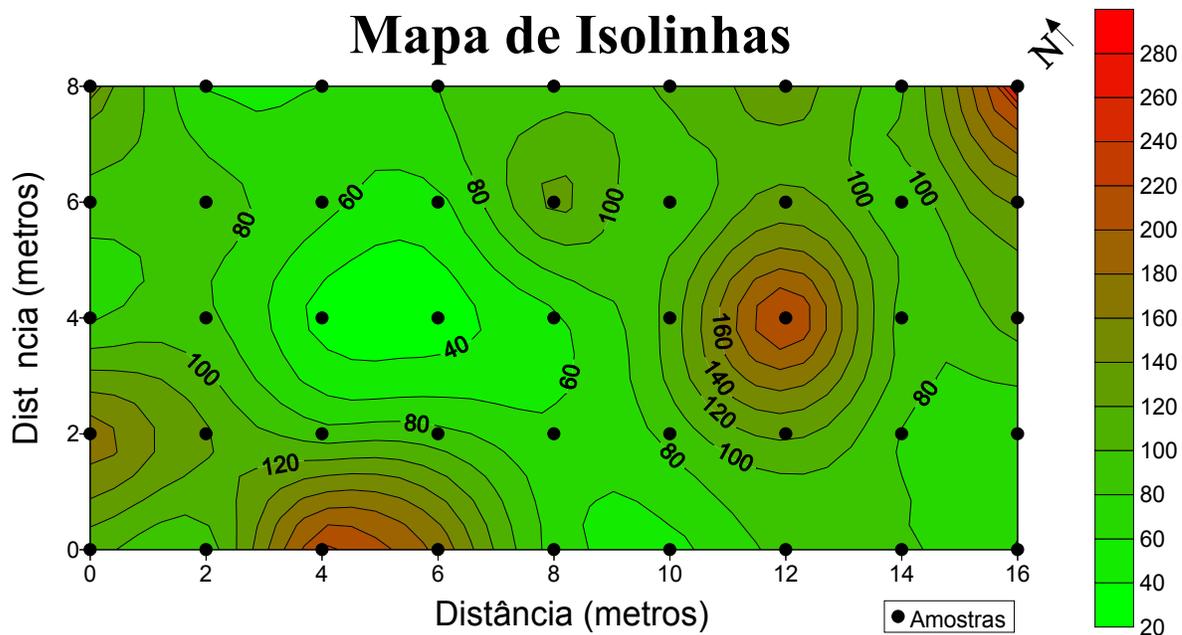


Figura 5.2.22 - Distribuição espacial e variância do parâmetro infiltração na profundidade de 0 - 200 mm, no tratamento 2, estimado por krigagem em Latossolo Roxo distrófico, Campinas 1998.

## 5.2.7 Umidade

A variabilidade da umidade tem sido notada em vários trabalhos de pesquisa, mostrando sua interferência na variação de outros atributos do solo, quando se efetua o manejo com ferramentas agrícolas.

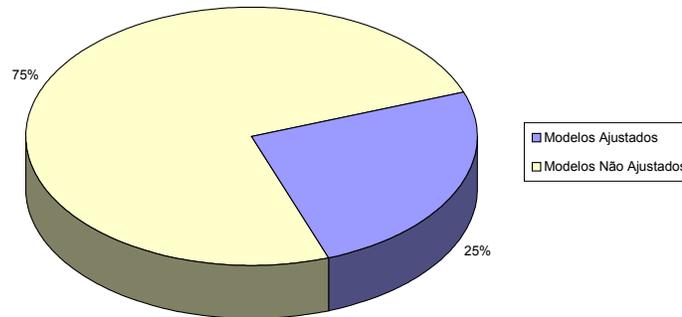


Figura 5.2.23 - Representação dos modelos ajustados e não ajustados referente à profundidade de 0 – 200 mm, no parâmetro físico umidade.

Muito importante na avaliação de alguns parâmetros físicos, a umidade no solo, segundo UNGER & JONES (1998), pode explicar os diferenciados níveis de resistência do solo à penetração, principalmente em plantio direto, em função de diferenciados teores de umidade.

### 5.2.7.1 Semivariograma

O semivariograma mostrado na figura 5.2.24, modelo exponencial, com alcance de 1,05 m, foi o único que se ajustou aos critérios previamente estabelecidos neste trabalho.

Dos modelos que permitiram ajuste, a umidade foi o parâmetro que apresentou menor valor de alcance, ou seja, a dependência espacial da umidade no tratamento com arado de discos foi de 1,05 m, na profundidade de 0 a 200 mm.

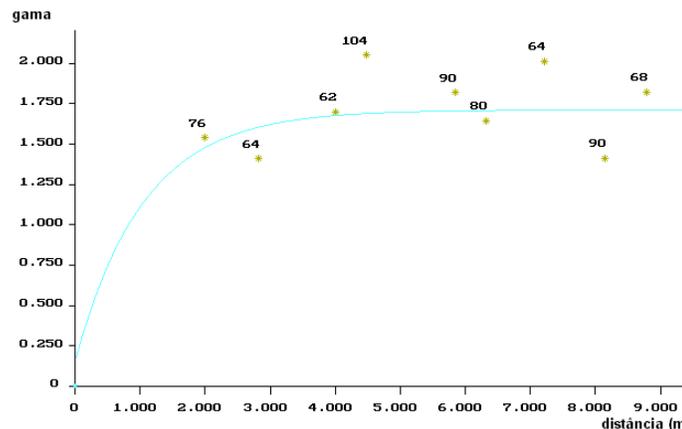


Figura 5.2.24 - Semivariograma exponencial da umidade do solo, na profundidade de 0–200 mm, no solo mobilizado por arado de disco + Grade leve.

### 5.2.7.2 Krigagem

A figura 5.2.25 representa os mapas de variação espacial e erros do parâmetro umidade, estudado sob a influência de diferentes tipos de mobilização, no Latossolo Roxo estudado.

Como era de se esperar, o mapa de isolinhas produzido pelos dados de umidade no tratamento com arado de discos, mostra-se bastante heterogêneo. Concentrações de teores maiores de umidade podem ser observados à noroeste da parcela, assim como na faixa central. Na extremidade lateral inferior da parcela observam-se teores mais baixos de umidade, o que, de certa forma, não condiz com o esperado, que seria a maior concentração de umidade na parte mais baixa em função da declividade do terreno. No entanto, por apresentar grande mobilização do solo, o arado de discos induz a uma perda de água no solo bastante significativa por expor as camadas mobilizadas às variações climáticas.

O mapa de erros expressa os valores estimados do desvio padrão através da interpolação por krigagem e de forma indireta, pode indicar os locais onde

deveriam ocorrer futuras amostragens adicionais. Os maiores valores são encontrados entre os centros dos pontos amostrados (Figura 5.2.25).

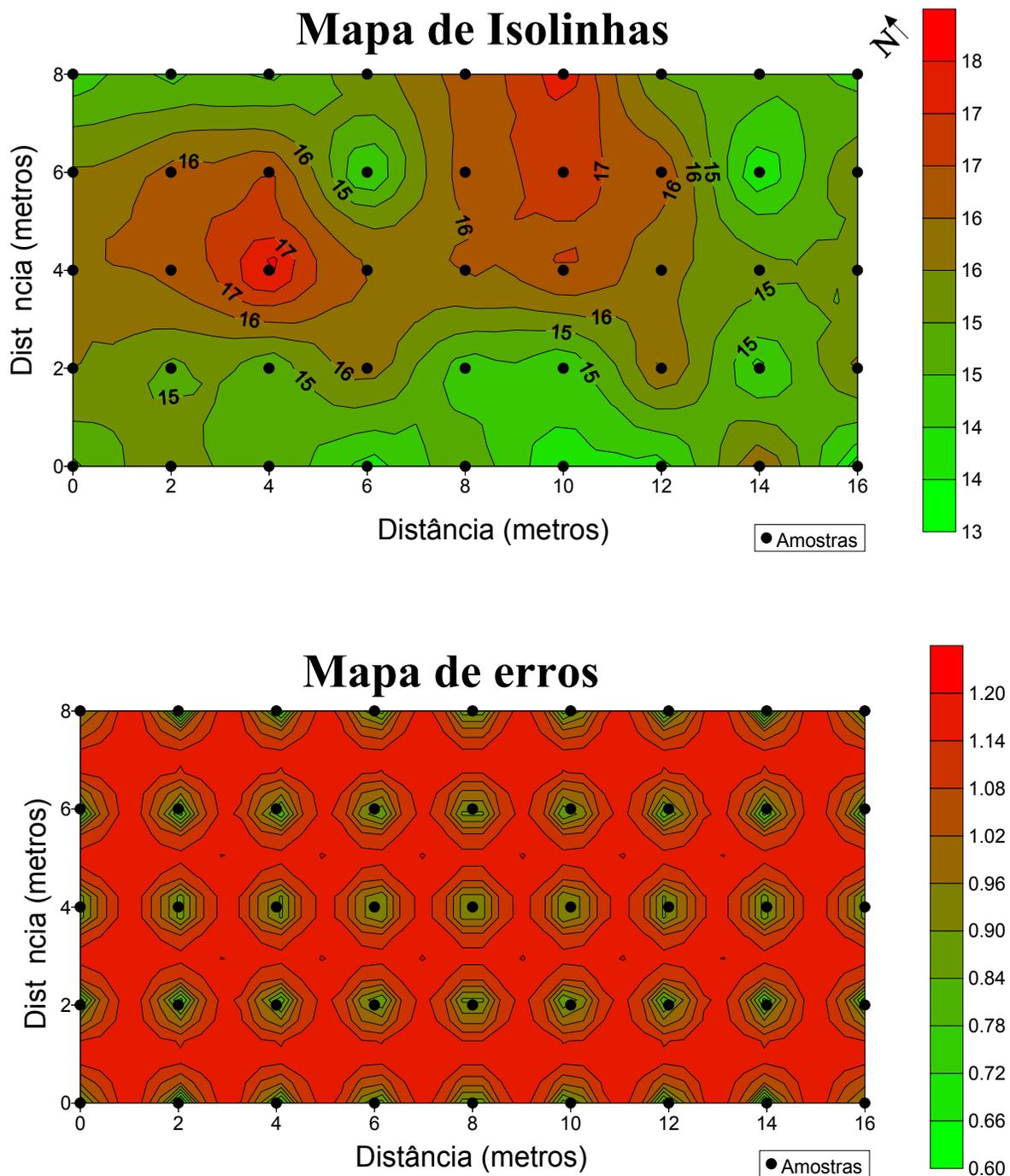


Figura 5.2.25 - Distribuição espacial e variância do parâmetro umidade na profundidade de 0 - 200 mm, no tratamento 2, estimado por krigagem em Latossolo Roxo distrófico, Campinas 1998.

Tabela 5.13 - Número necessário de amostras para estimar parâmetros físicos de um Latossolo Roxo distrófico solo considerando cinco pontos aleatórios e um erro de 10% em torno da média.

<b>Parâmetros</b>	<b>TRATAMENTOS</b>			
	<b>TEST.</b>	<b>AD+GN</b>	<b>ES+GN</b>	<b>GA+GN</b>
<b>0-100 mm</b>				
Densidade do Solo (Mg. <sup>m-3</sup> )	0,61	1,03	0,42	0,25
Macroporosidade (%)	12,48	16,35	12,68	4,56
Microporosidade (%)	0,29	3,87	5,76	0,19
Porosidade Total (%)	0,71	0,99	0,19	0,52
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	26,65	13,87	48,87	23,51
DMP-ÁGUA (mm)	4,52	5,08	5,55	1,41
<b>100-200 mm</b>				
Densidade do Solo (Mg. <sup>m-3</sup> )	1,52	14,80	3,36	1,75
Macroporosidade (%)	44,15	65,87	15,48	27,69
Microporosidade (%)	0,96	2,86	0,27	0,90
Porosidade Total (%)	1,45	2,16	1,62	0,93
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	25,13	0,49	13,98	42,79
DMP-ÁGUA (mm)	15,20	3,57	5,95	11,58
<b>0-200 mm</b>				
DMP-SECO (mm)	3,61	28,64	97,72	27,82
DMG (mm)	3,54	29,61	82,42	23,81
Infiltração de água (mm/h)	192,51	318,02	43,23	35,19
Umidade (%)	2,17	3,64	2,90	5,03
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	25,13	0,49	13,98	42,79

TEST – Testemunha; AD+GN – Arado de discos + Grade leve; ES+GN – Escarificador + Grade leve; GA+GN – Grade pesada + Grade leve.

Tabela 5.14 - Número necessário de amostras para estimar parâmetros físicos do solo considerando quarenta e cinco pontos aleatórios e um erro de 10% em torno da média.

<b>Parâmetros</b>	<b>TRATAMENTOS</b>			
	<b>TEST.</b>	<b>AD+GN</b>	<b>ES+GN</b>	<b>GA+GN</b>
<b>0-100 mm</b>				
Densidade do Solo (Mg. <sup>m-3</sup> )	3,34	1,84	5,10	3,76
Macroporosidade (%)	58,95	13,93	12,89	9,39
Microporosidade (%)	4,38	5,86	5,10	2,59
Porosidade Total (%)	1,60	1,19	1,20	1,18
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	48,60	78,60	99,12	16,65
DMP-ÁGUA (mm)	7,09	9,08	10,36	8,43
<b>100-200 mm</b>				
Densidade do Solo (Mg. <sup>m-3</sup> )	1,85	4,35	4,78	3,40
Macroporosidade (%)	193,48	86,97	34,98	40,26
Microporosidade (%)	2,60	4,39	4,18	1,62
Porosidade Total (%)	3,98	1,07	1,04	0,98
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	41,83	9,99	28,79	18,51
DMP-ÁGUA (mm)	4,93	8,62	9,37	6,93
<b>0-200 mm</b>				
DMP-SECO (mm)	16,98	20,45	47,52	41,35
DMG (mm)	19,23	20,06	48,77	26,36
Infiltração de água (mm/h)	191,12	157,54	135,67	121,54
Umidade (%)	0,81	2,74	3,08	0,95
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	41,83	9,99	28,79	18,51

TEST – Testemunha; AD+GN – Arado de discos + Grade leve; ES+GN – Escarificador + Grade leve; GA+GN – Grade pesada + Grade leve.

Tabela 5.15 - Número necessário de amostras para estimar parâmetros físicos do solo considerando cinco pontos amostrados em diagonal ascendente e um erro de 10% em torno da média.

<b>Parâmetros</b>	<b>TRATAMENTOS</b>			
	<b>TEST.</b>	<b>AD+GN</b>	<b>ES+GN</b>	<b>GA+GN</b>
<b>0-100 mm</b>				
Densidade do Solo ( $\text{Mg.}^{\text{m}^{-3}}$ )	6,10	2,02	4,02	1,53
Macroporosidade (%)	58,77	24,93	22,19	9,45
Microporosidade (%)	0,92	2,94	5,88	2,18
Porosidade Total (%)	1,51	0,78	1,41	1,27
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	27,11	121,30	89,11	46,36
DMP-ÁGUA (mm)	8,96	1,67	8,79	10,84
<b>100-200 mm</b>				
Densidade do Solo ( $\text{Mg.}^{\text{m}^{-3}}$ )	3,11	5,22	2,39	2,58
Macroporosidade (%)	91,53	98,34	22,21	53,34
Microporosidade (%)	0,48	3,03	2,12	2,37
Porosidade Total (%)	1,91	0,78	1,18	1,25
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	24,00	5,78	46,23	39,75
DMP-ÁGUA (mm)	9,83	2,52	12,77	5,94
<b>0-200 mm</b>				
DMP-SECO (mm)	29,72	8,10	30,10	23,38
DMG (mm)	29,79	6,82	39,84	15,52
Infiltração de água (mm/h)	67,05	223,22	119,21	91,56
Umidade (%)	0,55	2,37	1,69	0,41
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	24,00	5,78	46,23	39,75

TEST – Testemunha; AD+GN – Arado de discos + Grade leve; ES+GN – Escarificador + Grade leve; GA+GN – Grade pesada + Grade leve.

Tabela 5.16 - Número necessário de amostras para estimar parâmetros físicos do solo considerando cinco pontos amostrados em diagonal descendente e um erro de 10% em torno da média.

<b>Parâmetros</b>	<b>TRATAMENTOS</b>			
	<b>TEST.</b>	<b>AD+GN</b>	<b>ES+GN</b>	<b>GA+GN</b>
<b>0-100 mm</b>				
Densidade do Solo (Mg. <sup>m-3</sup> )	3,40	2,36	1,83	7,54
Macroporosidade (%)	65,16	23,82	4,10	11,22
Microporosidade (%)	1,61	3,96	1,01	0,75
Porosidade Total (%)	1,13	0,77	1,48	0,97
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	34,83	167,16	155,06	11,12
DMP-ÁGUA (mm)	5,69	5,60	7,53	5,07
<b>100-200 mm</b>				
Densidade do Solo (Mg. <sup>m-3</sup> )	2,01	3,34	6,52	2,89
Macroporosidade (%)	111,56	126,30	62,01	35,05
Microporosidade (%)	2,51	1,64	12,94	1,92
Porosidade Total (%)	31,25	2,01	0,69	1,22
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	83,16	11,61	10,92	23,00
DMP-ÁGUA (mm)	4,70	0,75	5,98	6,42
<b>0-200 mm</b>				
DMP-SECO (mm)	11,63	18,97	42,79	19,17
DMG (mm)	3,91	18,03	46,08	18,19
Infiltração de água (mm/h)	56,29	108,89	171,05	236,20
Umidade (%)	0,06	4,61	1,29	0,52
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	83,16	11,61	10,92	23,00

TEST – Testemunha; AD+GN – Arado de discos + Grade leve; ES+GN – Escarificador + Grade leve; GA+GN – Grade pesada + Grade leve.

Tabela 5.17 - Número necessário de amostras para estimar parâmetros físicos do solo considerando cinco pontos amostrados na posição longitudinal e um erro de 10% em torno da média.

<b>Parâmetros</b>	<b>TRATAMENTOS</b>			
	<b>TEST.</b>	<b>AD+GN</b>	<b>ES+GN</b>	<b>GA+GN</b>
<b>0-100 mm</b>				
Densidade do Solo (Mg. <sup>m-3</sup> )	0,44	0,75	1,78	3,52
Macroporosidade (%)	6,55	38,04	18,98	16,68
Microporosidade (%)	0,63	9,95	7,90	2,74
Porosidade Total (%)	0,15	0,32	0,76	0,97
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	11,90	66,90	94,64	31,71
DMP-ÁGUA (mm)	11,94	16,56	9,96	2,38
<b>100-200 mm</b>				
Densidade do Solo (Mg. <sup>m-3</sup> )	1,81	3,51	5,97	4,69
Macroporosidade (%)	41,62	137,98	48,84	75,75
Microporosidade (%)	2,76	4,13	3,85	2,01
Porosidade Total (%)	0,56	1,63	0,94	1,82
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	37,88	7,51	8,41	59,33
DMP-ÁGUA (mm)	2,39	1,65	15,53	13,82
<b>0-200 mm</b>				
DMP-SECO (mm)	29,70	15,53	2,23	69,78
DMG (mm)	23,88	15,06	4,82	50,91
Infiltração de água (mm/h)	79,31	427,67	249,13	125,01
Umidade (%)	1,33	2,03	4,74	0,39
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	37,88	7,51	8,41	59,33

TEST – Testemunha; AD+GN – Arado de discos + Grade leve; ES+GN – Escarificador + Grade leve; GA+GN – Grade pesada + Grade leve.

Tabela 5.18 - Número necessário de amostras para estimar parâmetros físicos do solo considerando cinco pontos amostrados na posição transversal e um erro de 10% em torno da média.

<b>Parâmetros</b>	<b>TRATAMENTOS</b>			
	<b>TEST.</b>	<b>AD+GN</b>	<b>ES+GN</b>	<b>GA+GN</b>
<b>0-100 mm</b>				
Densidade do Solo ( $Mg.m^{-3}$ )	0,66	2,18	13,54	0,36
Macroporosidade (%)	11,72	13,47	40,03	17,00
Microporosidade (%)	1,21	10,40	8,29	0,74
Porosidade Total (%)	0,58	4,65	1,36	1,31
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	38,53	91,15	197,54	13,85
DMP-ÁGUA (mm)	2,88	12,71	15,59	6,48
<b>100-200 mm</b>				
Densidade do Solo ( $Mg.m^{-3}$ )	0,24	2,38	3,96	8,41
Macroporosidade (%)	158,73	36,22	42,85	47,02
Microporosidade (%)	0,32	2,05	5,42	1,31
Porosidade Total (%)	3,22	0,75	0,70	1,63
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	7,82	17,42	47,34	11,04
DMP-ÁGUA (mm)	2,15	1,86	21,47	6,74
<b>0-200 mm</b>				
DMP-SECO (mm)	25,14	9,73	52,72	33,17
DMG (mm)	30,11	11,27	67,95	20,91
Infiltração de água (mm/h)	112,06	126,24	23,17	31,94
Umidade (%)	0,50	1,73	0,50	0,65
Resistência do Solo à Penetração (Mpa)	7,82	17,42	47,34	11,04

TEST – Testemunha; AD+GN – Arado de discos + Grade leve; ES+GN – Escarificador + Grade leve; GA+GN – Grade pesada + Grade leve.

As tabelas 5.13 a 5.18 apresentam valores referentes aos números necessários de amostras para se estimarem parâmetros físicos do solo, conforme diferentes esquemas de amostragens.

Os valores médios para determinação dos números necessários de amostras para avaliação dos parâmetros físicos do solo quando se pretendeu comparar diferentes tipos de manejo em Latossolo Roxo distrófico, onde os tratamentos são caracterizados por área não mobilizada, arado de discos, escarificador e grade

pesada ambos seguido por gradagem niveladora, estão registrados na tabela abaixo.

Tabela 5.19 Representação média do número de amostras coletadas em função dos melhores esquemas de amostragens, profundidade de amostragens e tipos de manejos.

<b>Parâmetros</b>	<b>Plano de Coleta</b>	<b>TRATAMENTOS</b>			
		<b>TEST.</b>	<b>AD+GN</b>	<b>ES+GN</b>	<b>GA+GN</b>
<b>0-100 mm</b>					
Densidade do Solo ( $\text{Mg.m}^{-3}$ )	Longitudinal	1	1	2	4
Macroporosidade (%)	Aleatório	12	16	13	5
Microporosidade (%)	Aleatório	1	4	6	1
Porosidade Total (%)	Longitudinal	1	1	1	1
Resistência do Solo à Penetração (MPa)	Aleatório	27	14	49	24
DMP-ÁGUA (mm)	Diagonal Descendente	6	6	8	5
DMP-SECO (mm)	Diagonal Ascendente	30	8	30	23
DMG (mm)	Diagonal Descendente	4	18	46	18
Infiltração de água (mm/h)	Transversal	112	126	23	32
Umidade (%)	Transversal	1	2	1	1

TEST – Testemunha; AD+GN – Arado de discos + Grade leve; ES+GN – Escarificador + Grade leve; GA+GN – Grade pesada + Grade leve.

Considerando os diversos esquema de amostragem, constata-se que em função dos parâmetros analisados, existem necessidades maiores de coletas para determinados parâmetros para que se procedam comparações adequadas entre tratamentos.

Alguns parâmetros, como é o caso da infiltração de água, exigiram um número muito grande de amostragens para determinados tratamentos, citando o tratamento testemunha (112 amostras) e o tratamento arado de discos (126 amostras) enquanto os demais tratamentos necessitaram de observações menos

numerosas, como no caso do escarificador (23 amostras) ou da grade pesada (32 amostras).

Tabela 5.20 – Esquema de amostragem, para cinco amostras, em função da propriedade do solo.

Propriedade do solo	Un	Esquema de amostragem	
		Menor número	Maior número
Densidade do solo	Mg.m <sup>-3</sup>	Longitudinal	Diagonal descendente
Macroporosidade	%	Aleatório	Diagonal descendente
Microporosidade	%	Aleatório	Longitudinal
Porosidade total	%	Longitudinal	Diagonal descendente
Resistência do solo à penetração (0-100)	MPa	Aleatório	Diagonal descendente
Resistência do solo à penetração (0-200)	MPa	Aleatório	Diagonal descendente
Estabilidade de agregados – DMP, via úmida	mm	Diagonal descendente	Longitudinal
Estabilidade de agregados – DMP, via seca	mm	Diagonal ascendente e descendente	Aleatório
Diâmetro Médio Geométrico – DMG	mm	Diagonal descendente	Aleatório
Infiltração de água	mm/h	Transversal	Longitudinal
Umidade	%	Aleatório	Transversal

No caso do tratamento testemunha, por ser tratar de uma área em pousio, a tendência é que haja variações muito grandes na taxas de infiltração, porque o movimento da água dependerá, em muito, da macroporosidade do solo, que por sua vez, é muito influenciada pela raízes por outras atividades biológicas.

Outra observação muito importante está relacionada aos esquema de amostragem. Parâmetros do solo como o DMP em água e o DMP à seco, assim como DMG, ajustaram-se melhor aos planos em diagonal, ou seja, os dados mostraram-se mais representativos nestes planos.

O plano transversal foi representativo nos parâmetros umidade e infiltração. Os dados de macro, micro e resistência do solo à penetração ajustaram melhor ao plano aleatório. Vale ressaltar que a RSP, quando relacionada ao tratamento com escarificador, exige um número considerável de amostras para se representar melhor a população dos dados. Pelo formato de mobilização do solo, era de se esperar que isso viesse a ocorrer.

## 6. Conclusões

Conforme os objetivos deste trabalho e a partir dos resultados encontrados, foi possível chegar às seguintes conclusões:

(a) mediante a análise estatística clássica pode-se constatar que o tipo de ferramenta agrícola provocou modificações diversificadas em vários parâmetros físicos do solo como densidade, macro, micro, porosidade total, resistência do solo à penetração, diâmetro médio ponderado (em água e seco), infiltração de água e umidade, sendo que o tipo de tratamento influenciou o conjunto dos resultados;

(b) usando a análise estatística clássica na avaliação de diferentes tipos de preparo do solo com números de amostragens diferentes (grupo de 5 amostras e grupo de 45 amostras) para comparações de médias, foi possível detectar diferenças estatísticas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de TUKEY, em valores antes não observados;

(c) alguns parâmetros do solo, como macroporosidade, resistência do solo à penetração, diâmetro médio ponderado (via seco), diâmetro médio geométrico e infiltração de água apresentaram coeficientes de variação altos e muito altos;

(d) usando-se a geoestatística, pode-se concluir que nas condições em que foi realizado este trabalho, a maioria dos parâmetros e profundidades analisados não revelaram dependência espacial, apresentando efeito pepita puro;

(e) para os parâmetros que apresentaram modelos geoestatísticos, sobressai o tratamento 3 (escarificador + Grade leve) como sendo o tratamento que apresentou a maior relação de dependência espacial;

(f) das profundidade analisadas, a profundidade de 0-200 mm foi a que apresentou o maior percentual de modelos geoestatísticos, onde os semivariogramas mostraram dependência espacial dos dados;

(g) a obtenção dos dados pelos diferentes esquemas de amostragens, mostrou necessidade diferenciada no número de amostras para comparação de resultados;

(h) pelos dados obtidos, a umidade do solo apresentou a menor exigência de coleta para os tratamentos estudados;

(i) o parâmetro que exigiu maior quantidade de amostras foi a infiltração de água no solo;

(j) devido à amplitude muito grande dos dados para comparação do efeito da ferramenta agrícola no preparo do solo, sob as condições em que foram desenvolvidas este trabalho, os parâmetros físicos como Resistência do Solo à Penetração (RSP), Diâmetro Médio Ponderado (DMP-seco), Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e Infiltração de água no solo (INF) deixam de ser essenciais para comparações estatísticas entre diferentes tipos de preparo.

## 7.Referências bibliográficas

ABRÃO, P.U.R.; GOEPFERT, C.F.; GUERRA, M.; ELTZ, F.L.F. & CASSOL, E.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, p.169-172, 1979.

ALAKUKKU, L. Properties of compacted fine-textured soils as affected by crop rotation na reduced tillage. **Soil & Tillage Research**, 47:83-89, 1998.

AMERICAN SOCIETY AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE Standards** 1990. St. Joseph, Michigan, 199 (n.p.).

ARZENO, L.J. Avaliação física de diferentes manejos de solo em um Latossolo Roxo distrófico. Piracicaba, 1990. 259p. **(Tese de Doutorado)**.

ASHBURNER, J. e SIMS, B. **Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza**. San José, Costa Rica: IICA, 1984. 474p.

ASAE. Soil penetrometer. **Agricultural Engineers yearbook**, 1978. p296-297.

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas Agrícolas**. São Paulo, Ed. Manole, 1987. 207p.

BARATA, F.E. **Propriedades mecânicas dos solos: uma introdução ao projeto de fundações**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 1984. p.52-80.

BARAÑAO, R. e CHIESA, A. **Las máquinas agrícolas**. Editora Omega, S/A, Casanova/Barcelona, 1979. 145-198p.

- BECHER, H.H. Resistances to penetration of aggregates from loess-derived topsoils at different soil water tensions. **Soil & Tillage Research**, 47:73-81, 1998.
- BELTRAME, L.F.S; GONDIM, L.A.P; e TAYLOR, J.C. **Influência da desestruturação e compactação na permeabilidade do solo**. Porto Alegre, UFRGS. (s.d.)
- BENATTI Jr., R.; FREIRE, O. e FRANÇA, G.V. Influência do tipo de arado, da profundidade e da intensidade de aração sobre a produção de culturas anuais em Latossolo Roxo. Botucatu, SP, **Engenharia Agrícola/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**., vol. 5, 1981. p7-13.
- BERTRAND, A.R. **Effect of tillage on soil properties and water content**. In. Tillage for greater crop production. ASAE, 1967. St. Joseph, Michigan, p. 30-31.
- BIELDERS, C.L; BAVEYE, P; WILDING, L.P; DREES, L.R. e VALENTIN, C. Tillage-induced spatial distribution of surface crusts on a sandy Paleustult from Togo. , **Soil Science Society American Journal**, 60:843-855, 1996.
- BOLLER, W.; KLEIN, V.A. e SCHONS, P. Estimativa de variação da porosidade total do solo em resposta ao tempo e diferentes sistemas de preparo e semeadura. **Trabalho de iniciação científica na disciplina Experimentação agrícola**, 1989 (n.p.).
- BRADFORD, J.M. Penetrability. In: A. Klute (ed.) Methods of soil Analysis Physical, Chemical and Mineralogical Methods. **American Society of Agronomy**. Madison, 1986.

- BURWELL, R.E, ALMARAS, R.R, e SLONEKER, L.L. Structural alteration of soil surfaces by tillage and rainfall. **Journal of soil and water conservation**. 1966, march/april, p61-63.
- BURWELL, R.E. Tillage influences water in take. **Journal of soil and water conservation**. 1968. p185-86.
- CAMARGO, O.A. de. **Compactação do Solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas, Fundação Cargil, 1983. 441p.
- CAPELLI, N.L; DANIEL, L.A. e MIGUEL, MARCOS A. Penetrômetro eletrônico para determinação de índice de cone de solos agrícolas. **Engenharia Agrícola/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**. Viçosa, Minas Gerais : SBEA, 1995. 14p.
- CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S/A. 1973. 242p.
- CASSEL, D.K. Tillage Effects on Soil Bulk Density and mechanical Impedance. In: Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. Properties and Processes. Madison, **ASA/SSSA**, 1982 (Special Publication nº 44). p. 45-67.
- CASTRO, O.M. de. **Aspecto de manejo do Solo: manejo e preparo do solo e erosão**. Fundação Cargil, Campinas, S.P., 1985. 971p.
- CENTURION, J.F. & DEMATTÊ, J.L.I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Rev. bras. ci. solo**, Campinas, 9:263-66. 1985.

- CHANCELLOR, W.J. **Compaction of soil by agricultural equipment**. Division of Agricultural Sciences, University of California, 1977.
- CORRÊA, J.C. Características físico-hídricas dos solos Latossolo Amarelo e Podzol Hidromórfico do Estado do Amazonas. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 1 (3):347-60, 1984.
- \_\_\_\_\_. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso do Estado do Amazonas. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 2 (11):1317-22, 1985.
- COUTO, E.G. Variabilidade espacial de propriedades do solo influenciadas pela agricultura em escala regional e local no sul do Estado de Mato Grosso. Porto Alegre, UFRGS, 1997. 178p. **(Tese de doutorado)**.
- CURI, N, LARACH, J.O.I, KÄMPF, N, MONIZ, A.C, e FONTES, L.E.F. **Vocabulário de Ciência do Solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.
- DALLMEYER, A., BOLLER, W. **A cultura da soja: máquinas para a cultura da soja**. Editora Globo, Rio de Janeiro, 1988. p213-244.
- DALLMEYER, A; GAMERO, C.A. e RAD, J.I.B. Peneira rotativa concêntrica para caracterização da distribuição do tamanho de agregados do solo à seco. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 1991. Anais.
- DALLMEYER, A. Avaliação energética e desempenho operacional de equipamentos de preparo do solo. Botucatu-SP, Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus de Botucatu, UNESP, 1994. (Tese de Doutorado).

- DANIEL, L.A, BENINCASA, M.M.D, BENINCASA, M. ORTOLANI, A.F. e MARETTI, H.J. Influência dos sistemas de plantio direto e convencional e da rotação de culturas sobre índices de produtividades de milho (*Zea mays*, L.) e de soja (*Glicine max*, L. Merrill). Cenea/MA, Engenharia Agrícola/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola., vol. II, 1981. p425-31.
- DANIEL, L.A; LUCARELLI, J.R. de F. e CARVALHO, J.F. de. **Efeito do método de preparo do solo na formação e localização de camadas compactadas.** Viçosa, Minas Gerais: SBEA, 1995. 14p.
- DENARDIN, J. E. Manejo adequado do solo para áreas motomecanizadas. In: I simpósio de manejo do solo para áreas motomecanizadas. **I Simpósio de manejo do solo e plantio direto no sul do Brasil e III Simpósio de conservação de solos do planalto.** Passo Fundo RS, 1984. p107-23 (Anais).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Ciência do Solo. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro, **EMBRAPA**, 197 (n.p.).
- DERPSCH, R. Importância da cobertura do solo e do preparo conservacionista. **I Simpósio de manejo do solo e Plantio Direto no Sul do Brasil. III Simpósio de Conservação do solo no Planalto.** Passo Fundo, RS. 1984.
- FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M.; BRONSON, R.D. e MANNERING, J.V. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição de poros, em dois solo (Typic Argiaquoll e Typic Hapludalf). **Rev. Bras. Ci. solo**, 7:329-333, 1983.
- FORSYTHE, W.M. **Física de Suelos: Manual de laboratório.** San José. IICA, 1975. 212 p. (Libros e Materiales Educativos, 25).

- FREESE, R.C; CASSEL, D.K. and DENTON, H.P. Infiltration in a Piedmont soil under three tillage systems. **J. Soil and Water Conservation**, 4 (3)214-218, may-june, 1993.
- FREIRE, W.J. O efeito do preparo sobre a agregação do solo. **Engenharia Agrícola/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola** - vol. I (1) , 1972. p25-30.
- GADANHA JR., C.D, MOLIN, J.P, COELHO, J.L.D, YAHN, C.H. e TOMIMORI, S.M.A.W. **Máquinas e Implementos agrícolas do Brasil**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. 468p.
- GAMERO, C.A, LIBARDI, P.L; BENEZ, S.H, FURLANI JR, J.A, e LANÇAS, K.P Influência de tipos de preparo do solo sobre o desenvolvimento e a produção da cultura do milho. **XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola e I Simpósio de Engenharia Agrícola do Cone Sul**. 1987. Anais.
- GAMERO, C.A. e BENEZ, S.H. Avaliação da condição do solo após a operação de preparo. In: IV Ciclo de estudos sobre Mecanização Agrícola. **Fundação Cargil**, Série Técnica Científica nº 172, 1990. p12-21.
- GAMERO, C.A, MACIEL, A.J.S. e BOLLER, W. Desempenho energético de um conjunto trator-grade em função do ângulo de travamento das secções e do formato dos discos. **Engenharia Agrícola/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola** - 1995, vol. 15,. P81-90.
- GAVANDE, S.A. Labranza, relaciones suelo-maquinaria y cultivo em secano. In: **Física de Suelos, principios y aplicaciones**. 2ª ed., Mexico, ed. Limusa, 1973.

- GILL, W.R. e VANDEN BERG, G.E. **Soil dynamics in tillage and traction**. Washington, US, Department of Agriculture, 1967, 511p (Agriculture handbook, 316).
- GRIFFITH, D.R; MANNERING, J.V; GALLOWAY, H.M; PARSONS, S.D; & RICHEY, C.B. Effect of tillage-planting systems on soil temperature, percent stand, plant growth and yield of corn on five Indiana soils. **Agronomy Journal**, 65 (2):321-326, 1973.
- GUIMARÃES, E.C. Variabilidade espacial da umidade e da densidade em um Latossolo roxo. Campinas, Unicamp, 1993. **(Dissertação de mestrado)**.
- GUIMARÃES, E.; MAIA, J.C. de S.; DANIEL, L.A.; SERPA, F.; e CAVALIERI, A. Determinação do número de amostras necessárias para avaliar parâmetros físicos do solo em diferentes sistemas de preparo através de métodos geoestatísticos. Campinas, SP, 1996.
- HAYES, W.A. **Conservation tillage systems and equipment requirements**. In: Preliminary proceedings for a system approach to conservation tillage. Hickory Corners, Michigan, 1984.
- HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. 413p.
- JORGE, J.A. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas, UCEA, 1985. 328p.
- JUSTINO, A. Desenvolvimento e avaliação de alguns parâmetros operacionais de um protótipo de máquina de preparo mínimo do solo. Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 1990. **(Dissertação de mestrado)**.

- KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia: relação solo-planta**. São Paulo, ed. Agronômica Ceres, 1979. 262p.
- KLEIN, V.A. Desenvolvimento de haste para escarificação em área sob sistema de plantio direto. Santa Maria, RS, UFSM, 1990. 80p (**Dissertação de mestrado**)
- KRÜGER, J.I. Relações entre os tamanhos dos agregados do solo e o modelo teórico de espessura de corte de enxada rotativa. Santa Maria-RS, UFSM, 1977. 45p. (**Dissertação de mestrado**).
- LAL, R. Soil temperature, Soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. **Plant and soil**, 40: 129-143, 1974.
- LARSON, W.E. e OSBORNE, G.J. Tillage accomplishments and potential In: Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. Properties and Processes. Madison, ASA/SSSA, 1982 (**Special Publication nº 44**). p. 1-11.
- LEITE, J.A. & MEDINA, B.F. Efeito dos sistemas de manejo sobre as propriedades físicas de um Latossolo Amarelo do Amazonas. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, 19(11):1417-22, 1984.
- LIBARDI, P.L; PREVEDELLO, C.L; PAULETTO, E.A e MORAES, S.O. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade das partículas ao longo de uma transeção. **Rev. Bras. de Ciência do Solo**, Campinas, 10(2):85-90, 1986.
- LINS E SILVA, M.L. Aspectos do emprego do índice de cone na resistência do solo à penetração. Campinas, SP, UNICAMP, 1995. (**Plano de pesquisa**).

- LUCARELLI, J.R. de F. Modificações nas propriedades de um Latossolo Roxo distrófico submetido a diferentes sistemas de preparo. Campinas, Unicamp, 1997. **(Dissertação de mestrado)**.
- MACHADO, J.A. & BRUM, A.C.R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **Rev. bras. Ci. solo**, 2:81-84, 1978.
- MACHADO, J.A.; SOUZA, D.M.de P. & BRUM, A.C.R.de. Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. **Rev. bras. Ci. Solo**, 5:187-89, 1981.
- MACIEL, A.J. da S. Enxada rotativa: análise dimensional, requerimento energético e efeitos no solo utilizando diferentes geometrias de lâminas. Botucatu-SP, 1993.145p **(Tese de Doutorado)**.
- McKYES, E. Soil Loosening and Manipulation. In: **Cutting and Tillage**. Developments in Agricultural Engineering 7, Quebec-Canada, 1985. p87-104.
- MAGALHÃES, P.S.G Interação máquina-solo. In: **Introdução à Engenharia Agrícola**, Campinas, SP, Ed. da UNICAMP, 1990 (série manuais).
- \_\_\_ Manejo de solo e seus efeitos sobre a compactação. In: SILVEIRA, G.M. da. **IV Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola**. Jundiaí: Fundação Cargil, 1990. p.156-167.
- \_\_\_ Manejo de solos em citricultura irrigada. Campinas-SP, Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, 1996. 28p **(Relatório parcial de atividades)**.
- MAIA, J.C. de S. Influência de tipos de preparo sobre algumas características físicas e comportamento da soja(Glicine max., L.) em solo sob vegetação de cerrado. Santa Maria, RS, UFSM, 1990. 132p. **(Dissertação de mestrado)**.

- MAPFUMO, E. & CHANASYK, D.S. Guidelines for safe trafficking and cultivation, na resistance-density-moisture relations of three disturbed soil from Alberta. **Soil & Tillage Research**, 46:193-202, 1998.
- MANTOVANI, E.C. Compactação do solo. Belo Horizonte, **Informe Agroppecuário**, v. 13, p52-55, (3), 1987.
- MAZUCHOWSKI, J.Z. e DERPESCH, R. Guia de preparo do solo para culturas anuais mecanizadas. Curitiba-PR. **Fundação Instituto Agrônomo do Paraná**, 1984. 65p.
- MELO FILHO, J.F. & SILVA, J.R.C. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um podzólico vermelho-amarelo no Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP,17:291-297, 1993.
- MENDES, E.V. Métodos de preparo do solo: influência sobre algumas propriedades químicas e físicas. Santa Maria, UFSM, 1982. 88 p. **(Dissertação de mestrado)**.
- MIRANDA, N. de O. Alterações físicas nos solos podzólico vermelho amarelo e Latossolo Vermelho escuro submetidos a diferentes condições de preparo reduzido. Santa Maria, UFSM, 1986. 64 p. **(Dissertação de mestrado)**.
- MISRA, R.; DEXTER, A.R. & ALLSTON, A.M. Maximum axial and radial growth pressure of plants roots. **Plant and soil**, Dordrecht, 1986. p.315-326.
- OLIVEIRA, V.S. de. Avaliação de formas de hastes e ponteiros para o preparo do solo com tração animal. Santa Maria, UFSM, 1989. **(Dissertação de mestrado)**.

- OLIVEIRA, J.F.L. de. Influência do tipo de arado sobre algumas características físicas do solo e na reincidência de ervas daninhas. Santa Maria, UFSM, 1975. **(Dissertação de mestrado)**.
- ORTIZ-CAÑAVATE, J.O. **Las máquinas agrícolas e su aplicacion**. Mundi Prensa, 1980, 490p.
- OLIVEIRA, J.B. & ROTTA, C.L. **Levantamento pedológico semidetalhado dos solos** do Estado de São Paulo. **Quadrícula de Campinas**. Rio de Janeiro, IBGE, 169p., 1979.
- ORTOLANI, A.F. Avaliação dos efeitos de diferentes métodos de cultivo sobre o desenvolvimento das culturas e do comportamento de parâmetros físicos do solo. **Palestra proferida no II Ciclo de palestras sobre Mecanização Conservacionista**. Unicamp, 1989.
- PERFECT, E; KAY, B.D e SILVA, A.P. Influence of soil properties on the statistical characterization of dry aggregate strength. , **Soil Science Society American Journal**, 59:532-537, 1995.
- PREVEDELLO, B.M.S. Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta. Piracicaba, ESALQ/USP, 1987. 165 p. **(Tese de doutorado)**.
- REICHARDT, K. Como superar o veranico no cerrado. **Potafós: Associação Brasileira para a pesquisa de Potassa e Fosfato**, Piracicaba, dez. 1985. p.1-8.
- RIBEIRO JUNIOR, P.J. Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo. Piracicaba, ESALQ, 1995. **(Dissertação de mestrado)**

- RÍPOLI, T.C.; MIALHE, L.G. e NAKAMURA, R.T. Subsolação e subsoladores. Piracicaba, DER/ESALQ, **Universidade de São Paulo**, 1985. p01-32.
- SALIH, A.A; BABIKIR, H.M. e ALI, S.A.M. Preliminary observations on effects of tillage systems on soil physical properties, cotton root growth and yield in Gezira Scheme, Sudan. **Soil & Tillage Research**, 46:187-191, 1998.
- SANTOS, J.C. dos. Análise do Desempenho de um Escarificador. Campinas-SP, Universidade estadual de Campinas-UNICAMP, 1994. (**Dissertação de mestrado**). 62 p.
- SCHAFER, R.L. & JOHNSON, C.E. Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. In. **Changing soil condition-the soil dynamics of tillage**. Madison, Wisconsin, EUA, 1982.
- SILVA, A.P; LIBARDI, P.L e VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de uma camada compactada em um Latossolo Vermelho Escuro ao longo de um traçado. In: **Congresso Brasileiro de Conservação do Solo**, 6, Campo Grande. Campinas, SBCS, 1986.
- SILVEIRA, G.M. **O preparo do solo: implementos corretos**. Rio de Janeiro, Globo, 1988. 243p.
- SPSS. **SPSS for windows release 6.1**. CHICAGO: SPSS, 1994.
- STARR, J.L; PARKIN, T.B e MEISINGER, J.J. Influence of sample size on chemical and physical soil measurements. Beltsville, USDA-ARS, **Soil Science Society American Journal**, 59:713-719, 1995.

- STELLUTI, M; MAIORAMA, M. e DE GIORGIO, D. Multivariate approach to evaluate the penetrometer resistance in different tillage systems. **Soil & Tillage Research**, 46: 145-151, 1998.
- TAYLOR, H.M. & GARDER, H.R. Penetration of cotton seedlings taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. **Soil Science**, Baltimore, 1963. p153-156.
- TSEGAYE, T. & HILL, R.L. Intensive tillage effects on spatial variability of soil physical properties. **Soil Science**, Alabama, 1998. p143-154.
- THIEN, S. J. Stabilizing soil aggregates with phosphoric acid. **Soil Science Society American Journal**, 4 (1): 195-108, 1976.
- TORMENA, C. A. Resistência à penetração e porosidade em plantio direto influenciado por preparos, pré-implantação, calagem e tráfego. Curitiba, UFPR, 1991. **(Dissertação de mestrado)**.
- UNGER, P. W. & McCALLA, T. M. Conservation tillage Systems. **Advances in Agronomy**. New York, 33:1-57, 1981.
- UNGER, P.W. & JONES, O. R. Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. **Soil & Tillage Research**, 45:39-57, 1998.
- VAN RAIJ, B. Avaliação da fertilidade do solo. **Instituto da Potassa e Fosfato: Instituto Internacional da Potassa**, Piracicaba SP, 1983. 142p.
- VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, Ed. da Universidade de São Paulo, 1977. p.3-73.

VIEIRA, S.R.; HATIFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. **Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical propeties. California**, California, Hilgardia Ed. Board, 1983. 75 p. Hilgardia n° 3.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spacial variability of field-measured infiltration rate. . **Soil Science Society American Journal**, Madison, 45: 1040-1048, 1981.

VIEIRA, S.R. Geoestatistical analyses of some agronomical observations. Davis, 1981, 261p. (**Ph.D.** – University of California).

WINTER, G. **Groundwater Monitoring Review**. Vol. 6, n° 1, p84-95, 1986.

# APÊNDICES

Apêndice 1

Tabela 1 – Análise descritiva dos parâmetros físicos do solo em função da profundidade de trabalho, tratamento e do número de amostras coletadas.

Parâmetro	Trat	N	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	95% Intervalo de confiança para média		Mínimo	Máximo
						Menores Valores	Maiores Valores		
<b>Densidade do solo 0-100 mm</b>	1	5	1,108	4,427E-02	1,980E-02	1,053	1,1629	1,06	1,17
	2	5	0,9198	4,755E-02	2,126E-02	0,8608	0,9789	0,86	0,98
	3	5	0,9423	3,107E-02	1,390E-02	0,9038	0,9809	0,9	0,99
	4	5	0,8564	2,186E-02	9,776E-03	0,8293	0,8836	0,82	0,88
	Total	20	0,9566	0,1013	2,266E-02	0,9092	1,0041	0,82	1,17
<b>Densidade do solo 100-200 mm</b>	1	5	1,2893	8,101E-02	3,623E-02	1,1888	1,3899	1,21	1,42
	2	5	1,1776	0,2311	0,1033	0,8907	1,4645	0,95	1,54
	3	5	1,0958	0,1025	4,582E-02	0,9686	1,223	0,94	1,19
	4	5	1,206	8,144E-02	3,642E-02	1,1049	1,3072	1,08	1,3
	Total	20	1,1922	0,1458	3,261E-02	1,124	1,2604	0,94	1,54
<b>Microporosidade 0-100 mm</b>	1	5	43,288	1,1826	0,5289	41,8196	44,7564	41,84	44,51
	2	5	41,156	4,1321	1,8479	36,0253	46,2867	35,3	46,22
	3	5	39,348	4,8169	2,1542	33,367	45,329	33,33	46,06
	4	5	36,616	0,8125	0,3634	35,6072	37,6248	35,22	37,31
	Total	20	40,102	3,9018	0,8725	38,2759	41,9281	33,33	46,22
<b>Microporosidade 100-200 mm</b>	1	5	46,452	2,3199	1,0375	43,5714	49,3326	44,49	50,09
	2	5	45,308	3,9104	1,7488	40,4525	50,1635	40,34	49,92
	3	5	42,092	1,1149	0,4986	40,7077	43,4763	40,69	43,63
	4	5	44,908	2,1751	0,9727	42,2073	47,6087	41,46	47,39
	Total	20	44,69	2,8838	0,6448	43,3403	46,0397	40,34	50,09

Tabela 2 – Análise descritiva dos parâmetros físicos do solo em função da profundidade de trabalho, tratamento e do número de amostras coletadas.

Parâmetro	Trat	N	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	95% Intervalo de confiança para média		Mínimo	Máximo
						Menores Valores	Maiores Valores		
<b>Macroporosidade 0-100 mm</b>	<b>1</b>	5	16,242	2,9278	1,3093	12,6067	19,8773	13,23	20,28
	<b>2</b>	5	22,466	4,6348	2,0727	16,7112	28,2208	17,23	29,07
	<b>3</b>	5	26,04	4,7308	2,1157	20,1659	31,9141	18,69	31,62
	<b>4</b>	5	23,626	2,5735	1,1509	20,4306	26,8214	21,08	26,83
	<b>Total</b>	20	22,0935	5,1183	1,1445	19,6981	24,4889	13,23	31,62
<b>Macroporosidade 100-200 mm</b>	<b>1</b>	5	10,734	3,6388	1,6273	6,2159	15,2521	4,43	13,76
	<b>2</b>	5	19,002	7,8685	3,5189	9,232	28,772	8,98	28,43
	<b>3</b>	5	22,634	4,5434	2,0319	16,9926	28,2754	15,74	27,2
	<b>4</b>	5	14,242	3,8234	1,7099	9,4946	18,9894	10,15	20,04
	<b>Total</b>	20	16,653	6,6978	1,4977	13,5183	19,7877	4,43	28,43
<b>Porosidade Total 0-100 mm</b>	<b>1</b>	5	59,53	2,5624	1,1459	56,3483	62,7117	55,67	62,12
	<b>2</b>	5	63,622	3,2311	1,445	59,61	67,634	60,41	68,64
	<b>3</b>	5	65,388	1,4474	0,6473	63,5908	67,1852	64,1	67,86
	<b>4</b>	5	60,242	2,2201	0,9929	57,4854	62,9986	57,88	62,74
	<b>Total</b>	20	62,1955	3,3392	0,7467	60,6327	63,7583	55,67	68,64
<b>Porosidade Total 100-200 mm</b>	<b>1</b>	5	57,186	3,5076	1,5686	52,8308	61,5412	51,81	61,45
	<b>2</b>	5	64,31	4,8271	2,1587	58,3164	70,3036	56,67	68,77
	<b>3</b>	5	64,726	4,2043	1,8802	59,5057	69,9463	58,22	69,45
	<b>4</b>	5	59,15	2,9025	1,298	55,5461	62,7539	55,74	61,5
	<b>Total</b>	20	61,343	4,9124	1,0985	59,0439	63,6421	51,81	69,45

Tabela 3 – Análise descritiva dos parâmetros físicos do solo em função da profundidade de trabalho, tratamento e do número de amostras coletadas.

Parâmetro	Trat	N	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	95% Intervalo de confiança para média		Mínimo	Máximo
						Menores Valores	Maiores Valores		
Resistência do solo à Penetração 0-100 mm	1	5	1,5563	0,4099	0,1833	1,0473	2,0653	1,03	2,09
	2	5	2,3363	0,4439	0,1985	1,7851	2,8875	1,89	2,82
	3	5	2,0728	0,7393	0,3306	1,1548	2,9908	0,91	2,72
	4	5	2,3936	0,5921	0,2648	1,6584	3,1289	1,41	2,98
	<b>Total</b>	20	2,0898	0,6173	0,138	1,8009	2,3786	0,91	2,98
Resistência do solo à Penetração 100-200 mm	1	5	2,2652	0,5794	0,2591	1,5458	2,9846	1,44	3,03
	2	5	2,6225	9,320E-02	4,168E-02	2,5068	2,7383	2,52	2,74
	3	5	2,9102	0,5552	0,2483	2,2209	3,5995	2,42	3,53
	4	5	2,3856	0,7962	0,3561	1,397	3,3741	1,48	3,52
	<b>Total</b>	20	2,5459	0,5786	0,1294	2,2751	2,8167	1,44	3,53
Diâmetro Médio Ponderado via úmida 0-100 mm	1	5	2,6678	0,2893	0,1294	2,3086	3,027	2,44	3,15
	2	5	2,6513	0,305	0,1364	2,2726	3,03	2,19	2,89
	3	5	2,8595	0,3436	0,1537	2,4329	3,2861	2,31	3,22
	4	5	2,0648	0,1252	5,598E-02	1,9093	2,2202	1,93	2,27
	<b>Total</b>	20	2,5609	0,3984	8,909E-02	2,3744	2,7473	1,93	3,22
Diâmetro Médio Ponderado via úmida 100-200 mm	1	5	2,4586	0,4891	0,2187	1,8513	3,0659	1,85	2,84
	2	5	2,764	0,2664	0,1191	2,4333	3,0947	2,38	3,02
	3	5	2,5582	0,3183	0,1423	2,163	2,9533	2,3	3,02
	4	5	2,1433	0,3721	0,1664	1,6813	2,6053	1,52	2,51
	<b>Total</b>	20	2,481	0,4106	9,180E-02	2,2889	2,6732	1,52	3,02

Tabela 4 – Análise descritiva dos parâmetros físicos do solo em função da profundidade de trabalho, tratamento e do número de amostras coletadas.

Parâmetro	Trat	N	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	95% Intervalo de confiança para média		Mínimo	Máximo
						Menores Valores	Maiores Valores		
<b>Diâmetro Médio Ponderado 0-200 mm</b>	<b>1</b>	5	34,415	3,3354	1,4916	30,2736	38,5564	30,84	39,61
	<b>2</b>	5	33,2639	9,0827	4,0619	21,9862	44,5416	25,39	48,72
	<b>3</b>	5	26,9525	13,5935	6,0792	10,0739	43,8311	10,55	46,46
	<b>4</b>	5	19,9346	5,3646	2,3991	13,2736	26,5956	13,91	28,01
	<b>Total</b>	20	28,6415	9,9883	2,2334	23,9668	33,3161	10,55	48,72
<b>Diâmetro Médio Geométrico 0-200 mm</b>	<b>1</b>	5	14,3304	1,3766	0,6156	12,6211	16,0397	12,52	16,29
	<b>2</b>	5	13,8088	3,8335	1,7144	9,0489	18,5688	11,25	20,48
	<b>3</b>	5	11,2123	5,1933	2,3225	4,764	17,6606	3,88	18,4
	<b>4</b>	5	6,9038	1,7189	0,7687	4,7696	9,0381	4,7	9,25
	<b>Total</b>	20	11,5638	4,3452	0,9716	9,5303	13,5974	3,88	20,48
<b>Infiltração 0-200 mm</b>	<b>1</b>	5	162,296	114,8895	51,3802	19,6418	304,9502	57,55	351
	<b>2</b>	5	111,856	101,7731	45,5143	-14,5119	238,2239	41,29	287,8
	<b>3</b>	5	142,028	47,6432	21,3067	82,8712	201,1848	71,94	206,5
	<b>4</b>	5	75,694	22,9096	10,2455	47,248	104,14	57,55	115,1
	<b>Total</b>	20	122,969	81,6764	18,2634	84,7428	161,1942	41,29	351

Tabela 5 – Análise descritiva dos parâmetros físicos do solo em função da profundidade de trabalho, tratamento e do número de amostras coletadas.

Parâmetro	Trat	N	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	95% Intervalo de confiança para média		Mínimo	Máximo
						Menores Valores	Maiores Valores		
<b>Umidade 0-200 mm</b>	<b>1</b>	5	29,2027	2,1947	0,9815	26,4777	31,9278	27,35	32,93
	<b>2</b>	5	14,6019	1,4206	0,6353	12,838	16,3657	13,27	16,36
	<b>3</b>	5	15,89	1,3801	0,6172	14,1764	17,6036	14,02	17,77
	<b>4</b>	5	21,1838	2,4228	1,0835	18,1755	24,192	17,01	22,9
	<b>Total</b>	20	20,2196	6,1477	1,3747	17,3424	23,0968	13,27	32,93
<b>Resistência do Solo à Penetração 0-200 mm</b>	<b>1</b>	5	2,2652	0,5794	0,2591	1,5458	2,9846	1,44	3,03
	<b>2</b>	5	2,6225	9,320E-02	4,168E-02	2,5068	2,7383	2,52	2,74
	<b>3</b>	5	2,9102	0,5552	0,2483	2,2209	3,5995	2,42	3,53
	<b>4</b>	5	2,3856	0,7962	0,3561	1,397	3,3741	1,48	3,52
	<b>Total</b>	20	2,5459	0,5786	0,1294	2,2751	2,8167	1,44	3,53

Apêndice 2

Tabela 1 – Análise descritiva dos parâmetros físicos do solo em função da profundidade de trabalho, tratamento e do número de amostras coletadas.

Parâmetro	Trat	N	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	95% Intervalo de confiança para média		Mínimo	Máximo
						Menores Valores	Maiores Valores		
<b>Densidade do solo 0-100 mm</b>	<b>1</b>	45	1,14085	0,1063651	1,585597E-02	1,1088911	1,1728023	0,9536	1,4378
	<b>2</b>	45	0,91561	6,338998E-02	9,449620E-03	0,8965667	0,9346556	0,7631	1,0287
	<b>3</b>	45	0,92107	0,1060914	1,581517E-02	0,8891955	0,9529423	0,7335	1,2789
	<b>4</b>	45	0,86631	8,570604E-02	1,277630E-02	0,8405622	0,8920601	0,6845	1,1699
	<b>Total</b>	180	0,96096	0,1401612	1,044700E-02	0,9403443	0,9815746	0,6845	1,4378
<b>Densidade do solo 100-200 mm</b>	<b>1</b>	45	1,25899	8,738180E-02	1,302611E-02	1,2327343	1,2852391	1,0464	1,4475
	<b>2</b>	45	1,24153	0,1321347	1,969748E-02	1,201829	1,2812243	0,954	1,5409
	<b>3</b>	45	1,15201	0,1284483	1,914794E-02	1,113421	1,1906012	0,8687	1,3327
	<b>4</b>	45	1,17852	0,1108392	1,652293E-02	1,145218	1,2118175	0,8772	1,4637
	<b>Total</b>	180	1,20776	0,1232345	9,185360E-03	1,189635	1,2258861	0,8687	1,5409
<b>Microporosidade 0-100 mm</b>	<b>1</b>	45	44,5436	4,7561	0,709	43,1147	45,9725	29,41	54,92
	<b>2</b>	45	39,3042	4,8546	0,7237	37,8457	40,7627	24,76	49,36
	<b>3</b>	45	37,7629	4,3491	0,6483	36,4563	39,0695	30,74	47,87
	<b>4</b>	45	38,0593	3,1229	0,4655	37,1211	38,9976	31,29	44,52
	<b>Total</b>	180	39,9175	5,0902	0,3794	39,1688	40,6662	24,76	54,92
<b>Microporosidade 100-200 mm</b>	<b>1</b>	45	46,8742	3,8539	0,5745	45,7164	48,0321	32,54	55,24
	<b>2</b>	45	47,22	5,0481	0,7525	45,7034	48,7366	37,99	57,06
	<b>3</b>	45	42,7158	4,454	0,664	41,3776	44,0539	33,14	56
	<b>4</b>	45	44,4716	2,8865	0,4303	43,6043	45,3388	39,78	51,88
	<b>Total</b>	180	45,3204	4,4989	0,3353	44,6587	45,9821	32,54	57,06

Tabela 2 – Análise descritiva dos parâmetros físicos do solo em função da profundidade de trabalho, tratamento e do número de amostras coletadas.

Parâmetro	Trat	N	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	95% Intervalo de confiança para média		Mínimo	Máximo
						Menores Valores	Maiores Valores		
<b>Macroporosidade 0-100 mm</b>	<b>1</b>	45	16,2109	6,3502	0,9466	14,3031	18,1187	1,81	34,52
	<b>2</b>	45	24,0273	4,5761	0,6822	22,6525	25,4021	14,29	33,11
	<b>3</b>	45	25,8413	4,7328	0,7055	24,4195	27,2632	12,66	36,07
	<b>4</b>	45	22,3202	3,4893	0,5202	21,2719	23,3685	11,48	27,96
	<b>Total</b>	180	22,0999	6,0615	0,4518	21,2084	22,9915	1,81	36,07
<b>Macroporosidade 100-200 mm</b>	<b>1</b>	45	10,3089	7,3161	1,0906	8,1109	12,5069	-21,74	26,91
	<b>2</b>	45	14,3576	6,8314	1,0184	12,3052	16,4099	2,79	29,83
	<b>3</b>	45	19,931	6,0141	0,8965	18,1241	21,7378	6,36	30,88
	<b>4</b>	45	15,5427	5,0318	0,7501	14,031	17,0544	5,32	26,99
	<b>Total</b>	180	15,035	7,1809	0,5352	13,9788	16,0912	-21,74	30,88
<b>Porosidade Total 0-100 mm</b>	<b>1</b>	45	60,7544	3,9216	0,5846	59,5763	61,9326	52,91	77,78
	<b>2</b>	45	63,3316	3,528	0,5259	62,2716	64,3915	50,95	69,29
	<b>3</b>	45	63,6042	3,5491	0,5291	62,538	64,6705	54,47	71,76
	<b>4</b>	45	60,3796	3,35	0,4994	59,3731	61,386	52,04	68,28
	<b>Total</b>	180	62,0174	3,8519	0,2871	61,4509	62,584	50,95	77,78
<b>Porosidade Total 100-200 mm</b>	<b>1</b>	45	57,1831	5,8225	0,868	55,4338	58,9324	25,63	66,03
	<b>2</b>	45	61,5776	3,254	0,4851	60,5999	62,5552	55,65	69,37
	<b>3</b>	45	62,6468	3,2627	0,4864	61,6665	63,627	55,82	69,45
	<b>4</b>	45	60,0142	3,0262	0,4511	59,105	60,9234	55,35	66,77
	<b>Total</b>	180	60,3554	4,4787	0,3338	59,6967	61,0141	25,63	69,45

Tabela 3 – Análise descritiva dos parâmetros físicos do solo em função da profundidade de trabalho, tratamento e do número de amostras coletadas.

Parâmetro	Trat	N	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	95% Intervalo de confiança para média		Mínimo	Máximo
						Menores Valores	Maiores Valores		
<b>Macroporosidade 0-100 mm</b>	<b>1</b>	45	16,2109	6,3502	0,9466	14,3031	18,1187	1,81	34,52
	<b>2</b>	45	24,0273	4,5761	0,6822	22,6525	25,4021	14,29	33,11
	<b>3</b>	45	25,8413	4,7328	0,7055	24,4195	27,2632	12,66	36,07
	<b>4</b>	45	22,3202	3,4893	0,5202	21,2719	23,3685	11,48	27,96
	<b>Total</b>	180	22,0999	6,0615	0,4518	21,2084	22,9915	1,81	36,07
<b>Macroporosidade 100-200 mm</b>	<b>1</b>	45	10,3089	7,3161	1,0906	8,1109	12,5069	-21,74	26,91
	<b>2</b>	45	14,3576	6,8314	1,0184	12,3052	16,4099	2,79	29,83
	<b>3</b>	45	19,931	6,0141	0,8965	18,1241	21,7378	6,36	30,88
	<b>4</b>	45	15,5427	5,0318	0,7501	14,031	17,0544	5,32	26,99
	<b>Total</b>	180	15,035	7,1809	0,5352	13,9788	16,0912	-21,74	30,88
<b>Porosidade Total 0-100 mm</b>	<b>1</b>	45	60,7544	3,9216	0,5846	59,5763	61,9326	52,91	77,78
	<b>2</b>	45	63,3316	3,528	0,5259	62,2716	64,3915	50,95	69,29
	<b>3</b>	45	63,6042	3,5491	0,5291	62,538	64,6705	54,47	71,76
	<b>4</b>	45	60,3796	3,35	0,4994	59,3731	61,386	52,04	68,28
	<b>Total</b>	180	62,0174	3,8519	0,2871	61,4509	62,584	50,95	77,78
<b>Porosidade Total 100-200 mm</b>	<b>1</b>	45	57,1831	5,8225	0,868	55,4338	58,9324	25,63	66,03
	<b>2</b>	45	61,5776	3,254	0,4851	60,5999	62,5552	55,65	69,37
	<b>3</b>	45	62,6468	3,2627	0,4864	61,6665	63,627	55,82	69,45
	<b>4</b>	45	60,0142	3,0262	0,4511	59,105	60,9234	55,35	66,77
	<b>Total</b>	180	60,3554	4,4787	0,3338	59,6967	61,0141	25,63	69,45

Tabela 4 – Análise descritiva dos parâmetros físicos do solo em função da profundidade de trabalho, tratamento e do número de amostras coletadas.

Parâmetro	Trat	N	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	95% Intervalo de confiança para média		Mínimo	Máximo
						Menores Valores	Maiores Valores		
<b>Diâmetro Médio Ponderado 0-200 mm</b>	<b>1</b>	45	33,47846	7,038121	1,049181	31,363975	35,592946	20,3463	55,1821
	<b>2</b>	45	30,777612	7,10035	1,058458	28,644431	32,910794	16,4043	48,7153
	<b>3</b>	45	25,663748	9,026383	1,345574	22,951922	28,375573	10,5485	52,9046
	<b>4</b>	45	17,257745	5,662186	0,844069	15,556636	18,958854	8,4235	34,2057
	<b>Total</b>	180	26,794391	9,533236	0,710565	25,392229	28,196554	8,4235	55,1821
<b>Diâmetro Médio Geométrico 0-200 mm</b>	<b>1</b>	45	13,63498	3,051015	0,454818	12,718353	14,551606	7,9416	22,672
	<b>2</b>	45	12,507814	2,858463	0,426115	11,649037	13,366591	6,9978	20,4835
	<b>3</b>	45	10,784506	3,842468	0,572801	9,6301	11,938911	3,877	23,1447
	<b>4</b>	45	6,562924	1,719203	0,256284	6,046418	7,07943	3,471	12,0416
	<b>Total</b>	180	10,872556	3,989264	0,297342	10,285809	11,459303	3,471	23,1447

Tabela 5 – Análise descritiva dos parâmetros físicos do solo em função da profundidade de trabalho, tratamento e do número de amostras coletadas.

Parâmetro	Trat	N	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	95% Intervalo de confiança para média		Mínimo	Máximo
						Menores Valores	Maiores Valores		
<b>Infiltração 0-200 mm</b>	<b>1</b>	45	131,916	93,0441	13,8702	103,9625	159,8695	14,39	412,9
	<b>2</b>	45	100,8884	64,6067	9,631	81,4784	120,2985	14,39	287,8
	<b>3</b>	45	113,1627	67,2487	10,0248	92,9589	133,3664	28,78	302,2
	<b>4</b>	45	73,3727	41,27	6,1522	60,9738	85,7715	28,78	215,8
	<b>Total</b>	180	104,8349	71,6863	5,3432	94,2912	115,3787	14,39	412,9
<b>Umidade 0-200 mm</b>	<b>1</b>	45	28,6439	1,313	0,1957	28,2494	29,0384	26,16	32,93
	<b>2</b>	45	15,2061	1,2853	0,1916	14,8199	15,5923	13,08	18,28
	<b>3</b>	45	15,9187	1,4263	0,2126	15,4902	16,3472	12,09	18,73
	<b>4</b>	45	22,0231	1,0961	0,1634	21,6938	22,3524	17,01	23,6
	<b>Total</b>	180	20,4479	5,5858	0,4163	19,6264	21,2695	12,09	32,93
<b>Resistência do Solo à Penetração 0-200 mm</b>	<b>1</b>	45	1,6949614	0,55927643	8,3372008E-02	1,5269361	1,8629866	0,379115	3,032923
	<b>2</b>	45	2,6751851	0,43137333	6,4305340E-02	2,5455862	2,804784	1,79369	3,611074
	<b>3</b>	45	2,6730261	0,73180805	0,1090915	2,4531667	2,8928856	1,369554	4,286372
	<b>4</b>	45	2,7217319	0,59745174	8,9062847E-02	2,5422375	2,9012263	1,426421	4,056533
	<b>Total</b>	180	2,4412261	0,72736942	5,4214916E-02	2,3342436	2,5482087	0,379115	4,286372

Apêndice 3

Tabela 1 – Principais modelos georeferenciados ajustados e não ajustados.

Profundidade	Modelos Ajustados	Modelos Não Ajustados	Somatório
Profundidade 1	2	22	24
Profundidade 2	4	20	24
Profundidade 3	3	17	20
Somatório	9	59	68
<b>Parâmetros</b>			
Macroporosidade	2	6	8
Microporosidade	0	8	8
Umidade	1	3	4
Infiltração	1	3	4
Porosidade Total	1	7	8
Resistência do Solo a Penetração	2	10	12
Diâmetro Médio Geométrico	1	3	4
Diâmetro Ponderado a Seco	1	3	4
Diâmetro Ponderado em Água	0	8	8
Densidade do Solo	0	8	8
Somatório	9	59	68
<b>Tratamentos</b>			
Tratamento 1	1	16	17
Tratamento 2	2	15	17
Tratamento 3	5	12	17
Tratamento 4	1	16	17
Somatório	9	59	68