

PATRÍCIA COSTA SILVA

VARIABILIDADE DE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE SOLO
SUBMETIDOS A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DE PLANTAS
ESPONTÂNEAS NA CAFEICULTURA DO CERRADO MINEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração
em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Elias Nascentes Borges

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

PATRÍCIA COSTA SILVA

VARIABILIDADE DE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE SOLO
SUBMETIDOS A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DE PLANTAS
ESPONTÂNEAS NA CAFEICULTURA DO CERRADO MINEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração
em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 14 de agosto de 2008.

Prof. Dr. Benjamim de Melo	UFU
Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães	UFU
Prof. Dr. Ivoney Gontijo	UFLA

Prof. Dr. Elias Nascentes Borges
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586v Silva, Patrícia Costa, 1979-
Variabilidade de atributos físicos e químicos de solo submetidos a diferentes sistemas de manejo de plantas espontâneas na cafeicultura do cerrado mineiro / Patrícia Costa Silva. - 2008.
110 f.: il.

Orientador: Elias Nascentes Borges.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Inclui bibliografia.

1. Física do solo - Teses. 2. Físico-química do solo - Teses. 3. Café - Cultivo - Teses. I. Borges, Elias Nascentes. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631.43

Dedico

A Deus, pelo dom da minha vida e também pela sabedoria e saúde.

Aos meus pais Pedro e Marlene, pelo incentivo, carinho e compreensão nos momentos difíceis, pela perseverança e exemplo de vida simples.

Aos meus irmãos, pela compreensão sempre, força e carinho.

Aos meus sobrinhos, pelas brincadeiras e momentos alegres, principalmente aos domingos.

Ao Reinaldo Adriano, pelo carinho, companheirismo e apoio em todos os momentos.

“Quando uma criatura humana desperta para um grande sonho, e sobre ele lança toda força de sua alma... Todo o universo conspira a seu favor!”

(Goethe).

*Agradeço
Aos Anjos, pela Luz.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela grande inspiração e por mais essa vitória conquistada.

À Universidade Federal de Uberlândia e ao Instituto de Ciências Agrárias, pela oportunidade concedida.

Ao Conselho de Aperfeiçoamento Pessoal de Ensino Superior (Capes) pela concessão da bolsa.

Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café CBP&D/Café, pelo apoio financeiro para a realização deste projeto e pela bolsa concedida.

Ao professor Dr. Elias Nascentes Borges, pelo incentivo, orientação, amizade, empreendimento e sugestões fornecidas para a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães, pelo grande apoio e dedicação.

Ao professor Dr. Benjamim de Melo, pela dedicação, pois foi o responsável pela aplicação dos sistemas de manejo na área experimental como: fertirrigação, adubação granulada, controle das plantas espontâneas, e todo controle fitossanitário necessário ao desenvolvimento da cultura.

Ao Dr. Ivoney Gontijo, pela participação na banca.

À professora Dr. Regina Maria Quintão Lana, pela amizade, pelos conselhos e por conceder o Laboratório de Fertilidade (LABAS) a mim, para que deste modo pudesse efetuar as leituras dos atributos químicos.

À toda equipe técnica do Laboratório de Manejo e Conservação do Solo e da Água (LAMAS): Marco Aurélio, Sr. Wilson e Cílon, pela amizade e ajuda.

À minha amiga Eng^a e MSc. Cínara Xavier de Almeida, por sua amizade, pelo apoio e dedicação e por ter me indicado para substituí-la neste projeto. Sempre me lembrarei de você... Nós chegamos até aqui juntas.

À equipe de bolsistas do PIBEC, pelo auxílio prestado ao longo da realização deste trabalho: Ingrid Mara, Adriano Wagner e Pedro Augusto.

Às minhas amigas e bolsistas do laboratório de Manejo: Suelen Martins de Oliveira, Polianna Alves Silva e Natália Silva, pela dedicação, ajuda na realização das análises químicas e físicas (quantas amostras de agregados... parecia não ter fim...) e também pelo carinho e paciência. Jamais me esquecerei o quanto vocês foram importantes na minha formação.

Aos amigos e ex-bolsistas do LAMAS: Thiago Ferreira Mendes, Paulo César de Carvalho Júnior, Eduardo Alexandre e Diogo. Também ao estagiário Raphael Linhares e a todos os estagiários que vieram da Escola Agrotécnica Federal de Uberlândia, UEMG e que contribuíram direta ou indiretamente na execução das análises químicas e físicas deste trabalho.

À todos os amigos do Programa de Pós-graduação da área de concentração em Solos, em especial: William Diniz Bilibio, Leomar Paulo, Ivan Bonoto e Juliana do Nascimento Gomides, pela amizade, compreensão, apoio, colaboração, sugestões e pelos momentos de alegria.

À Cida e ao Eduardo, secretários da pós-graduação, pela força e dedicação.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE EQUAÇÕES.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1- A cultura do cafeeiro.....	3
2.2- Plantas espontâneas e a produção dos cafeeiros.....	3
2.3- Influência de diferentes métodos de controle de plantas espontâneas na produção do cafeeiro.....	4
2.4- Influência dos métodos de controle de plantas espontâneas nas propriedades físicas do solo.....	5
2.5- Agregação do solo e sistemas de manejo.....	6
2.6- Densidade do solo e sistemas de manejo.....	8
2.7- Microporosidade, macroporosidade, porosidade total do solo e sistemas de manejo.....	9
2.8- Influência dos sistemas de manejo sobre o teor de Carbono Orgânico Total no solo.....	10
2.9- Influência dos sistemas de manejo sobre os teores de Cálcio e Magnésio trocaíveis no solo.....	12
2.10- Variabilidade espacial e propriedades físicas do solo	13
2.11- Variabilidade espacial e propriedades químicas do solo	14
2.12- O uso da geoestatística.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1- Localização da área experimental e clima predominante	17
3.2- Caracterização da Área Experimental e do Solo.....	18
3.3- Estabelecimento das Malhas Georeferenciadas.....	19
3.4- Plano Amostral.....	20
3.5- Trabalho de Campo e Laboratório:.....	21
3.6- Determinações Físicas.....	22

3.6.1- Densidade do solo (Ds).....	22
3.6.2- Estabilidade de agregados por via úmida através do Diâmetro Médio Geométrico- DMG.....	23
3.6.3- Microporosidade do solo (Mip).....	25
3.6.4- Macroporosidade do solo (Map).....	26
3.6.5- Porosidade total do solo (Pt).....	26
3.7- Determinações Químicas.....	27
3.7.1- Determinação do Carbono Orgânico Total (COT).....	27
3.7.2- Determinação do Cálcio (Ca^{+2}) e Magnésio (Mg^{+2}) trocáveis do solo....	28
3.8- Análises estatísticas.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1- Densidade do solo (Ds).....	30
4.1.1- Análise descritiva e variabilidade espacial através de semivariogramas.	30
4.1.2- Mapeamento da densidade do solo (Ds).....	34
4.1.3- Estatística da densidade do solo (Ds).....	36
4.2- Diâmetro Médio Geométrico dos agregados- DMG e estabilidade de agregados via úmida.....	40
4.2.1- Análise descritiva e variabilidade espacial através de semivariogramas.....	40
4.2.2- Mapeamento do Diâmetro Médio Geométrico dos agregados-DMG.....	44
4.2.3- Estatística do Diâmetro Médio Geométrico dos agregados-DMG.....	46
4.3- Porosidade total do solo (Pt).....	49
4.3.1- Análise descritiva e variabilidade espacial através de semivariogramas.....	49
4.3.2- Mapeamento da Porosidade total do solo (Pt).....	53
4.3.3- Estatística da Porosidade total do solo (Pt).....	55
4.4- Macroporosidade do solo (Map).....	58
4.4.1- Análise descritiva e variabilidade espacial através de semivariogramas	58
4.4.2- Mapeamento da Macroporosidade do solo (Map).....	61
4.4.3- Estatística da Macroporosidade do solo (Map).....	63
4.5- Microporosidade do solo (Mip).....	65

4.5.1- Análise descritiva e variabilidade espacial através de semivariogramas.....	65
4.5.2- Mapeamento da Microporosidade do solo (Mip).....	69
4.5.3- Estatística da Microporosidade do solo (Mip).....	71
4.6- Carbono Orgânico Total (COT) no solo.....	73
4.6.1- Análise descritiva e variabilidade espacial através de semivariogramas.....	73
4.6.2- Mapeamento do Carbono Orgânico Total (COT).....	77
4.6.3- Estatística do Carbono Orgânico (COT).....	79
4.7- Cálcio trocável (Ca^{+2}) no solo.....	82
4.7.1- Análise descritiva e variabilidade espacial através de semivariogramas.....	82
4.7.2- Mapeamento do nutriente Cálcio trocável no solo (Ca^{+2}).....	86
4.7.3- Estatística do nutriente Cálcio trocável no solo (Ca^{+2}).....	88
4.8- Magnésio trocável no solo (Mg^{+2}).....	90
4.8.1- Análise descritiva e variabilidade espacial através de semivariogramas.....	90
4.8.2- Mapeamento do nutriente Magnésio (Mg^{+2}).....	94
4.8.3- Estatística do nutriente Magnésio trocável no solo (Mg^{+2}).....	96
5.CONCLUSÕES.....	99
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100

LISTA DE QUADROS.

Quadro		Página
1	Análise granulométrica do solo referente à área de implantação do experimento no ano de 2003 nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm.....	18
2	Caracterização física do solo em diferentes locais e profundidades amostradas em 2003.....	18
3	Caracterização química do solo em diferentes locais e profundidades amostradas em 2003.....	19
4	Estatísticas da Ds (Densidade do solo), em kg dm^{-3} , nos dois sistemas de manejo de plantas espontâneas, em diferentes épocas de avaliação e profundidade de solo.....	31
5	Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais da Ds (Densidade do solo), em kg dm^{-3} , em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.....	32
6	Valores médios de densidade do solo, em kg dm^{-3} , para os diferentes locais (regiões) de amostragem e épocas de avaliação.....	38
7	Estatísticas do Diâmetro Médio Geométrico- DMG, em mm, nos dois sistemas de manejo de plantas espontâneas, em diferentes épocas de avaliação e profundidade de solo.	41
8	Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais do Diâmetro Médio Geométrico- DMG, em mm, em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.	42
9	Valores médios de diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados, em mm, para os diferentes locais de amostragem, sistemas de manejo e épocas de avaliação.....	47
10	Estatísticas da Porosidade total (Pt), em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, nos dois sistemas de manejo de plantas daninhas, em diferentes épocas de avaliação e profundidade de solo.	50
11	Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais da Porosidade total (Pt), em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.....	51
12	Valores médios de Porosidade total (Pt), em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, para os diferentes locais de amostragem e épocas de avaliação.....	56
13	Estatísticas da Macroporosidade (Map), em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, nos dois sistemas de manejo de plantas espontâneas, em diferentes épocas de avaliação e profundidade de solo.....	58

14	Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais da Macroporosidade (Map), em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.....	59
15	Valores médios de Macroporosidade (Map), em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, para os diferentes locais de amostragem e épocas de avaliação.....	64
16	Estatísticas da Microporosidade (Mip), em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, nos dois sistemas de manejo de plantas daninhas, em diferentes épocas de avaliação e profundidade de solo.....	66
17	Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais da Microporosidade (Mip), em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.....	67
18	Valores médios de Microporosidade (Mip), em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, para os diferentes locais de amostragem e épocas de avaliação.....	72
19	Estatísticas do Carbono Orgânico Total (COT), em g kg^{-1} , nos sistemas de manejo de plantas espontâneas, em diferentes épocas de avaliação e profundidade de solo.....	74
20	Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais do Carbono Orgânico Total (COT), em g kg^{-1} , nos diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.....	75
21	Valores médios do Carbono Orgânico Total (COT), em g kg^{-1} para os diferentes locais de amostragem, sistemas de manejo e épocas de avaliação.	81
22	Estatísticas do nutriente Cálcio (Ca^{+2}), em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, nos sistemas de manejo de plantas espontâneas, em diferentes épocas de avaliação e profundidade de solo.....	83
23	Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais do nutriente Cálcio (Ca^{+2}), em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, em diferentes manejos profundidades e épocas de avaliação.....	84
24	Valores médios do nutriente Cálcio (Ca^{+2}), em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, para os diferentes locais de amostragem, sistemas de manejo e épocas de avaliação.....	89
25	Estatísticas do nutriente Magnésio (Mg^{+2}), em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, nos sistemas de manejo de plantas espontâneas, em diferentes épocas de avaliação e profundidade de solo.....	91

26	Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais do Magnésio (Mg^{+2}), em $cmol_c dm^{-3}$, em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.....	91
27	Valores médios do Magnésio (Mg^{+2}), em $cmol_c dm^{-3}$, para os diferentes locais de amostragem, sistemas de manejo e épocas de avaliação.....	97

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Precipitação pluviométrica na área experimental no ano de 2006	17
2	Locais de amostragem de solo na Fazenda do Glória-UFU em Uberlândia – MG-2006.....	20
3	Esquema de disposição dos pontos amostrados para os manejos submetidos ao controle da plantas espontâneas com herbicida (manejo 1) e com gradagem (manejo 2) no meio da rua e linha de tráfego (rodado do trator).....	21
4	Esquema de disposição dos pontos amostrados para os manejos submetidos ao controle da plantas espontâneas com grade (manejo 3) e com herbicida (manejo 4) no meio da rua e linha de tráfego (rodado do trator).....	21
5	Amostrador de Uhland utilizado na coleta das amostras indeformadas.....	23
6	Aparelho de Yoder, utilizado para a determinação da estabilidade de agregados por via úmida.....	24
7	Paneles de alta e baixa pressão de Richards, usadas para drenar a água dos macroporos do solo.....	26
8	Distribuição espacial da D_s (kg dm^{-3}), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.....	33
9	Distribuição espacial da D_s (kg dm^{-3}), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.....	33
10	Distribuição espacial da D_s (kg dm^{-3}), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.....	33
11	Distribuição espacial da D_s (kg dm^{-3}), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.....	34
12	Distribuição espacial da D_s (kg dm^{-3}), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em março de	

	2006.....	35
13	Distribuição espacial da Ds (kg dm^{-3}), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 20-40 cm, em março de 2006.....	35
14	Distribuição espacial da Ds (kg dm^{-3}), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em agosto de 2006.....	36
15	Distribuição espacial da Ds (kg dm^{-3}), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 20-40 cm, em agosto de 2006.....	36
16	Distribuição espacial do DMG, em (mm), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.....	42
17	Distribuição espacial do DMG, em (mm), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.....	43
18	Distribuição espacial do DMG, em (mm), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida na profundidade de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.....	43
19	Distribuição espacial do DMG, em (mm), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.....	43
20	Distribuição espacial do DMG (mm), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 0-20 cm, em março de 2006.....	44
21	Distribuição espacial do DMG (mm), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 20-40 cm, em março de 2006.....	44
22	Distribuição espacial do DMG (mm), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em agosto de 2006.....	45
23	Distribuição espacial do DMG (mm), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 20-40 cm, em agosto de 2006.....	45
24	Distribuição da Pt ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20	

	cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.....	52
25	Distribuição da Pt ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.....	52
26	Distribuição da Pt ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.....	52
27	Distribuição da Pt ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.....	53
28	Distribuição espacial da Pt ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em março de 2006.....	54
29	Distribuição espacial da Pt ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 20-40 cm, em março de 2006.....	54
30	Distribuição espacial da Pt ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em agosto de 2006.....	55
31	Distribuição espacial da Pt ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 20 -40 cm, em agosto de 2006.....	55
32	Distribuição da Map ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.....	60
33	Distribuição da Map ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.....	60
34	Distribuição da Map ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.....	61
35	Distribuição da Map ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.....	61
36	Distribuição espacial da Map ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de	

	manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), nas profundidades 0-20 cm, em março de 2006.....	62
37	Distribuição espacial da Map ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 20-40 cm, em março de 2006.....	62
38	Distribuição espacial da Map ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 0-20 cm, em agosto de 2006.....	62
39	Distribuição espacial da Map ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 20-40 cm, em agosto de 2006.....	63
40	Distribuição da Mip ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.....	68
41	Distribuição da Mip ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.....	68
42	Distribuição da Mip ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.....	69
43	Distribuição da Mip ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.....	69
44	Distribuição espacial da Mip ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 0-20 cm, em março de 2006.....	70
45	Distribuição espacial da Mip ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 20-40 cm, em março de 2006.....	70
46	Distribuição espacial da Mip ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em agosto de 2006.....	70
47	Distribuição espacial da Mip ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 20-40 cm, em agosto de 2006.....	71
48	Distribuição espacial do COT ($g kg^{-1}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de	

	2006.....	75
49	Distribuição espacial do COT (g kg^{-1}), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.....	76
50	Distribuição espacial do COT (g kg^{-1}), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida na profundidade 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.....	76
51	Distribuição espacial do COT (g kg^{-1}), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.....	76
52	Distribuição espacial do COT (g kg^{-1}), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 0-20 cm, em março de 2006.....	77
53	Distribuição espacial do COT, (g kg^{-1}), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 20-40 cm, em março de 2006.....	77
54	Distribuição espacial do COT, em g kg^{-1} , para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 0-20 cm, em agosto de 2006.....	78
55	Distribuição espacial do COT, (g kg^{-1}), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 20-40 cm, em agosto de 2006.....	79
56	Distribuição espacial do nutriente cálcio (Ca^{+2}), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.....	84
57	Distribuição espacial do nutriente cálcio (Ca^{+2}), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.....	84
58	Distribuição espacial do nutriente cálcio (Ca^{+2}), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.....	85
59	Distribuição espacial do nutriente cálcio (Ca^{+2}), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.....	85
60	Distribuição espacial do cálcio (Ca^{+2}) em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 0-20 cm, em março de 2006.....	86
61	Distribuição espacial do cálcio (Ca^{+2}) em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$,	

62	para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 20-40 cm, em março de 2006.....	87
	Distribuição espacial do cálcio (Ca^{+2}) em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 0-20 cm, em agosto de 2006.....	86
63	Distribuição espacial do cálcio (Ca^{+2}) em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 20-40 cm, em agosto de 2006.....	88
64	Distribuição espacial do nutriente magnésio (Mg^{+2}) em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.....	93
65	Distribuição espacial do nutriente magnésio (Mg^{+2}) em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.....	93
66	Distribuição espacial do nutriente magnésio (Mg^{+2}) em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.....	93
67	Distribuição espacial do nutriente magnésio (Mg^{+2}), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.....	94
68	Distribuição espacial do magnésio Mg^{+2} em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na de profundidade 0-20 cm, em março de 2006.....	94
69	Distribuição espacial do magnésio (Mg^{+2}) em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 20-40 cm, em março de 2006.....	95
70	Distribuição espacial do magnésio (Mg^{+2}) em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 0-20 cm, em agosto de 2006.....	95
71	Distribuição espacial do magnésio (Mg^{+2}) em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 20-40 cm, em agosto de 2006.....	96

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação		Página
1	Função semivariância.....	15
2	Modelo linear.....	16
3	Modelo esférico.....	16
4	Modelo exponencial.....	16
5	Modelo gaussiano.....	16
6	Modelo linear sem patamar.....	16
7	Densidade do solo.....	23
8	Teor de agregados.....	25
9	Diâmetro Médio Geométrico dos agregados.....	25
10	Microporosidade.....	26
11	Macroporosidade.....	26
12	Porosidade total.....	27
13	Volume de sulfato ferroso amoniacal.....	28
14	Carbono Orgânico Total.....	28
15	Estimador da média.....	29
16	Estimador da variância.....	29
17	Estimador do desvio padrão.....	29
18	Coefficiente de variação.....	29
19	Coefficiente de assimetria.....	29
20	Momento de ordem t em relação à média.....	29
21	Coefficiente de curtose.....	30

RESUMO

SILVA, Patrícia Costa. **Variabilidade de atributos físicos e químicos de solo submetidos a diferentes sistemas de manejo de plantas espontâneas na cafeicultura do cerrado mineiro**. 2008. 110p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.¹

A cafeicultura está em rápido desenvolvimento nas áreas de cerrado, as quais apresentam propriedades físicas do solo favoráveis ao desenvolvimento da cultura e a mecanização, porém, nessas áreas, os solos são muito intemperizados, naturalmente ácidos e de baixa fertilidade. Com a expansão da cultura, novos desafios foram incorporados, uma vez que o emprego de tecnologia e manejo correto torna-se fatores primordiais para a manutenção e aumento de produtividade e lucratividade. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos físicos do solo: densidade do solo, microporosidade, macroporosidade, porosidade total e agregação do solo através da estabilidade de agregados via úmida; e os atributos químicos: carbono orgânico total, cálcio e magnésio, submetidos a diferentes sistemas de manejo de plantas espontâneas em diferentes regiões (locais) de amostragem, na cultura do cafeeiro, através da estatística clássica e da geoestatística. A área da pesquisa localizou-se na Fazenda do Glória/ UFU- Uberlândia – MG. Foram demarcadas quatro malhas de 1200 m² contendo em cada 60 pontos equidistantes de 3 x 4,5 m georeferenciados para amostragem do solo, em sistema de sequeiro e fertirrigado, com controle de plantas espontâneas por herbicida e por grade niveladora. Em março/2006 (época chuvosa do ano) e agosto/2006 (época seca) foram retiradas 480 amostras, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, alternadas nas regiões meio da rua, saia do cafeeiro e rodado do trator, para cada época, a fim de estudar os atributos químicos e físicos conforme metodologia da Embrapa (1997). As médias foram comparadas pelo teste t de Student, a 0,05 de significância. Já a análise da variabilidade espacial foi realizada a partir de semivariogramas, obtidas pelo programa computacional GS⁺ for Windows (Gamma Design Software), utilizando-se a metodologia da krigagem para estimativas dos locais não amostrados. Verificou-se que o uso de herbicidas promoveu a preservação dos atributos físicos e químicos devido à deposição de restos vegetais sobre a superfície. O revolvimento do solo, promovido pela prática da gradagem ocasionou: redução da densidade do solo e porosidade total, diminuição do DMG dos agregados, aumento da macroporosidade e maior taxa de oxidação do carbono. A saia do cafeeiro apresentou valores superiores: do DMG dos agregados, de porosidade (macro e micro) e menores teores de Ca⁺² e Mg⁺². A região rodado do trator (linha de tráfego) apresentou maiores valores: de densidade, de microporosidade do solo, de Ca⁺² e Mg⁺²; menores valores: de DMG dos agregados, de porosidade total do solo e de macroporosidade do solo. Os resultados da análise geoestatística indicaram dependência espacial para os atributos físicos e químicos do solo. No geral, os modelos matemáticos mais adaptados para descrever o comportamento dos semivariogramas de atributos do solo foram o Exponencial - EXP e o Esférico - ESF. O modelo EXP comprova a existência de semelhança entre pontos vizinhos, o que deve ser considerada na realização das estimativas de valores não amostrados. Já o modelo ESF indica haver dependência espacial, ou seja, as amostras para esses atributos estão correlacionadas entre si.

Palavras-chave: cafeicultura, atributos químicos e físicos, sistemas de manejo.

¹Orientador: Elias Nascentes Borges – UFU

ABSTRACT

SILVA, Patrícia Costa. **Variability of physical and chemical attributes of soil submitted to different systems of handling of spontaneous plants in the area of coffee grown in the Cerrado biome of Minas Gerais.** 2008. 110p. Dissertation (Master's in Agronomy/Soil Science) – *Universidade Federal de Uberlândia*, Uberlândia-MG.¹

The cultivation of coffee is in fast development in the Cerrado areas, these areas present soil with favorable physical properties to the development of the coffee cultivation and to mechanization, however in these areas, the soil are very weathered, naturally acid and shows low fertility. With the expansion of the coffee cultivation, new challenges had been incorporated, since that the use of technology and correct handling becomes primordial factors for the maintenance and increase of productivity and profitability. Therefore, the objective of this work was to evaluate the following physical and chemical attributes of the soil: density, microporosity, macroporosity, total porosity, aggregation through the stability of the aggregates by humid way (DMG), total organic carbon, calcium and magnesium, in the coffee grown submitted to different systems of handling of spontaneous plants with different regions of sampling, through the classic statistics and geo-statistics. The area of the research was situated in the Fazenda do Glória UFU- Uberlândia - MG. For sampling of the soil were demarcated four meshes of 1120 m², contends in each 60 equidistant points of 3 x 4.5 m geo authenticated, in system of dry land and fertirrigated, with control of spontaneous plants by herbicide and disc harrows. In March/2006 (rainy season of the year) and August/2006 (dry season of the year) were removed 480 samples in the depths of 0-20 and 20-40 cm. The samples were removed alternated in the following regions: half of the street, skirt of the coffee plant and tractor traffic line, for each season in order to study the dynamics of all attributes according with Embrapa methodology (1997). The means was compared by test t of Student (0,05 of significance), the analysis of the spatial variability was carried out through semivariograms, obtained for computational program GS⁺ for Windows (Gamma Design Software), using the kriging methodology for estimates of the places not sampled. It was verified that the use of herbicides promoted the preservation of the physical and chemical attributes due deposition of remaining vegetal portions on the surface of the soil. The mixing soil, promoted by the use of the disc harrows caused reduction of the density and porosity, reduction of the DMG of the aggregates, increase of the macroporosity and high tax of oxidation of carbon. The skirt of the coffee plant presented highest values of the DMG of aggregates, porosity (macro and micro) and lowest levels of Ca⁺² and Mg⁺². The tractor traffic line region presented highest values of density, microporosity, Ca⁺² and Mg⁺² of the soil and lowest values of DMG of aggregates, total porosity and macroporosity of the soil. The results of the geo-statistics analysis indicated spatial dependence for the physical and chemical attributes of the soil. Overall, the mathematical models more adapted to describe the behavior of the semivariograms of attributes of the soil were the Exponential - EXP and the Spherical – ESF ones. The EXP model proves the existence of similarity between neighboring points that must be considered in carrying out estimates of values not showed and the ESF model indicates that there is a spatial dependence, the samples for these attributes are correlated between itself.

Key words: coffee grown, of physical and chemical attributes, systems of handling.

¹ Orientator: Elias Nascentes Borges – UFU

1. INTRODUÇÃO

A cafeicultura constitui uma grande fonte geradora de receita para o Brasil (SANTOS, 2005). O café é o segundo produto mais comercializado no mundo, ficando atrás apenas do petróleo. No Brasil, a cafeicultura tem-se desenvolvido principalmente nas áreas de cerrado, visto que o cerrado ocupa 24% do território brasileiro, apresenta relevo pouco acidentado, possibilitando o uso intensivo de mecanização e o emprego de tecnologias apropriadas a estas condições (ALCÂNTARA e FERREIRA, 2000).

O país tornou-se o maior produtor e exportador mundial de café (EPAMIG, 2000), sendo responsável por cerca de 20% das exportações e 25% da produção mundial, a qual corresponde a uma safra anual entre 35 e 45 milhões de sacas. Além disso, é o segundo mercado consumidor, ficando atrás apenas dos EUA (AGRIANUAL, 2006). Minas Gerais é o estado brasileiro que detém a maior área plantada com cafeeiros, com aproximadamente 46,5% do total cultivado no Brasil, sendo grande parte em solos originalmente sob vegetação de cerrados (SANTOS, 2006). Entretanto, o uso da intensa mecanização, em função do avanço da cafeicultura, aliada à facilidade de manejo proporcionado por essas áreas de cerrado, tem prejudicado a qualidade física dos solos cultivados. O solo tem sido submetido ao intenso tráfego de máquinas, o que tem causado compactação excessiva, aumento da densidade do solo, redução da porosidade e da produtividade (SILVA, 2006 a).

Os diferentes sistemas de manejo empregados na condução técnica da cafeicultura podem promover diferentes efeitos nos atributos físicos do solo, principalmente quando operações mecanizadas são executadas em condições inadequadas de umidade do solo, o que potencializa a degradação da estrutura (JUNIOR, 2007).

O controle de plantas daninhas nas entrelinhas tem sido apontado como um dos principais causadores de compactação do solo em sistemas cafeeiros, dada à necessidade de controle em lavouras exploradas comercialmente, visto que se trata de uma das práticas necessárias e importantes para a condução adequada da lavoura cafeeira. Outros sistemas de manejo das plantas espontâneas, como emprego de roçadeira e dessecamento com herbicidas, estão sendo utilizados, contudo, seus efeitos na qualidade ambiental do solo, na fertilidade do solo e na produtividade da cultura, sob condições de variadas formas de fornecimento de água à cultura, ainda não estão bem

definidos. Os efeitos dos sistemas de controle de plantas espontâneas sobre a qualidade e sustentabilidade do solo podem ser avaliados pelas alterações nas propriedades físicas e químicas, principalmente quando este controle é feito mecanicamente e em condições inadequadas de umidade do solo. Dentre as alternativas para avaliar mudanças na qualidade física do solo, pode-se destacar as seguintes determinações: porosidade, distribuição do tamanho de poros, densidade do solo, estado, tamanho e estabilidade da agregação. Ressaltando-se que os diferentes métodos de controle de plantas espontâneas no cafeeiro, influenciam na qualidade física e química do solo, principalmente na camada superficial, (ALCÂNTARA e FERREIRA, 2000).

Existe certa heterogeneidade dos atributos químicos e físicos de um solo, mesmo em uma área considerada uniforme, segundo suas características visíveis de campo, tais como: topografia, cor do solo e vegetação. Para que a amostragem do solo represente, com exatidão essa heterogeneidade, é necessário o conhecimento da variabilidade para efetuar as recomendações de preservação das propriedades físicas e adubação. (SILVEIRA et al., 2000).

Uma alternativa disponível para avaliar as alterações de atributos físicos e químicos em solos ocasionadas pelos diferentes sistemas de manejo de plantas espontâneas, é o uso da geoestatística. Esta leva em consideração a variabilidade espacial e até mesmo temporal dos dados, complementando, ou mesmo substituindo, a análise estatística não espacial. Enquanto na estatística não espacial as amostragens são feitas ao acaso, ignorando-se sua posição geográfica, na geoestatística os locais de amostragem são definidos e geralmente feitos em malhas com pontos equidistantes, pois devem levar em consideração a dependência espacial (AMARO FILHO et al., 2007).

A geoestatística pode indicar alternativas de manejo, não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção das culturas, mas também para alternativas de manejo do solo que preserve a qualidade ambiental do mesmo (SIMÕES et al., 2006).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos físicos e químicos do solo submetido a diferentes sistemas de manejo de plantas espontâneas em diferentes locais de amostragem, na cultura do cafeeiro, através da estatística não espacial e da geoestatística.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 - A cultura do cafeeiro

O café foi introduzido no Brasil no início do século XVIII, no estado do Pará, pelas mãos do sargento-mor Francisco de Mello Palheta, tornando-se em pouco tempo um dos principais produtos de exportação. A cultura do cafeeiro no Brasil destaca-se por sua grande área de cultivo e por se tratar de um produto de exportação, de grande importância econômica.

O desenvolvimento da cafeicultura em Minas Gerais teve início no século XIX com plantações pioneiras esparsas, limitadas a culturas de quintal, que precederam as lavouras comerciais estabelecidas nas regiões Sul e Zona da Mata. Atualmente, os cafezais mineiros conquistaram novas áreas, tais como: o Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Alto Jequitinhonha, áreas estas de solos sob cerrado, com relevo menos acidentado, que exigem o emprego de tecnologias mais apropriadas, principalmente quanto ao uso de mecanização (ALCÂNTARA e FERREIRA, 2000).

Atualmente, o Estado de Minas Gerais é o maior produtor do Brasil, sendo grande parte da área cultivada originalmente ocupada por vegetação de cerrado. Essa região é lugar de destaque pelas excelentes condições de topografia e clima favoráveis à cafeicultura (TEODORO et al., 2003). Nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, a cafeicultura tem-se desenvolvido de forma acelerada, em razão da alta tecnologia aplicada, sendo mecanizada em todas as suas etapas, desde a fase de instalação, até a fase de produção (SILVA, et al., 2006 a).

2.2 - Plantas espontâneas e produção dos cafeeiros

As plantas espontâneas geralmente são bem adaptadas onde se desenvolvem, com capacidade de competir, com vantagem, sobre a cultura de interesse econômico tanto pela água, como pelos nutrientes essenciais, os quais, quase sempre, estão em quantidades disponíveis inferiores às necessidades das culturas. No ambiente do cerrado, com solos naturalmente pobres e período seco bem definido, o déficit de nutrientes para cultura pode ser ainda maior em virtude do alto poder de fixação de alguns nutrientes (BORGES et al., 2001). Devido à grande variação em termos de recrutamento dos nutrientes minerais do solo, apresentada pelas diferentes espécies de

plantas espontâneas, a competição por nutrientes depende, em alto grau, das espécies cultivadas.

A produção do cafeeiro pode ser comprometida sem a prática do controle de plantas espontâneas (SANTOS, 2006). Segundo Lemes et al. (2003), as plantas espontâneas que conviveram com o cafeeiro Mundo Novo, um ano após a recepa, durante toda a época de chuvas (outubro a março), para uma população com predominância de *Digitaria horizontalis*, *Brachiaria plantaginea* e *Parthenium hysterophorus*, reduziram a produção da cultura em 53 e 47% na primeira e segunda safras, respectivamente.

Ronchi et al. (2003), avaliando os efeitos da interferência de sete espécies de plantas espontâneas no conteúdo relativo (CR) de macro e micronutrientes, na massa seca da parte aérea de plantas de café, verificaram que *Bidens pilosa*, *Commelina diffusa*, *Leonurus sibiricus* e *Richardia brasiliensis*, mesmo em baixas densidades, acarretaram decréscimos consideráveis no conteúdo relativo de nutrientes de plantas de café. *B. pilosa* foi a planta daninha que extraiu a maior quantidade de nutrientes, enquanto *Nicandra physaloides* e *Sida rhombifolia* foram as espécies que causaram menor interferência no cafeeiro. Eles observaram também que o grau de interferência (ou de competição) variou com a espécie e com a densidade das plantas espontâneas.

2.3- Influência de diferentes métodos de controle de plantas espontâneas na produção do cafeeiro

Alcântara e Ferreira (2000) estudando o efeito de diferentes métodos de controle de plantas espontâneas sobre a produção de cafeeiros, através do estudo da média geral de produção após dezoito anos de experimentação, notaram diferenças significativas entre os métodos de controle. Os resultados evidenciam que os métodos herbicida de pré-emergência (HR) e capina manual (CM) foram os que proporcionaram maiores rendimentos, ao passo que a roçadeira (RÇ), seguida pela testemunha sem capina (SC) foram os que produziram menos, com a diferença entre HR e RÇ de 3,41 e entre o HR e SC de 2,96 sacas beneficiadas por hectare). As menores produtividades ocorreram justamente nos tratamentos que se identifica com os objetivos de melhoria dos atributos físicos do solo (SC e RÇ), evidenciando que os efeitos benéficos sobre os atributos do solo podem não traduzir em aumento instantâneo na produtividade do cafeeiro.

Os aumentos no rendimento, devidos ao manejo, não têm sido rotineiramente

constatados, embora um bom manejo seja dependente da melhoria nas propriedades físicas e químicas, à medida que essas atinjam o melhor nível em função da melhor prática de manejo, para um específico solo (RHOTON et al., 1993).

Alcântara e Ferreira (2000) verificaram que não houve diferenças estatísticas entre os manejos com herbicida, grade, roçadeira, cobertura morta e capina manual, quanto aos resultados médios de produção de café em coco, durante quatro anos. Eles também constataram que a cobertura morta com palha de café nas entrelinhas, combinada com capina química nas linhas dos cafeeiros, produziram 17% acima da testemunha. O tratamento com herbicida foi mais eficiente, na produtividade do cafeeiro, que os com capina manual. Possivelmente a capina manual danificou as raízes das plantas.

Observaram também que tanto a capina manual como a química apresentaram maiores ocorrências de plantas espontâneas, entretanto, a produtividade foi maior do que com o uso de leguminosas de cobertura, que apresentou uma das menores ocorrências de invasoras. A roçada baixa demonstrou ser uma prática de manejo interessante, pelo sombreamento do solo, evitando a incidência direta dos raios solares, amenizando os efeitos da erosão na época das chuvas e, possivelmente, aumentando o teor de matéria orgânica do solo, pela decomposição de raízes e parte áreas e conseqüentemente com efeitos diretos sobre a manutenção da umidade e conservação do solo, enquanto as leguminosas, por permanecerem vivas durante todo o ano, competiram por água no período seco, época de floração do café e nutrientes durante todo o ano.

2.4 - Influência dos métodos de controle de plantas espontâneas nas propriedades físicas do solo

Segundo Alcântara e Ferreira (2000), os diferentes métodos de controle de plantas espontâneas no cafeeiro exerceram influência sobre os atributos físicos do solo, principalmente na camada superficial. Estes pesquisadores observaram que o controle efetuado com capinas manuais na linha e herbicida de pós-emergência nas entrelinhas foram mais eficientes na manutenção da qualidade física do solo cultivado com cafeeiro.

Observaram, ainda, que após dezoito anos de uso contínuo de herbicida de pré-emergência, o valor da densidade do solo elevou-se significativamente. O emprego da

roçadeira levou a maior compactação do solo em menor espaço de tempo, enquanto que a manutenção das plantas espontâneas nas ruas do cafezal reduziu a densidade do solo e elevou a porosidade total, contribuindo também para a manutenção de agregados mais estáveis em água. O uso contínuo de grade reduziu a estabilidade dos agregados.

2.5 - Agregação do solo e sistemas de manejo

O uso agrícola das terras altera os atributos físicos do solo em intensidade variável com as condições edáficas e climáticas. Dessa forma, diferentes sistemas de manejo resultam em mudanças na composição e arranjo dos constituintes do solo, que podem, em alguns casos, prejudicar a conservação desse recurso natural e reduzir a produtividade das culturas (REINERT, 1998).

Dentre as propriedades físico-mecânicas do solo, salienta-se a formação de unidades estruturais compostas, ou agregados, as quais são separadas por superfícies de fraqueza e determinam a distribuição e o tamanho dos poros. Dessa forma, a estabilidade desses agregados decorre da aproximação e cimentação das partículas do solo mediante atuação de diversas substâncias de natureza mineral e orgânica, por meio de mecanismos físicos, químicos e biológicos (SILVA e MIELNICZUK, 1998).

No processo de formação dos agregados, as raízes, ao penetrarem no solo, comprimem as partículas, aproximando-as, e no processo de estabilização dos agregados, além do efeito das raízes que formam um emaranhado no solo, há também o efeito das hifas dos fungos que estão associados com as raízes (ANDREOLA et al., 2000). A intensidade desses mecanismos influencia a resistência das unidades estruturais ante as forças desagregantes, que podem ser advindas da abrasão por implementos agrícolas, do impacto das gotas de chuva, bem como do cisalhamento pelo fluxo de água, e, ou, pela entrada de água nos agregados. A agregação, em grande parte, pode ser alterada pelos sistemas de manejos adotados. Não é só pelo efeito do revolvimento mecânico do solo durante o seu preparo, mas também a erosão hídrica e sistemas de cultura, dentre outros, que podem desfazer os agregados, salientando que todos os fatores estão relacionados com a umidade (LIMA et al., 2003).

O teor de umidade do solo é outro fator de grande influência no comportamento dos agregados e pode causar grandes problemas ao solo. Oliveira et al. (1996) estudando diversos Latossolos, relatam a importância dos ciclos de umedecimento e

secagem que promovem alterações na estabilidade de agregados, comprometendo desse modo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

O estado de agregação do solo pode indicar mudanças decorrentes do manejo, tanto com relação ao tamanho e estabilidade dos agregados (ALCÂNTARA e FERREIRA, 2000; BEUTLER et al., 2001), como à concentração dos agregados em determinada classe de tamanho, em Latossolos (DA ROS et al., 1997; CASTRO FILHO et al., 1998; BEUTLER et al., 2001) ou solos menos intemperizados.

A avaliação da estabilidade de agregados é de fundamental importância para o estudo da física do solo, uma vez que este atributo está diretamente correlacionado com a infiltração de água no solo e conseqüentemente com o processo erosivo. A estabilidade de agregados é um fator de extrema importância em se tratando da conservação do solo, pois é um indicador dos processos envolvidos na sua degradação (GONTIJO et al., 2005).

O uso de implementos agrícolas, como a grade pesada, promove a quebra dos agregados do solo, e expõe a matéria orgânica ao ataque dos microrganismos e, como conseqüência, ocorre a perda de carbono do solo. Em situações de baixa disponibilidade de carbono e com a estrutura destruída, a infiltração da água no solo é prejudicada e o solo resiste menos ao impacto de gotas de chuva, iniciando-se, assim, o processo erosivo (SANTOS, 2005).

O uso intensivo e generalizado da grade aradora e grade niveladora na região dos cerrados, buscando uma condição favorável à semeadura, entretanto, contribuem para promover modificações na estrutura dos solos. Costa et al. (2003), em seu trabalho sobre sistemas de preparo do solo em experimento de longa duração (21 anos), verificaram o efeito positivo do sistema de plantio direto, resultando em aumento de duas vezes no tamanho médio dos agregados analisados por peneiramento úmido, em comparação ao plantio convencional.

A movimentação do solo e o tráfego de máquinas e implementos agrícolas contribuem para promover modificações no tamanho dos agregados do solo, resultando em aumento da densidade, redução da porosidade total e aumento na proporção de poros pequenos em relação aos grandes, uma vez que os poros grandes são altamente afetados pelo manejo do solo (SILVA e MIELNICZUK, 1998).

De acordo com esses mesmos autores, diferentes sistemas de manejo resultarão, conseqüentemente, em diferentes condições de equilíbrio físico do solo, que poderão ser desfavoráveis à conservação do solo e à produtividade das culturas. Essas condições

diferenciadas são resultantes dos efeitos diferentes que os sistemas de manejo exercem sobre a formação e estabilização dos agregados do solo, os quais são responsáveis pela dinâmica do sistema.

2.6 - Densidade do solo e sistemas de manejo

O desenvolvimento da cafeicultura está relacionado com o uso de máquinas agrícolas que podem causar compactação do solo (DIAS JÚNIOR, 2000), alterando o meio onde o sistema radicular se desenvolve (GYSI, 2001). Portanto, o tráfego, em condições inadequadas de umidade e em áreas cultivadas com cafeeiros, tem-se tornado preocupante em decorrência da compactação causada pelas máquinas ao longo dos anos, o que pode levar à redução da produtividade e aumento da densidade do solo (SILVA et al., 2006 a).

Segundo Ingaramo (2003), para avaliação da qualidade do solo, algumas das principais propriedades e fatores físicos considerados adequados para descrevê-la são: porosidade, distribuição do tamanho de poros, densidade do solo, resistência mecânica, condutividade hidráulica, distribuição do tamanho de partículas e profundidade em que as raízes crescem.

Silva et al. (2006 b), em seu trabalho sobre propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo, verificaram que a densidade do solo aumentou em profundidade, independentemente do sistema de manejo, e teve correlação negativa com o teor de carbono orgânico, possivelmente por influência dos constituintes orgânicos na estruturação e agregação do solo. De acordo com Alves et al. (2006), quando ocorre a degradação da estrutura, a densidade do solo tende a aumentar, acarretando redução da macroporosidade. Reichert et al. (2003) consideram $1,55 \text{ mg m}^{-3}$ como densidade crítica para o bom crescimento do sistema radicular em solos de textura média.

Borges (1995), ao promover a compactação do solo, elevando os valores de densidade de $1,32 \text{ kg dm}^{-3}$ para $1,77 \text{ kg dm}^{-3}$ em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, verificou que a compactação reduziu a aeração em aproximadamente 5,8 vezes, enquanto que a umidade volumétrica foi aumentada em 1,58 vezes, o que compromete o crescimento das plantas.

Estudando as alterações do solo influenciadas pelo tráfego de implementos nas entrelinhas de uma floresta de eucalipto, SILVA et al. (2007) verificaram um aumento

de até 15,3 % na densidade do solo, em áreas submetidas ao intenso tráfego, em relação ao tratamento sem tráfego, devido à compactação ocasionada pelas rodas do “forwarder”, nas profundidades de 0–10 e de 10–20 cm. Jorajuria e Draghi (2000) relataram que 90 % do incremento máximo medido para a densidade aparente na camada superficial (0–30 cm) foi produzido já na primeira passada de um trator leve sobre o solo. De acordo com Nugent et al. (2003), as passadas iniciais, durante um tráfego de máquinas, são as responsáveis pelo maior incremento da compactação do solo, em relação às passadas seguintes.

Alcântara e Ferreira (2000) estudando os efeitos de métodos de controle de plantas espontâneas na cultura do cafeeiro verificaram que tanto na camada de 0-15 cm, quanto na de 15-30 cm, a densidade do solo sofreu alterações ao longo do período amostrado, principalmente quando comparou seu valor na condição de mata com aqueles relativos aos métodos de controle das plantas espontâneas. A manutenção de cobertura vegetal proporcionada pelo uso de herbicidas diminui a compactação, principalmente na região de entre linhas de cultivo na cultura do café.

2.7 - Microporosidade, macroporosidade, porosidade total do solo e sistemas de manejo

A macroporosidade do solo, geralmente preenchida por ar, é a mais comumente utilizada para avaliar as condições de aeração, valores menores que 10% são considerados críticos ao desenvolvimento das plantas (LIPIEC e HATANO, 2003). Com os avanços tecnológicos da mecanização e das correções químicas, o solo tem sido submetido a diversos tipos de impactos negativos, o que contribui para aumentar a compactação e a dispersão das partículas do solo. Tanto o processo da compactação, quanto o da dispersão com deposição das partículas, reduzem a macroporosidade e aumentam a resistência ao crescimento radicular, principalmente em condições de baixa umidade (MULLER et al., 2001). O volume de solo disponível para o crescimento radicular fica limitado à camada de preparo, tornando a planta mais susceptível aos déficits hídricos e com menor capacidade em absorver nutrientes.

Borges et al. (1999) afirmam que o uso intensivo e prolongado de fertilizantes e de mecanização agrícola, em determinadas classes de Latossolos, promove a dispersão das partículas que compõem os agregados. Com a individualização dessas partículas,

elas deslocam-se junto com a água de drenagem, depositando-se nos macroporos do solo e alterando o equilíbrio entre macro e microporos em profundidade.

Klein e Libardi (2002), ao avaliarem diferentes sistemas de manejo, observaram alterações na estrutura do solo, com aumento da densidade; redução da porosidade total e alteração na distribuição do diâmetro dos poros, em função do manejo adotado, com conseqüente diminuição da condutividade hidráulica do solo saturado.

Silva et al. (2006 b) trabalhando com alguns atributos físicos do solo e teor de carbono orgânico de um Argissolo, sob distintos sistemas de uso e manejo, verificaram que os sistemas de manejo não influenciaram a porosidade total do solo, mas a distribuição do tamanho de poros em profundidade. A macroporosidade foi maior no preparo convencional, em relação ao preparo reduzido e semeadura direta, na camada de 7,5–12,5 cm, e os microporos foram mais abundantes, de 0–2,5 cm na semeadura direta, em relação aos demais sistemas.

Na maioria dos sistemas de semeadura direta, a ausência quase que completa de preparo por longo tempo reduz o volume de macroporos e eleva a densidade do solo (BERTOL et al., 2001) e a estabilidade dos agregados na superfície (COSTA et al., 2003), refletindo-se em boa qualidade do solo, em relação ao preparo convencional e ao campo nativo (D'ANDRÉA et al., 2002). Segundo Araújo et al. (2004), nos solos tropicais e subtropicais, a adoção de técnicas de uso e manejo com o mínimo revolvimento é fundamental para a conservação do solo e da água e acúmulo de matéria orgânica, pois o revolvimento do solo promove aumento na macroporosidade do solo, então a planta aumenta sua taxa de respiração e libera carbono.

Num solo degradado, além da redução da quantidade de água disponível, a taxa de difusão de oxigênio pode limitar o desenvolvimento das plantas na faixa de potenciais que determinaram à disponibilidade de água (ARAÚJO et al., 2004).

2.8 - Influência dos sistemas de manejo sobre o teor de Carbono Orgânico Total no solo

O teor de matéria orgânica é o atributo que melhor representa a qualidade do solo, podendo notadamente ser influenciado pelos sistemas de preparo do solo. Os sistemas de manejo do solo, nos quais não ocorre revolvimento, são responsáveis por maior acúmulo de carbono (SANTOS et al., 2004; ZANATTA et al., 2004). Para Doran e Parkin (1994), o teor de COT no solo é um dos indicadores da qualidade do solo

considerado dos mais importantes, por alterar a dinâmica de nutrientes, propriedades físicas e biológicas e características produtivas do solo. Além disto, está relacionada diretamente com aspectos da poluição ambiental, pela liberação do carbono à atmosfera, provocando aumento do efeito estufa e, conseqüentemente, mudança climática.

O acúmulo de matéria orgânica favorece o aumento da CTC, além de melhorar a estabilidade dos agregados, diminuindo desta forma o prejuízo potencial dos agentes erosivos. Nos sistemas de preparo convencionais, o revolvimento do solo, além de promover uma maior distribuição em profundidade do material vegetal, também promove uma maior oxidação da matéria orgânica (SANTOS et al., 2004). Outro fator que pode afetar o acúmulo de matéria orgânica no solo sob cultivo é a perda da camada superficial pela erosão, já que a mesma se concentra nos primeiros centímetros do solo.

Segundo Pérez Gomar et al. (2002), os diferentes sistemas de manejo de solo alteram a concentração do COT no solo. O conhecimento dessa mudança é importante para prever os efeitos sobre o ecossistema e para estabelecer estratégias de manejo que permitam obter uma produção sustentável. Santos et al. (2001) relatam que a manutenção de cobertura vegetal, proporcionada pelo uso de herbicidas, diminuiu a compactação, principalmente na região de entre linhas de cultivo na cultura do café.

De acordo com Cavalcante et al. (2007), a diminuição do teor de matéria orgânica nos cultivos contínuos pode ser atribuída à decomposição da matéria orgânica humificada em virtude do baixo retorno dos resíduos vegetais ao solo. Os sistemas de manejo conservacionistas do solo podem contribuir para o aumento do teor de matéria orgânica e, conseqüentemente, da fertilidade do solo (SANTOS e TOMM, 2003). Segundo Theodoro et al. (2003), matéria orgânica, desde que utilizada de forma equilibrada e balanceada na cultura do cafeeiro, observando-se o conteúdo de nutrientes e o seu preço final, poderia substituir a adubação química.

Girelli et al. (2004) analisando a distribuição de carbono em agregados sob três tipos de uso do solo, encontraram maior concentração de carbono nos agregados, a profundidade de 0-5 cm e no solo sob floresta. O uso de grade promove a quebra dos agregados e aumenta a oxidação da matéria orgânica do solo, expondo novas superfícies ao ataque de microorganismos. Estudos realizados por Mello e Silva (1995), em solos de cerrado, mostram que a compactação e a redução de matéria orgânica influenciam de forma negativa as propriedades do solo, elevando a densidade e conseqüentemente diminuindo a porosidade total.

De acordo com Conceição et al. (2005), a matéria orgânica, que é fonte de carbono, também atua sobre outros atributos, tais como: ciclagem de nutrientes, complexação de elementos tóxicos e estruturação do solo. Solos tropicais, intensamente intemperizados, apresentam como uma das suas principais características químicas a baixa CTC. Para Freixo et al. (2002), a matéria orgânica do solo constitui o maior reservatório de carbono da superfície terrestre. Segundo Silva et al. (2004), estudos têm demonstrado que a permanência de maiores quantidades de resíduos na superfície não é suficiente para garantir um aumento na matéria orgânica do solo.

2.9 - Influência dos sistemas de manejo sobre os teores de Cálcio e Magnésio trocáveis no solo

Os solos de regiões tropicais e subtropicais são normalmente ácidos e apresentam altos teores de Al trocável. A calagem, portanto, tem sido intensivamente utilizada pelos produtores porque aumenta o rendimento da maioria das culturas, pois aumenta rapidamente os valores de pH, Ca, Mg e CTC efetiva (ERNANI et al., 2000).

A calagem constitui uma eficiente forma de amenizar o problema de escassez de bases como Ca^{+2} e Mg^{+2} , além de atuar como facilitadora para manifestação de cargas negativas importantes para retenção dos cátions essenciais, bem como propiciar uma menor adsorção de P, deixando este disponível para ser absorvido pelo cafeeiro.

O mapeamento de atributos químicos do solo, tais como a acidez do solo, e as concentrações de elementos como cálcio e magnésio, mediante um adequado sistema de amostragens, se constituem numa ferramenta capaz de identificar áreas específicas com problemas, como, por exemplo, barreiras químicas capazes de afetar a distribuição de raízes no perfil. Variações químicas no solo, como a acidez e as concentrações de elementos como Ca^{+2} e Mg^{+2} , por exemplo, não podem ser consideradas como variações aleatórias e, portanto apresentam algum grau de dependência espacial.

Ciotta et al. (2004) estudando o manejo da calagem em um Latossolo Bruno, observaram que a calagem aumentou os teores de Ca^{+2} trocável até 20 cm de profundidade, independentemente do modo de aplicação de calcário. Esses mesmos autores também verificaram que a maior concentração de Ca^{+2} na camada superficial, foi devido à solubilização do corretivo e liberação de Ca^{+2} a partir da superfície, bem como à mineralização dos nutrientes dos resíduos vegetais depositados sobre o solo.

2.10 - Variabilidade espacial e propriedades físicas do solo

O estudo da variabilidade espacial das propriedades físicas dos solos é importante nas áreas submetidas a diferentes manejos, pois a geoestatística pode indicar alternativas de manejo não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo, mas também para aumentar a possibilidade de estimar respostas dos atributos do solo em função de determinadas práticas de manejo (OVALLES e REY, 1994). Além disso, a eficácia das estratégias de amostragem do solo pode ser aumentada com a incorporação de um modelo de variabilidade espacial (BRUS, 1993). De acordo com Silveira e Cunha (2002), em área cultivada, além da variabilidade natural, existem fontes adicionais de heterogeneidade no solo, por causa do manejo exercido pelo homem das mais variadas formas.

Segundo Carvalho et al. (2003), a heterogeneidade é uma propriedade inerente do solo que tipifica sua anisotropia. Numa paisagem natural, o solo apresenta variabilidade dos seus atributos, no sentido espacial e volumétrico, resultante da interação dos processos que comandam os fatores de sua formação. Um solo cultivado apresenta fontes adicionais de heterogeneidade, devido ao efeito antrópico da agricultura, logo, os princípios básicos da experimentação, estabelecidos por meio do método estatístico clássico, consideram que a variabilidade do solo ocorre de forma aleatória, admitindo-se uma distribuição de frequência do tipo normal. Porém, algumas pesquisas relatam que os atributos do solo apresentam intensa dependência espacial (JOURNEL e HUIJBREGTS, 1991), e necessitam de uma análise geoestatística.

Para Simões et al. (2006), a análise da variabilidade de atributos físicos do solo pode ser realizada por meio da estatística descritiva. Esta ferramenta, entretanto, não considera a distribuição dos dados no espaço, ao contrário da geoestatística, que considera a dependência espacial entre as amostras e a sua localização geográfica.

Segundo Gomes et al. (2007), os atributos físico-hídricos relacionados com a dinâmica da água, como porosidade drenável, condutividade hidráulica, volume total de poros, entre outros, apresentam grande variabilidade mesmo em solos com aparente homogeneidade. Eguchi et al. (2003) relatam coeficiente de variação (CV) de 61,28 % para a condutividade hidráulica, com moderada estrutura de dependência espacial. No trabalho de Nielsen et al. (1973), citados por Gomes et al. (2007), em uma área de 150 ha com 120 pontos de amostragem, foi obtido CV de 17 % para retenção de água. Esse

valor difere do encontrado por Souza et al. (2004), que relatam CV de 8,68 % para teor de água no solo, com elevado grau de dependência (90 %).

Mesquita (2001) relata que a variabilidade encontrada nas medidas da macroporosidade, evidenciada principalmente pelo coeficiente de variação, geralmente, variando de 15 a 20 %. Warrick e Nielsen (1980) citado por Gomes et al. (2007) consideram os valores do coeficiente de variação entre 12 e 60 % como de média variabilidade, e os valores abaixo e acima deste intervalo, como de baixa e alta variabilidade, respectivamente.

2.11 - Variabilidade espacial e propriedades químicas do solo

O uso da geoestatística, para modelar a variabilidade espacial do solo, permite a aplicação de insumos no local correto e na quantidade exata, promovendo o aumento da produtividade das culturas e diminuindo grandemente o risco de contaminações ambientais, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os cultos envolvidos o permitam (CAVALCANTE et al., 2007).

O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos dos solos é particularmente importante em áreas onde o solo está submetido a diferentes manejos (CARVALHO et al., 2002), pois a análise geoestatística pode indicar alternativas de manejo não só para reduzir os efeitos da variabilidade na produção das culturas, mas também para aumentar a possibilidade de se estimarem respostas de atributos químicos do solo, em função de determinadas práticas de manejo (SILVEIRA et al., 2000). Além disso, a estratégia de amostragem do solo pode ser melhorada com a incorporação de um modelo de variabilidade espacial.

As aplicações convencionais de fertilizantes atualmente realizadas pelos agricultores implicam aplicações excessivas em determinadas áreas do campo e insuficientes em outras. O conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade pode otimizar as aplicações localizadas de corretivos e fertilizantes, melhorando dessa maneira o controle do sistema de produção das culturas, reduzindo os custos gerados pela alta aplicação de insumos e a degradação ambiental provocada pelo excesso destes nutrientes (SILVA et al., 2007).

As pesquisas com agricultura de precisão na cultura do café têm demonstrado variabilidade acentuada de atributos do solo e da produção. Marques Júnior et al. (2000) investigando a variabilidade espacial de atributos químicos e granulométricos do solo de

uma lavoura de café na região de Patrocínio-MG, observaram dependência espacial para todos os atributos estudados.

2.12 - O uso da geoestatística

A utilização da geoestatística permite identificar a existência ou não de dependência espacial entre as observações, podendo ser aplicada em mapeamentos, orientação de futuras amostragens e modelagens, permitindo, assim, estimar o valor do atributo em locais não amostrados, facilitando a gestão dos recursos naturais, especialmente em bacias hidrográficas representativas no contexto pedológico e de uso do solo (GOMES et al., 2007).

Na geoestatística leva-se em consideração a variabilidade espacial e, ou, temporal de dados, complementando, ou mesmo substituindo, eficientemente, a análise estatística clássica (ANGÉLICO, 2006). Um requisito básico para aplicação dos métodos geoestatísticos é a necessidade de referenciamento das amostras, seja com relação às coordenadas geográficas, seja com relação ao tempo (ZIMBACK, 2003).

De acordo com Huijbregts (1975), citado por Simões et al. (2006), em áreas muito grandes ou heterogêneas, a amostragem de todos os pontos no solo, dos quais se deseja obter informações, é uma opção cara e trabalhosa. A análise geoestatística possibilita a construção de semivariogramas que servem de suporte para a técnica da krigagem, permitindo a representação quantitativa da variação de um fenômeno regionalizado no espaço. Com o procedimento geoestatístico da krigagem, portanto, é possível estimar valores de pontos não amostrados no solo, sem tendência e com variância mínima (VIEIRA, 2000 a).

Segundo Valeriano e Prado (2001), os semivariogramas podem ser definidos como representação gráfica da função de dependência em relação à distância, através da qual pode-se ajustar modelos teóricos de variabilidade espacial.

A função semivariograma é definida por:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{\sum_{i=1}^{n(h)} [z(t+h) - Z(t)]^2}{2n(h)} \quad (1)$$

onde:

h é a distância entre os pares de observações ($Z(x+h)$, $Z(t)$);

$n(h)$ é o número de pares de observações possíveis na distância h .

De acordo com Vieira (2000 b), numa análise geoestatística, os valores de alcance dos semivariogramas experimentais informam as distâncias mínimas entre amostras, para serem consideradas independentes. A independência ou não dos pontos amostrados é fundamental para escolha do teste estatístico a ser aplicado. De acordo com este mesmo autor, os principais modelos para o ajuste do semivariograma são:

i) **modelo linear**

$$\gamma(h) = C_0 + b h \quad 0 \leq h \leq a \quad (2)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h > a$$

ii) **modelo esférico**

$$\gamma(h) = C_0 + C [1,5 (h/a) - 0,5 (h^3/a^3)] \quad 0 \leq h \leq a \quad (3)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h > a$$

iii) **modelo exponencial**

$$\gamma(h) = C_0 + C [1 - \exp (-3h/a)] \quad 0 \leq h \leq d \quad (4)$$

iv) **modelo gaussiano**

$$\gamma(h) = C_0 + C [1 - \exp (-3h^2/a^2)] \quad 0 \leq h \leq d \quad (5)$$

v) **modelos sem patamar**

$$\gamma(h) = C_0 + b h^B \quad 0 < B < 2 \quad (6)$$

Os parâmetros “b” e “B” são constantes que definem o modelo, sendo que “B” tem que ser estritamente maior que zero e menor que dois para garantir a condição de positividade definida condicional e “b” representa a inclinação da reta no semivariograma. Já o parâmetro C_0 (efeito pepita) representa a variabilidade não detectada, conforme a distância utilizada, podendo também referir-se a um erro analítico, referente a uma variabilidade não explicada (CAMBARDELLA et al., 1994). $C_0 + C$ é o valor em que o semivariograma se estabiliza; “a” é a amplitude de dependência e indica a distância limite entre as amostras que possuem e as que não possuem uma autocorrelação espacial. Vieira (2000 b) cita que o alcance “a” é a linha divisória para aplicação da geoestatística ou da estatística não espacial.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Localização da área experimental e clima predominante

A área experimental desta pesquisa constitui parte de uma unidade de produção, ensino e pesquisa em cafeicultura, situada na Fazenda do Glória da Universidade Federal de Uberlândia em Uberlândia- MG, delimitada e conduzida por Souza (2005) desde o ano de 2003. Para esta dissertação as amostragens foram efetuadas em duas épocas distintas, durante o ano de 2006. A unidade taxonômica é o Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa. Esta unidade é formada na região pelo retrabalhamento de sedimentos do arenito de Bauru e representa cerca de 60 % dos solos dessa região. O clima na área, pela classificação de Koppen, predominante é o Aw que caracteriza como sendo um clima tropical chuvoso (clima de savana), megatérmico, com invernos secos. A temperatura do mês mais frio é superior a 18 °C e a precipitação do mês mais seco é inferior a 60 mm. Este clima é caracterizado por um período chuvoso de seis meses (outubro a março), julho e agosto são os meses mais secos, conforme observa-se através da Figura 1.

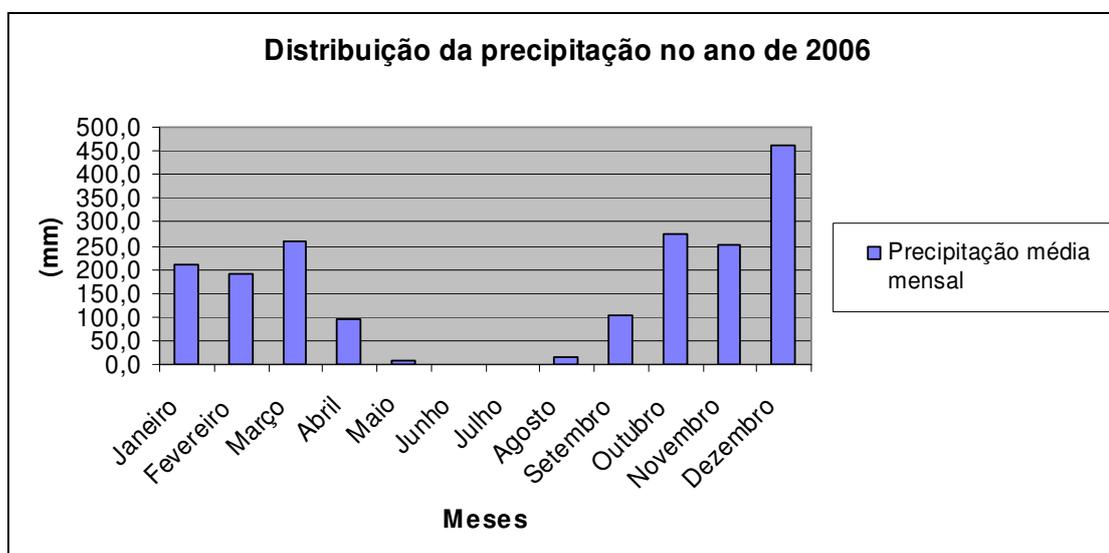


Figura 1: Precipitação pluviométrica na área experimental referente ao ano de 2006.

O regime de umidade do solo, de acordo com a Soil Taxonomy, é o “ustic”, caracterizado por apresentar a diferença entre as temperatura médias do verão e do inverno inferiores a 5 °C, e o número de dias acumulados secos, superior a 90 e inferior a 180 dias. A área do experimento apresenta topografia suave ondulada, textura argilosa.

As variedades de café (*Coffea arabica*) cultivadas na área são o Catuaí Vermelho e o Acaíá Cerrado, plantadas no espaçamento de 3,5 x 0,7 m (uma planta por cova). O manejo de adubação consta: adubação de plantio, efetuada conforme resultado da análise do solo e recomendação inserida na 5ª aproximação da Comissão de Solos do Estado de Minas Gerais (1999). A adubação de manutenção da cultura consta de fertirrigação e aplicação de granulado 20-05-20 na área sob regime de sequeiro.

3.2 - Caracterização da Área Experimental e do Solo

A caracterização do solo no qual se instalou o experimento foi realizada em 2003, ano em que iniciou esta pesquisa. As amostras de solo foram retiradas nos locais propostos (meio da rua, saia do cafeeiro e rodado do trator) previamente georeferenciados para caracterizar os atributos físicos e químicos da área.

Quadro 1 – Análise granulométrica do solo referente à área de implantação do experimento, no ano de 2003 e nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, (utilizando-se a média de 480 repetições):

Profundidade	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	g kg ⁻¹			
0-20 cm	201	205	49	545
20-40 cm	206	204	40	550

Quadro 2 – Caracterização física do solo em diferentes locais e profundidades amostradas em 2003 (utilizando-se a média de 480 repetições):

Local de amostragem	Profundidade cm	Densidade kg m ⁻³	Porosidade total m ³ m ⁻³	Resistência Mecânica kgf cm ⁻²
Meio da rua	0-20	1,49	0,43	48
	20-40	1,51	0,42	72
Saia do cafeeiro	0-20	1,38	0,47	21
	20-40	1,43	0,45	60
Rodado do trator	0-20	1,54	0,41	59
	20-40	1,52	0,42	80

Quadro 3 – Caracterização química do solo em diferentes locais e profundidades amostradas em 2003 (utilizando-se a média de 480 repetições):

Local de amostragem	Prof.	pH	P	K	S-SO ₄	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	t	T	V	m	COT
		Água	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³					%		g kg ⁻¹	
Meio da rua	0-20 cm	5,8	10	68	5	0,16	1,34	0,38	2,03	1,89	2,05	3,92	48	8	16,0
	20-40 cm	5,4	4,0	27	10	0,21	0,79	0,26	1,97	1,12	1,33	3,09	36	16	14
Saia do cafeeiro	0-20 cm	4,6	18	100	13	0,44	1,16	0,30	2,49	1,72	2,16	4,21	41	20	14
	20-40 cm	4,1	6,0	65	16	0,56	0,68	0,20	2,51	1,05	1,61	3,56	29	35	14
Rodado do trator	0-20 cm	5,5	10	76	7	0,12	1,15	0,28	2,12	1,62	1,74	3,74	43	7	15
	20-40 cm	5,1	5,0	34	9	0,28	0,69	0,20	2,07	0,98	1,26	3,05	32	22	14

P, K Al, Ca, Mg; SB = Soma de Bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases e m= Saturação por alumínio.

3.3 - Estabelecimento das Malhas Georeferenciadas

Foram delimitadas 4 malhas (talhões) de 20 x 60 m cada, contendo 60 pontos equidistantes de 4 x 3,5 m, os quais foram georeferenciados com o uso do GPS – sistema de posicionamento global. Para a amostragem do solo, os pontos foram alocados em seqüência, nas regiões do meio da rua do cafeeiro, saia do cafeeiro (projeção da copa) e área de tráfego de máquinas e implementos (rodado do trator), conforme Figura 2. Duas malhas foram submetidas à irrigação efetuada diariamente e repondo cerca de 120% da quantidade de água evaporada no tanque Classe A, e a fertirrigação foi feita de 7 em 7 dias, via gotejo, sendo que a quantidade de fertilizante baseou-se na CFSEMG 1999.

As outras duas malhas ficaram submetidas ao regime de sequeiro, ou seja, o fornecimento de água às plantas ocorreu somente pela precipitação pluviométrica local e adubação granulada na projeção da copa do cafeeiro.

Tanto nas malhas irrigadas, como nas de sequeiros foram implantados os tratamentos de manejo para controle das plantas espontâneas através de métodos mecânicos com uso da grade niveladora, e químicos, mediante a aplicação de herbicida sistêmico, a base de glyphosate.

Malhas e Sistemas de Manejo

- Malha 1 (M 1) - Controle de plantas espontâneas com herbicida sistêmico à base de glyphosate na dose de 4 L ha⁻¹, aplicado com pulverizador tratorizado (PH-400 Jacto) e fertirrigada por gotejo semanal (quantidade total dividida em intervalos de 7 dias por um período que vai de setembro a abril), na região da saia do cafeeiro.

- Malha 2 (M 2) - Controle de plantas espontâneas com grade niveladora de dupla ação, incorporando ao solo os resíduos até 15 cm de profundidade, em regime de sequeiro e adubação granulada (na mesma proporção da fertirrigação e no período de outubro a março), na projeção da copa da planta.
- Malha 3 (M 3) - Controle de plantas espontâneas com grade niveladora de dupla ação, incorporando ao solo os resíduos até 15 cm de profundidade, e fertirrigada por gotejo semanal (quantidade total dividida em intervalos de 7 dias por um período que vai de setembro a abril), na região da saia do cafeeiro.
- Malha 4 (M4) - Controle de plantas espontâneas com herbicida sistêmico, a base de glyphosate na dose de 4 L ha^{-1} , aplicado com pulverizador tratorizado (PH-400 Jacto) em regime de sequeiro e adubação granulada (na mesma proporção da fertirrigação e no período de outubro a março), na projeção da copa da planta.

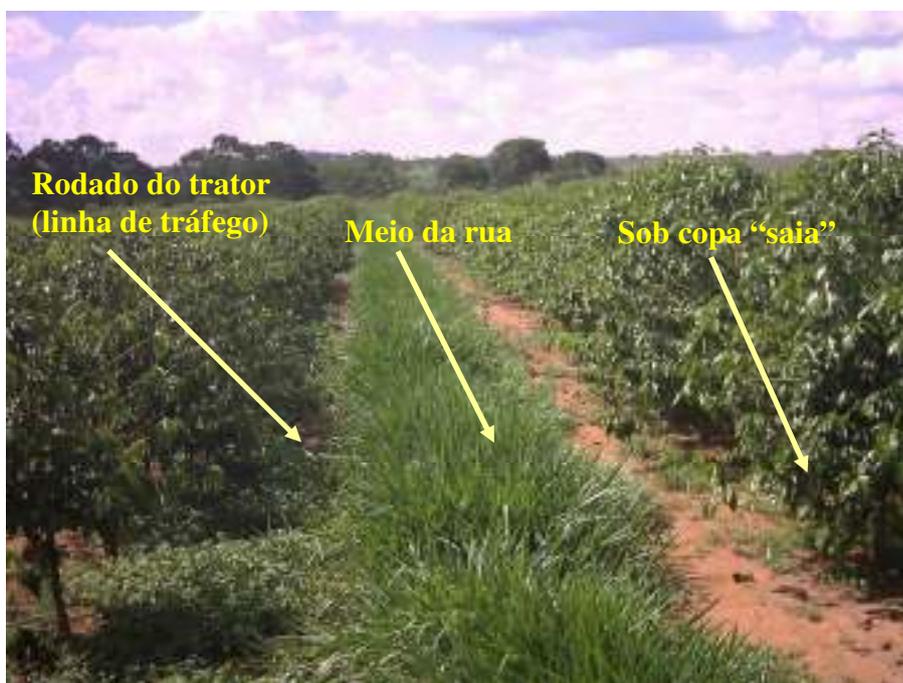


Figura 2: Locais de amostragem de solo na área experimental da Fazenda do Glória-UFU em Uberlândia- MG -2006.

3.4 - Plano Amostral

As Figuras 3 e 4 referem-se ao plano amostral com a disposição das malhas contendo os pontos georeferenciados para as amostragens deformadas e indeformadas de solo.

MANEJO 1 – IRRIGADO POR GOTEJO NA SAIA DO CAFEIEIRO E CONTROLE DE PLANTAS ESPONTÂNEAS COM HERBICIDA														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.

BORDADURA

MANEJO 2 – REGIME DE SEQUEIRO E CONTROLE DE PLANTAS ESPONTÂNEAS COM GRADAGENS														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.

BORDADURA

Figura 3: Esquema de disposição dos pontos amostrados para os manejos submetidos ao controle da plantas espontâneas com herbicida (manejo 1) e com gradagem (manejo 2) no meio da rua e linha de tráfego (rodado do trator).

MANEJO 3 – IRRIGADO POR GOTEJO NA SAIA DO CAFEIEIRO E CONTROLE DE PLANTAS ESPONTÂNEAS COM GRADAGENS														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.

BORDADURA

MANEJO 4 – REGIME DE SEQUEIRO E CONTROLE DE PLANTAS ESPONTÂNEAS COM HERBICIDA														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.	meio	saia	rod.

BORDADURA

Figura 4: Esquema de disposição dos pontos amostrados para os manejos submetidos ao controle da plantas espontâneas com grade (manejo 3) e com herbicida (manejo 4) no meio da rua e linha de tráfego (rodado do trator).

As amostragens foram realizadas observando as condições de tráfego de máquinas dentro da lavoura nos seguintes pontos: meio da rua – local destinado ao depósito provisório de material durante o arruamento nos meses que antecedem a colheita do café. Após esta, esse material em depósito é devolvido à saia do cafeeiro, para que esse espaço possa receber o controle de plantas espontâneas com herbicida e/ou gradagem; saia do cafeeiro – espaço sob influência da copa, raio com aproximadamente de 30 cm do pé da planta. Local de baixa insolação e que recebe a adubação convencional (granulada) e fertirrigada mais controle fitossanitário; rodado do trator ou linha de tráfego – local em que trafega máquinas.

3.5 - Trabalho de Campo e Laboratório

Foram extraídas 240 amostras nas regiões: meio da rua, projeção da copa e rodado do trator, em duas épocas: época das águas (março/2006) e época da seca (agosto/2006), nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, totalizando 480 amostras para cada época destinada às análises. As malhas 1 e 4 (controle de plantas espontâneas com herbicida) constituíram o tratamento com herbicida e as malhas 2 e 3 (controle de plantas espontâneas com grade) referiram-se ao tratamento com grade. Os sistemas de manejos das plantas espontâneas foram empregados na semana seguinte à amostragem de campo, referente ao ano agrícola de 2006, o qual constituiu o último ano desta pesquisa. É importante ressaltar que o experimento foi implantado no ano de 2003, e que se efetuavam amostragens de solo em diferentes épocas de cada ano. Logo após cada amostragem, empregava-se o controle das plantas espontâneas. Portanto, a influência dos sistemas de manejo das plantas espontâneas com aplicação de herbicida e com emprego de grade, sobre os atributos físicos e químicos do solo foram cumulativos, lembrando que foi avaliado.

As análises, cujos procedimentos metodológicos serão descritos a seguir, foram realizadas parte em campo e parte no Laboratório de Manejo de Solos (LAMAS) do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia.

3.6 - Determinações Físicas

3.6.1 - Densidade do solo (Ds)

Para determinação da densidade do solo (Ds), foram utilizadas amostras indeformadas retiradas com amostrador tipo Uhland (Figura 5) e anel de aço de Kopecky de bordas cortantes, volume interno em média de 80 cm³ (EMBRAPA, 1997).

Os anéis foram introduzidos com o auxílio do amostrador tipo Uhland na posição intermediária das camadas de 0-20 cm e de 20-40 cm até o preenchimento total do anel. Após remoção cuidadosa dos mesmos, foi executada a “toaleta”, com auxílio de uma faca, tomando-se o cuidado para que o volume da amostra indeformada fosse exatamente a do anel. Em seguida, as amostras foram protegidas com gazes nas suas extremidades. No laboratório, secou-se o anel com o solo em uma estufa a 105°C por aproximadamente 24 horas, até peso constante. Após esse período, as amostras foram pesadas, determinando-se a seguir a densidade do solo (Ds), em kg dm⁻³, através da expressão:

$$D_s = \frac{M_s}{V_t} \quad (7)$$

Onde:

Ms = massa da amostra de solo seca a 105°C (kg);

Vt = volume do anel (dm³);

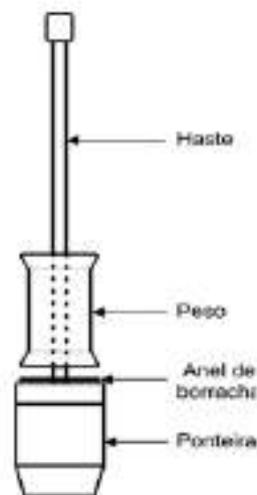


Figura 5: Amostrador de Uhland utilizado na coleta das amostras indeformadas.

3.6.2 - Estabilidade de agregados por via úmida através do (DMG)

A metodologia aplicada para análise de agregados foi proposta pela Embrapa (1997), utilizando-se um aparelho de oscilação vertical, desenvolvido por Yoder (1936), conforme modelo apresentado na Figura 6. Utilizou-se neste aparelho dois jogos de peneiras de 13 cm de diâmetro com aberturas de malha de 2,0; 1,0; 0,5 e 0,25 mm, que foram sobrepostas nessa ordem para análise de agregados.

O procedimento metodológico consistiu na amostragem de solo formada por torrões, com aproximadamente 1000 g, nas profundidades de 0 - 20 e 20 - 40 cm. No laboratório, essas amostras foram secas ao ar, destorroadas cuidadosamente com as mãos, quebrando-se os agregados maiores. O material de solo, passado em peneira de 4 mm e retido em peneira de 2 mm, foi utilizado para a análise de agregados.



Figura 6: Aparelho de Yoder, utilizado para a determinação da estabilidade dos agregados por via úmida.

Os agregados com diâmetro inferior a 0,25 mm foram obtidos por diferença, em relação à soma dos teores dos agregados anteriormente citados. Após a homogeneização, pesaram-se 25 g da amostra de agregados em triplicata. Uma das amostras foi levada à estufa, a 105°C e por 24 horas, para determinação da umidade dos agregados. As outras duas amostras foram transferidas para a peneira superior (2 mm) do aparelho de peneiramento em água e agitadas durante 4 minutos, estando o aparelho de oscilação vertical graduado para uma amplitude de 4 cm e a uma frequência de 32 oscilações por minuto.

Após esse período, os suportes contendo os jogos de peneiras foram retirados, transferiram-se os agregados contidos em cada peneira para um recipiente de alumínio,

com o auxílio de fracos jatos de água dirigidos ao fundo da peneira. Na seqüência, o material foi levado à estufa, a 105°C e durante 24 horas para secagem, até peso constante, e posteriormente determinou-se a massa de agregados em cada classe de tamanho, logo após, calculou-se o teor de agregados retidos nas classes: 4,0 a 2,0; 2,0 a 1,0; 1,0 a 0,5 e 0,5 a 0,25 mm, pela seguinte expressão:

$$\text{Teor de agregados (\%)} = \frac{\text{massa da classe de agregados, seca a } 105^{\circ}\text{C}}{\text{massa da amostra de agregados, seca a } 105^{\circ}\text{C}} \times 100 \quad (8)$$

Os teores de agregados obtidos para cada classe foram utilizados para o cálculo do diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados, utilizando-se a expressão:

$$\text{DMG (mm)} = \text{antilog} \left(\frac{\sum_{i=1}^K X \log Xi}{\sum_{i=1}^K X} \right) \quad (9)$$

Onde:

x_i = valor médio de cada classe (mm);

x = teor de agregados de cada classe (%), equação 8;

O cálculo do diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados é importante, por facilitar a comparação dos dados, uma vez que condensa informações a respeito da distribuição dos agregados do solo em apenas um valor médio.

3.6.3 - Microporosidade do solo (Mip)

Para o estudo da microporosidade do solo (Mip), foram utilizadas amostras indeformadas retiradas com amostrador tipo Uhland (Figura 5) e anel de aço de Kopecky de bordas cortantes, com volume interno de aproximadamente 80 cm³ (EMBRAPA, 1997), conforme descrição para densidade do solo. No laboratório, essas amostras depois de saturadas com água, de modo gradual, para retirar todo o ar do sistema poroso, durante aproximadamente 12 horas, foram colocadas em placas de cerâmica de 0,1 MPa previamente saturadas, e submetidas à sucção no aparelho extrator

de Richards a 0,006 MPa (Figura 7). Segundo Embrapa (1997), este valor de sucção drena a água dos poros com calibre maior de 0,05 mm, considerado limite entre macro e microporos.



Figura 7: Painéis de alta e baixa pressão de Richards, usadas para drenar a água dos macroporos do solo.

Após cessar a drenagem das amostras, neste valor de sucção, o anel contendo o solo foi pesado e levado para estufa, a 105°C e por um período há 24 horas, até obter peso constante, determinando-se a seguir a M_{ip} , através da expressão 10:

$$M_{ip} = \left(\frac{A - B}{C} \right) * 100 \quad (10)$$

Em que:

M_{ip} = Microporosidade do solo, em $m^3 m^{-3}$;

A = peso do anel + amostra drenada até a tensão de 0,006 MPa, em g;

B = peso do anel + amostra seca a 105°C, em g;

C = volume do anel, em cm^3 .

3.6.4 - Macroporosidade do solo (Map)

A macroporosidade do solo (Map) permite avaliar o volume do solo ocupado por poros com diâmetro maior que 0,05 mm. A quantificação foi realizada conforme expressão 11.

$$\text{Map} = \left(\frac{D - E}{C} \right) * 100 \quad (11)$$

Em que:

Map = Macroporosidade do solo, em $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$,

D = peso da amostra saturada, em g;

E = peso da amostra drenada até tensão de 0,006 MPa, em g;

C = volume do anel, em cm^3 .

3.6.5 - Porosidade total do solo (Pt)

A porosidade total (Pt) está relacionada com o volume de vazios do solo, destinados à retenção de água e às trocas gasosas. A sua quantificação foi realizada por meio da soma dos resultados da macroporosidade e microporosidade do solo, conforme a expressão abaixo:

$$\text{Pt} = \text{Mip} + \text{Map} \quad (12)$$

Em que:

Pt = porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$);

Mip = microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$);

Map = macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$).

3.7- Determinações Químicas

3.7.1- Determinação do Carbono Orgânico Total (COT)

Determinaram-se os teores de carbono orgânico total (COT) das amostras retiradas nos locais das amostragens, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, triturando-as em almofariz e passando-as em peneira de 0,210 mm por oxidação da matéria orgânica e por via úmida, utilizando-se solução de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em meio ácido.

O procedimento metodológico consistiu na pesagem de 0,3 g do material. Depois de pesados, os materiais foram colocados em tubos de digestão, receberam 5 mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ e 7,5 mL de H_2SO_4 concentrado e foram levados a bloco

digestor de 170 °C, por 30 minutos. Após o resfriamento, o conteúdo dos tubos foi transferido quantitativamente para erlenmeyers de 125 mL, utilizando-se água destilada suficiente para obter um volume final de aproximadamente 50 mL. Em seguida, foram adicionados 2 mL de H₃PO₄ concentrado, aproximadamente 0,2 g de NaF e duas a três gotas de solução indicadora de ferroin.

A titulação foi feita com Fe(NH₄)₂ (SO₄)₂ 0,25 mol L⁻¹. Paralelamente, foram realizadas provas em branco, com e sem aquecimento. O volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação (V) foi calculado pela relação:

$$V = (V_{bs} - V_a) * \left(\frac{V_{bs} - V_{bc}}{V_{bs}} \right) + (V_{bc} - V_a) \quad (13)$$

Em que

V_{bc}: volume gasto de Fe(NH₄)₂ (SO₄)₂ na titulação do branco, com aquecimento;

V_{bs}: volume gasto de Fe(NH₄)₂ (SO₄)₂ na titulação do branco, sem aquecimento;

V_a: volume gasto de Fe(NH₄)₂ (SO₄)₂ na titulação da amostra (L).

Os teores de carbono orgânico total (COT), em g kg⁻¹, foram calculados pela seguinte expressão:

$$COT = \frac{VM}{Msolo} \quad (14)$$

3.7.2 - Determinação do Cálcio (Ca⁺²) e Magnésio (Mg⁺²) trocáveis do solo

A determinação do Ca⁺² e Mg⁺² trocáveis se deu através da utilização 10 cm³ de TFSE (terra fina seca a estufa) juntamente com a adição de 100 mL de Solução de Cloreto de Potássio, posteriormente foi adicionado 9 mL de Solução de Óxido Lantânio, conforme a recomendação da Embrapa (1997). As leituras foram realizadas utilizando espectrofotômetro de absorção atômica.

3.8 - Análises estatísticas

As análises estatísticas para a avaliação dos atributos físicos do solo: densidade do solo, estabilidade de agregados via úmida, macroporosidade, microporosidade e porosidade total; e atributos químicos: carbono orgânico total (COT), cálcio e magnésio trocáveis, nas diferentes regiões de amostragem, foram efetuadas através da estatística não espacial (estatística clássica) e da geoestatística. Para a estatística clássica, foi empregado o teste t de Student, a 0,05 de probabilidade, para comparar os sistemas de manejo e também as diferentes regiões de amostragem. Já para o estudo da variabilidade espacial, foram determinadas as estatísticas como: média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo, máximo, assimetria e curtose, para cada atributo estudado, obtidos utilizando-se software GS⁺ (Gamma Design Software). As estatísticas foram obtidas através das seguintes expressões:

- Média (\bar{X})

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (15)$$

Onde: \bar{X} é a média; x_i é o valor da i-ésima observação; n é o tamanho da amostra.

- Variância (S^2)

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (16)$$

- Desvio padrão (S)

$$s = +\sqrt{s^2} \quad (17)$$

- Coeficiente de variação (CV)

$$CV(\%) = 100 \frac{s}{\bar{X}} \quad (18)$$

- Coeficiente de assimetria (C_s)

$$C_s = \frac{m_3}{\sqrt{(m_2)^3}} \quad (19)$$

Onde:

$$m_t = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^t}{n} \quad (20)$$

Com $t = 1, 2, 3, \dots$

m_t = momento

- Coeficiente de Curtose (C_c)

$$C_c = \frac{m_4}{\sqrt{(m_2)^4}} \quad (21)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Densidade do solo (D_s)

4.1.1 - Análise descritiva e variabilidade espacial através de semivariogramas

Verifica-se, através do Quadro 4, que os valores médios encontrados para a amostragem, realizada no mês de março, são semelhantes em ambas as profundidades. Para a amostragem efetuada no mês de agosto, o sistema de manejo de plantas espontâneas com grade apresentou menores valores de densidade do solo, tanto na profundidade de 0-20 cm, quanto na de 20-40 cm. Isto ocorreu porque a gradagem promove alterações na estrutura do solo, com produção artificial de vazios que, com a pouca umidade do período da seca e/ou irrigação localizada fica mais difícil a re-estruturação edafo-biológica do solo.

O Quadro 4 permite ainda visualizar que a variabilidade, estimada pelo CV, é considerada baixa para o atributo densidade do solo. Segundo Warrick e Nielsen (1980), citados por Oliveira et al. (1999), esses valores de CV são considerados baixos ($CV < 12\%$), uma vez que esta é uma propriedade do solo com ampla taxa de variação, mesmo pelas condições naturais do ambiente. Os coeficientes de assimetria e curtose

observados no mesmo Quadro apontam para uma tendência à normalidade dos valores de densidade do solo, ou seja, não ocorreu grande dispersão dos dados distantes da média estimada. Os dados ainda permitem afirmar que os baixos valores de variância, desvio-padrão e coeficiente de variação indicam que a densidade do solo apresenta fraca variação com aumento da profundidade, situação esta também encontrada por Andrade et al. (2005).

Quadro 4 - Estatísticas da Ds (densidade do solo), em kg dm^{-3} , nos dois sistemas de manejo de plantas espontâneas, em diferentes épocas de avaliação e profundidades de solo.

Manejo	Média	Var	DP	CV	Min.	Max.	Ass.	Curt.
Março de 2006								
Profundidade de 0-20 cm								
Herbicida	1,52	0,0142	0,1190	8	1,12	1,80	-0,30	0,47
Grade	1,50	0,0012	0,1080	7	1,20	1,90	0,08	1,19
Profundidade de 20-40 cm								
Herbicida	1,50	0,0060	0,0780	5	1,32	1,77	0,56	1,24
Grade	1,51	0,0063	0,0790	5	1,26	1,72	-0,15	0,92
Agosto de 2006								
Profundidade de 0-20 cm								
Herbicida	1,51	0,0251	0,1580	10	1,19	1,79	0,54	-0,13
Grade	1,44	0,0128	0,1130	8	1,17	1,88	0,10	0,56
Profundidade de 20-40 cm								
Herbicida	1,50	0,0168	0,1300	9	1,21	1,82	0,23	0,35
Grade	1,46	0,0147	0,1210	8	1,19	1,86	0,72	0,96

Média (kg dm^{-3}); Var – variância (kg dm^{-3})²; DP - desvio padrão (kg dm^{-3}); CV – coeficiente de variação (%); Min - valor mínimo (kg dm^{-3}); Max – valor máximo (kg dm^{-3}); Ass – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose.

Os modelos de semivariogramas ajustados (Quadro 5) indicam dependência espacial para todos os sistemas de manejo, com exceção ao manejo de plantas espontâneas com grade, em ambas as profundidades, avaliadas para as determinações realizadas no período chuvoso, ou seja, em março. Para a profundidade de 0-20 cm (Figura 9), o modelo que melhor se ajustou foi o LSP - Linear Sem Patamar. Este modelo revela que o sistema de malha, empregado nesta pesquisa, não foi suficiente

para detectar a existência de independência, devido à grande capacidade de dispersão dos dados.

Para a profundidade de 20-40 cm (Figura 9), o modelo que se ajustou foi o EPP - Efeito Pepita Puro. Este indica que ocorreu independência espacial entre as amostras para distâncias de amostragem iguais ou superiores a 3,5 m. Os sistemas de manejo de plantas espontâneas com herbicida sistêmico, na profundidade de 0-20 cm, em março (Figura 8) e com grade, em agosto, nas duas profundidades estudadas (Figura 11), apresentaram dependência espacial modelada por meio de semivariogramas, os quais apresentaram estrutura exponencial com alcances de 14,13 m; 15,21 m e 10,62 m, respectivamente. Esse modelo indica a existência de semelhança, tanto qualitativa, quanto quantitativa, entre pontos vizinhos. Semelhanças estas que devem ser consideradas na realização de estimativas de valores não amostrados, bem como no mapeamento desse atributo.

Quadro 5 – Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais da Ds (densidade do solo), em kg dm^{-3} , em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.

Manejo	Prof.	Modelo	C_0	$C + C_0$	a
Março de 2006					
Herbicida	0-20 cm	EXP	0,004378	0,014428	14,13
	20-40 cm	ESF	0,001797	0,005710	5,45
Grade	0-20cm	LSP	0,010214	-	-
	20-40 cm	EPP	0,006314	-	-
Agosto de 2006					
Herbicida	0-20cm	ESF	0,002629	0,025940	5,96
	20-40 cm	ESF	0,003629	0,017680	5,80
Grade	0-20cm	EXP	0,003171	0,012900	15,21
	20-40 cm	EXP	0,002773	0,014120	10,620

C_0 – efeito pepita (kg dm^{-3}); $C_0 + C$ – patamar (kg dm^{-3}); a – alcance (m); EPP- Efeito Pepita Puro; ESF- Esférico; EXP- Exponencial; LSP- Linear Sem Patamar.

No manejo com herbicida, efetuado durante o mês de março, na profundidade de 20-40 cm (Figura 8), e em agosto, em ambas as profundidades (Figura 10), ajustou-se o

modelo Esférico - ESF. Este representa uma estrutura de variabilidade espacial, demonstrando uma dependência com alcances de 5,45 m; 5,96 m e 5,80 m, respectivamente. Para Andrade (2002), o alcance corresponde ao conceito da zona de influência ou dependência espacial de uma amostra, marcando a distância a partir das quais as amostras tornam-se independentes.

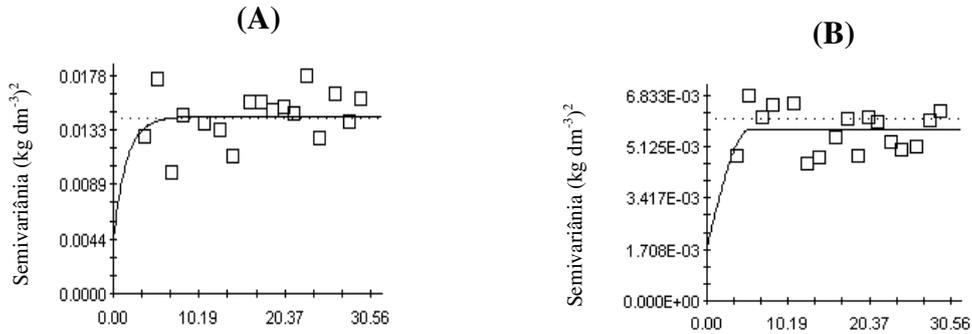


Figura 8 – Distribuição espacial da Ds (kg dm^{-3}), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.

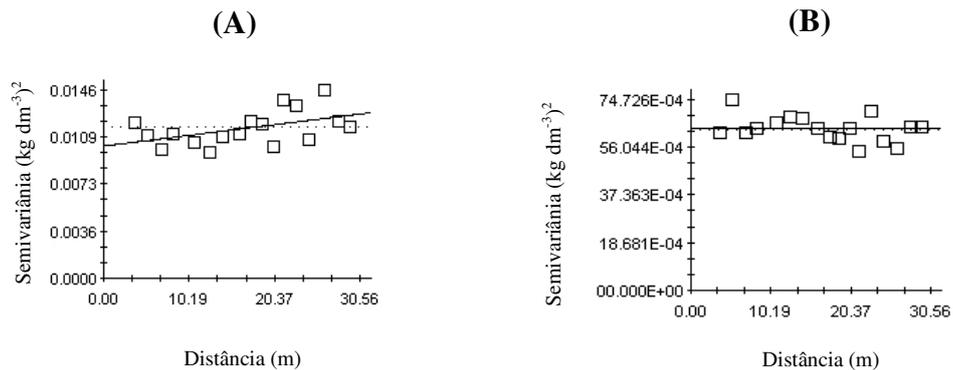


Figura 9 – Distribuição espacial da Ds (kg dm^{-3}), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.

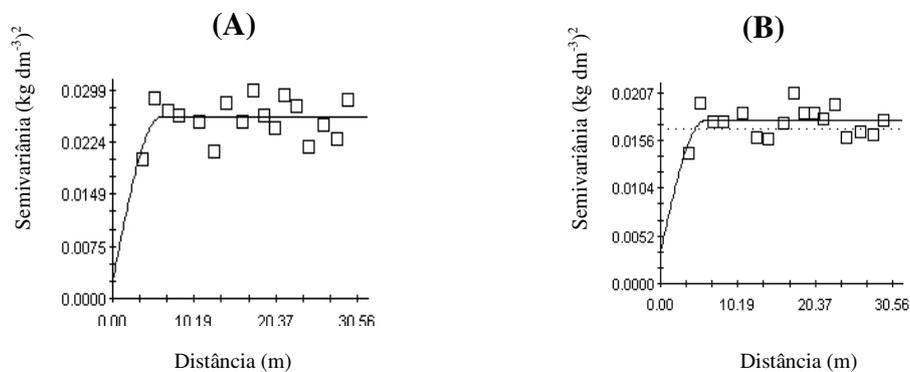


Figura 10 – Distribuição espacial da Ds (kg dm^{-3}), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.

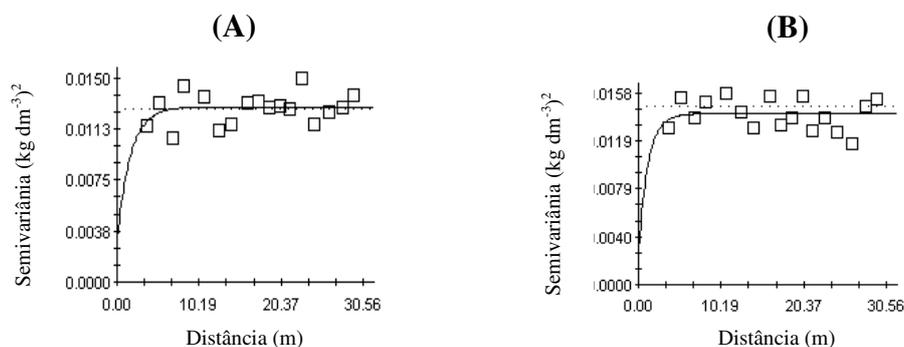


Figura 11 – Distribuição espacial da Ds (kg dm^{-3}), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.

Cambardella et al. (1994); Salviano et al. (1995) e Paz et al. (1996), também encontraram o modelo esférico como o mais adaptado para descrever o comportamento de semivariogramas de atributos de plantas e de solos.

4.1.2-Mapeamento da densidade do solo (Ds)

Os mapas de distribuição espacial (Figuras 12, 13, 14 e 15) foram obtidos por interpolação ou krigagem, a partir dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas, a fim de estimar valores em locais não amostrados. Nota-se, pela Figura 12, a qual se refere à amostragem efetuada de 0 – 20 cm, durante a estação chuvosa (março), que o sistema de manejo de plantas espontâneas com herbicida apresentou maior parte dos valores de Ds próximos a $1,54 \text{ kg dm}^{-3}$. Já no manejo com grade, os valores de densidade variaram de $1,38 \text{ kg dm}^{-3}$ a $1,64 \text{ kg dm}^{-3}$. Este limite superior situa-se na faixa considerada crítica para o desenvolvimento adequado da maioria das culturas de interesse econômico.

Andrade et al. (2005) afirmam que, em valores de densidade do solo superiores a $1,50 \text{ kg dm}^{-3}$, grande parte das culturas são severamente afetadas, inclusive o cafeeiro. A falta de O_2 para a respiração das raízes, devido à baixa porosidade e má drenagem além do impedimento mecânico para o crescimento das raízes, é marcante para valores elevados de densidade do solo. Durante essa mesma época de amostragem, observa-se que os dados da Ds também foram elevados até mesmo em subsuperfície (20-40 cm), nos dois sistemas de manejo (Figura 13). Nota-se que há pequenas flutuações nos valores de Ds, as quais são comprovadas mais uma vez pelos baixos CV obtidos a partir dos dados. Em grande parte da área onde se empregou herbicida, a densidade encontra-se distribuída em duas classes: uma de $1,41$ a $1,45 \text{ kg dm}^{-3}$; já onde foi usada grade para

o controle de plantas espontâneas, predominaram valores de Ds variando de 1,49 a 1,53 kg dm⁻³.

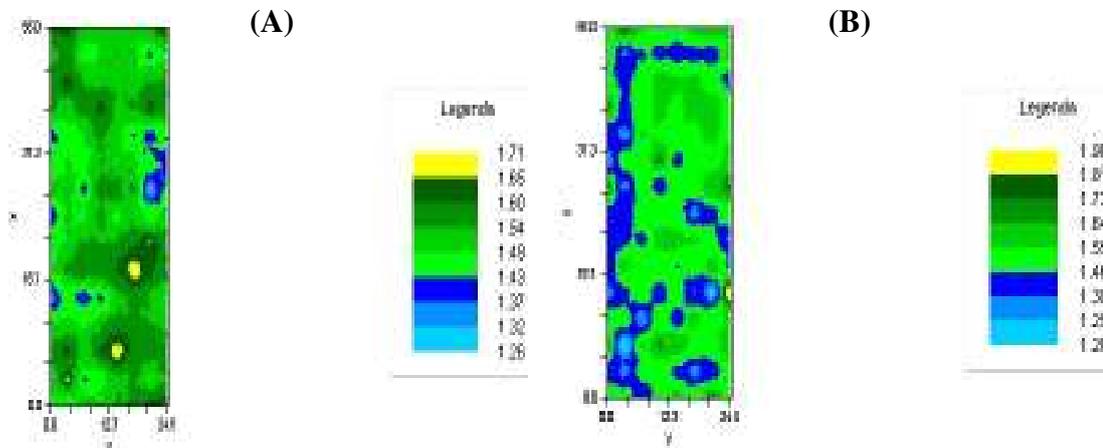


Figura 12 – Distribuição espacial da Ds (kg dm⁻³), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em março de 2006.

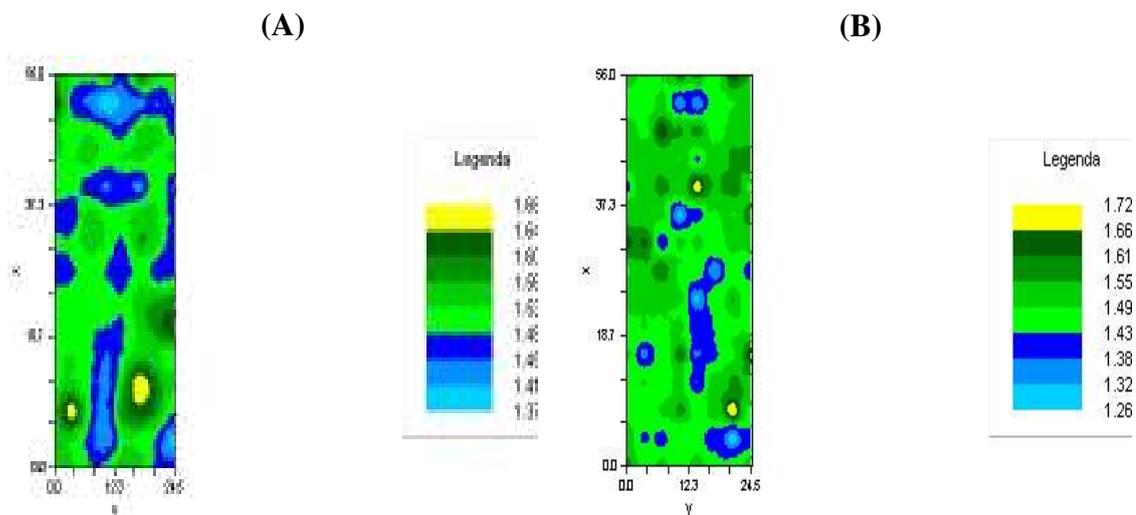


Figura 13 – Distribuição espacial da Ds (kg dm⁻³), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 20-40 cm, em março de 2006.

As Figuras 14 e 15 referem-se aos mapas das determinações realizadas na estação seca do ano (agosto). Observa-se que, nesta época, ocorreram mais variações espaciais da Ds, em ambas as profundidades estudadas. Esse aspecto pode, ainda, ser muito bem visualizado, pela presença de mais de uma classe de valores presentes nos mapas de superfície e subsuperfície, nos dois sistemas de manejo adotados. Nota-se,

peelo Quadro 5, que este fato pode ser comprovado pelos maiores CV apresentados durante o período seco do ano.

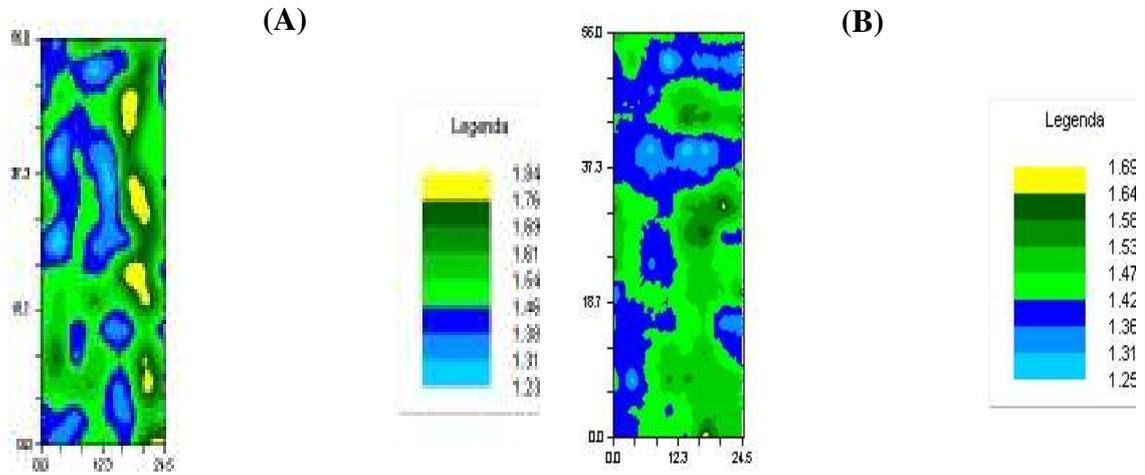


Figura 14 – Distribuição espacial da Ds (kg dm⁻³), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em agosto de 2006.

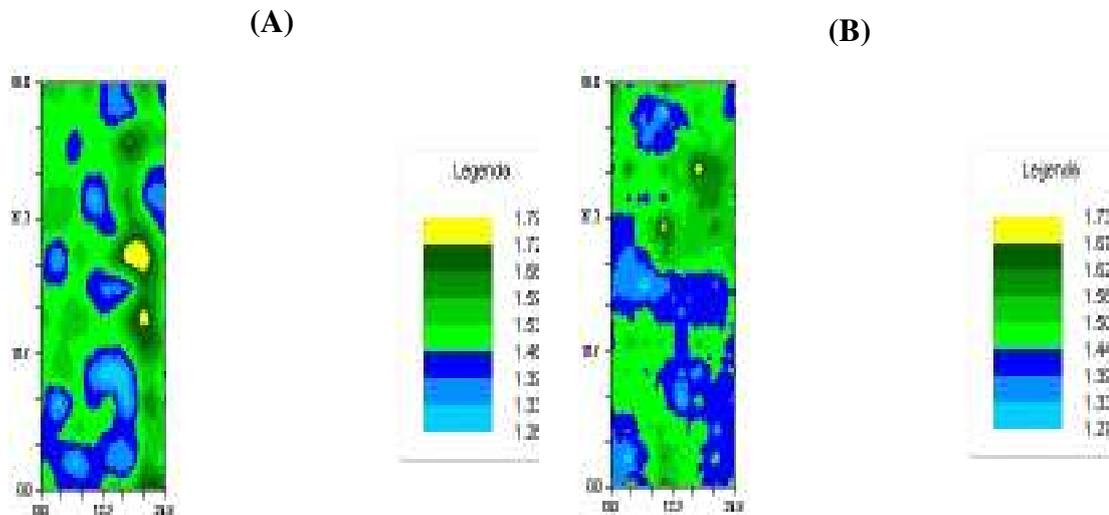


Figura 15 – Distribuição espacial da Ds (kg dm⁻³), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 20-40 cm, em agosto de 2006.

4.1.3 – Estatística da densidade do solo (Ds)

O Quadro 6 apresenta a análise comparativa dos valores médios de densidade do solo (Ds) em diferentes locais (regiões) de amostragem, em duas épocas do ano. Percebe-se que os valores da Ds, obtidos em todos os sistemas de manejo de plantas

espontâneas, épocas, profundidades e locais de amostragem, foram elevados. Isso ocorreu, possivelmente, tanto pelo efeito da compactação como do adensamento do solo. A compactação está, neste caso, mais centralizada na linha de tráfego e entrelinha, região estas que recebem maior carga de pressão, devido ao uso intensivo de implementos agrícolas e ao tráfego excessivo de máquinas pesadas, sem a observância dos teores de umidade do solo.

O adensamento do solo está mais ligado à região de projeção da copa ou saia da planta. A calagem intensiva, juntamente com as adubações químicas semanais, inclusive através da fertirrigação, pode estar promovendo descompressão da dupla camada difusa facilitando a desagregação das partículas que compõem os agregados. Estas partículas dispersas na solução do solo podem ser depositadas nos macroporos do solo, com conseqüente aumento de massa por unidade de volume, e este fato possivelmente explica o aumento da densidade em profundidade. Esses resultados corroboram com os encontrados por Alves et al. (2007), que analisando os efeitos entre épocas de avaliação e profundidades, no estudo da Ds e infiltração de água de um Latossolo, também encontraram valores elevados de Ds, principalmente na camada de 20–40 cm.

Outro fato que pode estar envolvido com valores elevados de Ds está correlacionado com o histórico da área. Anteriormente à implantação do cafezal, a área encontrava-se sob pastagem degradada com sérios problemas físicos do solo ocasionados pelo superpastejo e fertilizações desequilibradas.

Reichert et al. (2003) consideram $1,55 \text{ kg dm}^{-3}$ como densidade crítica para o bom crescimento do sistema radicular em solos de textura argilosa. Observa-se, pelo Quadro 6, que os valores da Ds variaram de $1,38 \text{ kg dm}^{-3}$ a $1,58 \text{ kg dm}^{-3}$, com predomínio de valores próximos à densidade considerada crítica para Reichert et al. (2003). Verificou-se certa uniformidade e estabilidade nos valores de Ds, tanto para o manejo das plantas espontâneas com grade, como por herbicida, evidenciando que, tanto a ação antrópica da mecanização, como das adubações produziram variações negativas com distribuição normalizada, como atestam os baixos coeficientes de variações (CV).

Os valores da Ds foram maiores durante o mês de março (Quadro 6), ou seja, no período chuvoso. Neste período, a oferta de umidade bem como outras condições edafoclimáticas (temperatura, precipitação pluviométrica, luminosidade, etc.) favorecem o rápido crescimento das plantas espontâneas que, por sua vez, exigem maior movimentação de máquinas e implementos para seu controle. Essas combinações favorecem o processo de compactação e/ou adensamento do solo. Já na estação seca do

ano, ou seja, em agosto, a tendência à compactação foi menor, como atestam os menores valores de densidade (Quadro 6), principalmente no manejo efetuado com grade.

Quadro 6 - Valores médios de densidade do solo, em kg dm^{-3} , para os diferentes locais (regiões) de amostragem e épocas de avaliação.

Manejo	Profundidade 0-20 cm			Profundidade 20-40 cm		
	M	S	R	M	S	R
Março de 2006						
Herbicida	1,54 a B	1,46 a C	1,58 a A	1,55 a A	1,48 a B	1,56 a A
Grade	1,52 a A	1,45 a B	1,56 a A	1,50 b AB	1,47 a B	1,53 a A
CV (%)	5,06	7,56	7,83	6,98	6,74	7,00
Agosto de 2006						
Herbicida	1,54 a A	1,43 a B	1,57 a A	1,55 a A	1,45 a B	1,55 a A
Grade	1,43 b B	1,38 b C	1,49 b A	1,45 b AB	1,41 a B	1,51 a A
CV (%)	9,79	9,01	8,34	8,63	6,80	8,84

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste t de "Student", a 0,05 de significância. M - meio da rua, S - saia do cafeeiro, R - rodado do trator.

O menor tráfego sobre a área, aliado à menor atividade biológica em função de condições edafoclimáticas desfavoráveis, e menor umidade presente no solo durante o período seco (agosto), contribuíram para uma menor tendência de compactação do solo nesta época de amostragem. Deve-se considerar, também, que o solo seco, apresenta maior capacidade de suporte de carga, devido à redução da umidade do mesmo, portanto, há um menor risco de compactação. Silva et al. (2006) estudando os efeitos das operações mecanizadas em um Latossolo cultivado com cafeeiros, constataram que os implementos utilizados na lavoura, durante a estação chuvosa, causaram compactação em 60% dos pontos amostrados.

Analisando mais uma vez o Quadro 6, nota-se que os sistemas de manejo de plantas espontâneas com uso de grade e herbicida não diferiram entre si, durante a estação chuvosa (março), na profundidade de 0-20 cm. Isso ocorreu devido à maior precipitação, que resulta em aumento na umidade do solo nesta época, proporcionando deste modo o empacotamento do solo durante o encravamento do anel de Kopecky, com o auxílio do amostrador Uhland (Figura 5), submetido a pancadas promovidas pelo êmbolo do amostrador.

Estudando as alterações estruturais e o comportamento compressivo de um Latossolo argiloso sob diferentes sistemas de manejo, Oliveira et al. (2003) constataram

que práticas de manejo, efetuadas em solos com elevados teores de umidade, podem contribuir para elevar os valores da densidade do solo. Por sua vez, Alcântara e Ferreira (2000) estudando os efeitos de métodos de controle de plantas espontâneas na cultura do cafeeiro sobre a qualidade física do solo, não observaram diferenças significativas entre os valores de Ds com a utilização da capina manual, grade e herbicida de pós-emergência. Comparando-se os sistemas de controle de plantas espontâneas durante o mês de março em subsuperfície (20-40 cm), observou-se que somente o local do meio da rua do cafeeiro apresentou diferença significativa entre os manejos com herbicida e grade.

Durante a estação seca, ou seja, agosto, ocorreu diferença estatística entre os sistemas de manejo de plantas espontâneas na profundidade de 0-20 cm, em todos os locais amostrados e, na profundidade de 20-40 cm, para o meio da rua, sendo que os menores valores da Ds foram observados com o emprego de grade. O uso da grade nas regiões de tráfego de máquinas (rodado do trator) e entrelinhas de cultivo (meio da rua) promoveram a redução nos valores desse atributo físico. Isto se deve ao revolvimento promovido pela mesma ao solo, resultando em aumento de torrões que atuam como agregados. Como a umidade e a temperatura são baixas durante esta época, a atividade biológica, tanto de vegetais, quanto de microorganismos, é reduzida. Com isto, a recomposição do perfil é demorada e, conseqüentemente, o volume de vazios artificiais são maiores, ocasionando deste modo, menores valores de Ds, quando comparados ao sistema herbicida.

Comparando-se os locais de amostragem durante a época chuvosa (março) e profundidade de 0-20 cm, verifica-se, que no manejo das plantas espontâneas com aplicação de herbicida, os maiores valores de Ds ocorreram no rodado do trator (linha de tráfego). Ainda nessa mesma época, na profundidade de 0-20 cm e no manejo com uso de grade e de 20-40 cm em ambos os sistemas de manejo empregados, observou-se que os maiores valores de Ds obtidos ocorreram nas regiões meio da rua e no rodado do trator, as quais não diferiram estatisticamente. O aumento da Ds na região do rodado do trator, no período chuvoso, pode ser explicado pela pressão sob a superfície do solo, tanto do tráfego, quanto do impacto da gota de chuva.

Comportamento semelhante também foi observado por Silva et al. (2003), os quais, estudando o efeito do tráfego de máquinas e implementos agrícolas sobre atributos físicos de um Latossolo, observaram aumento progressivo da densidade do solo até mesmo em profundidade, devido ao deslizamento causado pelo aumento do

cisalhamento na superfície, e isso implica em rearranjo das partículas e alterações da estrutura.

Já na saia do cafeeiro, observou-se menores valores de D_s , devido a intensa atividade biológica e também à presença de maior quantidade de material orgânico depositado. Desta forma, a atividade biológica e a presença de matéria orgânica diversificada, até mesmo a fração mais leve, comparativamente às partículas minerais do solo, têm seu efeito diluído, contribuindo assim para as menores diferenças entre os sistemas de manejo.

4.2 - Diâmetro Médio Geométrico dos Agregados (DMG) e estabilidade de agregados via úmida

4.2.1 - Análise descritiva e variabilidade espacial através de semivariogramas

Os dados analíticos para o atributo diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG), apresentados no Quadro 7, indicam comportamento próximo da distribuição normal e simétrica, com coeficiente de curtose e de assimetria afastando-se de 0.

Os diferentes manejos para condução da cultura, bem como controle das plantas espontâneas, proporcionaram grande variabilidade para o DMG. Esse fato observado também pode ser comprovado pelo elevado valor do coeficiente de variação (CV). Portanto, a adequada caracterização desse atributo, para indicações de práticas de manejo que visem garantir sustentabilidade desse atributo no campo é dependente de um número maior de amostragens de solo.

Percebe-se, no Quadro 7, que os maiores valores do DMG dos agregados do solo foram observados no sistema de manejo de plantas espontâneas com aplicação de herbicida, em comparação ao sistema de manejo com grade, tanto para o período da seca, como das chuvas. A ausência de revolvimento e a manutenção do sistema radicular da braquiária, utilizada como cultura de cobertura nas entrelinhas, foram atuantes para a melhorar a agregação do solo. As plantas, segundo Allison (1973), citado por Palmeiras et al. (1999), exercem influência na agregação e estabilidade dos agregados, por meio da grande massa de raízes que se ramificam no solo, da remoção de água que faz com que aumente a coesão entre as partículas e do fornecimento de alimento para os microrganismos que, direta ou indiretamente, influem na agregação.

Quadro 7 - Estatística do Diâmetro médio geométrico (DMG), em mm, nos dois sistemas de manejo de plantas espontâneas, em diferentes épocas de avaliação e profundidades de solo.

Manejo	Média	Var	DP	CV	Min.	Max.	Ass.	Curt.
Março de 2006								
Profundidade de 0-20 cm								
Herbicida	0,69	0,0494	0,2220	32	0,38	1,20	0,64	-0,53
Grade	0,56	0,1380	0,0191	24	0,31	0,96	0,66	0,20
Profundidade de 20-40 cm								
Herbicida	0,61	0,0252	0,1590	25	0,36	1,04	0,81	-0,11
Grade	0,51	0,1160	0,135	22	0,31	0,84	0,59	-0,03
Agosto de 2006								
Profundidade de 0-20 cm								
Herbicida	0,92	0,0647	0,2540	27	0,37	1,55	0,02	-0,63
Grade	0,79	0,0486	0,2200	28	0,30	1,20	0,10	-0,64
Profundidade de 20-40 cm								
Herbicida	0,86	0,0674	0,2600	30	0,37	1,50	0,39	-0,32
Grade	0,71	0,0403	0,201	28	0,35	1,10	0,55	-0,50

Média (mm); Var – variância (mm)²; DP - desvio padrão (mm); CV – coeficiente de variação (%); Min – valor mínimo (mm); Max – valor máximo (mm); Ass – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose.

Os resultados da análise geoestatística (Quadro 8 e Figuras 16 a 19) indicam que este atributo apresenta dependência espacial nas duas profundidades estudadas. No geral, o modelo matemático ajustado à maior parte dos semivariogramas para os valores do DMG dos agregados foi o Exponencial - EXP, exceto para o sistema de manejo com grade, durante a época seca do ano, o qual apresentou Efeito Pepita Puro – EPP, para a profundidade de 0-20 cm, e o Linear Sem Patamar – LSP, respectivamente (Figura 19, Quadro 8).

Durante o período chuvoso (março), para o manejo das plantas espontâneas com herbicida, o modelo EXP, apresentou alcances de 24,57 e 14,67 m, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. Para o manejo com grade, esse modelo apresentou os alcances de 11,07 m, na profundidade de 0-20 cm, e de 11,43 m, na profundidade de 20-40 cm. No período seco do ano (agosto), somente o sistema manejo de plantas espontâneas com herbicida apresentou o modelo EXP em ambas as profundidades, com alcances de 12,69 m (0-20 cm) e 20,88 m (20-40 cm). Esse modelo (EXP) comprova a existência de

semelhança entre pontos vizinhos, devendo ser considerada na realização das estimativas de valores não amostrados e no mapeamento desse atributo. Logo há dependência espacial entre as amostras. O modelo EPP (Figura 19) demonstra independência entre as amostras estudadas para distâncias de amostragem iguais ou superiores a 3,5 m. Já o semivariograma LSP representa um fenômeno de infinita capacidade de dispersão. Neste caso, o campo de amostragem não foi suficientemente grande para detectar o alcance da dependência para o DMG dos agregados do solo.

Quadro 8 – Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais do Diâmetro Médio Geométrico dos agregados (DMG), em mm, em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.

Manejo	Prof.	Modelo	C_0	$C + C_0$	a
Março de 2006					
Herbicida	0-20 cm	EXP	0,014630	0,049382	24,570
	20-40 cm	EXP	0,01028	0,024285	14,670
Grade	0-20cm	EXP	0,007476	0,019160	11,070
	20-40 cm	EXP	0,005645	0,013037	11,430
Agosto de 2006					
Herbicida	0-20cm	EXP	0,014401	0,063400	12,690
	20-40 cm	EXP	0,018230	0,064400	20,880
Grade	0-20cm	EPP	0,047745	-	-
	20-40 cm	LSP	0,040557	-	-

C_0 – efeito pepita (mm); $C_0 + C$ – patamar (mm); a – alcance (m); EXP- Exponencial; EPP- Efeito Pepita Puro; LSP- Linear Sem Patamar.

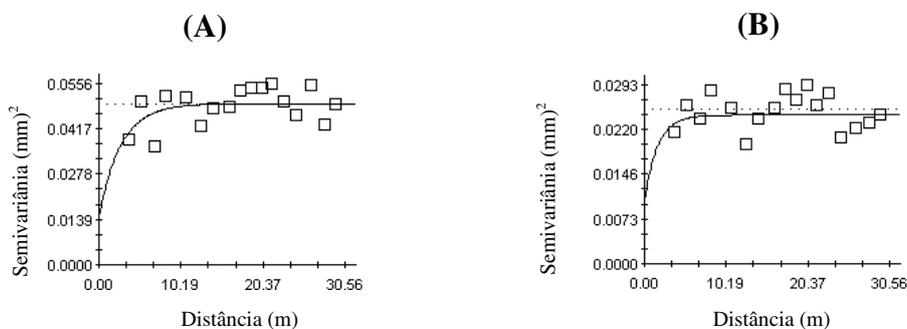


Figura 16 – Distribuição espacial do DMG em mm, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.

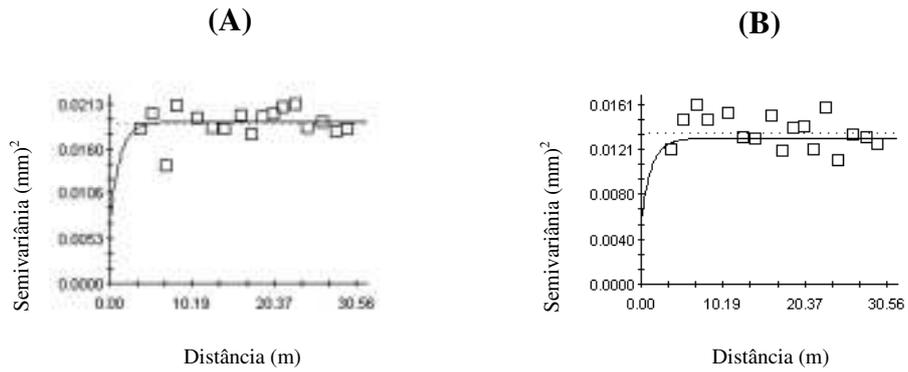


Figura 17 – Distribuição espacial do DMG em mm, para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.

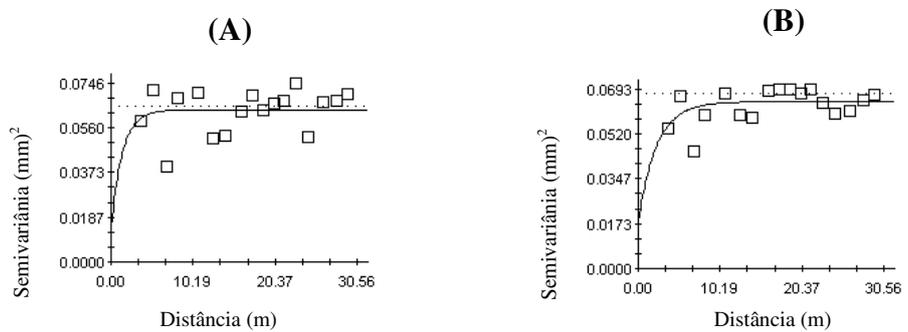


Figura 18 – Distribuição espacial do DMG em mm, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.

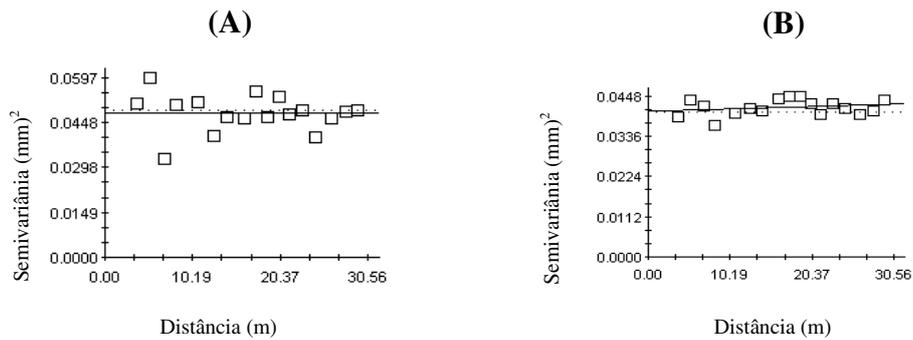


Figura 19 – Distribuição espacial do DMG em mm, para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.

4.2.2- Mapeamento do Diâmetro Médio Geométrico dos agregados - DMG

O mapeamento do diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) foi obtido fazendo-se uso dos valores obtidos através do processo da Krigagem. Observa-se, pelas Figuras 20, 21, 22 e 23, a distribuição espacial do DMG para os diferentes sistemas de manejo de plantas espontâneas na cultura do café e profundidades estudadas.

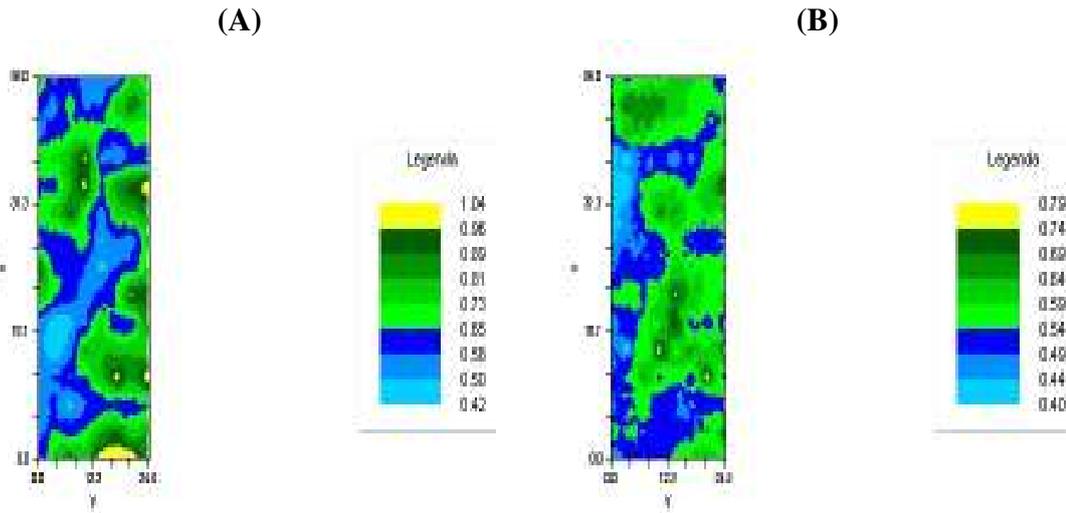


Figura 20 – Distribuição espacial do DMG (mm), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 0-20 cm, em março de 2006.

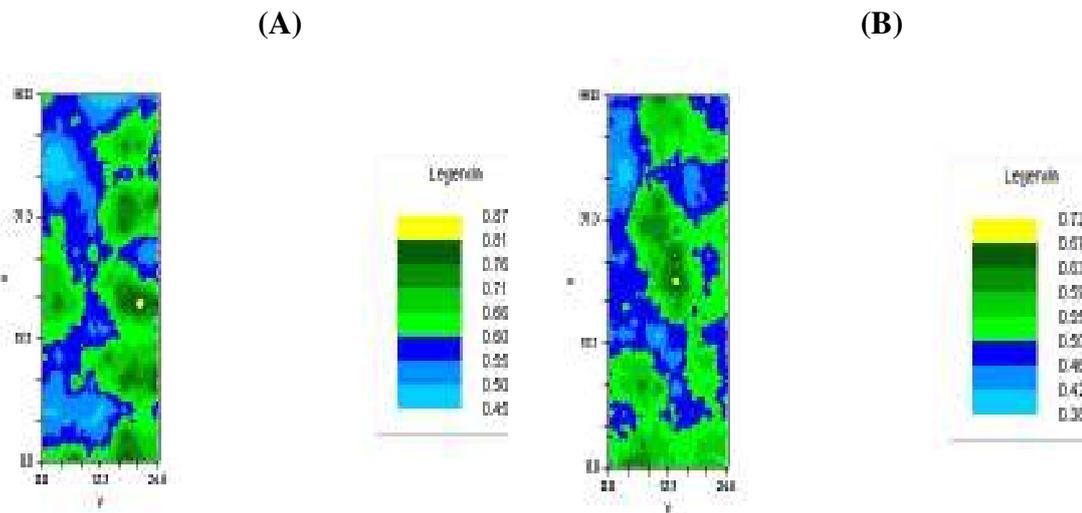


Figura 21 – Distribuição espacial do DMG (mm), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 20-40 cm, em março de 2006.

Verifica-se, que os valores do DMG dos agregados do solo, durante a estação chuvosa, ou seja, em março, foram inferiores em relação à estação seca do ano. Percebe-

se que o manejo de controle das plantas espontâneas com herbicida, para a profundidade de 0-20 cm (Figura 20), apresentou valores de DMG em grande parte da área, na faixa de 0,50 a 0,81 mm. Já em subsuperfície, ou seja, profundidade de 20-40 cm, houve redução do diâmetro para 0,50 a 0,66 mm (Figura 21). Estas figuras permitem ainda observar que o emprego da grade promoveu redução do DMG, tanto em superfície, cuja classe predominante foi de 0,49 a 0,59 mm, como também em subsuperfície, com valores variando na faixa de 0,46 a 0,55 mm.

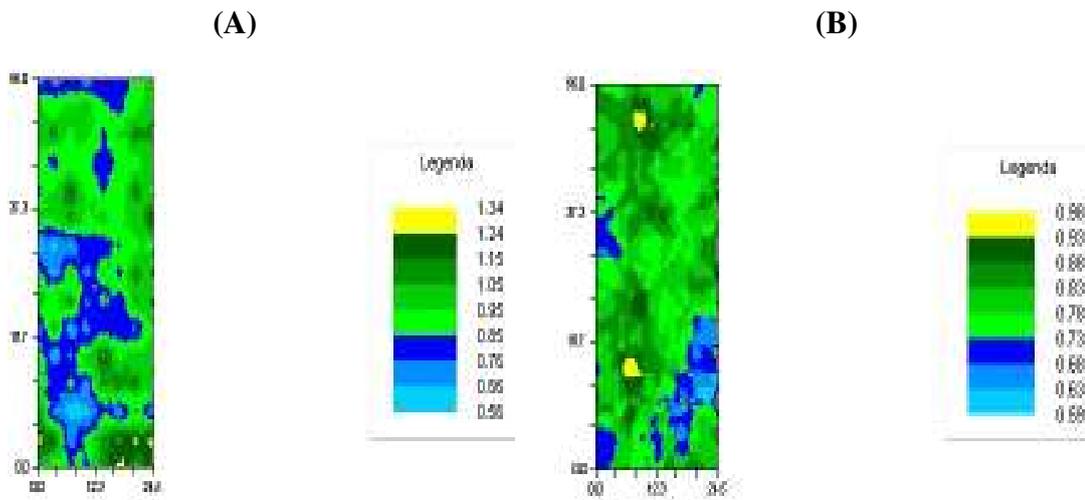


Figura 22 – Distribuição espacial do DMG (mm), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em agosto de 2006.

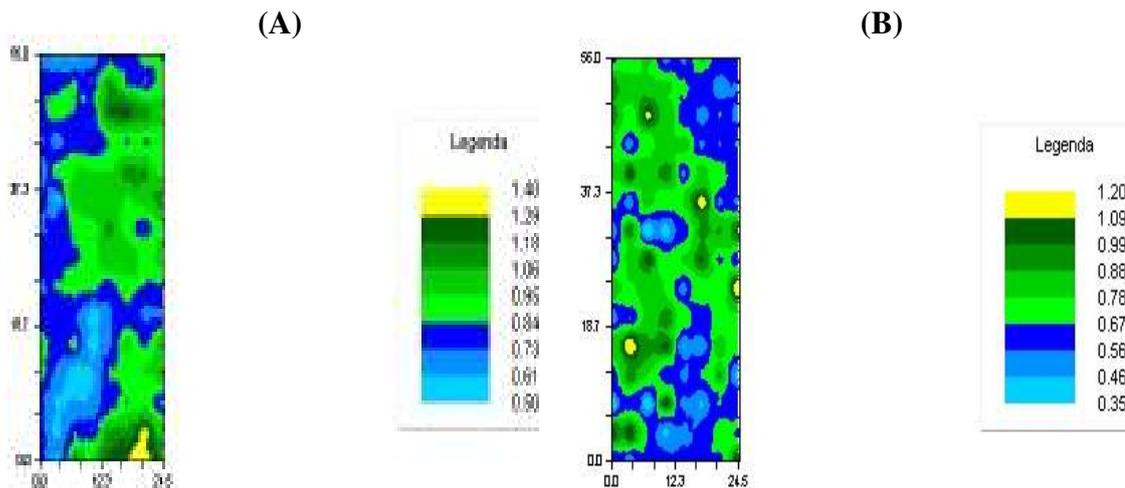


Figura 23 – Distribuição espacial do DMG (mm), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 20-40 cm, em agosto de 2006.

As Figuras 22 e 23, referentes à estação seca do ano, indicam decréscimo do DMG em profundidade, porém, com valores ainda maiores, quando comparados com o

período chuvoso. A classe de DMG dos agregados que predominou em superfície na aplicação de herbicida foi a de 0,76 a 0,95 mm, enquanto que, com o uso da grade, a qual promove a quebra mecânica da estrutura do solo com conseqüente decréscimo do DMG, foi de 0,73 a 0,88 mm. Comportamento semelhante também foi observado em subsuperfície.

4.2.3 - Estatística do Diâmetro Médio Geométrico dos Agregados - DMG

O Quadro 9, onde estão apresentados os valores do diâmetro médio geométrico dos agregados do solo, indica que o estado de agregação do solo é influenciado pelos diferentes sistemas de manejo das plantas espontâneas. Verificou-se que os maiores valores do DMG, em todas as épocas de amostragem (tanto no período das chuvas, como da seca) e profundidades analisadas, ocorreram no manejo com aplicação de herbicida, sendo que no manejo com uso da grade observaram-se os menores valores. O uso de herbicida, além de favorecer a permanência dos resíduos vegetais da *Braquiaria decumbens* no solo por mais tempo, o mantém intacto, onde desenvolve o sistema radicular que é efetivo na agregação e na estabilização dos agregados do solo, até mesmo após a sua dessecação. Este aporte de material orgânico, sem fragmentação mecânica, também é importante para proteger o solo contra o impacto das gotas de chuva, também após a decomposição. Estas condições promoveram o aumento na estabilização e cimentação dos agregados do solo.

O revolvimento do solo, promovido pela prática da gradagem, ocasionou diminuição do DMG dos agregados via úmida, pois resultou na degradação mecânica e artificial da estrutura do solo. Esses dados corroboram com os encontrados por Alcântara e Ferreira (2000 b), os quais, avaliando os efeitos dos diferentes métodos de controle de plantas espontâneas sobre a estabilidade dos agregados, notaram que o uso contínuo de grade e enxada rotativa ocasionou menor estabilidade dos agregados, com conseqüente redução do DMG. De acordo com Fontes et al. (1995), as alterações nos atributos físicos de solos como os Latossolos, em especial na camada mais rica em matéria orgânica, podem ser provocadas pela quebra dos agregados por efeito mecânico, causado pelo revolvimento do solo ou pisoteio animal.

Observando as épocas de amostragem, verifica-se que a amostragem efetuada no mês de março, que corresponde ao período chuvoso do ano, apresentou os menores valores do DMG dos agregados, em ambos os sistemas de manejo das plantas

espontâneas e profundidades estudadas, em relação ao período seco do ano. Isso ocorreu possivelmente devido dupla polaridade da água que atua no equilíbrio das forças de adesão e coesão existentes entre os agregados da estrutura, e até mesmo entre partículas que compõem os agregados. Também deve ser relacionada com o menor DMG a ação do impacto das gotas de chuva sobre o solo, o que contribui para a individualização das partículas do solo, as quais compõem os agregados, resultando deste modo em menores tamanhos dos mesmos.

Quadro 9 - Valores médios de diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados, em mm, para os diferentes locais de amostragem, sistemas de manejo e épocas de avaliação.

Manejo	Profundidade 0-20 cm			Profundidade 20-40 cm		
	M	S	R	M	S	R
Março de 2006						
Herbicida	0,87 a A	0,74 a B	0,58 a C	0,71 a A	0,66 a A	0,51 a B
Grade	0,63 b A	0,64 b A	0,48 b B	0,58 b A	0,56 b A	0,46 b B
CV (%)	30,16	32,15	29,74	26,73	26,57	18,68
Agosto de 2006						
Herbicida	1,02 a A	1,00 a A	0,73 a B	0,95 a A	0,91 a A	0,72 a B
Grade	0,90 b A	0,93 b A	0,66 b B	0,79 b A	0,80 b A	0,67 a B
CV (%)	19,86	25,02	26,82	25,93	30,00	24,76

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste t de "Student", a 0,05 de significância. M - meio da rua, S - saia do cafeeiro, R - rodado do trator.

Quanto aos locais de amostragem, nota-se que, em relação ao mês de março, a região de amostragem meio da rua, para o sistema de manejo de plantas espontâneas com herbicida e na profundidade de 0-20 cm, apresentou o maior valor de DMG, devido à manutenção *Brachiaria decumbens*, que apresenta um denso e profuso sistema radicular, o qual contribui não só com a exsudação de agentes agregantes, mas também com a intensa atividade biológica que estabelece a sua volta. Maior aporte de matéria orgânica nesta região também contribui para aumentar a agregação.

Os dados do Quadro 9 indicam, também, que no sistema de manejo de plantas espontâneas com grade no período chuvoso, em ambas as profundidades e, ainda, no manejo com uso de herbicida em subsuperfície (20-40 cm), as regiões de amostragens meio da rua e saia do cafeeiro apresentaram os maiores valores do DMG. O mesmo comportamento também foi observado durante o mês de agosto, em todos os sistemas de manejo e profundidades analisadas. Estes resultados devem-se a melhor distribuição

na relação macro/microporosidade, motivada pela ausência de compactação/adensamento do solo, já na linha tráfego (rodado) do trator e maquinários há maior compactação. A atuação de resíduos vegetais e sistemas radiculares contribuíram de forma efetiva com o fornecimento de matéria orgânica e exudatos radiculares, os quais promoveram a agregação. Na projeção da copa (saia do cafeeiro), as folhas da própria planta são depositadas naturalmente, esse fato, associado ao microclima favorável à atuação dos microorganismos na decomposição do material orgânico, contribui para aumentar a agregação do solo, pois a matéria orgânica é um dos principais agentes agregantes e estabilizantes. Alcântara e Ferreira (2000 b) destacaram a importância da matéria orgânica para a estabilidade dos agregados, em estudos envolvendo a avaliação da qualidade do solo.

Na região do meio da rua, a presença da *Brachiaria decumbens* aumentou a agregação do solo, evidenciando a eficiência das gramíneas na agregação e estabilidade de agregados e também a atuação do seu sistema radicular agressivo e denso em subsuperfície, o que resulta num efeito rizosférico elevado e bastante benéfico para a agregação do solo. Segundo Wohlenberg et al. (2004), culturas como as gramíneas, com sistema radicular agressivo, podem amenizar os efeitos negativos da degradação dos solos, agregando partículas e promovendo melhorias na sua estrutura. As plantas, de modo geral, e em especial as gramíneas, segundo Allisson (1973), citado por D' Andréa et al. (2002), exercem influência na agregação e estabilidade dos agregados, por meio da grande massa de raízes que se ramificam e travam o solo, e também pela remoção de água que faz com que aumente a coesão entre as partículas do solo. Carpenedo e Mielniczuck (1990) também verificaram que a estabilidade dos agregados aumenta em solos com gramíneas.

As gramíneas são consideradas por Oades (1984), citado por D' Andréa et al. (2002), as mais eficientes e atuam na estruturação do solo, porque produzem cerca de 50 % dos seus fotossintatos abaixo da superfície do solo, na zona do sistema radicular. Isto explica os maiores valores encontrados em subsuperfície para o local de amostragem correspondente ao meio da rua do cafeeiro. De acordo com Baver et al. (1972), citados por Palmeira et al. (1999), as gramíneas são as espécies mais eficientes na estruturação do solo, pois não são decompostas rapidamente, logo, os compostos orgânicos revelam efeitos mais duradouros, confirmando o resultado encontrado nesta dissertação. D' Agostini (1981), também citado por Palmeira et al. (1999), observou melhor índice de agregação em solo sob pastagem, atribuindo esse fato à ação mecânica das raízes das

gramíneas associada ao grande número de raízes por volume de solo e ao diâmetro reduzido destas.

Verifica-se, pelo Quadro 9, que, tanto para superfície, quanto para a subsuperfície, o local de amostragem rodado do trator apresentou os menores valores de DMG. Este comportamento deve-se à pressão exercida pelos pneus nesse local, tanto no período de chuvas, quanto no período seco do ano. Para o período chuvoso, a situação é ainda mais crítica, pois a pressão exercida pelas rodas de todos os maquinários utilizados na condução da lavoura cafeeira, sob o solo com excesso de umidade (mesmo que temporária), contribui de sobremaneira para a compactação e desagregação, com destruição da estrutura do solo, resultando em maior valor de densidade e redução da porosidade total do solo. Resultados semelhantes também foram encontrados por GONTIJO et al. (2005). O trânsito excessivo de máquinas, junto às práticas de gradagem, pode causar selamento superficial e até mesmo a compactação subsuperficial (FALQUETO, 2004).

4.3 - Porosidade Total do solo (Pt)

4.3.1 - Análise descritiva e variabilidade espacial através de semivariogramas

A análise descritiva geral para o atributo porosidade total (Pt) é apresentada no Quadro 10. Os coeficientes de assimetria e curtose demonstraram que as distribuições tendem à simetria. Gomes et al. (2007) estudando a variabilidade espacial e modelos de semivariogramas em atributos físico-hídricos do solo especialmente Pt, também encontraram coeficiente de assimetria menor que 1, o que significou alguma tendência à normalidade.

A Pt apresentou baixa variação e revelou uniformidade de distribuição (menor coeficiente de variação), com variabilidade relativamente baixa. Guimarães (2000) encontrou coeficientes de variação da ordem de 5 % para a porosidade total. Esse atributo físico apresentou valores compreendidos entre 0,36 e 0,44 m³ m⁻³, estando dentro da faixa encontrada por Hillel (1982), que, para solos minerais, varia de 0,30 a 0,60 m³ m⁻³. Para Kiehl (1979), citado por Cavenage et al. (1999), a distribuição da porosidade total de um solo ideal para a produção agrícola deve ser de 0,50 m³ m⁻³, sendo a distribuição de percentual de 1/3 para macroporos e 2/3 para microporos.

Verifica-se pelo Quadro 10, que o sistema controle de plantas espontâneas com herbicida apresentou porosidade total semelhante ao sistema conduzido com grade. Isso ocorreu porque o uso de grade aumenta temporariamente a macroporosidade do solo, devido à fragmentação da estrutura do solo em função do revolvimento, resultando, portanto, em aumento na porosidade total do solo. Comportamento semelhante também foi verificado por Tormena et al. (2002), os quais trabalharam com diferentes sistemas de preparo de solo e verificaram que a mobilização do solo com gradagem resulta em fraturamento dos agregados e aumenta a porosidade total em função do aumento da macroporosidade do solo.

Quadro 10 - Estatística da Pt (Porosidade Total), em $m^3 m^{-3}$, nos dois sistemas de manejo de plantas espontâneas, em diferentes épocas de avaliação e profundidades de solo.

Manejo	Média	Var	DP	CV	Min.	Max.	Ass.	Curt.
Março de 2006								
Profundidade de 0-20 cm								
Herbicida	0,37	0,0020	0,0440	12	0,28	0,49	0,28	-0,14
Grade	0,36	0,0025	0,0500	14	0,24	0,49	0,18	0,51
Profundidade de 20-40 cm								
Herbicida	0,38	0,0016	0,0400	10	0,29	0,50	0,34	-0,20
Grade	0,36	0,0009	0,0300	8	0,30	0,44	0,38	-0,44
Agosto de 2006								
Profundidade de 0-20 cm								
Herbicida	0,44	0,0021	0,0460	11	0,31	0,53	-0,12	0,11
Grade	0,43	0,0015	0,0380	8	0,37	0,54	0,51	-0,29
Profundidade de 20-40 cm								
Herbicida	0,43	0,0022	0,0460	10	0,30	0,55	0,23	0,25
Grade	0,43	0,0018	0,0420	10	0,35	0,52	0,40	-0,50

Média ($m^3 m^{-3}$); Var– variância ($m^3 m^{-3}$)²; DP- desvio padrão ($m^3 m^{-3}$); CV– coeficiente de variação (%); Min– valor mínimo ($m^3 m^{-3}$); Max– valor máximo ($m^3 m^{-3}$); Ass– coeficiente de assimetria; Curt.– coeficiente de curtose

No Quadro 11, observa-se o comportamento da variabilidade espacial da porosidade total, para os sistemas de manejo e profundidades nas duas épocas de avaliação. Em linhas gerais, constatou-se variabilidade espacial considerável na área amostrada, evidenciando, inclusive, que os Latossolos, apesar de serem definidos como

solos relativamente estáveis no ambiente, apresentam variação espacial de seus atributos. Entretanto, é importante ressaltar que, na definição clássica, não são considerados fatores externos que interferem no estereótipo da classe, principalmente os de origem antrópica.

Quadro 11 – Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais da Pt (Porosidade Total), em $m^3 m^{-3}$, em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.

Manejo	Prof.	Modelo	C_o	C+ C_o	a
Março de 2006					
Herbicida	0-20 cm	EXP	0,000423	0,001904	16,38
	20-40 cm	EXP	0,000703	0,001560	14,13
Grade	0-20cm	LSP	0,002529	-	-
	20-40 cm	EPP	0,000898	0,000898	29,35
Agosto de 2006					
Herbicida	0-20cm	EPP	0,002192	0,002192	-
	20-40 cm	ESF	0,001046	0,002218	5,00
Grade	0-20cm	EPP	0,0015	0,0015	28,6851
	20-40 cm	ESF	0,000774	0,001741	5,55

C_o – efeito pepita ($m^3 m^{-3}$); C_o + C – patamar ($m^3 m^{-3}$); a – alcance (m); EPP- Efeito Pepita Puro; ESF- Esférico; EXP- Exponencial; LSP- Linear Sem Patamar

Observa-se que, tanto as épocas de amostragem, como os sistemas de manejo das plantas espontâneas, apresentaram distintos modelos de semivariogramas (Quadro 11). Para o mês de março, quando se empregou herbicida em ambas as profundidades analisadas, os semivariogramas apresentaram variabilidade espacial (Figura 24), sendo o modelo Exponencial - EXP ajustado, com alcances de 16,38 e 14,13 m para, as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. Este modelo demonstra a existência de semelhança entre pontos vizinhos, a qual deve ser considerada na realização das estimativas de valores não amostrados e no mapeamento desse atributo.

Com o uso do implemento grade para o controle das plantas espontâneas, os modelos ajustados foram o Efeito Pepita Puro - EPP e o Linear Sem Patamar – LSP. Estes semivariogramas indicam independência espacial. Tal comportamento também foi

verificado por Gontijo (2003), que também trabalhou com variabilidade espacial na cultura do café, em diferentes sistemas de controle de plantas espontâneas, e verificou que o uso de grade apresentou independência espacial.

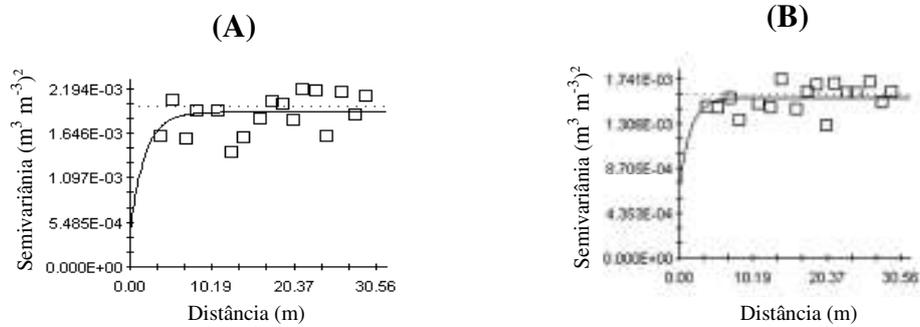


Figura 24 – Distribuição da Pt, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.

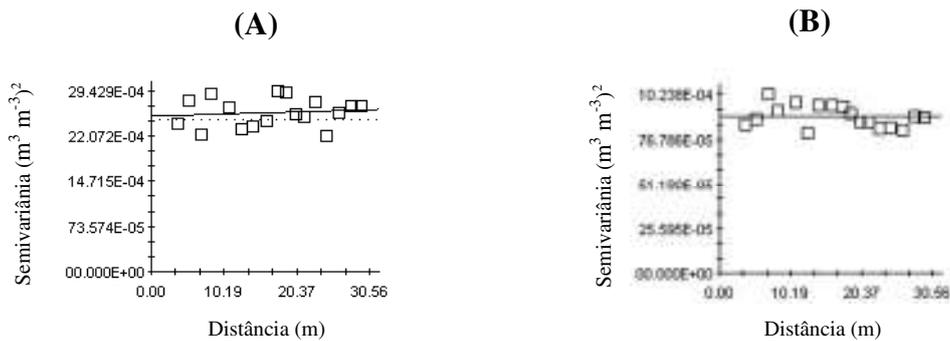


Figura 25 – Distribuição da Pt, para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.

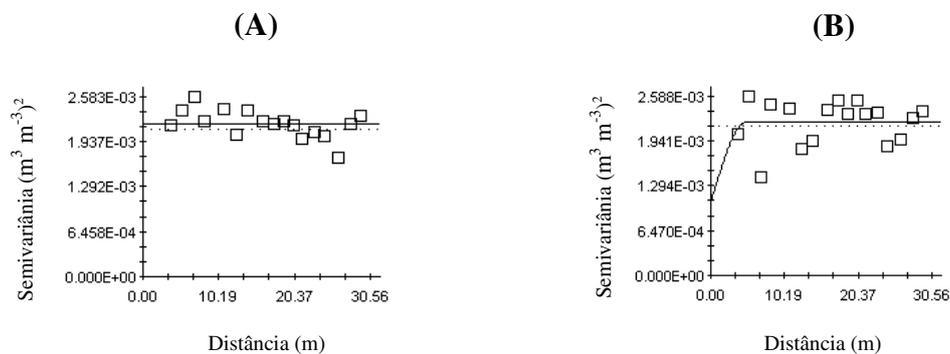


Figura 26 – Distribuição da Pt, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.

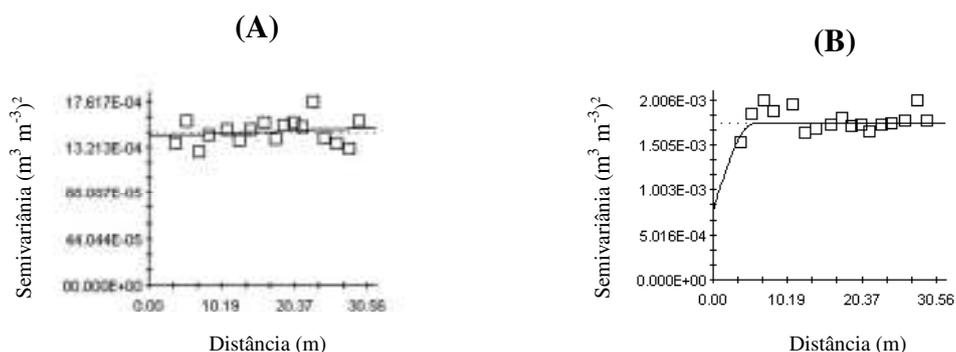


Figura 27 – Distribuição da Pt, para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.

Em relação à amostragem efetuada no mês de agosto, observou-se independência espacial para a profundidade de 0-20 cm, nos dois sistemas de manejo (Figuras 26 e 27), e os semivariogramas ajustados foram o Efeito Pepita Puro - EPP e o Linear Sem Patamar - LSP. Já na profundidade de 20-40 cm, tanto no emprego de herbicida, como de grade, ajustou-se o modelo Esférico - ESF. Este resultado corrobora com os dados de Souza et al. (1997); Souza et al. (2004); Grego e Vieira (2005), em que determinaram-se o modelo esférico como o mais representativo para os atributos do solo e de plantas.

4.3.2 - Mapeamento da porosidade total do solo (Pt)

Os mapas de distribuição espacial são apresentados nas Figuras 28 a 31. Neles, pode-se visualizar, na área amostrada, a distribuição espacial do atributo físico Pt (porosidade total) a partir da interpolação das informações geradas pelos semivariogramas.

Apesar de a estatística descritiva inferir sobre a variabilidade e sobre a condição média da área, não se sabe como esta variabilidade está distribuída no campo, logo, os mapas fornecem essas informações. Observam-se, pelas Figuras 28 a 31, que, em todas as épocas de avaliações e profundidades, os dados predominantes da Pt foram respectivamente inferiores ao valor considerado crítico para desenvolvimento satisfatório do sistema radicular, segundo Kiehl (1979), citado por Cavenage et al. (1999).

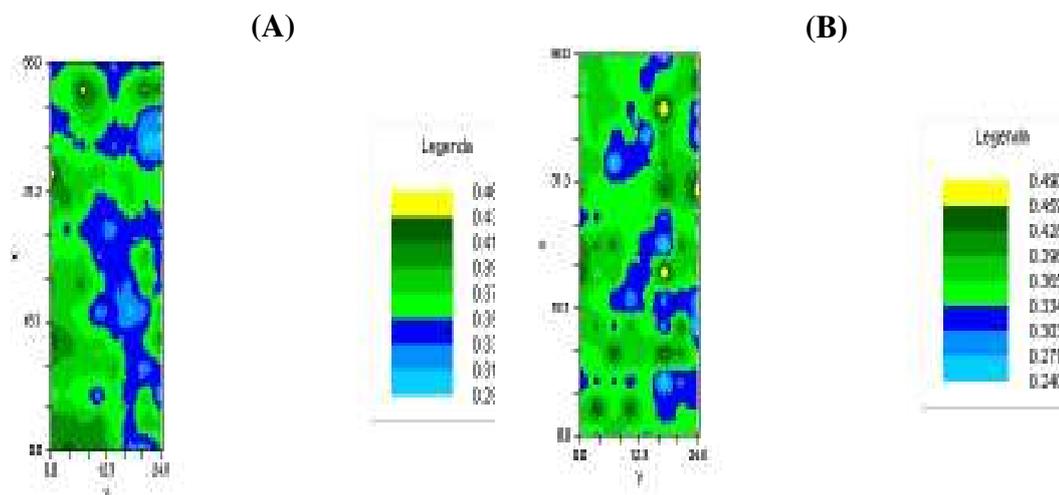


Figura 28 – Distribuição espacial da Pt ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em março de 2006.

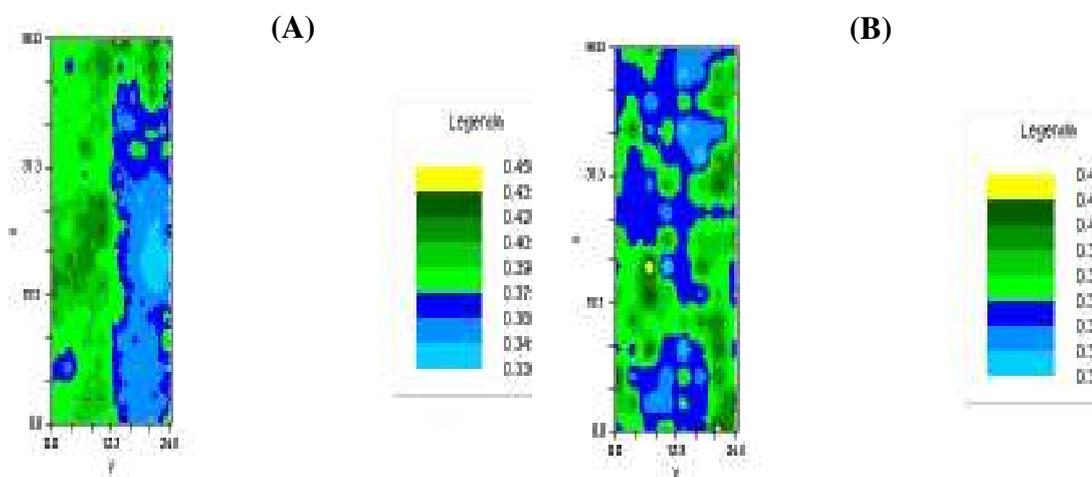


Figura 29 – Distribuição espacial da Pt ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 20-40 cm, em março de 2006.

Verifica-se que, na época chuvosa, os mapas da camada superficial, para os manejos com herbicida e grade, mostraram valores com amplitudes de $0,33$ a $0,37 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ e $0,30$ a $0,36 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ (Figura 28) e da camada inferior valores de $0,31$ a $0,33 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ e $0,35$ a $0,37 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ (Figura 29), respectivamente.

Podem-se notar, pelas Figuras de 30 e 31, que os métodos de manejo utilizados não causaram grandes diferenças na porosidade total do solo durante o mês de agosto. Observa-se que os mapas da camada de 0-20 cm possuem valores com amplitude de $0,39 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ a $0,47 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$, para o manejo com herbicida, e de $0,41$ a $0,45 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$, para o manejo com grade, sendo que na camada de 20-40 cm os valores concentraram-se na classe de $0,40$ a $0,44 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$, para os dois sistemas de manejo empregados.

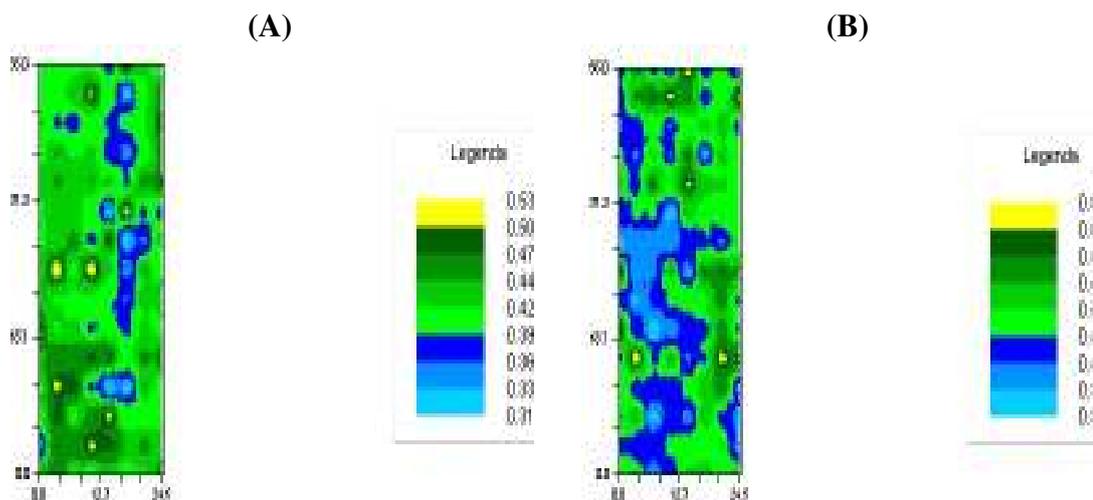


Figura 30 – Distribuição espacial da Pt ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em agosto de 2006.

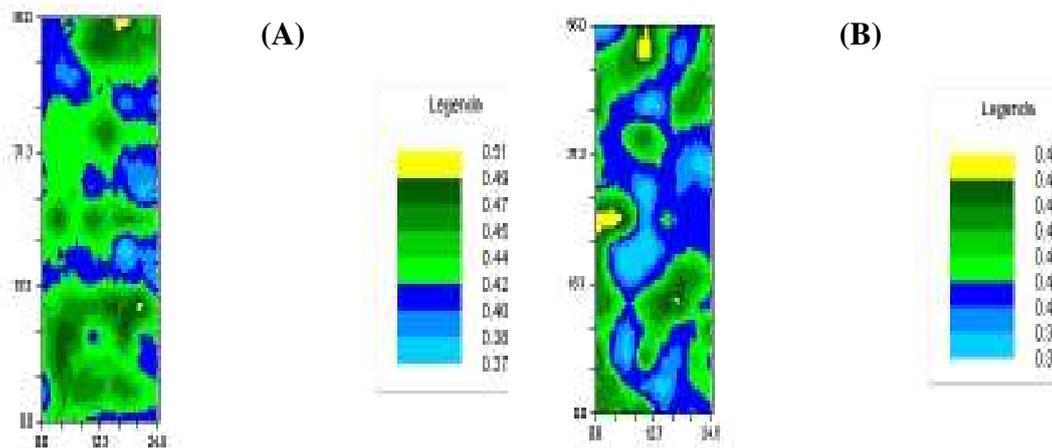


Figura 31 – Distribuição espacial da Pt ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 20 -40 cm, em agosto de 2006.

4.3.3 - Estatística da Porosidade Total do solo (Pt)

O Quadro 12 apresenta os valores médios da porosidade total do solo (Pt). Verifica-se que, durante o mês de março (época chuvosa), os valores da Pt variaram de 0,33 a 0,39 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e foram inferiores à distribuição da porosidade total de um solo ideal. Durante a estação chuvosa, época em que o solo apresenta umidade mais elevada, efetuou-se o controle das plantas espontâneas, o que ocasionou a compactação do solo, aumento da densidade, com conseqüente redução da porosidade total do solo. Esse fato revela a interferência negativa do manejo realizado na época de umidade mais elevada, tanto, na superfície quanto na subsuperfície.

Para a amostragem efetuada no mês de agosto, o qual corresponde ao período seco do ano, os valores da Pt variaram de 0,42 a 0,46 m³ m⁻³. Observa-se que os valores foram maiores para ambas as profundidades e sistemas de manejo estudados, em relação à estação chuvosa. Segundo Camargo e Alleoni (1997), citados por Paulleto et al. (2005), um solo ideal deve apresentar 50% de volume de poros totais que, na capacidade de campo, teria 33,5% ocupado pela água e 16,5% ocupado pelo ar.

Verifica-se que os valores de Pt, nas duas épocas de amostragem e manejos de plantas espontâneas, não variaram com o aumento da profundidade do solo, ou seja, percebem-se, até mesmo na profundidade de 20-40 cm, valores elevados, principalmente no mês de agosto. Esses resultados corroboram com os obtidos por Spera et al. (2004), que também observaram aumento da porosidade com a profundidade para os sistemas com culturas produtoras de grãos e forrageiras sob pastejo. Comparando-se os sistemas de manejo das plantas espontâneas no mês de março, verifica-se que não houve diferença estatística entre os manejos com aplicação de herbicida e uso de grade, nos locais de amostragem meio da rua e rodado do trator e para a profundidade de 0-20 cm. Já na profundidade de 20-40 cm, apenas o meio da rua não diferiu quanto aos sistemas de manejo empregados.

Quadro 12 - Valores médios de porosidade total (Pt), em m³ m⁻³, para os diferentes locais de amostragem e épocas de avaliação.

Manejo	Profundidade 0-20 cm			Profundidade 20-40 cm		
	M	S	R	M	S	R
Março de 2006						
Herbicida	0,37 a B	0,39 a A	0,34 a C	0,38 a AB	0,39 a A	0,37 a B
Grade	0,38 a A	0,37 b A	0,33 a B	0,37 a A	0,36 b A	0,34 b B
CV (%)	11,33	12,43	10,19	9,62	10,91	10,50
Agosto de 2006						
Herbicida	0,42 b A	0,44 b A	0,42 a A	0,42 a B	0,46 a A	0,42 a B
Grade	0,44 a B	0,46 a A	0,43 a B	0,42 a B	0,44 a A	0,42 a B
CV (%)	8,85	12,30	8,94	8,25	10,30	9,96

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste t de "Student", a 0,05 de significância. M- meio da rua, S- saia do cafeeiro, R- rodado do trator.

Na amostragem de solo realizada no mês de agosto, o emprego da grade proporcionou maior Pt para os locais meio da rua e saia do cafeeiro, na profundidade de 0-20 cm. Este fato ocorreu, pois a grade, ao revolver o solo, causa a desestruturação do

mesmo, resultando deste modo, num aumento da macroporosidade temporária e consequentemente da Pt.

O revolvimento do solo, segundo Falleiro et al. (2003), proporciona aumento na porosidade, tendendo esses valores a aumentarem conforme aumentam o tempo decorrido entre o preparo, condições climáticas e a amostragem do solo. Em subsuperfície e nesse mesmo período de amostragem, observa-se que os resultados dos sistemas de manejo não diferiram entre si.

Quanto aos locais de amostragem, pode-se notar através do Quadro 12, que os valores da Pt, obtidos nas regiões “saia do cafeeiro” na profundidade de 0-20 cm; rodado do trator da rua e “saia do cafeeiro”, na profundidade de 20-40 cm, durante o mês de março, foram estatisticamente superiores em relação aos demais locais de amostragem, para manejo com uso de herbicida. Na saia do cafeeiro, este comportamento é explicado pela atuação do sistema radicular da própria planta, ausência de maquinário, aplicações de adubos e por ser uma área com maior atividade microbiana, devido ao microclima favorável com maior umidade e sombreamento, o que contribui para se ter um ambiente particularizado e diferenciado dos demais locais de amostragem. Portanto, a interação entre os fatores solo-planta-atmosfera propiciam a decomposição do material orgânico, que atua na agregação das partículas do solo, contribuindo, deste modo, para aumentar a porosidade total. No meio da rua, os maiores valores de Pt podem ser explicados pela atuação da *Brachiaria decumbens*, que favoreceu a agregação do solo e consequentemente a porosidade. O efeito benéfico das gramíneas, para a formação de agregados com consequente aumento da porosidade total do solo, também foi relatado por Silva et al. (2005).

A região correspondente ao rodado do trator apresentou os menores valores médios de Pt. Este fato comprova a influência negativa dos implementos agrícolas usados na condução da lavoura, pois a redução dos poros está associada à pressão exercida principalmente pelos pneus dos mesmos sobre a superfície do solo, fator que consiste no esmagamento dos agregados pela ação física dos implementos, diminuindo assim, os poros totais.

Esses resultados corroboram com os obtidos por Silva et al. (2003), que estudando o tráfego de máquinas e as propriedades de um Latossolo, concluíram que a passada do rodado elevou a densidade do solo (Ds) e reduziu a macroporosidade e porosidade total.

4.4 - Macroporosidade do solo (Map)

4.4.1 - Análise descritiva e variabilidade espacial através de semivariogramas

Os parâmetros estatísticos descritivos calculados para a macroporosidade encontram-se no Quadro 13. Utilizaram-se os coeficientes de simetria e curtose para avaliar se os dados seguem uma distribuição normal. Percebe-se que os coeficientes de assimetria foram diferentes de zero, com valor positivo, indicando assimetria positiva, o que confere um deslocamento à direita da média. Analisando o Quadro 13, observa-se que os valores de macroporosidade foram considerados satisfatórios ao desenvolvimento radicular ($0,13$ a $18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Segundo Baver (1972), citado por Araújo et al. (2004), o valor mínimo do espaço ocupado pelo ar deve ser de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para que haja um desenvolvimento satisfatório do sistema radicular.

Quadro 13 - Estatística da macroporosidade, em $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$, nos dois sistemas de manejo de plantas espontâneas, em diferentes épocas de avaliação e profundidades de solo.

Manejo	Média	Var	DP	CV	Min.	Max.	Ass.	Curt.
Março de 2006								
Profundidade de 0-20 cm								
Herbicida	0,13	0,0012	0,0340	25	0,08	0,22	0,57	-0,47
Grade	0,14	0,0011	0,0340	25	0,09	0,23	0,92	0,38
Profundidade de 20-40 cm								
Herbicida	0,13	0,0009	0,0290	22	0,09	0,20	0,57	-0,48
Grade	0,13	0,0006	0,0240	20	0,09	0,19	1,10	0,90
Agosto de 2006								
Profundidade de 0-20 cm								
Herbicida	0,16	0,0024	0,0480	29	0,08	0,29	0,58	-0,14
Grade	0,18	0,0028	0,0530	29	0,10	0,30	0,52	-0,66
Profundidade de 20-40 cm								
Herbicida	0,17	0,0027	0,0520	30	0,09	0,30	0,68	-0,14
Grade	0,18	0,0025	0,0500	27	0,09	0,30	0,33	-0,53

Média ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); Var – variância ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)²; DP - desvio padrão ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); CV – coeficiente de variação (%); Min valor mínimo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); Max – valor máximo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); Ass – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose

Verificou-se que o uso de grade como método de controle de plantas espontâneas ocasiona um aumento nos valores de macroporosidade do solo. Carvalho et al. (1999), estudando o comportamento físico-hídrico de um Podzólico, observaram que os manejos onde ocorreu revolvimento do solo contribuíram para um aumento nos macroporos.

Segundo Lamarca (1992), citado por Pauletto et al. (2005), o cultivo mecanizado do solo favorece, inicialmente, a formação de macroporos e, com isso, o desenvolvimento radicular e vegetativo das plantas, porém, tal condição ocorre somente nos primeiros meses.

Com base no critério de Warrick e Nielsen (1980), citados por Filho et al. (2007), para classificar o coeficiente de variação – CV (baixo – $CV < 12\%$, médio – $12\% < CV < 60\%$, alto – $CV \geq 60\%$), verificou-se que os CVs, em todas as épocas, profundidades e sistemas de manejo, foram considerados médios para a macroporosidade. Os modelos de ajuste para os semivariogramas, com os respectivos parâmetros, encontram-se no Quadro 14.

Quadro 14– Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais da macroporosidade, em $m^3 m^{-3}$, em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.

Manejo	Prof.	Modelo	C_0	$C + C_0$	A
Março de 2006					
Herbicida	0-20 cm	EXP	0,000651	0,001111	12,33
	20-40 cm	ESF	0,000470	0,000950	19,18
Grade	0-20cm	LSP	0,001040	-	-
	20-40 cm	LSP	0,000507	-	-
Agosto de 2006					
Herbicida	0-20cm	ESF	0,000761	0,002370	5,40
	20-40 cm	ESF	0,000851	0,002762	5,40
Grade	0-20cm	EXP	0,001593	0,002950	24,93
	20-40 cm	LSP	0,002405	-	-

C_0 – efeito pepita ($m^3 m^{-3}$); $C_0 + C$ – patamar ($m^3 m^{-3}$); a – alcance (m); LSP- Linear Sem Patamar; ESF – Esférico; EXP - Exponencial.

O sistema de manejo de plantas espontâneas com grade, em todas as épocas estudadas, apresentou como modelo ajustado o Linear Sem Patamar - LSP (Figuras 33 e 35), o qual indica que o tamanho da malha empregada não foi suficiente para detectar dependência existente devido à grande capacidade de dispersão dos dados.

As amostras retiradas nas malhas as quais se empregou grade, no mês de agosto e profundidade de 0-20 cm, apresentaram dependência espacial e o semivariograma ajustado foi o Exponencial - EXP. Este modelo ajustado ao semivariograma também foi observado no sistema de manejo de plantas espontâneas com herbicida na camada superficial (0-20 cm), durante a amostragem efetuada no período de março. Estudando ainda o sistema de manejo com herbicida, verificou-se que o semivariograma Esférico - ESF foi o que predominou (Figuras 32 e 34).

Segundo Kondo (2003), o modelo esférico evidencia uma estrutura de correlação espacial crescente com a distância, até certo ponto (alcance), a partir do qual a semivariância torna-se constante, restringindo a área de influência amostral..

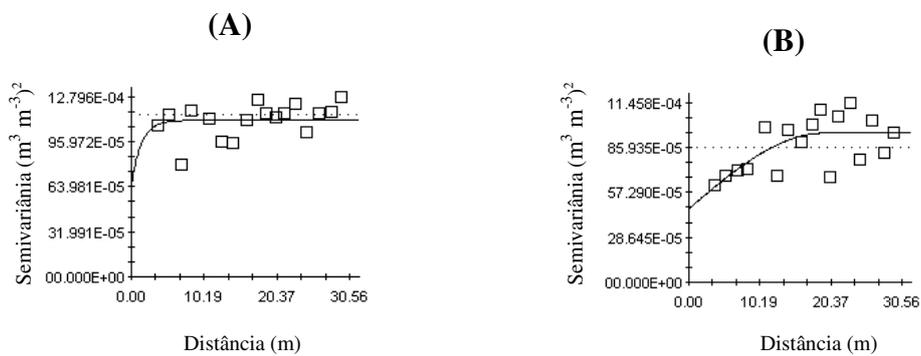


Figura 32 – Distribuição da Map ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.

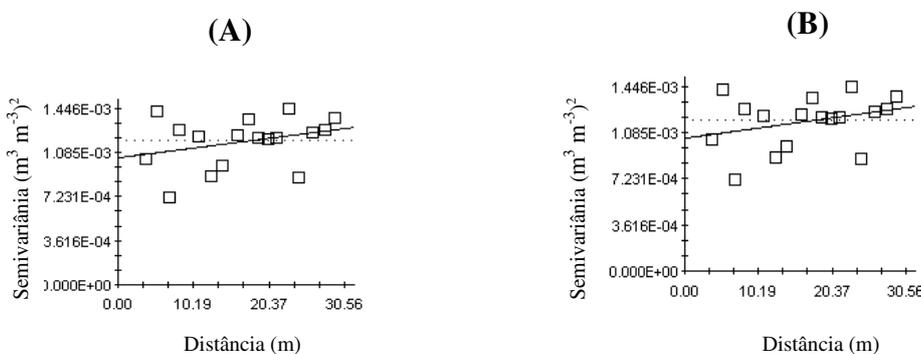


Figura 33 – Distribuição da Map ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.

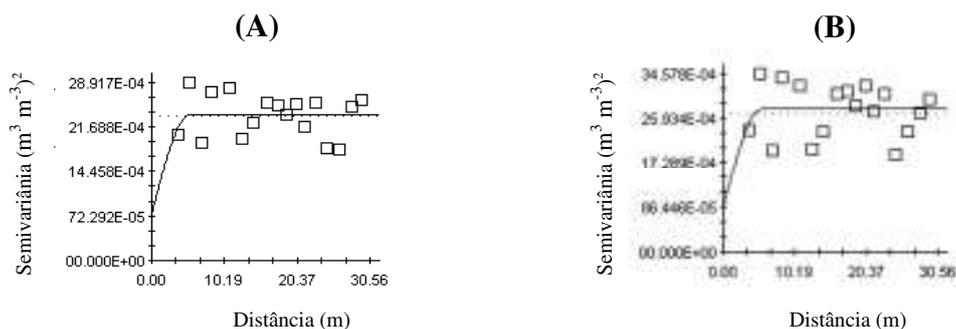


Figura 34 – Distribuição da Map ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.

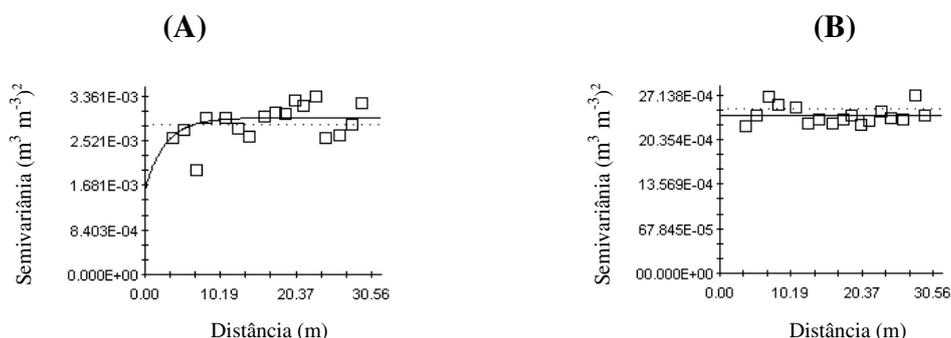


Figura 35 – Distribuição da Map ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.

Marques Júnior et al. (2000) estudando a variabilidade espacial de atributos químicos e produção do café, também encontraram o modelo esférico como o melhor ajustado aos seus dados.

4.4.2 - Mapeamento da macroporosidade do solo (Map)

A distribuição espacial dos valores de macroporosidade do solo em diferentes sistemas de manejo das plantas espontâneas e profundidades está apresentada nas Figuras 36 a 39. Os mapas foram obtidos por interpolação (krigagem), a partir dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas, a fim de estimar valores em locais não amostrados.

Em linhas gerais, constatou-se variabilidade espacial considerável na área amostrada em todas as épocas, manejos e profundidades (Quadro 13). Para esse atributo, uma amostragem feita ao acaso falharia em apresentar as variações encontradas e esconderia uma variação que existe e deve ser considerada.

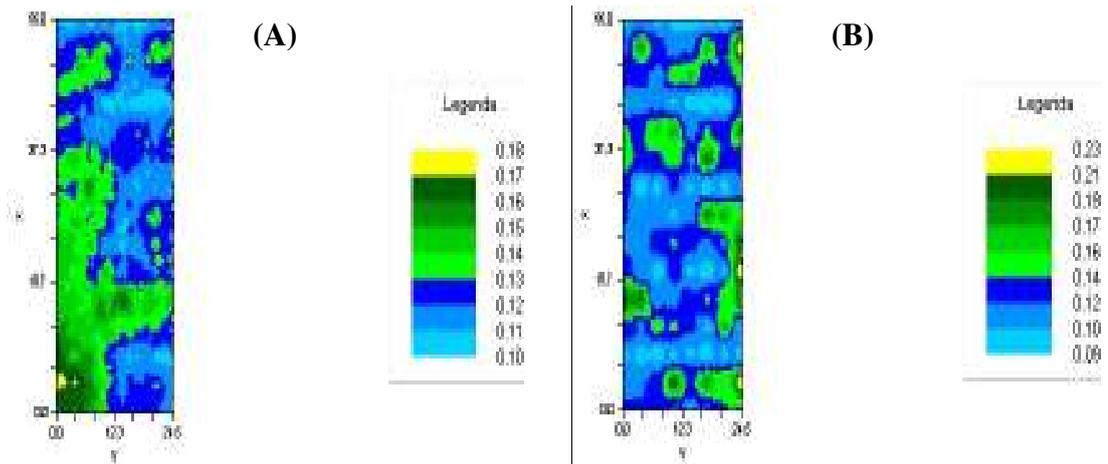


Figura 36 – Distribuição espacial da Map ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 0-20 cm, em março de 2006.

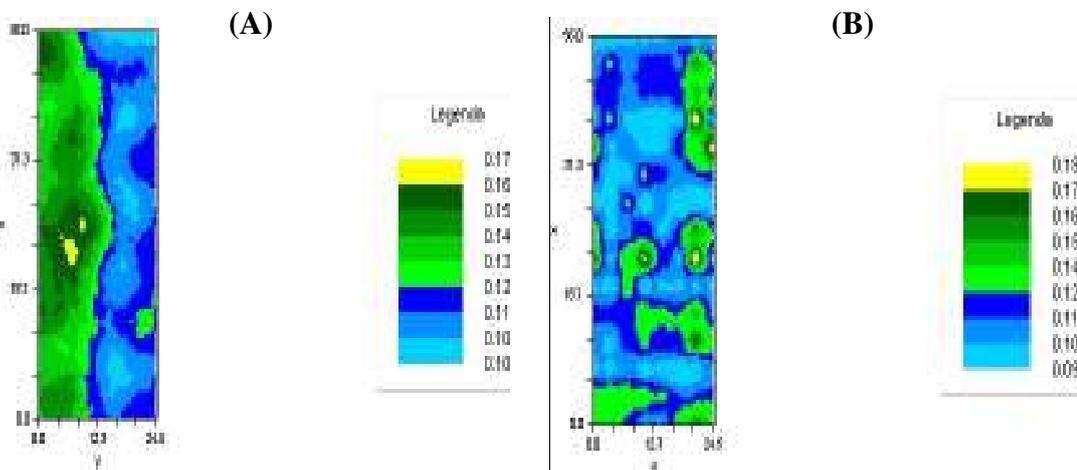


Figura 37 – Distribuição espacial da Map ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 20-40 cm, em março de 2006.

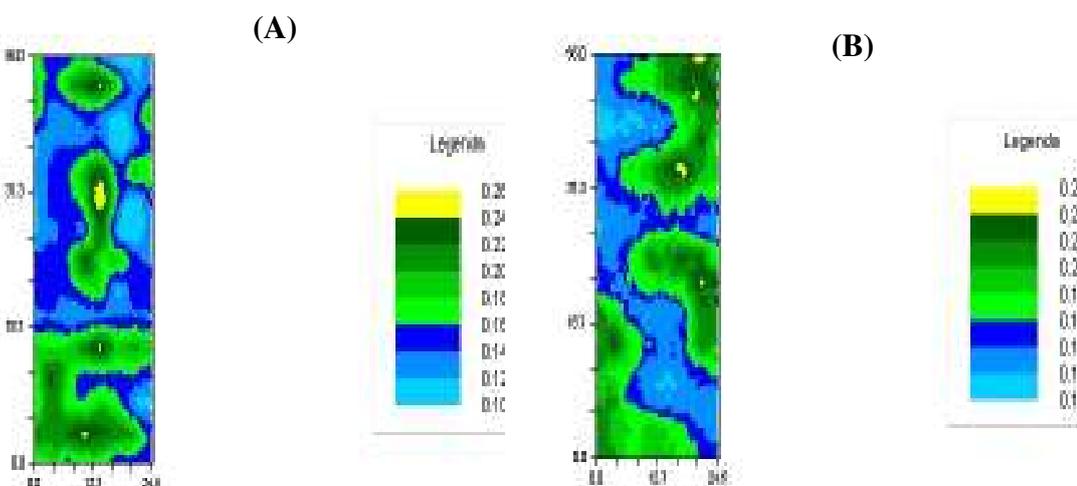


Figura 38 – Distribuição espacial da Map ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 0-20 cm, em agosto de 2006.

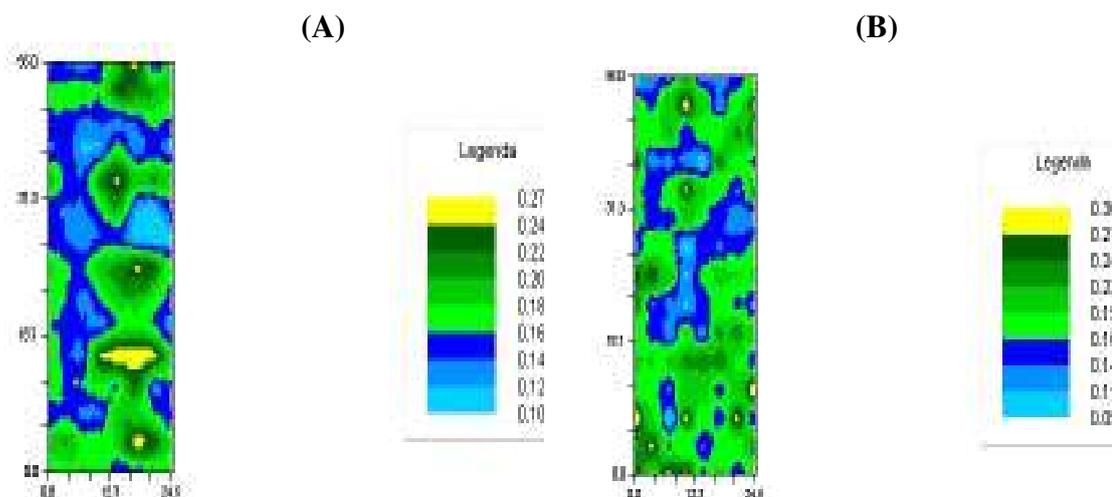


Figura 39 – Distribuição espacial da Map ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 20-40 cm, em agosto de 2006.

É importante ressaltar que, na definição clássica, não são considerados fatores externos que interferem no estereótipo da classe, principalmente os de origem antrópica. Fica evidente o fato de o manejo de plantas espontâneas interferirem na distribuição espacial de seus atributos físicos.

4.4.3 - Estatística da Macroporosidade do solo (Map)

Verifica-se que a distribuição da macroporosidade (Map), Quadro 15, teve seus valores afetados pelos diferentes sistemas de manejo das plantas espontâneas. O emprego da grade, como método de controle das plantas espontâneas, ocasionou valores estatisticamente superiores de Map nos locais de amostragem linha de tráfego, na profundidade de 0-20 cm, e na região meio da rua, na profundidade de 20-40 cm, durante o período seco do ano. Esses resultados podem ser atribuídos ao efeito residual do revolvimento do solo, que é maior no primeiro mês após o revolvimento. Os resultados obtidos estão em conformidade com aqueles de Tormena et al. (2002), os quais constataram um aumento na macroporosidade com o revolvimento do solo. Carvalho et al. (1999) também observaram aumento da macroporosidade com o revolvimento do solo. De acordo com Silva et al. (2006), os maiores valores de macroporosidade, nos sistemas com revolvimento, devem-se à persistência dos efeitos da mobilização do solo que resultaram em fraturamento dos agregados e o desenvolvimento de poros, notadamente macroporos.

Quadro 15 - Valores médios de macroporosidade, em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, para os diferentes locais de amostragem e épocas de avaliação.

Manejo	Profundidade 0-20 cm			Profundidade 20-40 cm		
	M	S	R	M	S	R
Março de 2006						
Herbicida	0,13 a B	0,15 a A	0,10 a C	0,13 a A	0,14 a A	0,11 a B
Grade	0,14 a B	0,16 a A	0,10 a C	0,13 a A	0,14 a A	0,10 a B
CV (%)	15,57	14,34	15,17	15,37	20,89	24,29
Agosto de 2006						
Herbicida	0,17 a B	0,20 a A	0,14 b C	0,16 b B	0,21 a A	0,13 a C
Grade	0,17 a B	0,21 a A	0,16 a B	0,18 a B	0,21 a A	0,14 a C
CV (%)	24,36	21,80	24,39	19,46	19,80	24,91

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste t de "Student", a 0,05 de significância. M - meio da rua, S - saia do cafeeiro, R - rodado do trator.

Observa-se que os valores de Map foram menores em todos os locais de amostragem e manejos empregados durante o mês de março, o qual corresponde à época chuvosa. Deve-se salientar mais uma vez que o controle das plantas espontâneas ocorre na época em que o solo apresenta maior umidade e está mais suscetível à compactação. Além do mais, se trata de um solo argiloso, que após as alterações de sua estrutura, Map sofre maior alteração, devido ao aumento da massa de partículas de solo por unidade de volume, diminuindo, portanto, os espaços ocupados pelos poros maiores e aumentando a microporosidade.

Comparando-se os locais de amostragem, pode-se observar, pelo Quadro 15, que os resultados da Map, no local de amostragem rodado do trator (linha de tráfego), foram estatisticamente inferiores nos dois sistemas de manejo, em ambas as profundidades e épocas estudadas. Este comportamento deve-se à pressão exercida pelo trânsito de maquinários utilizados na condução da lavoura, os quais promovem a quebra dos agregados, aumentando, deste modo, a compactação, com conseqüente redução da Map, em função da destruição da estrutura do solo. Com a degradação da estrutura em áreas cultivadas, segundo Boller (1996), há uma alteração da relação massa/volume dos componentes do solo, em função da diminuição da porosidade total e macroporosidade.

Analisando ainda este mesmo local de amostragem, percebe-se que, durante a época chuvosa, os valores desse atributo físico foram menores e variaram de 0,10 a 0,11 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Esses valores são considerados por Baver (1972), citado por Araújo et al. (2004), como limite crítico restritivo para o crescimento e produtividade das culturas.

Constata-se que a capacidade de aeração do solo no rodado do trator, região localizada próxima à saia do cafeeiro, é classificada como inadequada, visto que a Map ou porosidade ocupada com ar é uma medida relacionada com a taxa de difusão de oxigênio no solo. Os baixos valores de Map e altos valores na relação micro/macroporos implicam em uma aeração deficiente no solo, o que seguramente prejudica o desenvolvimento das culturas. Analisando a distribuição do tamanho de poros, Silva et al. (2006), também verificaram que o solo estudado em sua pesquisa apresentou macroporosidade variando de 0,09 a 0,22 m³ m⁻³.

Conforme observado por Borges et al. (1997), a atividade agrícola e tráfego de máquinas podem causar problemas quanto à compactação e o adensamento, com aumento da densidade do solo e, conseqüentemente, diminuição na sua porosidade, particularmente na macroporosidade, o que compromete as trocas gasosas e o movimento da água no perfil do solo.

Os valores da Map na região da saia do cafeeiro foram estatisticamente superiores, em relação aos demais locais de amostragem (com exceção da amostragem realizada no mês de março, na profundidade de 20-40 cm), possivelmente por influência dos constituintes orgânicos que atuam na estruturação e agregação do solo. Nota-se que a Map, assim como a Pt e o DMG, foram positivamente afetados pelos compostos orgânicos e revelaram estreita dependência entre a porosidade e a dinâmica da matéria orgânica presente na saia do cafeeiro. No mês de março os valores desse atributo na saia do cafeeiro variaram de 0,14 a 0,16 m³ m⁻³, observou-se uma ligeira redução com o aumento da profundidade amostrada. Esses resultados estão em acordo com os encontrados por Souza e Alves (2003). Já no mês de agosto, este comportamento não foi observado, ou seja, os valores de Map permaneceram estáveis e não variaram em profundidade.

4.5- Microporosidade do solo (Mip)

4.5.1- Análise descritiva e variabilidade espacial através de semivariogramas

No Quadro 16, observam-se as estatísticas dos dados de microporosidade nos pontos amostrados. Verifica-se que os valores médios encontrados para as profundidades e sistemas de manejo de plantas espontâneas são semelhantes.

Quadro 16 - Estatísticas da microporosidade, em $m^3 m^{-3}$, nos dois sistemas de manejo de plantas espontâneas, em diferentes épocas de avaliação e profundidades de solo.

Manejo	Média	Var	DP	CV	Min.	Max.	Ass.	Curt.
Março de 2006								
Profundidade de 0-20 cm								
Herbicida	0,24	0,0010	0,031	13	0,15	0,30	-0,47	0,31
Grade	0,23	0,0007	0,0250	11	0,17	0,28	-0,24	-0,48
Profundidade de 20-40 cm								
Herbicida	0,25	0,0006	0,0250	10	0,16	0,30	-0,27	0,49
Grade	0,24	0,0012	0,0350	14	0,13	0,29	-0,64	0,13
Agosto de 2006								
Profundidade de 0-20 cm								
Herbicida	0,27	0,0016	0,0400	15	0,13	0,33	-1,09	1,72
Grade	0,26	0,0012	0,0340	13	0,13	0,32	-0,68	0,82
Profundidade de 20-40 cm								
Herbicida	0,25	0,0006	0,0240	9	0,18	0,33	0,15	1,11
Grade	0,24	0,0007	0,0260	11	0,18	0,31	0,24	-0,07

Média ($m^3 m^{-3}$); Var – variância ($m^3 m^{-3}$)²; DP - desvio padrão ($m^3 m^{-3}$); CV – coeficiente de variação (%); Min - valor mínimo ($m^3 m^{-3}$); Max – valor máximo ($m^3 m^{-3}$); Ass – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose.

A variância, o desvio-padrão e o coeficiente de variação (CV) indicam pequena variabilidade dessa propriedade do solo, os CV para microporosidade enquadram-se na classe baixa, de acordo com a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980).

Os coeficientes de assimetria foram negativos para a maioria dos dados, o que indica uma concentração dos dados à esquerda da média. Percebe-se que não ocorreu grande dispersão dos dados em relação à média estimada. Este fato indica que a amostragem, realizada mediante o estabelecimento de pontos pré-definidos, pode reduzir os erros decorrentes da amostragem de solo. Reichardt et al. (1986) relatam a importância da amostragem regionalizada e espacialmente definida.

Os valores de microporosidade em todos os sistemas de manejo foram considerados adequados ao desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro. Nota-se que a aplicação de herbicida, para o controle de plantas, promove um ligeiro aumento da microporosidade, tanto superficialmente, quanto em subsuperfície. Isto ocorreu devido a uma possível deposição de partículas de solo dispersas dos agregados que foram

diretamente afetados pela calagem e adubações constantes, que em suspensão descem com a água de infiltração.

Para avaliar o comportamento espacial da microporosidade do solo, utilizaram-se os modelos de semivariogramas apresentados no Quadro 17. Verificou-se que, para o sistema de manejo das plantas espontâneas com grade, os semivariogramas apresentaram variabilidade espacial, sendo o modelo Exponencial - EXP ajustado para as duas profundidades e épocas estudadas.

Quadro 17– Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais da microporosidade, em $m^3 m^{-3}$, em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.

Manejo	Prof.	Modelo	C_0	$C + C_0$	a
Março de 2006					
Herbicida	0-20 cm	EPP	0,000965	-	-
	20-40 cm	EPP	0,000647	-	-
Grade	0-20cm	EXP	0,000305	0,000666	8,64
	20-40 cm	EXP	0,000518	0,001230	26,01
Agosto de 2006					
Herbicida	0-20cm	ESF	0,000449	0,001616	5,92
	20-40 cm	EPP	0,000590	-	-
Grade	0-20cm	EXP	0,000111	0,001232	39,24
	20-40 cm	EXP	0,000050	0,000631	17,10

C_0 – efeito pepita ($m^3 m^{-3}$); $C_0 + C$ – patamar ($m^3 m^{-3}$); a – alcance (m); EPP- Efeito Pepita Puro, ESF-Esférico, EXP- Exponencial.

A dependência espacial entre as amostras, observada no modelo EXP, demonstra a semelhança entre pontos vizinhos, a qual deve ser considerada na realização das estimativas de valores não amostrados e no mapeamento desse atributo. Este fato indica mais uma vez que a amostragem realizada pelo estabelecimento de pontos pré-definidos pode reduzir os erros decorrentes da amostragem de solo.

Quando se utilizou herbicida para controlar as plantas espontâneas, observou-se independência entre as amostras, nas profundidades de 0-20 cm e de 20-40 cm (Figura

40), durante o mês de março e no mês de agosto apenas na profundidade de 20-40 cm (Figura 42), optando-se, portanto, pelo modelo Efeito Pepita Puro - EPP. Esse modelo indica que todas as variações observadas foram devidas ao acaso e, assim pode-se aplicar a estatística clássica para a representação e coleta de amostras sem a necessidade da regionalização e determinações de pontos amostrais correlacionados com a distância.

O modelo Esférico - ESF se ajustou para o manejo com uso de herbicida, durante o período de agosto e profundidade de 0-20 cm (Figura 42). Ele evidencia uma estrutura de correlação especial crescente com a distância, até atingir o alcance, e a partir do qual a semivariância torna-se constante, restringindo a área de influência amostral.

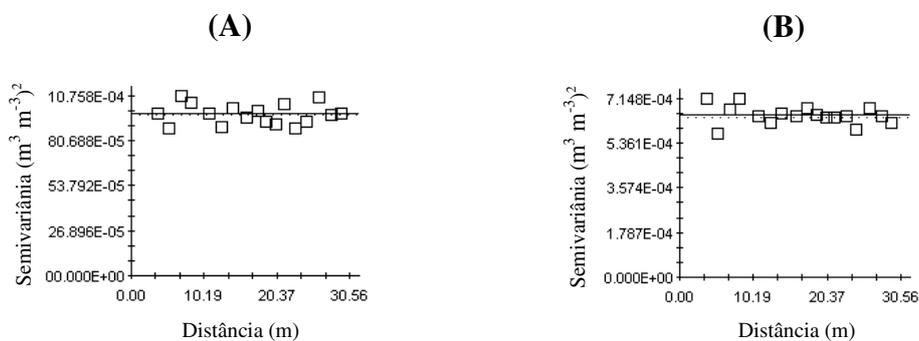


Figura 40 – Distribuição da Mip ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.

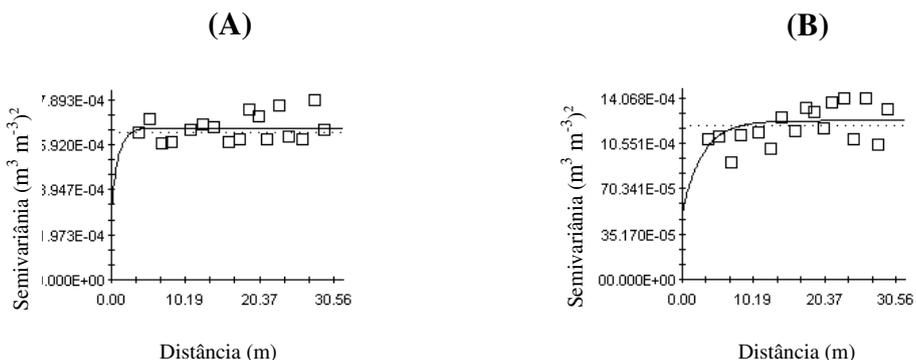


Figura 41 – Distribuição Mip ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.

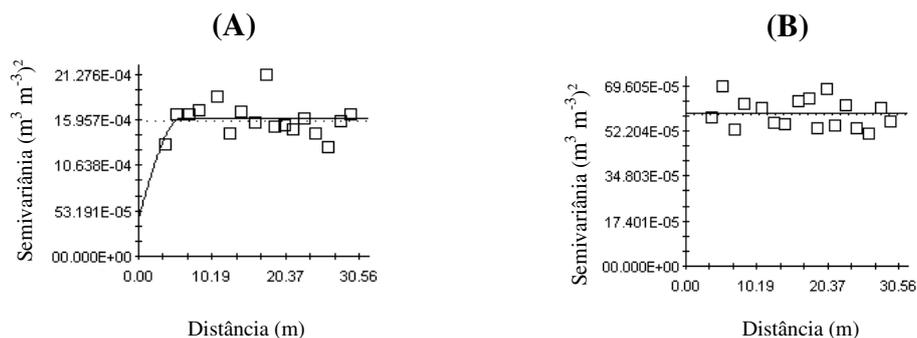


Figura 42 – Distribuição Mip ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.

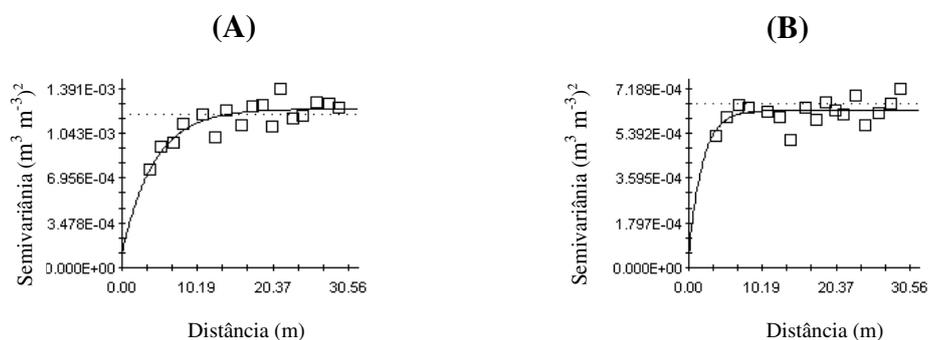


Figura 43 – Distribuição Mip ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.

4.5.2 - Mapeamento da microporosidade do solo (Mip)

A distribuição espacial dos valores de microporosidade do solo em diferentes sistemas de manejo das plantas espontâneas e profundidades está apresentada nas Figuras 44 a 47. Os mapas foram obtidos por interpolação (krigagem), a partir dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas, a fim de estimar valores em locais não amostrados. A maior parte dos dados da microporosidade (Mip) encontrou-se na classe que variou de 0,22 a 0,24 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, faixa esta considerada como adequada para armazenamento da solução do solo.

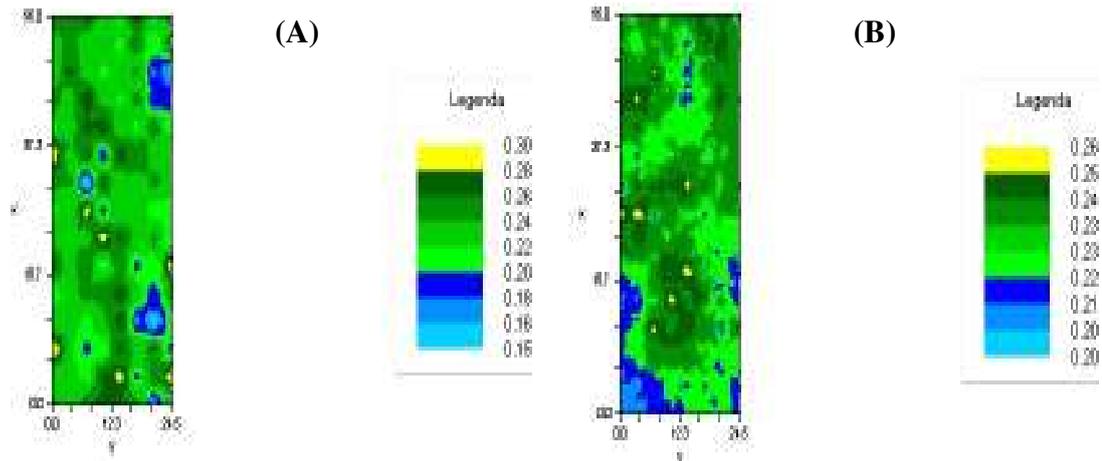


Figura 44 – Distribuição espacial da Mip ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 0-20 cm, em março de 2006.

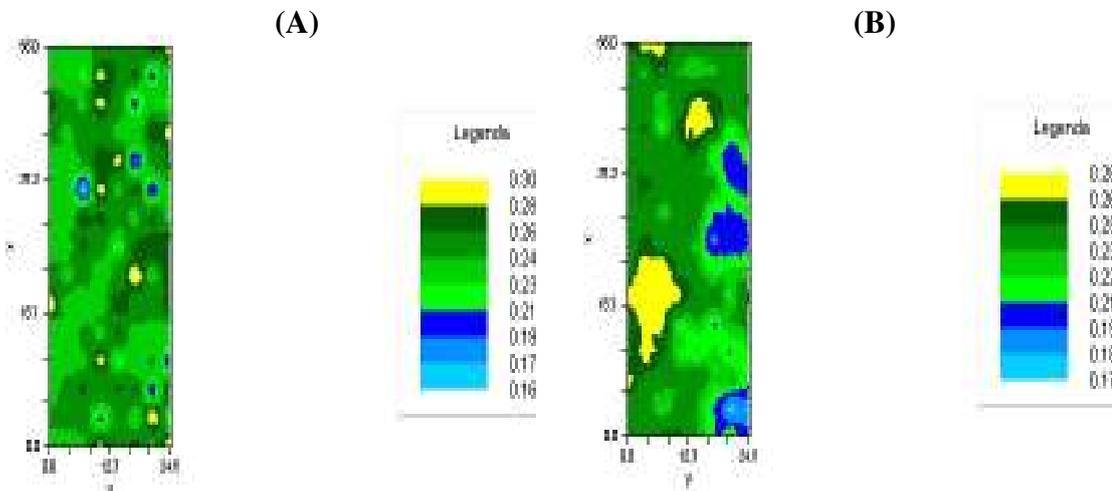


Figura 45 – Distribuição espacial da Mip ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 20-40 cm, em março de 2006.

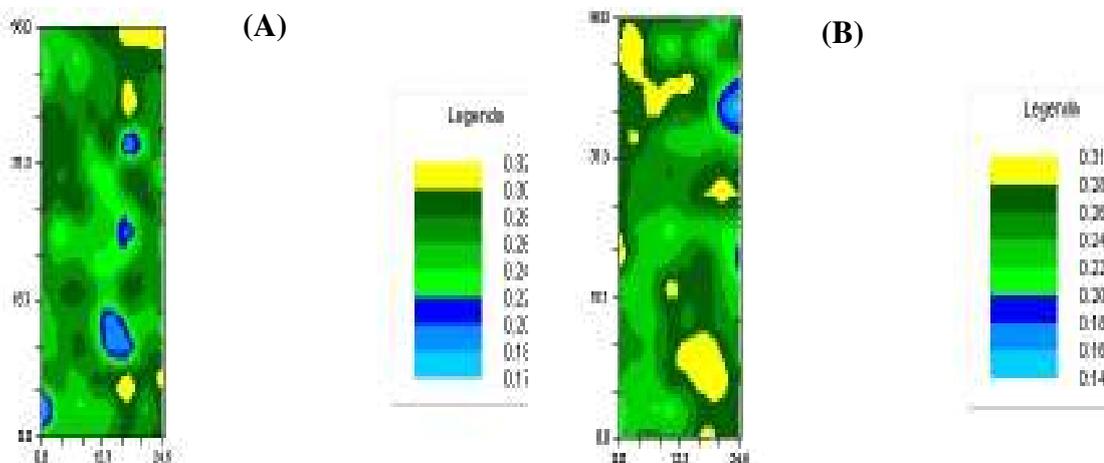


Figura 46 – Distribuição espacial da Mip ($m^3 m^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade de 0-20 cm, em agosto de 2006.

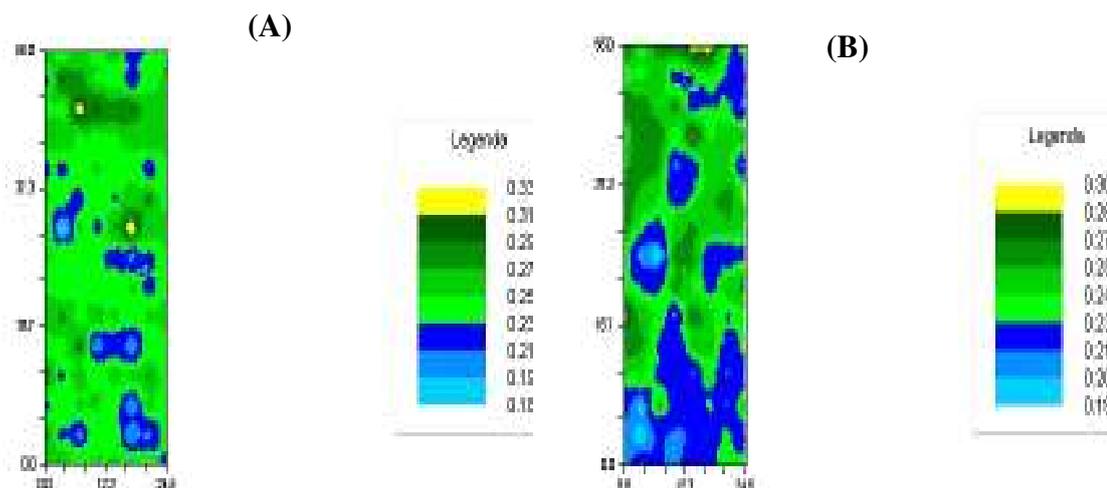


Figura 47 – Distribuição espacial da Mip ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de Herbicida (A) e de Grade (B), na profundidade de 20-40 cm, em agosto de 2006.

4.5.3 - Estatística da Microporosidade do solo (Mip)

Os valores médios de microporosidade (Mip) foram praticamente contínuos ao longo do perfil e variaram de 0,22 a 0,28 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ sendo, portanto, considerados satisfatórios para o armazenamento de água às plantas. Observa-se que os valores dos coeficientes de variações (CV) são considerados baixos, conforme proposto por Warrick e Nielsen (1980), citados por Oliveira et al. (1999).

Durante o mês de março, período chuvoso verificou-se que a Mip não foi influenciada pelos sistemas de manejo das plantas espontâneas, nos locais meio da rua e rodado do trator, pois a microporosidade é muito pouco influenciada pelo uso de grade niveladora. Independente das considerações estatísticas, nessa mesma época amostrada, percebe-se um ligeiro aumento da microporosidade, na profundidade de 20-40 cm. Esses resultados corroboram com os encontrados por Souza e Alves (2003), os quais trabalharam com um Latossolo Vermelho, sob diferentes usos e manejos, e também verificaram que a Mip do solo foi maior nas profundidades de 10-20 cm e 20-40 cm. Os resultados demonstram que a Mip é uma propriedade física mais estável, e não é muito influenciada por diferentes sistemas de manejo do solo, e segundo Silva e Kay (1997), é fortemente influenciada pela textura e teor de carbono orgânico.

Quadro 18 - Valores médios de microporosidade, em $m^3 m^{-3}$, para os diferentes locais de amostragem e épocas de avaliação.

Manejo	Profundidade 0-20 cm			Profundidade 20-40 cm		
	M	S	R	M	S	R
Março de 2006						
Herbicida	0,24 a A	0,24 a A	0,25 a A	0,25 a A	0,25 a A	0,26 a A
Grade	0,24 a A	0,22 b B	0,24 a A	0,24 a A	0,22 b B	0,25 a A
CV (%)	11,00	11,42	11,31	12,76	10,30	8,08
Agosto de 2006						
Herbicida	0,26 a B	0,25 a B	0,28 a A	0,26 a A	0,24 a B	0,26 a A
Grade	0,26 a A	0,25 a B	0,26 b A	0,23 b B	0,23 a B	0,25 a A
CV (%)	12,37	8,40	10,89	9,31	10,04	10,22

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste t de "Student", a 0,05 de significância. M- meio da rua, S- saia do cafeeiro, R- rodado do trator.

O local de amostragem saia do cafeeiro, no período chuvoso, apresentou valores estatisticamente superiores, tanto na superfície (0-20 cm), quanto na subsuperfície (20-40 cm), quando se empregou herbicida para controlar as plantas espontâneas. Isto ocorreu provavelmente devido à maior agregação e porosidade encontrada nesta região.

Comparando-se os locais amostrados, verifica-se, pelo Quadro 18, que, no manejo com grade niveladora, o meio da rua e o rodado do trator apresentaram valores estatisticamente superiores de Mip, em ambas as profundidades no mês de março. Comportamento semelhante também foi observado na amostragem efetuada em agosto, na profundidade de 0-20 cm, para o manejo com grade, e na profundidade de 20-40 cm, para o manejo com herbicida.

No rodado do trator, o aumento da microporosidade se deve à pressão mecânica dos implementos exercida sobre os agregados do solo, provocando à ruptura dos mesmos, facilitando a aproximação das partículas, cuja consequência imediata é a diminuição dos poros maiores e aumento no número de poros menores.

De maneira geral, os resultados indicam que os efeitos do tráfego de máquinas sobre a Mip não se concentram somente nos primeiros 20 cm, mas também em subsuperfície, em função da pressão das camadas sobrejacentes sobre as inferiores. Os resultados indicam também que estes equipamentos estão promovendo uma compactação nestas profundidades, sendo que estes fatos comprovam que o processo de compactação promove a transformação de macro em microporos.

A diminuição da porosidade total e o aumento da relação microporosidade/macroporosidade são resultantes da degradação dos agregados e

caracterizam o surgimento de camadas compactadas, as quais refletem no aumento da densidade do solo. Alves (1992) e Veiga et al. (1994), citados por Souza e Alves (2003), observaram que, em camadas compactadas, além do aumento da densidade do solo, há um aumento da quantidade de sólidos, em relação ao volume de poros. Eles verificaram também que, nessa camada, predominaram os microporos, nos quais os movimentos de água e ar são difíceis, diminuindo, dessa forma, a drenagem interna do solo, que é comandada pela estrutura.

4.6 - Carbono Orgânico Total (COT) no solo

4.6.1- Análise descritiva e variabilidade espacial através de semivariogramas

Estudando a dinâmica do COT, observam-se, pelo Quadro 19, os momentos estatísticos desse atributo. Percebe-se, através dos coeficientes de assimetria e curtose, que os valores não apresentaram elevada dispersão em torno da média e tendem à simetria. Esses resultados sugerem que a amostragem efetuada, após o estabelecimento de pontos georeferenciados, pode contribuir para a redução de erros provenientes de amostragens. Os coeficientes de variação (CVs) observados mostraram baixa variabilidade do COT, principalmente no mês de agosto, o qual corresponde ao período seco do ano.

A menor variabilidade deve-se, possivelmente, às condições climáticas regionais desfavoráveis e à decomposição da matéria orgânica, explicada pelas reduções das precipitações e da temperatura, no período de agosto, o que contribui para reduzir a atividade microbiana. Silveira e Cunha (2002), também observaram baixo coeficiente de variação da matéria orgânica (menor que 14%), em sistemas com manutenção dos restos vegetais na superfície do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Araújo (2002) e Souza et al. (2003), para a matéria orgânica.

Verifica-se, através da estatística descritiva (Quadro 19), que o emprego de herbicida, para controlar as plantas espontâneas, apresentou os menores teores de COT, tanto em superfície (0-20 cm), quanto em subsuperfície (20-40 cm). Isto indica que a operação de gradagem com revolvimento do solo e incorporação da matéria orgânica proporcionou maiores concentrações temporárias de Carbono Orgânico Total no solo.

Quadro 19 - Estatísticas do Carbono Orgânico Total (COT), em g kg^{-1} , nos sistemas de manejo de plantas espontâneas, em diferentes épocas de avaliação e profundidades de solo.

Manejo	Média	Var	DP	CV	Min.	Max.	Ass.	Curt.
Março de 2006								
Profundidade de 0-20 cm								
Herbicida	12,6	2,91	1,71	20,3	7,69	15,69	- 0,23	- 0,51
Grade	14,51	4,51	2,12	14,6	9,18	21,24	0,19	0,09
Profundidade de 20-40 cm								
Herbicida	8,51	3,02	1,73	20,3	5,13	13,31	0,02	- 0,61
Grade	11,62	6,05	2,46	21,2	6,42	17,10	0,25	- 0,75
Agosto de 2006								
Profundidade de 0-20 cm								
Herbicida	15,19	7,2045	2,6840	17,7	9,09	22,88	0,44	0,20
Grade	16,03	6,1545	2,4810	15,5	10,20	21,42	- 0,01	- 0,65
Profundidade de 20-40 cm								
Herbicida	11,77	2,5128	1,5850	13,5	9,05	15,69	0,34	- 0,66
Grade	14,21	8,8853	2,9810	21,0	8,37	19,81	0,31	- 0,90

Média (g kg^{-1}); Var – variância (g kg^{-1})²; DP - desvio padrão (g kg^{-1}); CV – coeficiente de variação (%); Min - valor mínimo (g kg^{-1}); Max – valor máximo (g kg^{-1}); Ass – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose

A análise geoestatística, efetuada por meio do semivariograma, mostrou que o atributo COT, em todos os sistemas de manejo, profundidades e épocas estudadas apresentou dependência espacial (Quadro 20 e Figuras 48 a 51). Para a maior parte dos semivariogramas, ajustaram-se muito bem o modelo Esférico - ESF, exceção feita ao manejo das plantas espontâneas com herbicida, em ambas as profundidades, durante a amostragem feita no mês de março, a qual se ajustou, também de forma excelente, o modelo Exponencial - EXP.

Angélico (2006) estudando o desempenho da co-krigagem na determinação da variabilidade de atributos do solo, também observou que a matéria orgânica apresentou dependência espacial, descrita pelo modelo ESF com alcance de 103 m, ou seja, as amostras da matéria orgânica selecionadas a distâncias inferiores a 103 m foram correlacionadas entre si.

Devido à dependência para o COT, sugere-se a utilização do alcance desse atributo na realização de futuras amostragens, pois o alcance é a linha divisória para a

aplicação da geoestatística e a estatística clássica. Ou seja, o alcance em todos os modelos ajustados deve ser levado em consideração, pois, corresponde a distância limite da dependência espacial, a partir da qual as amostras são consideradas independentes, e por conseguinte, a estatística clássica pode ser usada sem restrição.

Quadro 20 – Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais do Carbono Orgânico Total (COT), em g kg^{-1} , nos diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.

Manejo	Prof.	Modelo	C_0	$C + C_0$	A
Março de 2006					
Herbicida	0-20 cm	LSP	1,916958	3,347500	29,1863
	20-40 cm	LSP	1,757942	3,531855	29,1864
Grade	0-20cm	ESF	1,299550	4,421000	6,89
	20-40 cm	ESF	0,169520	5,998189	8,27
Agosto de 2006					
Herbicida	0-20cm	ESF	2,547249	6,929713	5,89
	20-40 cm	ESF	0,352824	2,473000	6,82
Grade	0-20cm	ESF	0,580847	6,407577	7,11
	20-40 cm	ESF	1,165194	8,569168	6,74

C_0 – efeito pepita (g kg^{-1}); $C_0 + C$ – patamar (g kg^{-1}); a – alcance (m); EXP- Exponencial; ESF-Esférico.

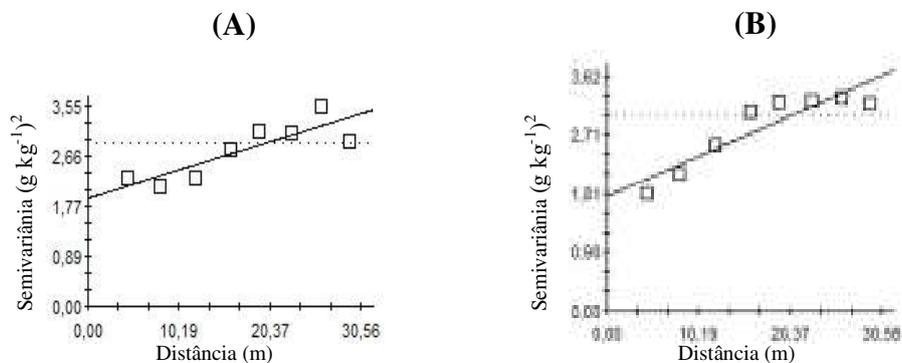


Figura 48 – Distribuição espacial do COT (g kg^{-1}), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.

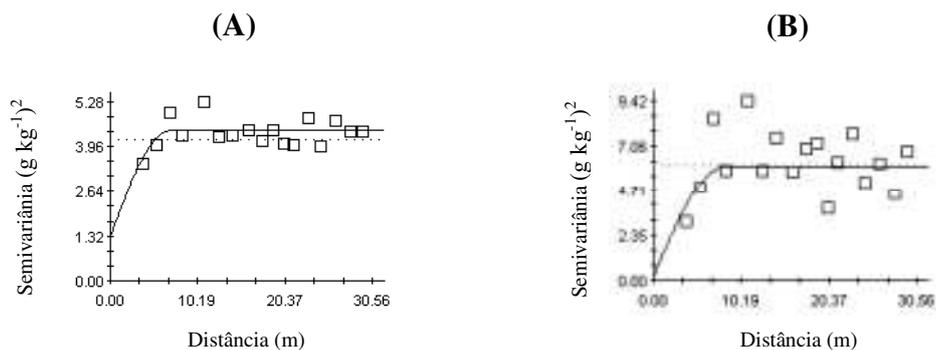


Figura 49 – Distribuição espacial do COT (g kg^{-1}), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.

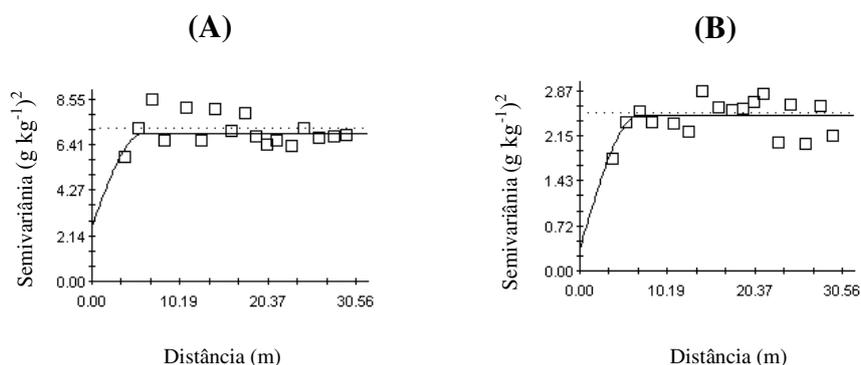


Figura 50 – Distribuição espacial do COT (g kg^{-1}), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.

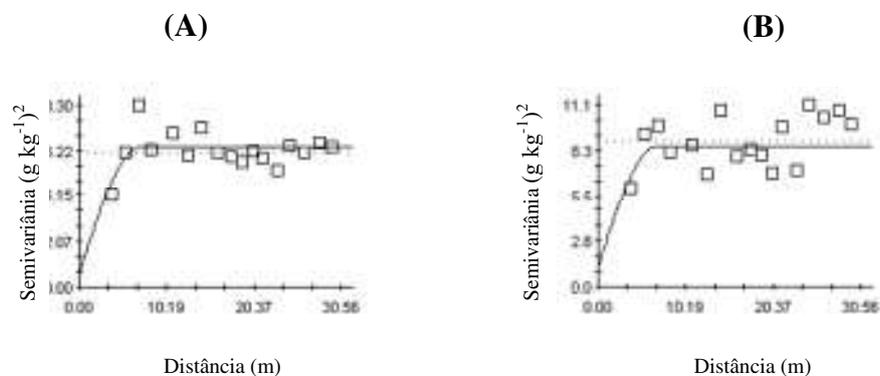


Figura 51 – Distribuição espacial do COT (g kg^{-1}), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.

4.6.2- Mapeamento do Carbono Orgânico Total (COT)

Observa-se, pela Figura 52, referente ao mês de março, que os teores de COT, em grande parte da área, encontram-se na faixa de 10,7 a 13,3 g kg^{-1} , no manejo das plantas espontâneas com aplicação de herbicida, e de 12,1 a 15,2 g kg^{-1} , no manejo com grade para a superfície. Em subsuperfície (Figura 53), as faixas dos teores de COT foram de 7,2 a 9,1 g kg^{-1} para o manejo com herbicida, e 8,3 a 12,9 g kg^{-1} , para o

manejo com grade niveladora. Verifica-se que o uso de grade niveladora, para controlar plantas espontâneas, ocasiona maiores concentrações temporárias de COT, até mesmo em subsuperfície.

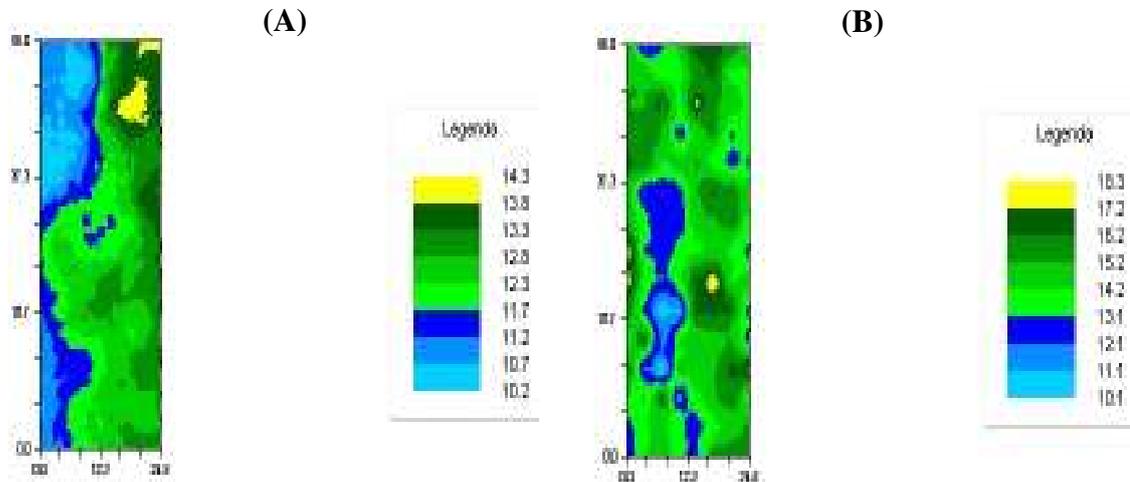


Figura 52 – Distribuição espacial do COT, em g kg⁻¹, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em março de 2006.

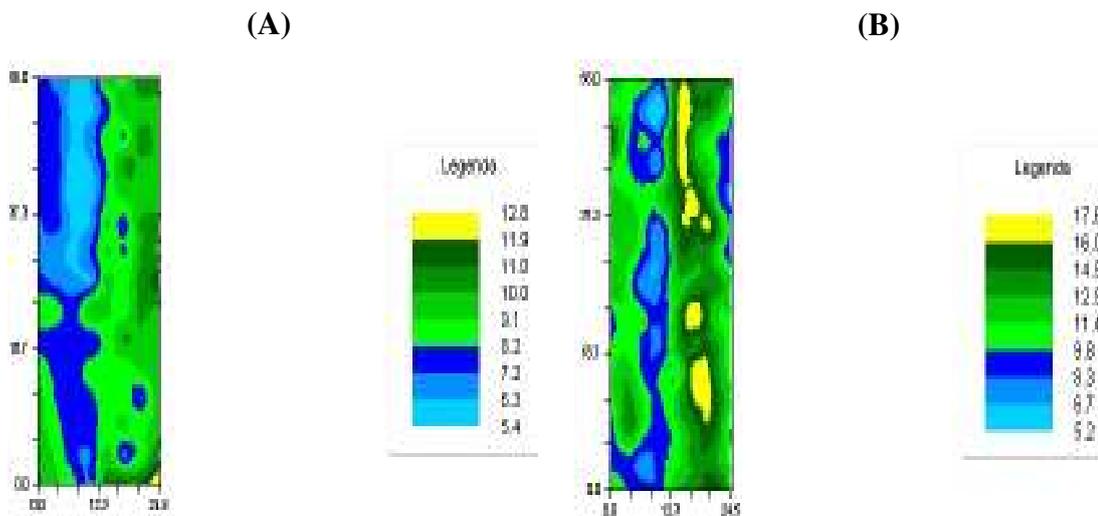


Figura 53 – Distribuição espacial do COT, em g kg⁻¹, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 20-40 cm, em março de 2006.

Percebe-se que essas faixas dos teores de COT, amostradas no período de março, são muito próximas dos valores encontrados pela estatística clássica, porém, é importante salientar que a análise clássica não leva em consideração a distância entre as amostras, tornando-se menos precisa em relação à geoestatística.

Para a época de agosto, verifica-se, pelas Figuras 54 e 55, que os teores de COT foram mais elevados, independente dos sistemas de manejo empregado, fato também observado quando se utilizou a estatística não espacial. Observa-se, pela Figura 54, a

qual representa a profundidade de 0-20 cm, que no manejo das plantas espontâneas com herbicida, a faixa dos teores de COT que predominou foi de 10,0 a 12,9 g kg⁻¹. Já quando o manejo foi realizado com a grade niveladora, maior parte da área mapeada apresentou valores variando de 13,2 a 17,1 g kg⁻¹.

Na profundidade de 20-40 cm (Figura 55), nota-se que maior parte dos valores de COT no manejo com herbicida variou de 10,0 a 12,2 g kg⁻¹ e foram semelhantes aos observados na camada superficial, para o mesmo sistema empregado. Em subsuperfície (20-40 cm), observa-se decréscimo desse atributo para o manejo em que se empregou a grade para controlar as plantas espontâneas, a amplitude de variação dos valores de COT foi de 11,7 a 14,2 g kg⁻¹. Nota-se que os valores médios desse atributo, quando se utilizou a estatística clássica, foram maiores em relação aos encontrados pela geoestatística.

Percebe-se que para alguns atributos a estatística clássica pode superestimar os valores amostrados. Portanto, em alguns casos a Krigagem mostra-se mais precisa para estimar valores médios móveis ponderados de determinado atributo.

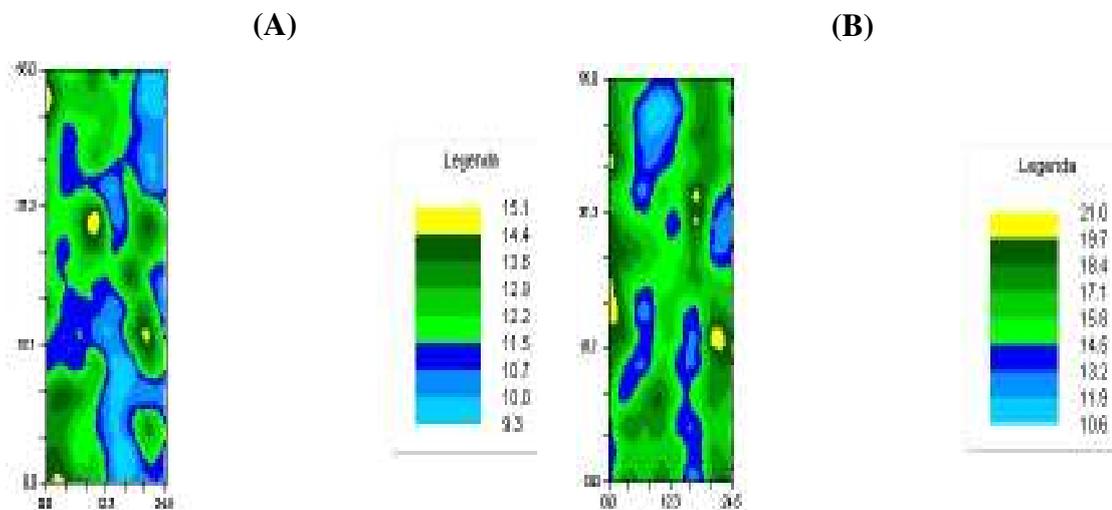


Figura 54 – Distribuição espacial do COT, em g kg⁻¹, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em agosto de 2006.

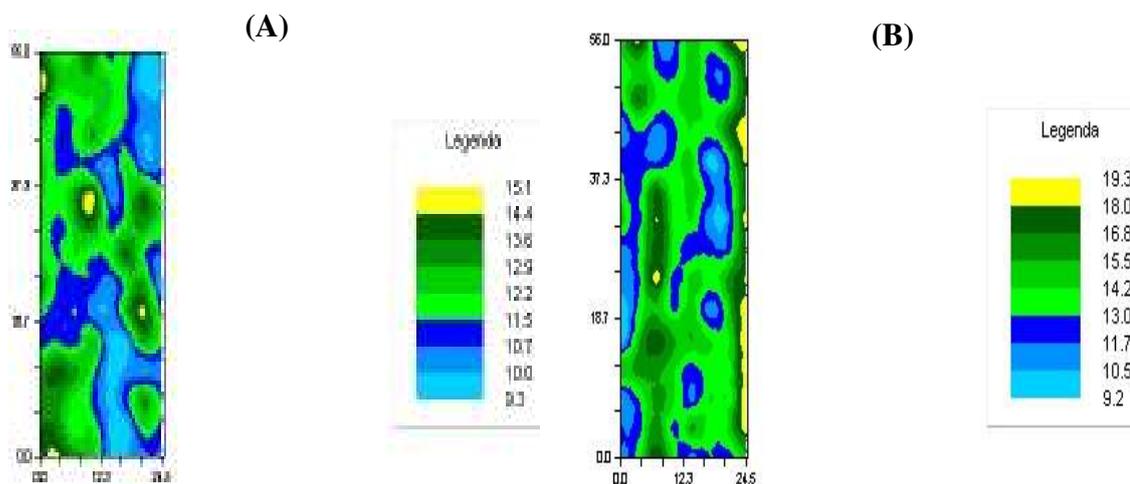


Figura 55 – Distribuição espacial do COT, em g kg^{-1} , para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 20-40 cm, em agosto de 2006.

4.6.3- Estatística do Carbono Orgânico (COT)

O cultivo do cafeeiro pode favorecer o acúmulo de matéria orgânica no solo, em função de diversos fatores, tais como menor revolvimento da camada arável, maior entrada de biomassa vegetal, através de podas, quedas de folhas, galhos, ramos e frutos e maior proteção do solo contra erosão.

Nota-se, pelo Quadro 21, que a aplicação de herbicida, no manejo das plantas espontâneas, ocasionou uma diminuição dos teores de COT com aumento da profundidade. Esta redução mostrou-se menos acentuada na camada superficial, estando relacionada com a maior deposição superficial de resíduos vegetais, resultando em um teor mais elevado de matéria orgânica na superfície do solo. Esses resultados corroboram com os encontrados por Souza e Alves (2003 b). Teixeira et al. (2003) também observaram maiores valores de COT nos primeiros 5 cm do solo. Os maiores teores de COT encontrados, no presente trabalho, devem-se à elevada precipitação nos meses que antecederam a aplicação dos manejos, o que promoveu uma maior produção de biomassa da *Brachiaria decumbens*, utilizada como cobertura de proteção e, conseqüentemente, elevou o teor de matéria orgânica no solo.

Observa-se que, no mês de março, correspondente à estação chuvosa do ano, foram apresentados os menores valores médios de COT, em ambos os manejos e profundidades estudadas. Isto ocorreu provavelmente devido a interação entre fatores climáticos (temperatura e precipitação), os quais favorecem a biomassa e atividade microbiana, que, por sua vez, promove a decomposição do material orgânico.

Nessas condições, a dinâmica do material orgânico é alterada e há um aumento na taxa de mineralização dos mesmos, resultando em maior disponibilidade de nutrientes para a cultura, uma vez que o acúmulo de restos vegetais sobre a superfície pode interferir diretamente na disponibilidade de nutrientes. Araújo et al. (2004) também observaram elevadas taxas de mineralização dos resíduos orgânicos, em decorrência das condições edafoclimáticas (elevada temperatura, umidade e pluviosidade).

Quadro 21 - Valores médios do Carbono Orgânico Total (COT), em g kg⁻¹ para os diferentes locais de amostragem, sistemas de manejo e épocas de avaliação.

Manejo	Profundidade 0-20 cm			Profundidade 20-40 cm		
	M	S	R	M	S	R
Março de 2006						
Herbicida	12,47 a A	10,07 b B	10,87 b B	9,55 b A	8,85 b A	8,90 b A
Grade	13,09 a A	11,96 a B	12,81 a A	13,40 a A	13,74 a A	12,61 a B
CV (%)	15,37	14,82	16,83	15,03	15,18	12,99
Agosto de 2006						
Herbicida	16,03 a A	13,03 b B	16,12 a A	13,27 a A	11,55 b B	11,51 b B
Grade	16,66 a A	14,71 a B	16,57 a A	14,13 a AB	13,30 a B	15,20 a A
CV (%)	14,49	14,33	19,99	19,42	15,88	15,71

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste t de "Student", a 0,05 de significância. M- meio da rua, S- saia do cafeeiro, R- rodado do trator.

As maiores concentrações de COT, no mês de agosto, devem-se às condições climáticas regionais desfavoráveis à atividade microbiana, bem como ao decréscimo da taxa de mineralização dos resíduos vegetais, em função da escassa pluviosidade observada neste período seco do ano.

Percebe-se, pelo Quadro 21, que os sistemas de manejo das plantas espontâneas na região meio da rua, não exerceram influência na dinâmica do atributo COT, para a profundidade de 0-20 cm, no mês de março, e em ambas as profundidades, durante o mês de agosto. Observa-se que o uso de grade niveladora nos locais correspondentes ao rodado do trator e meio da rua, nos dois períodos e profundidades amostradas, apresentou maiores teores de COT. Este resultado é justificado pelo maior grau de trituração e incorporação do material vegetal proporcionado pelo implemento usado neste sistema, pois com o revolvimento do solo e incorporação da matéria orgânica há um aumento na superfície de contato, o que acelera sua decomposição, resultando assim em maiores concentrações temporárias de COT. Esses dados discordam dos encontrados

por Oliveira et al. (2001), os quais constataram diminuição dos teores de COT no solo, em função do seu revolvimento.

De acordo com Bayer et al. (2000), a taxa de mineralização da matéria orgânica é bastante influenciada pelo revolvimento do solo, o qual estimula a ação dos microorganismos decompositores. Sendo assim, o revolvimento do solo pode até duplicar o valor desta decomposição, elevando deste modo os teores de COT.

O sistema de manejo que utilizou a grade para o controle de plantas espontâneas, apresentou maiores concentrações de COT em profundidade, o que de fato era de se esperar, já que esse implemento incorpora o material orgânico, resultando, deste modo, em maiores teores de COT em profundidade.

Analisando os locais de amostragem, verifica-se que, no mês de março, a saia do cafeeiro apresentou os menores valores médios de COT, na profundidade de 0-20 cm, tanto na aplicação de herbicida, como no emprego de grade, apesar de nesta região ocorrer maior depósito de folhas e ramos provenientes da própria cultura. Possivelmente, as adubações, principalmente contendo nitrogênio, contribuem para aumentar a população de microorganismos presentes no solo, logo estes atuaram na decomposição desta matéria orgânica depositada, reduzindo, deste modo, os valores de COT neste local de amostragem.

Para o mês de agosto, os menores valores de COT na saia do cafeeiro, em ambas as profundidades e manejos, devem-se ao emprego da técnica da arruação, que consiste na remoção da matéria orgânica da saia do cafeeiro para as regiões meio da rua e rodado do trator, com a finalidade de facilitar a colheita do café. É importante ressaltar que a arruação remove uma camada do solo de até 5 cm de profundidade, camada esta mais rica em matéria orgânica. Verifica-se que a distribuição do COT, para a profundidade de 20-40 cm, nos manejos com herbicida e grade, em agosto e no local meio da rua, foi semelhante, ocasionando ausência de diferença estatística entre os locais de amostragem. Isto pode ser atribuído à alta estabilidade coloidal da matéria orgânica em solos argilosos e com altos de óxidos de ferro e alumínio.

4.7- Cálcio trocável (Ca^{+2}) no solo

4.7.1- Análise descritiva e variabilidade espacial através de semivariogramas

Observa-se, através do Quadro 22, que os CVs para o nutriente Ca^{+2} foram relativamente médios, conforme a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980). Machado et al. (2007) estudando a variabilidade espacial de atributos químicos do solo verificaram que as variáveis Ca, Mg, soma de bases, CTC efetiva e saturação por bases apresentaram CV médio (52,50 a 30,17 %). Montezano et al (2006) estudando a variabilidade espacial da fertilidade do solo, encontraram CV médio (24,5 a 36,8 %) para matéria orgânica (MO), Ca, Mg, acidez potencial (H + Al) e soma de bases (SB), concordando estes resultados com os de Carvalho et al. (2003).

Quadro 22 - Estatística do nutriente Cálcio, em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, nos sistemas de manejo de plantas espontâneas, em diferentes épocas de avaliação e profundidades de solo.

Manejo	Média	Var	DP	CV	Min.	Max.	Ass.	Curt.
Março de 2006								
Profundidade de 0-20 cm								
Herbicida	1,31	0,2040	0,4521	34,5	0,40	2,22	0,34	- 0,47
Grade	1,20	0,2220	0,4722	39,0	0,20	2,06	0,37	0,23
Profundidade de 20-40 cm								
Herbicida	0,65	0,1104	0,3260	50,0	0,20	1,48	0,49	- 0,72
Grade	0,64	0,1311	0,3624	55,8	0,03	1,58	0,39	- 0,57
Agosto de 2006								
Profundidade de 0-20 cm								
Herbicida	1,51	0,1521	0,3900	25,8	0,80	2,30	0,29	- 0,91
Grade	1,24	0,1283	0,3580	28,7	0,65	2,00	0,08	- 0,80
Profundidade de 20-40 cm								
Herbicida	1,15	0,1326	0,3640	31,6	0,50	2,20	0,50	- 0,14
Grade	0,70	0,0255	0,1600	22,8	0,40	1,10	0,58	- 0,30

Média ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); Var – variância ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)²; DP - desvio padrão ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); CV – coeficiente de variação (%); Min - valor mínimo ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); Max – valor máximo ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); Ass – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose

Nota-se através dos Quadros 22 e 24 a concentração superficial de Ca^{+2} , isso demonstra que a calagem superficial aumentou seus teores em toda a camada arável (0-20 cm), diminuindo gradativamente com o aumento da profundidade do solo. No manejo das plantas espontâneas com herbicida, os teores foram maiores em relação ao uso da grade, principalmente na camada superficial. Silveira et al. (2000) trabalhando com amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo, também encontraram maior concentração de Ca e de Mg em plantio direto, na camada arável. Percebe-se que os dados tendem a apresentar distribuição normal.

Quadro 23– Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais do nutriente Cálcio, em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.

Manejo	Prof.	Modelo	C_0	$C + C_0$	A
Março de 2006					
Herbicida	0-20 cm	EXP	0,046364	0,209000	20,43
	20-40 cm	EXP	0,007179	0,107131	27,36
Grade	0-20cm	LSP	0,192544	-	-
	20-40 cm	EXP	0,028040	0,137800	39,78
Agosto de 2006					
Herbicida	0-20cm	ESF	0,021815	0,144436	7,94
	20-40 cm	ESF	0,031418	0,153239	7,29
Grade	0-20cm	ESF	0,000100	0,132200	7,66
	20-40 cm	ESF	0,004018	0,025635	5,99

C_0 – efeito pepita ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); $C_0 + C$ – patamar ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); a – alcance (m); EXP- Exponencial; ESF- Esférico; LSP- Linear Sem Patamar.

Analisando-se a amostragem efetuada no mês de março (Quadro 23, Figuras 56 e 57), nota-se claramente o efeito dos sistemas de manejo das plantas espontâneas no ajuste dos semivariogramas. Quando se efetuou o manejo das plantas espontâneas com herbicida, os semivariogramas apresentaram variabilidade espacial, sendo o modelo Exponencial - EXP ajustado, com alcances de 20,43 e 27,36 m para as profundidades de

0-20 e 20-40 cm, respectivamente (Figura 56). A dependência espacial observada indica a existência de semelhança entre pontos vizinhos, devendo ser considerada na realização das estimativas de valores não amostrados.

Estudando o manejo dessas plantas com grade niveladora, observa-se, pelo Quadro 23 e Figura 57 que, para a profundidade de 0-20 cm, o modelo de semivariograma que melhor se ajustou foi o Linear Sem Patamar - LSP, o que indica um fenômeno caracterizado por uma infinita capacidade de dispersão dos dados e o tamanho da malha insuficiente para detectar dependência entre os pontos amostrados.

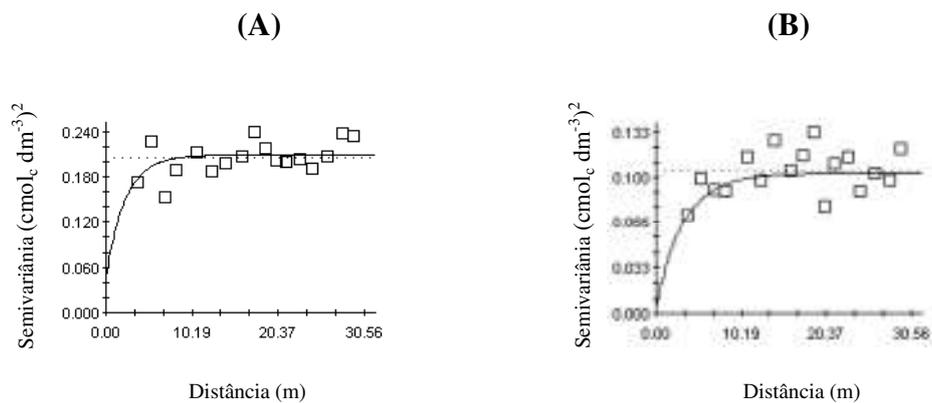


Figura 56 – Distribuição espacial do Ca^{+2} em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.

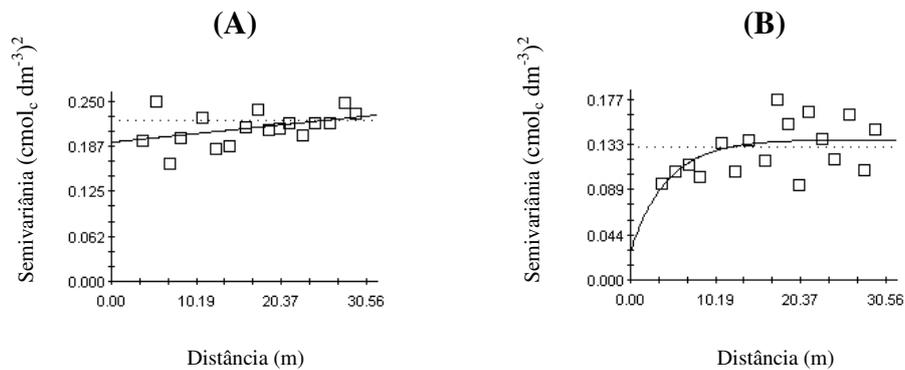


Figura 57 – Distribuição espacial do Ca^{+2} em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.

Para a amostragem efetuada em agosto, o modelo que melhor se ajustou ao semivariograma foi o Esférico – ESF, em ambas as profundidades estudadas e sistemas de manejo empregados (Quadro 23). Este modelo demonstra dependência espacial com alcances de 7,94 e 7,29 m para o manejo com herbicida, nas profundidades de 0-20 cm e

de 20-40 cm (Figura 58). Para o manejo com grade niveladora, os alcances foram: 7,66 m em superfície (0-20 cm) e 5,99 m em subsuperfície (20-40 cm), respectivamente. Este estudo demonstra que a variabilidade das propriedades do solo apresenta dependência espacial, ou seja, o valor em qualquer ponto amostrado depende, de algum modo, de seu vizinho, portanto, a geoestatística é uma ferramenta importante na análise dos dados.

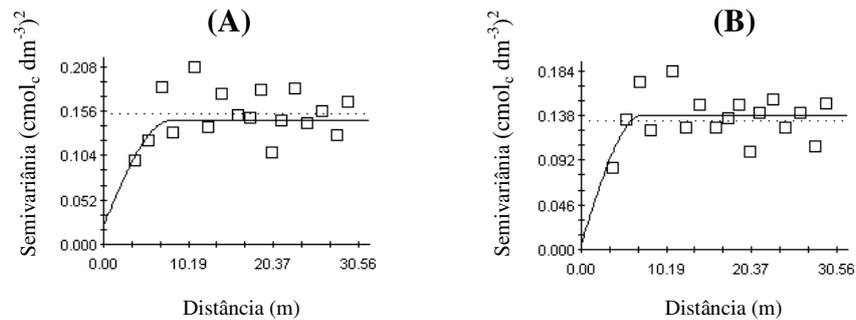


Figura 58 – Distribuição espacial do Ca^{+2} em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.

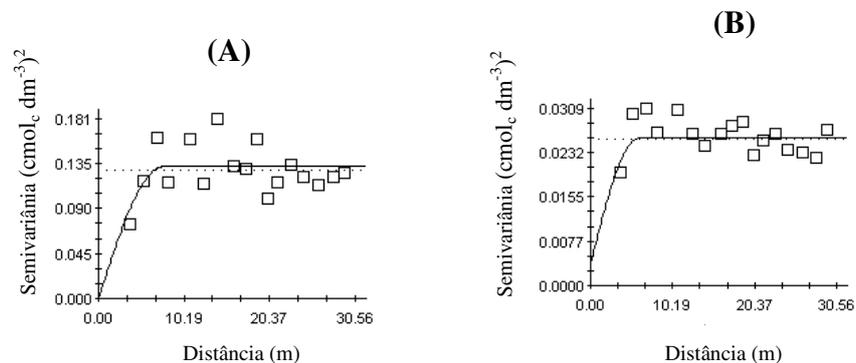


Figura 59 – Distribuição espacial do Ca^{+2} em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.

Segundo Souza et al. (2004), a dependência entre pontos não é observada na estatística clássica, pois, esta não leva em consideração a posição geográfica, uma vez que a amostragem é feita ao acaso, portanto, menos precisa em relação à geoestatística.

Estes resultados corroboram com os encontrados por Souza et al. (2004); Grego e Vieira (2005), os quais indicam o modelo Esférico – ESF como o de maior ocorrência para os atributos do solo. Araújo (2002); Carvalho et al. (2003) e Souza et al. (2003) estudando a variabilidade espacial de atributos químicos, também obtiveram resultados semelhantes.

4.7.2 - Mapeamento do Cálcio trocável no solo (Ca^{+2})

Os mapas do cálcio trocável foram obtidos pelo processo de krigagem, ferramentas essenciais para se estabelecer o manejo ideal para cada nutriente. Nesses mapas (Figuras 60 a 63), pode-se visualizar, na área amostrada, a distribuição espacial de todos os atributos avaliados.

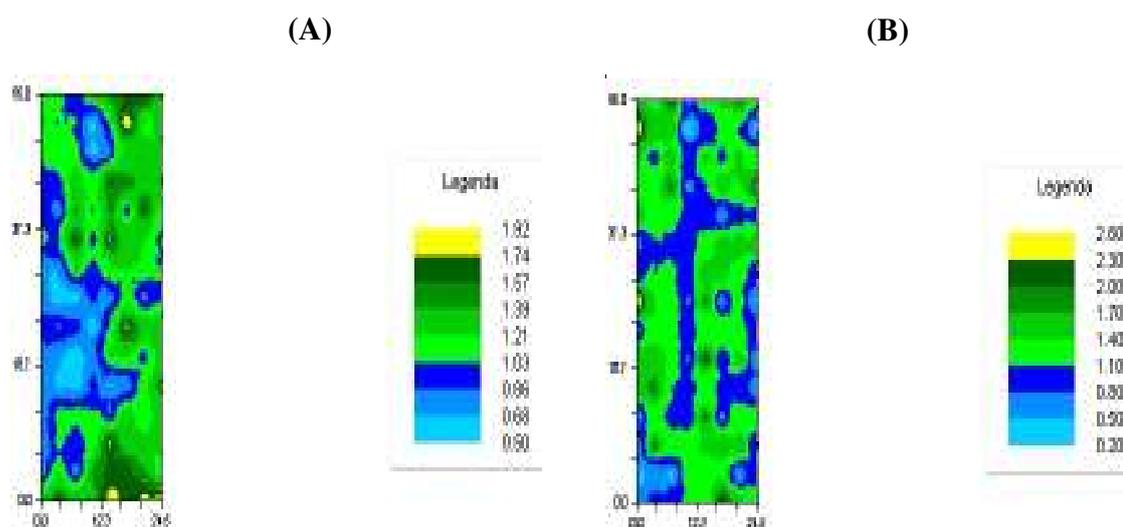


Figura 60 – Distribuição espacial do Ca^{+2} , em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em março de 2006.

Segundo Machado et al. (2007), a krigagem é uma técnica de estimação de locais não amostrados, usando propriedades estruturais do semivariograma confeccionados a partir de locais amostrados, ou seja, é a interpolação das informações geradas pelo semivariograma. Fica evidente o fato de o manejo do solo (adubação e calagem) interferir na distribuição espacial de seus atributos químicos.

Nota-se, pela Figura 60, que os teores de Ca^{+2} trocável, durante a estação chuvosa (março) e para superfície (0-20 cm), no manejo das plantas espontâneas e com aplicação de herbicida, encontram-se na faixa de 0,68 a 1,21 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Já no manejo com uso da grade, maiores partes dos teores desse nutriente variaram de 0,80 a 1,10 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Em subsuperfície (20-40 cm) (Figura 61), verifica-se um decréscimo nos teores desse nutriente com o aumento da profundidade, fato também observado na estatística clássica. Para o manejo com herbicida, maior parte dos teores encontra-se na faixa de 0,28 a 0,71 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. No manejo com grade, os valores variaram de 0,29 a 0,74 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

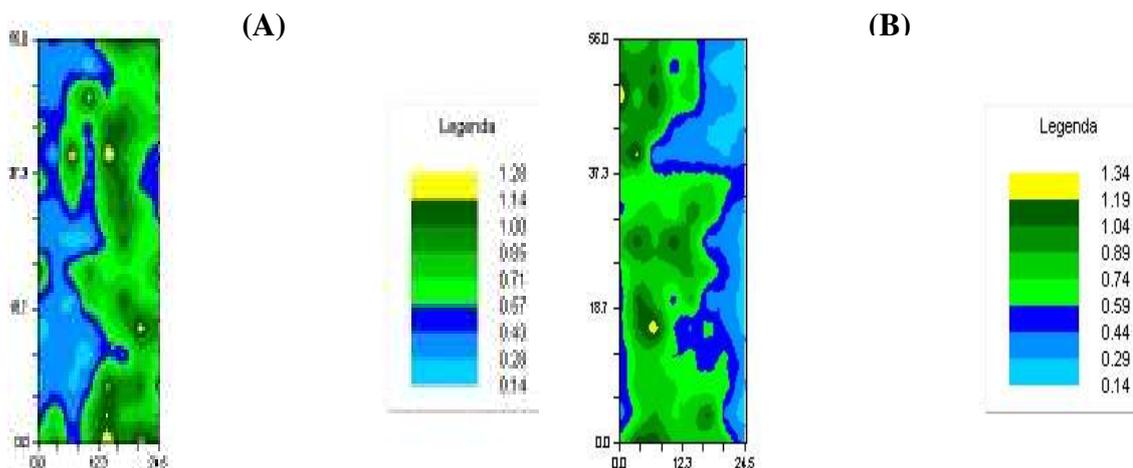


Figura 61 - Distribuição espacial do Ca^{+2} , em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 20-40 cm, em março de 2006.

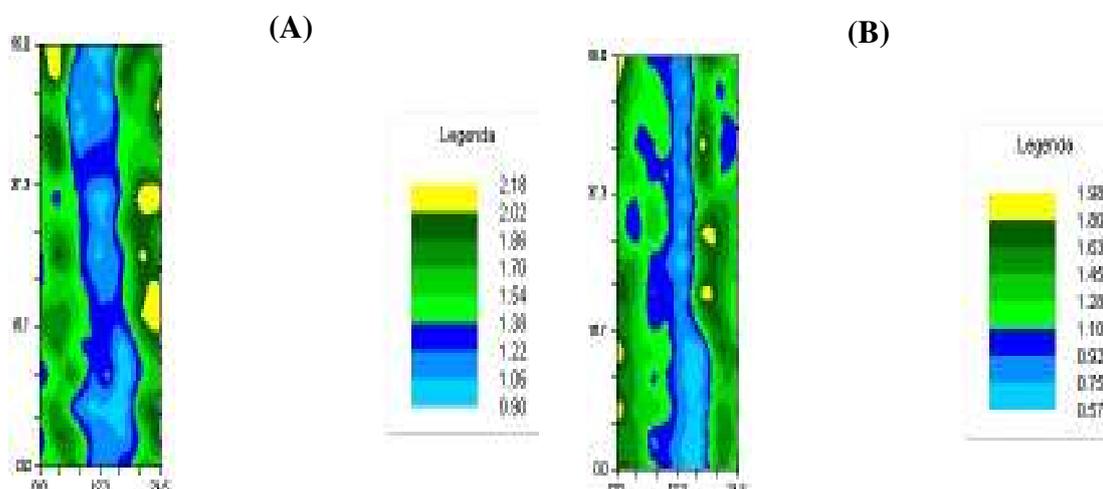


Figura 62 - Distribuição espacial do cálcio Ca^{+2} , em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em agosto de 2006.

Nota-se, através dos mapas a seguir (Figuras 62 e 63), a maior dificuldade de extração de Ca^{+2} trocável pelo cafeeiro, no período de baixa disponibilidade hídrica (época seca/agosto), com conseqüente concentração no solo. Percebe-se acúmulo do nutriente na superfície do solo, como observado na análise da estatística clássica. Verifica-se, que tanto na profundidade de 0-20 cm (1,06 a 1,70 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), quanto na de 20-40 cm (0,73 a 1,32 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), o uso de herbicida mostrou-se superior em relação ao uso de grade. Quando se empregou a grade, observa-se que a maior parte dos teores de Ca^{+2} trocável no solo variou de 0,75 a 1,45 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, na profundidade de 0-20 cm, e 0,53 a 0,75 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, na profundidade de 20-40 cm.

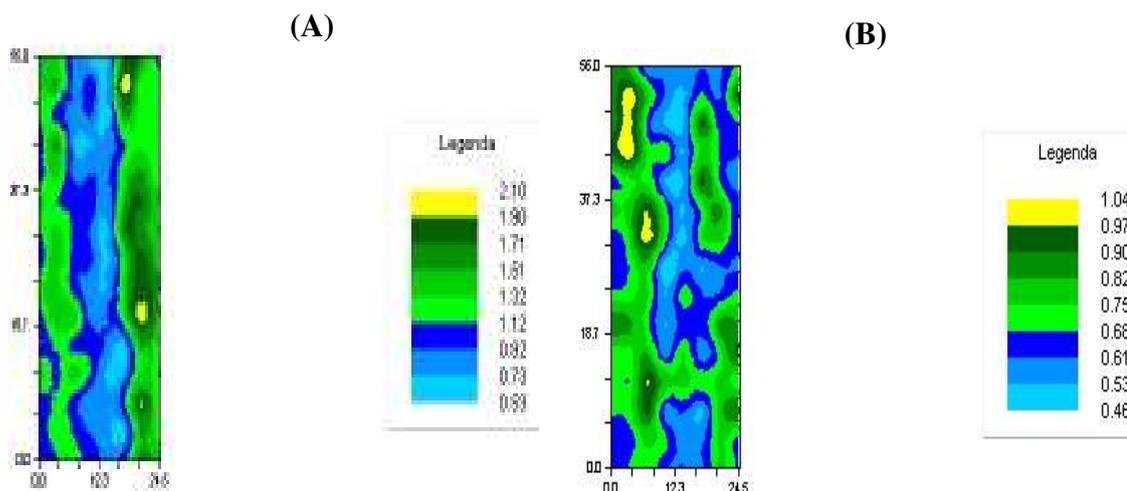


Figura 63 – Distribuição espacial do Ca²⁺, em cmol_c dm⁻³, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 20-40 cm, em agosto de 2006.

Os mapas de Ca²⁺ e Mg²⁺ se mostram semelhantes, pelo fato de esses nutrientes terem a mesma origem: o calcário. Os mapas são partes fundamentais da agricultura de precisão, pois eles são posteriormente geoprocessados, com a finalidade de buscar uma adubação mais correta e econômica.

4.7.3 - Estatística Clássica do nutriente Cálcio trocável no solo (Ca²⁺)

Verifica-se, através do Quadro 24, que independente do sistema de manejo adotado, os maiores teores de Ca²⁺ foram encontrados na superfície do solo (0-20 cm), com reduções gradativas com a profundidade. A maior concentração desse nutriente, na camada superficial, deve-se à aplicação superficial na região de projeção da copa e solubilização do corretivo e liberação de Ca²⁺ a partir da superfície, bem como à mineralização dos nutrientes provenientes de resíduos vegetais depositados sobre o solo. Além do mais, o Ca²⁺ é um elemento pouco móvel no perfil do solo, e tende a concentrar-se nas camadas onde foi efetuada a calagem, visto que esta foi realizada sem incorporação no solo. Esses resultados corroboram com os encontrados por Ciotta et al. (2004).

Percebe-se que os teores de Ca²⁺ disponíveis no solo foram maiores no período de agosto, época seca do ano para todos os sistemas de manejo, para todas as regiões de amostragem e profundidades estudadas. Possivelmente, devido ao pequeno índice pluviométrico e ao controle da irrigação, não possibilitou perdas superficiais e nem

vertical deste elemento. Em condições climáticas menos favoráveis ao desenvolvimento vegetal, a planta, a fim de evitar danos fisiológicos, ativa alguns mecanismos de proteção, dentre os quais o fechamento dos estômatos, o que promove redução na relação fonte/dreno, diminuindo também a absorção de nutrientes e água por parte do sistema radicular. Este fato também pode ser explicado pela reduzida quantidade de água no solo (solução) durante o período seco, uma vez que os nutrientes, para serem absorvidos pelas plantas, necessitam estar na solução do solo, portanto, nesta época há maiores concentrações desse nutriente no solo.

Quadro 24 - Valores médios do nutriente cálcio, em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, para os diferentes locais de amostragem, sistemas de manejo e épocas de avaliação.

Manejo	Profundidade 0-20 cm			Profundidade 20-40 cm		
	M	S	R	M	S	R
Março de 2006						
Herbicida	1,21 a A	0,98 b B	1,12 b A	0,71 a A	0,62 a B	0,66 a AB
Grade	1,05 b B	1,08 a B	1,31 a A	0,68 a A	0,54 b B	0,58 b B
CV (%)	16,19	21,67	19,15	18,64	17,02	19,23
Agosto de 2006						
Herbicida	1,64 a A	1,10 a B	1,76 a A	1,19 a B	0,80 a C	1,46 a A
Grade	1,41 b A	0,89 b B	1,42 b A	0,79 b A	0,59 b C	0,72 b B
CV (%)	19,62	16,56	17,08	19,28	20,03	19,96

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste t de "Student", a 0,05 de significância. M- meio da rua, S- saia do cafeeiro, R- rodado do trator.

Quanto aos sistemas de manejo analisados durante o mês de março (Quadro 24), verifica-se que a aplicação de herbicida, para controlar as plantas espontâneas, promoveu maiores teores para o Ca^{+2} na região do meio da rua, quando comparado às demais regiões, para a profundidade de 0-20 cm. Isso ocorreu provavelmente em função do maior aporte de material orgânico depositado na superfície do solo após a dessecação, com contínua liberação de compostos orgânicos oriundos da decomposição da matéria orgânica, e também devido ao aumento da CTC efetiva do solo, capaz de reter mais cátions nessa camada.

Observa-se, ainda, que para todos os locais amostrados, ou seja, meio da rua, saia do cafeeiro e rodado do trator, os teores de Ca^{+2} no manejo com herbicida foram maiores em comparação ao uso de grade, tanto na profundidade de 20-40 cm, durante o mês de março, quanto em ambas as profundidades, no mês de agosto. O emprego de grade niveladora promove o trituramento dos resíduos orgânicos e acelera a taxa de

decomposição dos mesmos, além de mais ocasionar desestruturação do solo, expondo-o aos processos erosivos e favorecendo também a lixiviação de bases como o Ca^{+2} .

Comparando-se os locais de amostragem, percebe-se que, em ambos os períodos e profundidades amostradas, as menores concentrações desse elemento foram encontradas na região da saia do cafeeiro. Esta constatação evidencia que, neste local, a maior concentração das raízes, efetivas na nutrição das plantas, ocasiona maior extração pela cultura, pois são elementos muito importantes para a floração e frutificação do cafeeiro. Maior densidade de crescimento radicular, nesta região, está associada ao micro ambiente, em termos de umidade, pH e temperatura produzida, tanto pela parte aérea da planta, como pela atividade das raízes e microorganismos. A interação destes fatores contribui para melhorar a disponibilidade do cálcio no sistema solo/solução.

4.8- Magnésio trocável no solo (Mg^{+2})

4.8.1- Análise descritiva e variabilidade espacial através de semivariogramas

Estudando a dinâmica do magnésio Mg^{+2} , verifica-se, através do Quadro 25, o mesmo comportamento descrito para o cálcio, em relação à concentração superficial no solo. Percebe-se que o uso de grade promoveu maior disponibilidade de Mg^{+2} , principalmente na camada arável (0-20 cm). É importante ressaltar que, apesar de os Latossolos serem conceitualmente bastante intemperizados, portanto com características bastante estáveis no ambiente, foi constatada variabilidade considerável para esse nutriente. Observa-se que os CVs foram mais elevados no mês de março (período chuvoso) e variaram de 46,8 a 64,7 %. As amplitudes observadas entre os valores mínimos e máximos (Quadro 25) também retrataram muito bem os respectivos CVs obtidos. Carvalho et al. (2003) estudando a variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira, encontraram um CV de 79,2 % para o Mg^{+2} .

Durante o período seco (agosto), o Mg^{+2} apresentou menor variabilidade e maiores concentrações no solo, em função da menor disponibilidade hídrica. Logo há uma tendência natural dos nutrientes concentrarem-se no solo, em razão da redução na taxa de absorção.

Quadro 25 - Estatística do nutriente Magnésio, em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, nos sistemas de manejo de plantas espontâneas, em diferentes épocas de avaliação e profundidade de solo.

Manejo	Média	Var	DP	CV	Min.	Max.	Ass.	Curt.
Março de 2006								
Profundidade de 0-20 cm								
Herbicida	0,43	0,0521	0,2265	52,0	0,06	1,0	0,22	- 0,69
Grade	0,51	0,1110	0,3303	64,7	0,10	1,3	0,83	- 0,39
Profundidade de 20-40 cm								
Herbicida	0,26	0,0221	0,1482	56,7	0,03	0,62	0,54	- 0,37
Grade	0,24	0,0121	0,1130	46,8	0,05	0,50	0,54	- 0,61
Agosto de 2006								
Profundidade de 0-20 cm								
Herbicida	0,64	0,0314	0,1770	27,4	0,35	1,10	0,46	- 0,27
Grade	0,73	0,0292	0,1710	23,4	0,42	1,10	0,34	- 0,68
Profundidade de 20-40 cm								
Herbicida	0,43	0,0156	0,1250	29,0	0,20	0,70	0,36	- 0,66
Grade	0,46	0,0096	0,0980	21,4	0,30	0,65	0,52	- 0,83

Média ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); Var – variância ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)²; DP - desvio padrão ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); CV – coeficiente de variação (%); Min- valor mínimo ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); Max- valor máximo ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); Ass – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose.

O comportamento do Mg^{+2} trocável foi muito semelhante ao do Ca^{+2} trocável, uma vez que ambos são fornecidos via calagem e apresentam dinâmica semelhante no solo. Para a amostragem efetuada no mês de março, percebe-se, através do Quadro 26 e Figuras 64 a 67, que o modelo de semivariograma que predominou foi o Exponencial - EXP. No manejo das plantas espontâneas com herbicida, em ambas as profundidades analisadas, esse modelo (EXP) demonstrou a ocorrência de uma autocorrelação entre as amostras até a distância de 84,15 e 9,54 m, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente.

Com utilização de grade nesta mesma época de amostragem, verifica-se que, na profundidade de 0-20 cm, o modelo que melhor se ajustou foi o Esférico - ESF, o qual indicou haver dependência espacial, ou seja, as amostras para esse atributo estão correlacionadas entre si até uma distância de 27,08 m. Em subsuperfície (20-40 cm), observa-se dependência espacial que pode ser descrita pelo modelo EXP, com alcance de 18,81 m.

Quadro 26 – Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais do nutriente Magnésio, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.

Manejo	Prof.	Modelo	C_o	$C+ C_o$	a
Março de 2006					
Herbicida	0-20 cm	LSP	0,038389	0,058769	29,19
	20-40 cm	EXP	0,005188	0,020676	9,54
Grade	0-20cm	ESF	0,023402	0,129800	27,08
	20-40 cm	EXP	0,005187	0,013280	18,81
Agosto de 2006					
Herbicida	0-20cm	ESF	0,007854	0,031737	6,63
	20-40 cm	ESF	0,002467	0,015238	7,18
Grade	0-20cm	EXP	0,007615	0,029257	33,03
	20-40 cm	EXP	0,001746	0,009430	9,54

C_o – efeito pepita ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); $C_o + C$ – patamar ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); a – alcance (m); EXP- Exponencial; ESF- Esférico

Estudando a dinâmica do Mg^{+2} trocável no mês de agosto, observa-se, pelo Quadro 26, que as semivariâncias experimentais apresentaram dependência entre os pontos estudados. O modelo que se ajustou no manejo com herbicida foi o ESF, com alcances de 6,63 e 7,18 m para as profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm.

Para o manejo das plantas espontâneas com grade, observa-se dependência espacial entre os pontos amostrados. Neste caso, o modelo de semivariograma que melhor se ajustou foi o EXP, com alcances de 33,03 m, em superfície, e 9,54 m, em subsuperfície. Isto indica que as amostragens realizadas a distâncias menores que o alcance estão correlacionadas, permitindo deste modo que se faça interpolações para espaçamentos menores do que os amostrados.

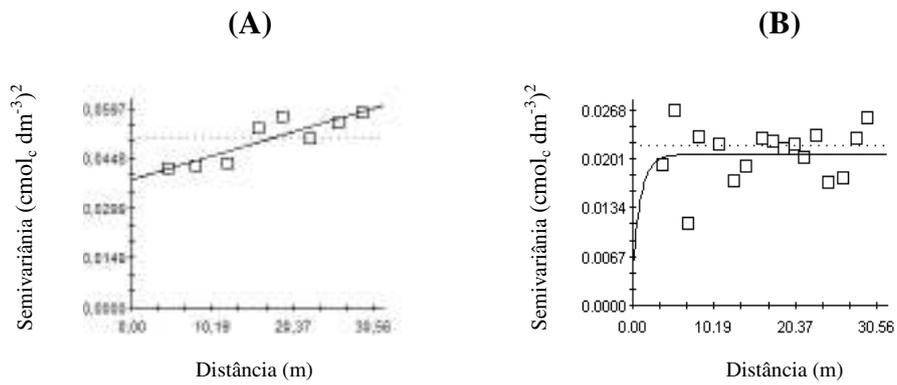


Figura 64— Distribuição espacial do Mg^{+2} ($cmol_c dm^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicida, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.

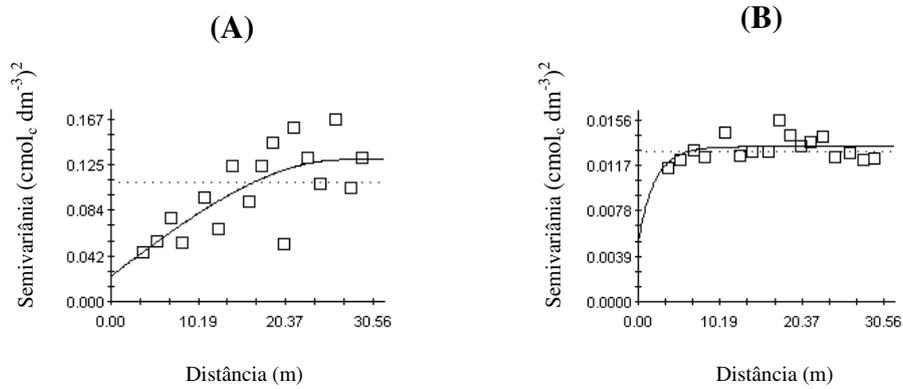


Figura 65— Distribuição espacial do Mg^{+2} ($cmol_c dm^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em março de 2006.

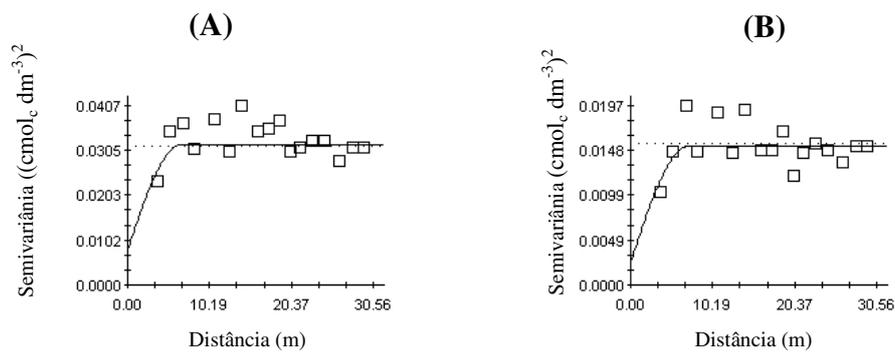


Figura 66— Distribuição espacial do Mg^{+2} ($cmol_c dm^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de herbicidas nas profundidades de 0-20cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.

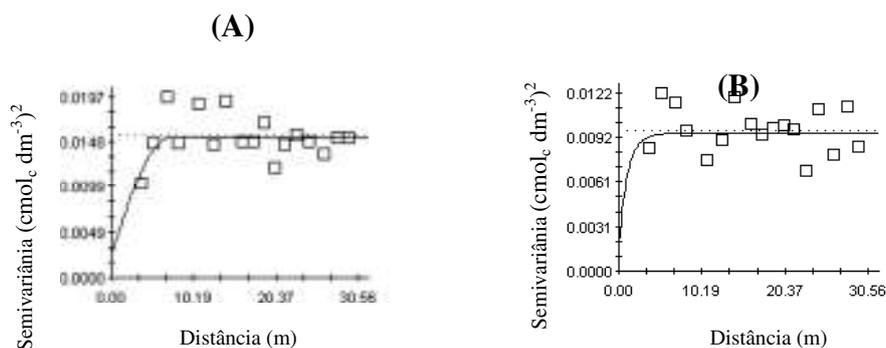


Figura 67 – Distribuição espacial do Mg^{+2} ($cmol_c dm^{-3}$), para o sistema de manejo com aplicação de grade, nas profundidades de 0-20 cm (A) e de 20-40 cm (B), em agosto de 2006.

Percebe-se que, tanto para o Ca^{+2} , quanto para o Mg^{+2} trocável, uma amostragem feita ao acaso falharia em apresentar as variações encontradas e esconderia uma variação que existe e deve ser considerada. Entretanto, na estatística clássica, não são considerados fatores externos que interferem no manejo, principalmente os de origem antrópica.

4.8.2- Mapeamento do Magnésio (Mg^{+2})

Constatou-se variabilidade espacial considerável para o Mg^{+2} trocável na área amostrada. Percebe-se que os Latossolos, mesmo sendo definidos como solos estáveis e com elevado grau de intemperismo, apresentam também variação espacial.

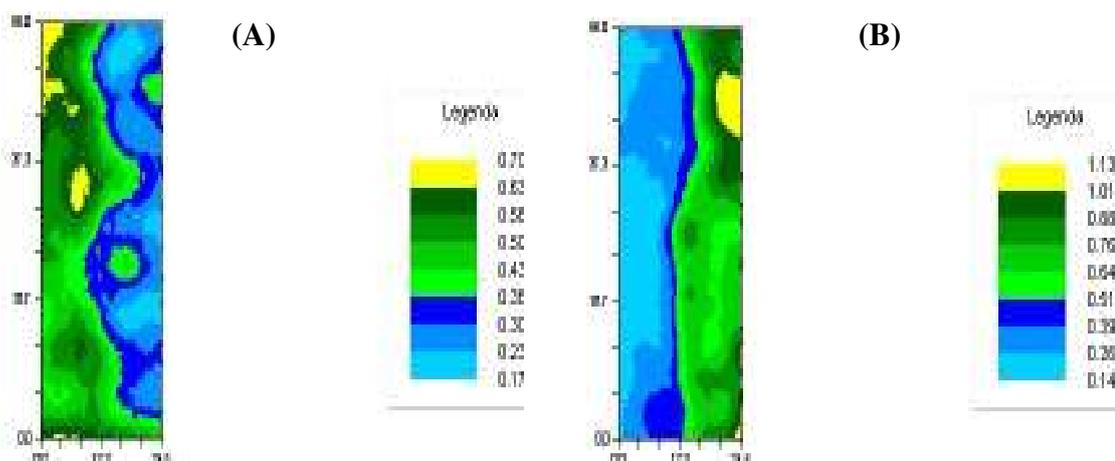


Figura 68– Distribuição espacial do magnésio (Mg^{+2}), em $cmol_c dm^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em março de 2006.

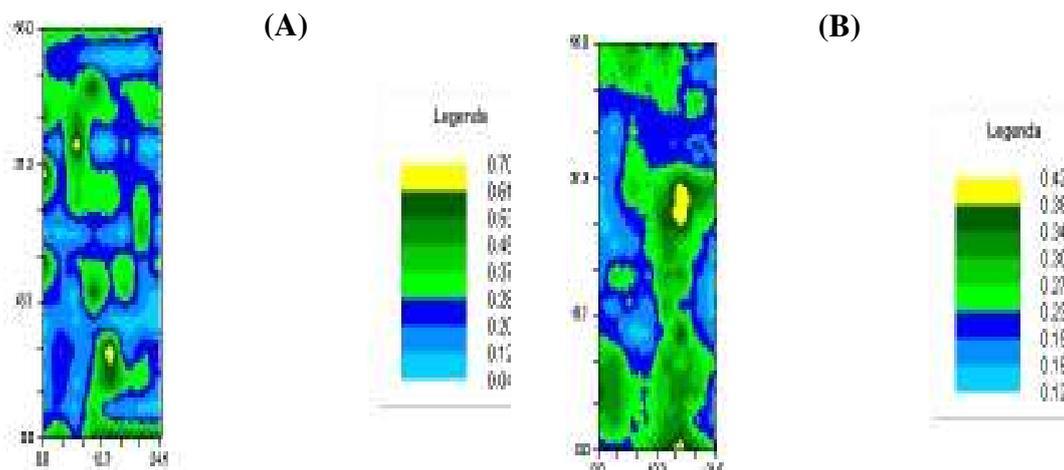


Figura 69– Distribuição espacial do magnésio (Mg^{+2}), em $cmol_c dm^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 20-40 cm, em março de 2006.

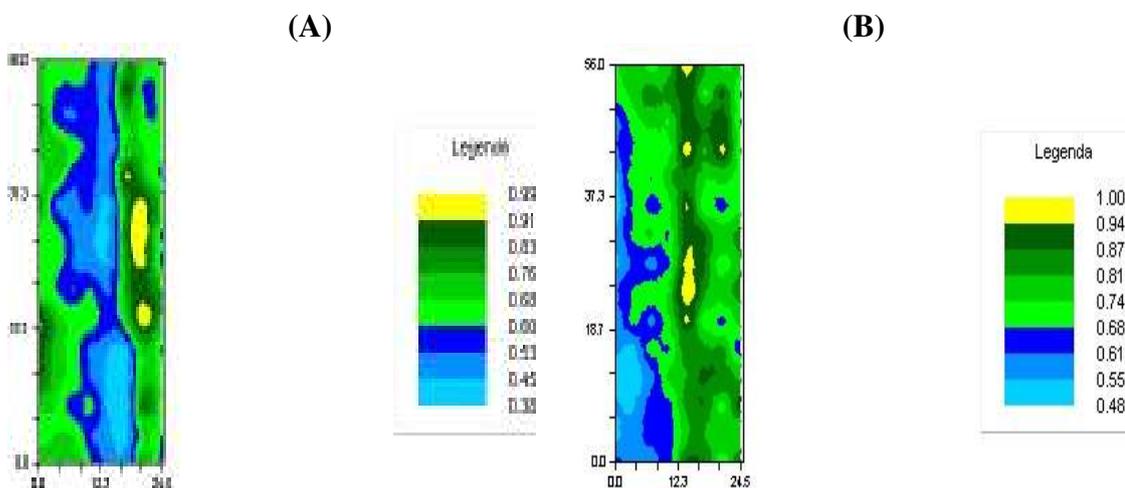


Figura 70– Distribuição espacial do magnésio (Mg^{+2}), em $cmol_c dm^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 0-20 cm, em agosto de 2006.

Observa-se maior concentração superficial de Mg^{+2} trocável, como também observado na estatística clássica. Os teores desse nutriente foram considerados baixos e restritivos à nutrição mineral do cafeeiro, principalmente no mês de março. Verifica-se, através da distribuição espacial dos valores de Mg^{+2} trocável no solo, que os valores foram agrupados em faixas de diferentes colorações.

Nota-se, pela Figura 68, a qual se refere à amostragem efetuada em março, na camada de 0-20 cm, que, para sistema de manejo de plantas espontâneas com herbicida, a maior parte dos valores de Mg^{+2} trocável situaram-se entre 0,17 a 0,50 $cmol_c dm^{-3}$. Já no manejo com grade, a faixa de valores predominantes foi de 0,14 a 0,64 $cmol_c dm^{-3}$. Esses valores encontram-se na faixa considerada crítica para a maioria das culturas.

Em subsuperfície (Figura 69), pode-se observar menor amplitude de variação, com relação à concentração do nutriente em questão. Percebe-se, pela mesma Figura, que, no manejo com aplicação de herbicida, a faixa de Mg^{+2} trocável predominante foi de 0,12 a 0,37 $cmol_c dm^{-3}$, e para o manejo com grade, maior parte dos valores enquadraram-se na faixa de 0,15 a 0,27 $cmol_c dm^{-3}$.

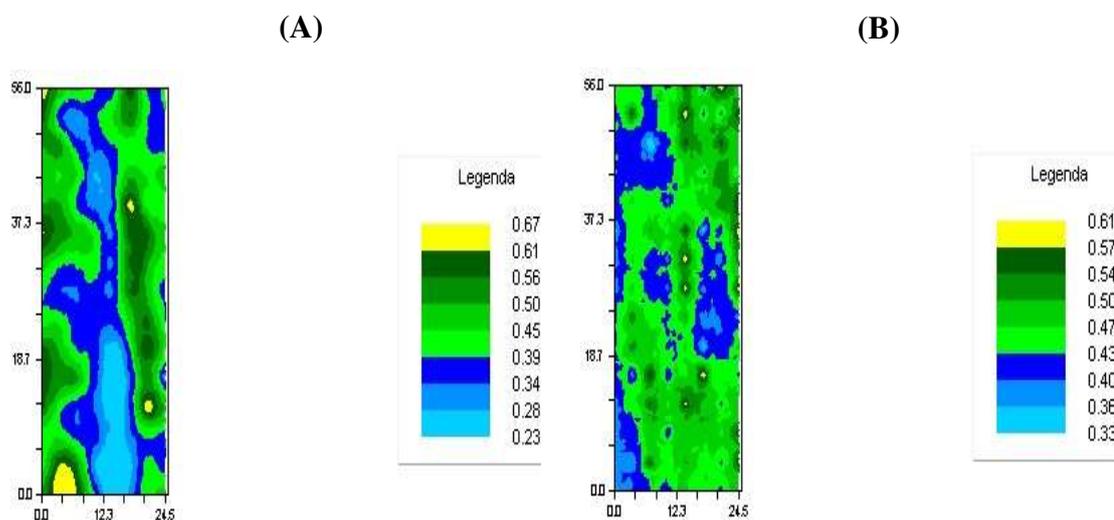


Figura 71– Distribuição espacial do magnésio (Mg^{+2}), em $cmol_c dm^{-3}$, para o sistema de manejo com aplicação de herbicida (A) e de grade (B), na profundidade 20-40 cm, em agosto de 2006.

As Figuras 70 e 71 referem-se aos mapas obtidos na estação seca do ano (agosto). Nesta época, percebe-se menor variabilidade dos valores de Mg^{+2} trocável em ambas as profundidades estudadas. Para o manejo das plantas espontâneas com aplicação de herbicida, as faixas predominantes foram de 0,45 a 0,68 $cmol_c dm^{-3}$, na profundidade de 0-20 cm, e de 0,28 a 0,56 $cmol_c dm^{-3}$, em subsuperfície (20-40 cm). Observa-se maior dificuldade de extração de Mg^{+2} trocável pelo cafeeiro, no período de baixa disponibilidade hídrica (época seca/agosto), com conseqüente concentração no solo, como também observado para o Ca^{+2} .

4.8.3- Estatística do nutriente Magnésio (Mg^{+2})

Os resultados expressos no Quadro 27 indicam que os teores de Mg^{+2} também estão baixos, considerando o nível de manejo tecnificado praticado na área. Verificou-se também o acúmulo desse nutriente na superfície do solo. Segundo Souza e Alves (2003), o maior valor de Mg^{+2} na camada superficial pode ser atribuído à adição de

calcário, a reciclagem de nutrientes via decomposição de resíduos e aumento da CTC efetiva do solo, capaz de reter mais cátions nessa camada. Esse elemento apresentou redução com o aumento da profundidade, como observado para o cálcio, refletindo, deste modo, uma possível dificuldade de agregar estas bases em subsuperfície, via calagem, estando à cultura já estabelecida e, ainda, uma possível extração pelo sistema radicular bem desenvolvido do cafeeiro.

Observa-se que a amostragem efetuada durante o mês de março, o qual se refere à estação chuvosa, apresentou os menores teores médios de Mg^{+2} . Este fato pode ser explicado pela maior umidade presente no solo, em função do maior regime pluviométrico, o qual proporciona aumento na absorção de nutrientes pelas plantas. Nessas condições, os nutrientes encontram-se na forma disponível na solução do solo, podendo os mesmos serem absorvidos, ou lixiviados. As maiores concentrações de magnésio, no mês de agosto, o qual condiz com a época de maior stress hídrico e menor regime pluviométrico, devem-se à redução da absorção por parte do sistema radicular, como já havia sido observado para o elemento cálcio, evidenciando a importância da umidade no solo.

Quadro 27- Valores médios do nutriente magnésio, em $cmol_c\ dm^{-3}$, para os diferentes locais de amostragem, sistemas de manejo e épocas de avaliação.

Manejo	Profundidade 0-20 cm			Profundidade 20-40 cm		
	M	S	R	M	S	R
Março de 2006						
Herbicida	0,49 a A	0,35 b B	0,41 b A	0,31 a A	0,13 b B	0,31 a A
Grade	0,45 b B	0,46 a B	0,52 a A	0,33 a A	0,22 a C	0,26 b B
CV (%)	26,14	26,11	25,78	28,13	24,95	22,96
Agosto de 2006						
Herbicida	0,69 a A	0,50 b B	0,75 a A	0,49 a A	0,33 b B	0,47 a A
Grade	0,61 b B	0,82 a A	0,76 a A	0,46 a A	0,47 a A	0,46 a A
CV (%)	20,34	20,68	19,42	20,36	21,51	22,38

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de t de "Student", a 0,05 de significância. M - meio da rua, S- saia do cafeeiro, R- rodado do trator.

Comparando-se os sistemas de manejo das plantas espontâneas, percebe-se que o emprego de herbicida, no local correspondente ao meio da rua, proporcionou maiores valores de Mg^{+2} , para a profundidade de 0-20 cm e nas duas épocas amostradas. A manutenção dos restos vegetais da *Brachiaria decumbens*, depositados na superfície do

solo após a dessecação, foram reciclados e liberaram nutrientes principalmente na superfície do solo.

Para os locais correspondentes ao rodado do trator, na profundidade de 0-20 cm, e meio da rua, na profundidade de 20-40 cm, em ambos os períodos amostrados, percebe-se que os sistemas de manejo não influenciaram a dinâmica do nutriente Mg^{+2} .

O manejo das plantas espontâneas com grade niveladora mostrou-se superior em relação aos teores de Mg^{+2} , na região rodado do trator e profundidade de 0-20 cm (no mês de março) e na saia do cafeeiro em todos os períodos amostrados e profundidades. Isso ocorreu porque a região do rodado do trator é um local com menor crescimento do sistema radicular, devido à compactação gerada principalmente pelo tráfego de maquinários, dificultando também a absorção de nutrientes. Além do mais, o uso da grade potencializa a decomposição e mineralização do material orgânico, pois favorece a atividade biológica na camada superficial (0-20 cm). Entretanto, é importante salientar que a grade não foi utilizada diretamente na região da saia do cafeeiro, ou seja, a maior concentração do elemento, nessa região, provavelmente se deu, a um efeito de translocação desse elemento das regiões do meio da rua e linha de tráfego do trator para a projeção da copa do cafeeiro.

Comprando-se os locais amostrados, verifica-se que a saia do cafeeiro apresentou os menores teores médios de Mg^{+2} , para o mês de março (estação chuvosa) em todas as profundidades e manejos empregados. Neste local, concentra-se a maior parte das raízes efetivas na nutrição da planta, ocasionando, portanto, maior extração pela cultura. As regiões meio da rua e rodado do trator mostraram-se superiores para a superfície (0-20 cm), nas estações chuvosa (março) e seca (agosto), associadas ao uso de herbicida para controlar as plantas espontâneas. Esses resultados demonstram que a presença dos resíduos vegetais da *Brachiaria decumbens* sobre a superfície do solo realmente proporcionam maiores teores de Mg^{+2} .

5. CONCLUSÕES

- O revolvimento do solo, promovido pela prática da gradagem, ocasionou: redução da densidade do solo, diminuição do diâmetro médio geométrico dos agregados por via úmida (DMG) e aumento da macroporosidade do solo.
- O uso de herbicida promoveu a preservação dos atributos físicos e químicos, enquanto a grade, independente da época amostrada, promoveu: redução da agregação, perda de bases por lixiviação e aumento no teor do carbono.
- O estado de agregação do solo foi influenciado pelos diferentes sistemas de manejo das plantas espontâneas.
- A pressão sob a superfície do solo na região rodado do trator (linha de tráfego), ocasionada pelo tráfego de máquinas, promoveu maiores valores: de densidade, de microporosidade do solo e de Ca^{+2} e Mg^{+2} ; e menores valores: de DMG dos agregados, de porosidade total do solo e de macroporosidade do solo.
- A saia do cafeeiro apresentou valores superiores: do DMG dos agregados, de porosidade (macro e micro) e de carbono orgânico total; e menores teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} .
- Os atributos físicos e químicos do solo, estudados nesta pesquisa, apresentam dependência espacial. Os modelos matemáticos mais utilizados para descrever o comportamento dos semivariogramas de atributos químicos e físicos do solo foram o Exponencial - EXP e o Esférico – ESF.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Agroinformaivos, 2006.

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeito de diferentes métodos de controle de plantas daninhas sobre a produção de cafeeiros instalados em Latossolo Roxo Distrófico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n.1, p.54-61, 2000 a.

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeitos de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* .) sobre a qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p.711-721, out./dez. 2000 b.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p.617-625, 2006.

AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F. D.; JÚNIOR, R. N. A.; MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.415-422, 2007.

ANDRADE, A. R. S.; GUERRINI I. A.; GARCIA C. J. B.; KATEZ I.; GUERRA H. O. C. Variabilidade espacial da densidade do solo sob manejo da irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 322-329, mar./abr. 2005.

ANDRADE, A. R. S. **Aplicação da Teoria fractal e da geoestatística na estimativa da condutividade hidráulica saturada e do espaçamento entre drenos**. 2002. 181p. Botucatu/SP, Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 857-865, 2000.

ANGÉLICO, J. C. Desempenho da co-krigagem na determinação da variabilidade de atributos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 931-936, 2006.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 337-345, 2004.

ARAÚJO, A. V. **Variabilidade espacial de propriedades químicas e granulométricas do solo na definição de zonas homogêneas de manejo**. 2002. 80f. Dissertação (Mestrado em do Solo) - Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2002.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo de solo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 24, p. 599-607, 2000.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 687-694, 1999.

BERTOL, I.; BEUTLER, A. N.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 3, p. 555-560, jul./set. 2001.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. de; ALMEIDA, E. X. de; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 5, p. 1047-1054, 2000.

BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; PEREIRA FILHO, I.A.; CRUZ, J.C. Agregação de Latossolo Vermelho Distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 129-136, 2001.

BOLLER, W. **Avaliação de diferentes sistemas de manejo do solo visando à implantação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1996. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

BORGES, I. B.; LANA, R. M. Q.; BORGES, E. N. Interação entre atributos químicos e físicos em solos de cerrado cultivados com cafeicultura no Alto Paranaíba – MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFEEIROS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2001. p. 2.555-2.560.

BORGES, E. N.; LOMBRDI NETO, F.; CORREA, G. F. BORGES, E. V. S. Alterações físicas introduzidas por diferentes níveis de compactação em latossolo vermelho-escuro textura média. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, p. 1663-1667, 1999.

BORGES, E. N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G. F.; COSTA, L. M. Misturas de gesso e matéria orgânica alterando atributos físicos de um latossolo com compactação simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 21, p. 125-130, 1997.

BORGES, E. N. **Efeito de doses de gesso+matéria seca de crotalária e de níveis de compactação em atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro**, 1995. 136 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1995.

BRUS, D. **Incorporating models of spatial variation in sampling strategies for soil**. 1993. 211p. Thesis (Doctor Science) - Agricultural University, Wageningen, 1993.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

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

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

CARVALHO, J. R. P. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002.

CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M. Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 257-265, fev. 1999.

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

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

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S. M.V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE J. A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 317-326, 2004.

Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Editora, 1999. 359p.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 777-788, 2005.

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

DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 241-247, 1997.

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

DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; CHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 55-94.

DORAN, J. W.; PARKIN, J. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Minneapolis, Soil Science Society of America, 1994. cap.1, p. 3-22. (SSSA Special Publication, 35).

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado e da taxa de infiltração básica determinada "in situ". **Ciência Agrotecnológica**, p. 1607-1613, 2003. Edição especial.

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

EPAMIG. **Parcela de participação, qualidade e preço do café no mercado mundial**. Belo Horizonte, 2000. 48 p. (Boletim Técnico).

ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; CAMPOS, M. L.; CAMILLO, R.J. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Campinas, SP, v. 24, n. 3, p. 537- 544, 2000.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1097-1104, 2003.

FALQUETO, R. J. **Atributos físicos de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo**. 2004. 97 p. (Dissertação) - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 425-434, 2002.

GIRELLI, D.; AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D. Distribuição de carbono em agregados de um Latossolo sob três usos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBCS, 2004. 1 CD – ROM.

GOMES, N. M.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; FARIA, M. A.; OLIVEIRA P. M. Métodos de ajuste e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 435-443, 2007.

GONTIJO, I.; BORGES, E. N.; PASSOS, R. R.; GUIMARÃES, E. C.; JORGE, R. F. Avaliação da agregação de um Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com cafeicultura sob dois sistemas de manejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 17-20, 2005.

GONTIJO, I. **Avaliação de atributos físicos em solo de cerrado sob cafeicultura em dois sistemas de manejo de plantas espontâneas, utilizando testes de hipóteses e geoestatística**. 2003. 83f. (Dissertação) - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 77p.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**, 2000. 85p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

GYSI, M. Compaction of a Eutric Cambisol under heavy wheel traffic Switzerland: Field data and a critical state soil mechanics model approach. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, p. 133-142, 2001.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. San Diego: Academic Press, 1982. 365p.

INGARAMO, O. E. **Indicadores físicos de la degradación del suelo**. 2003. 298p. Tese (Doutorado) - Universidade da Coruña, La Coruña, 2003.

JORAJURIA, D.; DRAGHI, L. Sobrecompactación del suelo agrícola. Parte I: Influencia diferencial del peso y del número de pasadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola. Ambiental**, v. 4, p. 445-452, 2000.

JOURNAL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. 5. ed. London: Academic Press, 1991. 561p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um latossolo roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 945-953, 2002.

KONDO, M. K. **Variabilidade espacial do comportamento compressivo do solo e mapas de trafegabilidade na cultura do cafeiro irrigado**. 2003. 166 p. Tese

(Doutorado) Solos e Nutrição Mineral de Plantas – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

LEMES, L. N.; ALVES, P. L. C. A.; DIAS, T. C. S. Determinação do período anterior à interferência das plantas daninhas na produção do cafeeiro “Mundo Novo” recepado. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE MALEZAS (ALAM), 16., 2003, Manzanilo. **Resumos...** Manzano: Universidad de Colima, 2003. p. 446.

LIMA, C. L. R.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 199-205, 2003.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 591-599, 2007.

MARQUES JÚNIOR, J. Variabilidade espacial de propriedades químicas e físicas de Latossolos em áreas de Cerrado sob cultivo de café, em Patrocínio, MG. In: BALASTREIRE, L. A. **O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba: ESALQ, 2000. p. 165-169.

MELO, V. F.; SILVA, J. R. C. Propriedades físicas de um Latossolo Amarelo Alíco, em áreas sob cultivo e vegetação natural do cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Editora, 1995. p. 1890-1892, 1995.

MESQUITA, M. G. B. F. **Caracterização estatística da condutividade hidráulica saturada do solo**. 2001. 110p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 839-847, 2006.

MULLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 531-538, 2001.

NUGENT, C.; KANALI, C.; OWENDE, P. M. O.; NIEUWENHUIS, M.; WARD, S. Characteristic site disturbance due to harvesting and extraction machinery traffic on sensitive forest sites with peat soils. For. **Ecol. Manag.**, v. 180, p. 85-98, 2003.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo distrófico argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, p. 291-299, 2003.

OLIVEIRA, J. O. A. P.; VIDIGAL FILHO, P. S.; TORMENA, C. A.; PEQUENO, MG.; SCAPIM, C. A.; MUNIZ, A. S. e SAGRILLO, E. Influências de preparo de solo

na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 25, p. 443-450, 2001.

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

OLIVEIRA, T. S.; COSTA, L. M.; REGAZZI, A. J.; FIGUEIREDO, M. S. Efeito de ciclos de umedecimento e secagem sobre a estabilidade de agregados em água de quatro latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 20, p. 509-515, 1996.

OVALLES, F.; REY, J. Variabilidad interna de unidades defertilidad en suelos de la depresión del Lago de Valencia. **Agron. Trop**, v. 44, p. 41-65, 1994.

PALMEIRA, P. R. T.; PAULETTO, E. A.; TEIXEIRA, C. F. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 23, p. 189-195, 1999.

PAULETTO, E. A.; BORGES, J. R.; SOUSA, R. O.; PINTO, L. F. S.; SILVA, J. B.; LEITZKE, V. W. Avaliação da densidade e da porosidade de um Gleissolo submetido a diferentes sistemas de cultivo e diferentes culturas. **Revista Brasileira Agrocência**, Pelotas, v. 11, n. 2, p. 207-210, abr./jun. 2005.

PAZ, A.; TABOADA, M. T.; GÓMEZ, M. J. Spatial variability in topsoil micronutrients contents in one-hectare cropland plot. **Comm. Soil Sci. Plant. Anal.** v. 27, p. 479-503, 1996.

PÉREZ GOMAR, E.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; GARCÍA F. Atributos do solo e biomassa radicular após quatro anos de semeadura direta de forrageiras de estação fria em campo natural dessecado com herbicidas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 26, p. 211-223, 2002.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARD, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 10, n. 1, p. 1-6, 1986.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista de Ciência Ambiental**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p. 163-176.

RONCHI, C. P.; TERRA, A. A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. Acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro sob interferência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 219-227, 2003.

RHOTON, F. E.; BRUCE, R. R.; BUEHRING, N. W. Chemical and physical characteristics of four soil types under conventional and no - tillage systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 51-61, Nov. 1993.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Dependência espacial dos teores de macronutrientes da parte aérea da Crotalaria Juncea em área de erosão acelerada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. **Resumo expandido...** Campinas, SP, SBCS, 1995. v. 4. p. 1798-1799.

SANTOS, G. A. dos. **Capacidade de suporte de carga de um Latossolo cultivado com cafeeiros sob métodos associados de controle de plantas daninhas**. 2006. 103 p. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

SANTOS, M. N. **Métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro e seus efeitos na agregação e em frações da matéria orgânica do solo**. 2005. 74 p. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SANTOS, D. C.; FONTES, M. P. F.; MENDONÇA, E. S.; SOUZA, C. M. de. Quantificação de carbono orgânico total do solo e de substâncias húmicas em diferentes formas de preparo do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBCS, 2004 1 CD – ROM.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Disponibilidade de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria. v. 33, n. 3, p. 477-486 mai-jun, 2003.

SANTOS, dos M. C.; MENDONÇA, C. F.; MELO, de B.; TEODORO, R. E. F.; SANTOS, dos M. L. V. **Irrigação da cafeicultura no cerrado**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2001. 212 p.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M.; E. S. MENDONÇA, E. S.; LEITE, F. P. Alterações do solo influenciadas pelo tráfego e carga de um “forwarder” nas entrelinhas de uma floresta de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 371-377, 2007.

SILVA, A. R.; JUNIOR, M. S. D.; GUIMARÃES, P. T. G.; ARAÚJO JÚNIOR, C. F. Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos efeitos das operações mecanizadas em um latossolo amarelo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 207-216, 2006 a.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; ROSA, J. D.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 329-337, 2006 b.

SILVA, R. R.; SILVA; M. L. N.; FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na Bacia do Alto do Rio Grande. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 719-730, jul./ago. 2005.

SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; SILVA E. F. Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. **Boletim Informativo**: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, n. 3, p. 10-20, set./dez. 2004.

SILVA, R. B; DIAS JUNIOR, M. S.; SILVA, F. A. M.; FOLE, S. M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um latossolo dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 973-983, nov./dez. 2003.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 22, p. 311-317, 1998.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Effect of soil water content variation on the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 884-888, 1997.

SILVEIRA, P. M.; CUNHA A. A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetido a sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, DF, v. 37, p. 1325-1332, 2002.

SILVEIRA, P. M. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 10, p. 2057-2064, 2000.

SIMÕES, W. L.; SILVA, E. L.; LIMA, D. M.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 1061-1068, 2006.

SOUZA, M. A. S. **Avaliação de atributos físicos em solo de cerrado sob cafeicultura em dois sistemas de manejo de plantas espontâneas, utilizando testes de hipóteses e geoestatística**. 2003. 83f. (Dissertação) - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PERREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Influência da pedofoma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Irriga**, v. 9, p. 1-11, 2004.

SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1763-1771, 2004.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 7, p. 18-23, 2003.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Science**, v. 25, p. 27-34, 2003.

SOUZA, C. K. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de uma latossolo em Jaboticabal-SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 23, n. 3, p. 486-495, 2003.

SOUZA, L. S. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 367-372, 1997.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 533-542, 2004.

TEIXEIRA, I. R.; SOUZA, C. M. de; BORÉM, A.; SILVA, G. F. da. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em argissolo vermelho-amarelo, sob diferentes sistemas de preparo de solo. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 119-126, 2003.

TEODORO, R. E. F.; MELO, B.; SEVERINO, G. M.; FERNANDES, D. L.; FERREIRA NETO, J. G.; MARCUZZO, K. V. Avaliação de diferentes lâminas de irrigação do cafeeiro no cerrado mineiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3, 2003. Porto Seguro. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2003. p. 114.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. da; GONÇALVES, C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo de solo. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 4p. 795-801, out./dez. 2002.

VALERIANO, M. M.; PRADO, H. Técnicas de geoprocessamento e de amostragem para o mapeamento de atributos anisotrópicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 997-1005, 2001.

VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: BORÉM A. B.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de precisão**. Viçosa: Editora, 2000a, 467 p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo de variabilidade espacial do solo. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000b. v. 1, p.1-54.

YODER, R. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **American Society, of Agronomy Journal**, Madison, v. 28, p. 337-351, 1936.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo Franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 891-900, 2004.

ZANATTA, J. A.; ÁVILAS, E da R.; BAYER, C. MIELNICZUCK, J. Carbono Orgânico Total e dissolvido afetados por sistemas de preparo e de cultura do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBCS, 2004. 1 CD- ROM.

ZIMBACK, C. R. L. **Geoestatística**. Grupo de estudos e pesquisas agrárias georreferenciadas. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 2003. p. 1-25.