

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE  
UM SOLO DE CERRADO, SOB CAFEICULTURA SUBMETIDA A  
DIFERENTES MANEJOS**

**DANIEL GADIA CUNHA**

**ELIAS NASCENTES BORGES  
(Orientador)**

Monografia apresenta ao curso de  
Agronomia da Universidade Federal de  
Uberlândia para a obtenção do grau de  
Engenheiro Agrônomo

Uberlândia – MG  
Julho – 2005

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE  
UM SOLO DE CERRADO, SOB CAFEICULTURA SUBMETIDA A  
DIFERENTES MANEJOS**

APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM 05/07/2005

---

Prof. Dr. Elias Nascentes Borges  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Gilberto Fernandes Corrêa  
(Co-orientador)

---

Marcos André Silva Souza  
(Membro da Banca)

Uberlândia – MG

Julho – 2005

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço à Deus, pela saúde, família e amigos que tenho.

Aos meus pais: Valdecides José da Cunha e Maria Inêz Gadia Cunha, por ter me dado apoio e condições para chegar à esta etapa de minha vida.

Aos meus avós: Aparício Gadia e Walda Caixeta Gadia, pelo apoio e incentivo.

Ao meu irmão Flávio Gadia Cunha por ter auxiliado em diversos trabalhos acadêmicos.

Aos meus irmãos Anderson Flávio Cunha e Tatiane Gadia Cunha.

Ao meu professor Hilton Oliveira Caixeta por ensinar a prática desta profissão em que estou iniciando, agradeço também sua família pela amizade e hospitalidade.

Aos meus tios pelo apoio e amizade.

Ao professor Gilberto Fernandes Corrêa pela ajuda atenção e amizade.

Aos professores Elias Nascentes Borges pela confiança depositada em mim.

Ao mestrando Marcos Silva Souza pela ajuda da interpretação das análises.

À equipe de pesquisa LAMAS: Sr. Wilson, Marcos Aurélio, Ademar, Falqueto, Ivonei, Camilo, Ramiro, Adriana e todos os estagiários que me ajudaram no desenvolvimento de meu trabalho.

Aos técnicos: Sr. Joaquim, Sr. Antônio e Aires pela ajuda no trabalho de campo.

Ao CNPq por financiar meu trabalho.

Aos meus amigos: Diego (Testão), Karina, Carlão, Casarotti, Juliano (Iraí), Everton (Kalaka), Marquinhos, Henrique (AC), Alkimin, Schincariol, Ricardo (Guma), Fábio Gouveia, Lúcio (Pingão), Benini, Isabela, Lorena, Marcelo (Cumari) e a 31ª Turma de Agronomia pela amizade e companheirismo.

## ÍNDICE

<b>RESUMO .....</b>	<b>04</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>06</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>08</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>11</b>
3.1 Descrição da Área Avaliada .....	11
3.2 Delineamento Experimental .....	12
3.3 Manejo Adotado na Área .....	16
3.4- Trabalho de Campo .....	16
3.5- Determinações Experimentais .....	17
3.6- Análises Estatísticas .....	21
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
4.1- Estatística Clássica dos Atributos Físicos .....	25
4.1.1- Resistência à penetração .....	25
4.1.2- Matéria orgânica .....	32
4.1.3- Densidade aparente .....	36
4.1.4- porosidade total .....	39
4.2- Análise de Geoestatística .....	41
4.2.1- Resistência à penetração .....	41
4.2.2- Matéria orgânica .....	44
4.2.3- Densidade aparente .....	47
4.2.4- Porosidade total .....	50
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>61</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>61</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>

## **RESUMO**

O café é um dos principais produtos agrícolas da ponta de exportações brasileiras e, conseqüentemente ocupa extensas áreas de cultivo, principalmente em solos de cerrado, que possuem características físicas favoráveis à mecanização intensiva, o que tem proporcionado a degradação das qualidades físicas destes solos.

Neste trabalho buscou-se avaliar a matéria orgânica e os seguintes atributos físicos: resistência à penetração, densidade aparente e porosidade total de um Latossolo, sob cultivo de café irrigado e sequeiro, em dois sistemas de manejos de controle de plantas daninhas, utilizando-se de estatísticas não espacial e geoestatística para propor qual dos manejos apresenta-se menos impactante e formas de amostragens mais adequadas.

O presente trabalho foi realizado na fazenda experimental do Glória pertencente a Universidade Federal de Uberlândia. Foram demarcados 4 talhões de 20 x 60 m cada, contendo 60 pontos equidistantes de 3,5 m x 4,0 m. Os pontos foram georeferenciados verificar a compactação promovida pelos manejos grade e herbicida. Demarcou-se também pontos sob a planta (saia do cafeeiro) para avaliar a influência da umidade sobre os referidos atributos físicos do solo. O uso da grade aliado ao tráfego de máquinas propiciou maiores valores de resistência à penetração no mês de março para a rodada do trator e menores valores para as entre linhas de tráfego. A “arruação” influenciou negativamente nos teores de matéria orgânica na saia do cafeeiro (sob a planta). Os valores de densidade e porosidade não diferiram estatisticamente. Quanto à

variabilidade espacial conclui-se que o modelo que melhor se ajustou para a maioria dos valores dos atributos físicos estudados foi o linear sem patamar (LSP). Este indica uma capacidade de dispersão dos atributos físicos demonstrando que a amostragem não foi suficiente para detectar a dependência espacial.

## **1. INTRODUÇÃO**

O sucesso e conseqüente expansão da cafeicultura no domínio do cerrado devem-se a uma combinação de fatores, dentre os quais as características físicas dos latossolos extremamente favoráveis a tecnificação e as condições climáticas, particularmente nas áreas mais elevadas (os chapadões). No entanto, a intensa mecanização empregada na cafeicultura é nociva para os atributos físicos do solo. De acordo com Carvalho Júnior (1995), a ocorrência de problemas físicos em áreas de cerrado é comum, de forma a interferir negativamente no desenvolvimento e capacidade produtiva das plantas.

É de grande importância desenvolver e propor manejos que além de resolver tais problemas, sejam econômicos e contribuam para a sustentabilidade destes agroecossistemas. Para isto se faz necessário monitorar periodicamente os atributos físicos, em decorrência de sua importância para a produtividade do café e conservação do solo.

O mapeamento de atributos físicos do solo, tais como a densidade, bem como do comprometimento da estrutura do solo através da compactação e da porosidade, mediante um adequado sistema de amostragens, se constituem numa ferramenta capaz

de identificar áreas específicas com problemas físicos capazes de afetar a distribuição de raízes no perfil. De acordo com Gontijo (2003), o adequado aprofundamento e distribuição das raízes no solo é importante não só para a absorção de água e nutrientes, mas também para a respiração e excreção de metabólicos pelas plantas.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as condições físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 1999), sob cultivo de café, em diferentes manejos de controle de plantas daninhas e fornecimento de água às plantas, utilizando-se da estatística “clássica” e da geoestatística, a fim de analisar a variabilidade espacial e temporal dos atributos físicos, visando propor qual dos manejos e amostragens são mais adequados.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

Solos de cerrado apresentam topografia favorável à mecanização e tecnificação o que impulsionou a cafeicultura neste domínio. Porém os manejos empregados nesta cultura influenciam na estrutura física do solo. Centurion e Demattê (1992), constataram que independente do manejo executado há a ocorrência de degradação física do solo em relação ao seu estado natural. Segundo Carvalho Júnior (1995), os manejos executados incorretamente ocasionam alterações físicas e químicas. Desta forma o estudo das características físicas do solo, submetidos a diferentes sistemas de manejos, pode auxiliar na escolha de condições que induzem a maior produtividade, com o mínimo de danos ao meio ambiente (GUIMARÃES, 2000).

Em consequência do manejo inadequado do solo a compactação leva a diminuição da produtividade. Esta afeta de forma direta na disponibilidade de nutrientes à planta, uma vez que os mecanismos responsáveis pelo transporte até os sítios de absorção, são dependentes da estrutura do solo (BACCHI, 1976).

O emprego de manejos de forma incorreta como o uso da grade em demasia no controle de plantas daninhas pode causar problemas de ordem física no solo. Stone e

Silveira (2001), mostram que gradagem em culturas anuais levou a formação de uma camada mais compactada abaixo da profundidade de atuação do implemento, com maiores valores de densidade do solo e, conseqüentemente menores valores de porosidade total, revelando assim o efeito danoso do revolvimento do solo.

Desta forma a compactação abaixo da profundidade de atuação de grades e arados pode ser aliviada ou reduzida com a adoção de manejos mais sustentáveis. A manutenção de cobertura vegetal proporcionada pelo uso de herbicidas, diminuíram a compactação principalmente na região de entre linhas de cultivo na cultura do café (SANTOS et al., 2001).

A avaliação da densidade, porosidade e resistência do solo à penetração são parâmetros importantes para a verificação de camadas compactas (MANTOVANI, 1987), as quais também sofrem influências da umidade e matéria orgânica. Estudos realizados por Mello & 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 Imhoff et al. (2000), a irrigação é uma prática importante para melhorar a qualidade física do solo e proporcionar condições adequadas ao crescimento das plantas em termos de resistência à penetração. O que pode atuar diretamente no teor de matéria orgânica do solo a qual é determinada pela interação de fatores que promovem sua formação e decomposição (LEITE et al., 2003).

Para Cambardella et al (1994), o mapeamento das propriedades do solo é de grande importância para adoção de práticas de manejo. Visando o conhecimento destas propriedades Guimarães (1996), com base na metodologia proposta por Vachaud et al.

(1985) e com o uso de um SIG, mapeou as regiões de ocorrência de umidade máxima, mínima e média de um Latossolo Roxo. Esta técnica permite um melhor planejamento de aplicação de água através de irrigação reduzindo, dessa forma, perdas de água por escoamento superficial e de solo por erosão.

VIEIRA et al. (1996) utilizaram conceitos de estabilidade temporal e escalonamento de semivariograma e analisaram simultaneamente, através de semivariogramas tridimensionais, a variabilidade espacial e temporal de alguns atributos dos solos. Já que áreas pedologicamente homogêneas podem apresentar variabilidade distinta em atributos, quando submetidos à diferentes manejos sendo necessário o conhecimento para a definição de amostragem espacial dos atributos do solo maximizando sua eficiência e reduzindo custos operacionais (CORÁ et al., 2004).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1- Descrição da Área Avaliada

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Glória, pertencente a Universidade Federal de Uberlândia – MG, em uma área de Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa (tabela 1), de acordo com Embrapa (1999). A área apresenta topografia suave ondulada.

**Tabela 1:** análise granulométrica de caracterização da área nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm.

Amostra	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
0-20cm	201	205	49	545
20-40cm	206	204	40	550

Obs: Para obter textura em % basta dividir os resultados por 10. % = g kg<sup>-1</sup>/10.

O clima local, segundo a classificação de Köppen é do tipo Cwa. Este se caracteriza por apresentar inverno seco e verão chuvoso. A temperatura do mês mais frio é inferior a 18 °C e a do mês mais quente é superior a 22 °C e a precipitação do mês mais seco é

inferior à décima parte da precipitação do mês mais chuvoso. A precipitação média é de 1.550 mm anuais e se concentra de outubro a março (EMBRAPA, 1982). O histórico da área anteriormente ao cultivo do café era de pastejo, bastante degradada.

Para o plantio de café foi realizada aração, gradagem, sulcação e adubação mineral e orgânica, sendo esta na quantidade de 3 L/cova de acordo com a Comissão de Fertilidade de Solos do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, (1999).

As variedades de café cultivadas são Catuaí e Acaíá, com quatro anos de idade. O espaçamento utilizado é de 3,5 x 0,75 m, sendo uma planta por cova.

### **3.2- Delineamento Experimental**

Foram delimitados quatro talhões de 20 x 60 m cada, contendo 60 pontos equidistantes de 3,5 m x 4,0 m, os quais foram posteriormente georeferenciados. Os pontos foram alocados em seqüência, contemplando as seguintes posições: entre linhas de tráfego (meio da rua), sob a planta (saia do cafeeiro) e linhas de tráfego (rodada do trator), (Figura 1). Por motivo de discrepância dos valores em relação à média decidiu-se descontar 15 pontos em cada talhão.



**Figura 1.** Fotos da área experimental com destaque para as regiões de amostragem: (A)- entre linhas de cultivo (meio da rua), (B)- sob a planta (saia do cafeeiro) e (C)- área compactada por pneus (rodada).

Foram realizados os seguintes manejos nos talhões:

- 1) - Controle de plantas espontâneas com herbicida sistêmico à base de glyphosato na dose de 1 L/ha, aplicado com pulverizador tratorizado (PH-400 Jacto) e irrigado na região da saia do cafeeiro por gotejo (Figura 2).
- 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 (manejo 3).
- 3) - Controle de plantas espontâneas com grade niveladora de dupla ação, incorporando ao solo os resíduos até 15 cm de profundidade, irrigado na região da saia do cafeeiro por gotejo (Figura 2).
- 4) - Controle de plantas espontâneas com herbicida sistêmico, a base de glyphosato na dose de 1 L/ha, aplicado com pulverizador tratorizado (PH-400 Jacto) em regime de sequeiro (Figura 3).

Os manejos estão dispostos no campo de acordo com as Figuras 2 e 3.

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 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

**Figura 2.** Esquema de disposição dos pontos georeferenciados para os manejos submetidos à irrigação sob a planta e controle da plantas espontâneas com herbicida (manejo 1) e gradagens (manejo 3) nas, entre linhas de tráfego e rodada do trator.

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

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 da disposição dos pontos georeferenciados os manejos sob sequeiro e controle de plantas espontâneas com herbicida (manejo 4) e gradagens (manejo 2) nas entre linhas de tráfego e rodada do trator.

### **3.3- Manejo Adotado na Área**

Nos manejos em que a planta é submetida à irrigação (saia), utilizou-se o sistema de gotejamento, realizado em período de déficit hídrico para suprir 120 % da quantidade de água evaporada no tanque Classe A instalado na área. Nos demais manejos o fornecimento de água às plantas restringiu-se à precipitação pluviométrica natural.

Durante o período de colheita do café (maio a julho), a irrigação é suspensa e também é feita a “arruação”, que consiste em deslocar toda a matéria orgânica contida sob a planta para as entre linhas de cultivo (meio da rua) e rodada do trator com a finalidade de não atrapalhar durante a “catação” e não propiciar a decomposição dos frutos. Esta matéria orgânica volta para a saia do cafeeiro (sob a planta) após a colheita.

Nos tratamentos onde utilizou-se herbicida no controle de plantas espontâneas, foi realizada uma capina mecânica (roçada) 7 dias após a aplicação de glifosato, afim de não controlar de modo efetivo a *Brachiaria decumbens* e sim evitar com que a planta disperse sementes.

### **3.4- Trabalho de Campo**

Após a delimitação da área, foram coletadas amostras nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, nos períodos de: novembro de 2003 para a caracterização; março e julho de 2004 a fim de avaliar a densidade aparente, a porosidade total, a resistência à penetração e a matéria orgânica.

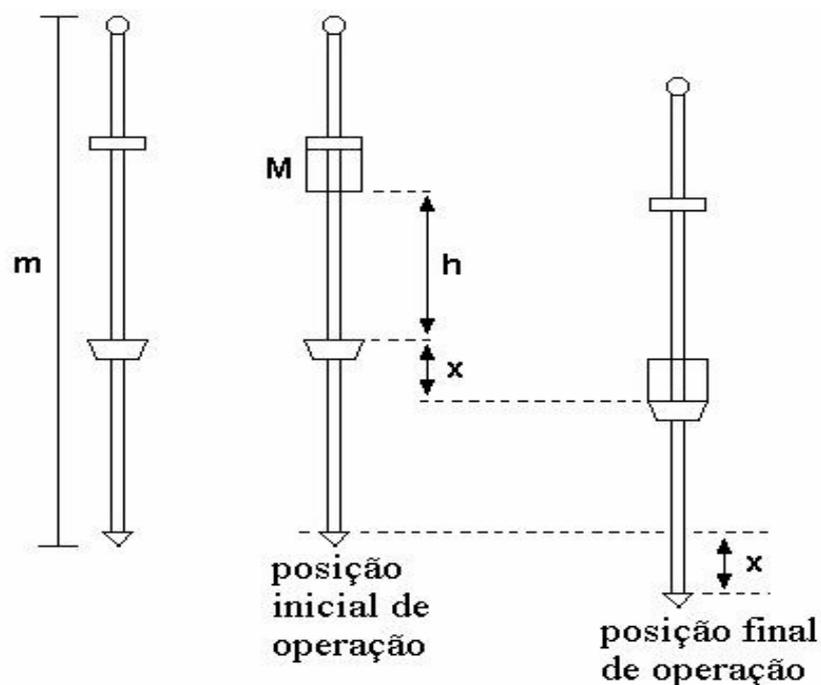
Os manejos de controle de plantas espontâneas foram empregados na semana seguinte à amostragem de campo.

### 3.5- Determinações Experimentais

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.

#### 3.5.1- Resistência do solo à penetração

Para avaliação da resistência do solo à penetração foi utilizado o penetrômetro de impacto, proposto por Stolf (1991), conforme mostra a Figura 4.



**Figura 4.** Representação esquemática de um penetrômetro de impacto e seu funcionamento.

Para a conversão do número de impactos necessários para atravessar as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm,  $\text{Kgf.cm}^{-2}$ , fez-se a calibração baseada na seguinte fórmula:

$$F (\text{Kgf} ) = (M + m)g + \frac{M}{(M + m)} \cdot \frac{Mgh}{x}$$

Onde:

\*M = 3,86 (Mg = 3,86 kgf);

m = 3,18 (mg = 3,18 Kgf);

(M+m)g = 7,04 kgf;

M/(M+m) = 0,548;

h = 50,0 cm;

g =  $1 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .

### 3.5.2- Matéria orgânica

Determinada através do carbono orgânico total (COT) multiplicado por 1,724.

A determinação do carbono orgânico total se deu pela oxidação em 10 mL de dicromato de potássio 1 N em meio ácido ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) em amostra de 0,3 g de solo, seguida de 30 minutos de repouso. Na seqüência, adicionou-se 250 mL de água destilada, 10 mL de solução de ácido fosfórico e 3 gotas de indicador de ferrain. Após este processo titulou-se com sulfato ferroso amoniacal, conforme a recomendação da Embrapa (1997).

### 3.5.3- Densidade de partículas

Para obtenção da densidade de partículas utilizou-se a metodologia preconizada pela Embrapa (1997).

Inicialmente pesou-se 20 g de TFSE de uma amostra composta. Transferiu-se estas 20 g para um balão volumétrico de 50 mL e adicionou-se 25 mL de álcool etílico. O balão foi agitado por 1 minuto para facilitar a penetração do álcool nos capilares do solo. Após deixar o balão em repouso por 15 minutos, completou-se o volume com álcool e, em seguida procedeu-se a leitura do nível do líquido na bureta (L). Obteve-se o valor médio da densidade de partículas através da seguinte expressão:

$$D_p = \frac{M_s}{V_s}$$

Onde:

$M_s$  = massa da TFSE (kg);

$V_s$  = volume de sólidos ( $\text{dm}^3$ ).

Obs.: o volume de sólidos foi obtido através da expressão:  $V_s = 50 - L$ .

O solo avaliado possui valor médio de densidade de  $2,52 \text{ g.Kg}^{-1}$ .

### 3.5.4- Densidade aparente do solo

Para esta determinação foram utilizadas amostras indeformadas, retiradas com amostrador tipo Uhland e cilindro de aço de Kopecky de bordas cortantes (EMBRAPA, 1997).

Com o auxílio do amostrador, o cilindro foi introduzido ao solo até seu preenchimento total à profundidade desejada. Em seguida retirou-se o excesso de solo e

revestiu-se as partes superior e inferior do cilindro. No laboratório as amostras foram submetidas à 105 °C na estufa, por aproximadamente 24 horas. Com o solo seco obteve-se a densidade aparente,  $\text{kg.dm}^{-3}$ , através da seguinte expressão:

$$D_{ap.} = \frac{M_s}{V_t}$$

Onde:

$M_s$  = massa da amostra de solo seca contida no cilindro (kg);

$V_t$  = volume interno do cilindro ( $\text{dm}^{-3}$ ).

É importante ressaltar, que a densidade aparente não foi obtida nas profundidades preconizadas pelo experimento (0-20 cm e 20-40 cm), e sim nas camadas de aproximadamente 0-7 cm e 20-27 cm, uma vez que os cilindros usados têm em média 7 cm de altura.

### **3.5.5- Porosidade Total**

A porosidade total (Pt), nos permite determinar o volume de poros totais ocupados por água e/ou ar do solo. Esta foi obtida através da relação entre a densidade de partículas ( $D_p$ ) e a densidade aparente ( $D_{ap.}$ ), de acordo com a metodologia da Embrapa (1997).

$$Pt = \frac{(D_p - D_{ap.})}{D_p} \times 100$$

Onde:

Pt = porosidade total ( $\text{dm}^3.\text{dm}^{-3}$ ).

### 3.6- Análises Estatísticas

Para facilitar o uso da estatística clássica e por se tratar de uma área homogênea, optou-se por unir os talhões da seguinte forma:

- Manejo 1 com 3, ambos irrigados e os manejos de sequeiro 2 com 4, afim de comparar o efeito da umidade na região de amostragem sob a planta de café, uma vez que as demais regiões não sofrem influência da irrigação;
- Manejo 2 com 3, ambos gradeados comparando com os manejos que utilizam herbicida (1 com 4), afim de avaliar a influência da grade e do herbicida nas regiões de amostragem entre linhas de tráfego e rodada do trator (linhas de tráfego).

As análises estatísticas foram realizadas em duas etapas. Primeiramente aplicou-se a estatística não espacial (estat. clássica) através do teste de T-Student à 5% de probabilidade e posteriormente utilizou-se o programa GS<sup>+</sup> (Gamma Design Software) para análise de geoestatística dos atributos físicos com a finalidade de comparar o efeito dos manejos nos locais de amostragem.

#### 3.6.1- Variabilidade horizontal dos atributos físicos do solo

A variabilidade espacial pode ser descrita através dos semivariogramas, que medem a dependência espacial dos atributos (VIEIRA et al., 1983).

A semivariância foi definida pela seguinte fórmula:

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

Onde  $N(h)$  representa o número de pares de valores medidos,  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$ , separados por uma determinada distância ( $h$ ). Os valores de  $Z$  podem ser qualquer um dos parâmetros estudados, enquanto os valores de  $x_i$  e  $x_i + h$  são definidos de acordo com as posições amostrais no campo.

Após o cálculo do semivariograma,  $\gamma(h)$  e da distância ( $h$ ), os valores foram dispostos em gráficos de dispersão, tendo como valores de  $Y$  as semivariâncias, e de  $X$  as distâncias.

Utilizou-se funções matemáticas a fim de ajustar alguns parâmetros, a saber: efeito pepita ( $C_0$ ) que é o valor da semivariância, quando a distância é igual a 0 (zero); patamar ( $C_0 + C_1$ ); a medida que aumenta a distância, também aumenta o valor de semivariância até um valor máximo que irá estabilizar. A distância na qual a semivariância se estabiliza chama-se de alcance ( $a$ ) e é o limite de dependência espacial, que representa o raio de um círculo, onde os valores são bastante semelhantes tornando-se correlacionados (VIEIRA, 1997).

Foram testados semivariogramas com patamar dos tipos: linear, exponencial, esférico, e gaussiano. Testou-se também modelos sem patamar (linear sem patamar)..

a) Modelo linear com patamar

$$\gamma(h) = C_0 + \frac{C_1}{a} h \quad 0 < h < a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad h > a$$

b) Modelo Exponencial

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3 \frac{h}{a})] \quad 0 < h < d$$

c) Modelo Esférico

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 [\frac{3}{2}(\frac{h}{a}) - \frac{1}{2}(\frac{h}{a})^3] \quad 0 < h < a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad h > a$$

d) Modelo gaussiano

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3 (\frac{h}{a})^2)] \quad 0 < h < d$$

e) Modelo linear sem patamar

$$\gamma(h) = C + Ah^B \quad 0 < B < 2$$

Quando houver dependência espacial, ou seja, quando a função  $y(h)$  for dependente da distância ( $h$ ), os valores serão semelhantes, possibilitando estimar locais onde os atributos não foram medidos. A estimativa em uma determinada posição geográfica,  $X_0$ , pode ser obtida por:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

Onde:

$N$  é o número de vizinhos utilizados na estimativa;

$\lambda_i$  é o peso associado medido ao valor na posição  $x_i$ .

Submetendo-se a equação (2) às condições em que a estimativa seja sem tendenciosidade e com variância mínima, chega-se ao sistema de equações de “krigagem”:

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j \gamma(x_i, x_j) + \mu = \gamma(x_i, x_0), \quad i = 1 \text{ a } N \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1$$

onde,  $\gamma(x_i, x_j)$  é a semivariância estimada.

Pode-se construir mapas de isolinhas para exame e interpretação da variabilidade espacial através da solução da equação 3 (VIEIRA, 1997).

Os mapas de krigagem foram estimados, para os atributos físicos: densidade aparente, porosidade total, resistência à penetração e matéria orgânica nos diferentes manejos e profundidades 0-20 cm e 20-40 cm.

## **4- RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1- Estatística Clássica**

#### **4.1.1- Resistência à penetração**

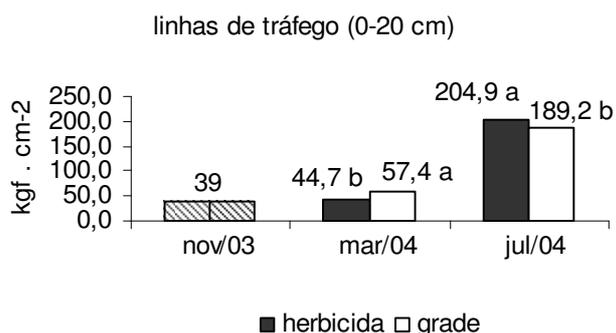
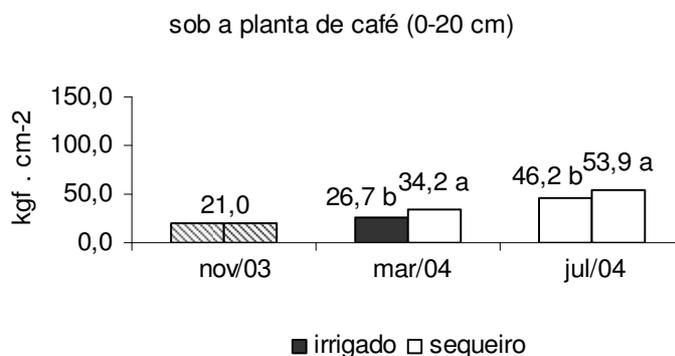
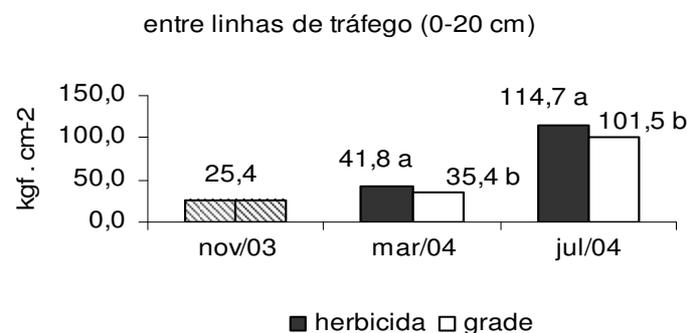
Verifica-se (Figura 5) nas entre linhas de tráfego (meio da rua), para ambas as épocas avaliadas, o uso da grade propiciou menor resistência do solo à penetração, quando comparado com o herbicida na camada superficial (0-20 cm). Isto deve-se ao revolvimento de solo que causa uma desestruturação, diminuindo assim a resistência à penetração.

Tormena & Roloff (1996), avaliando a compactação de Latossolos com elevado teor de argila, constataram que a ausência ou mínimo revolvimento de solo promove a compactação excessiva na superfície.

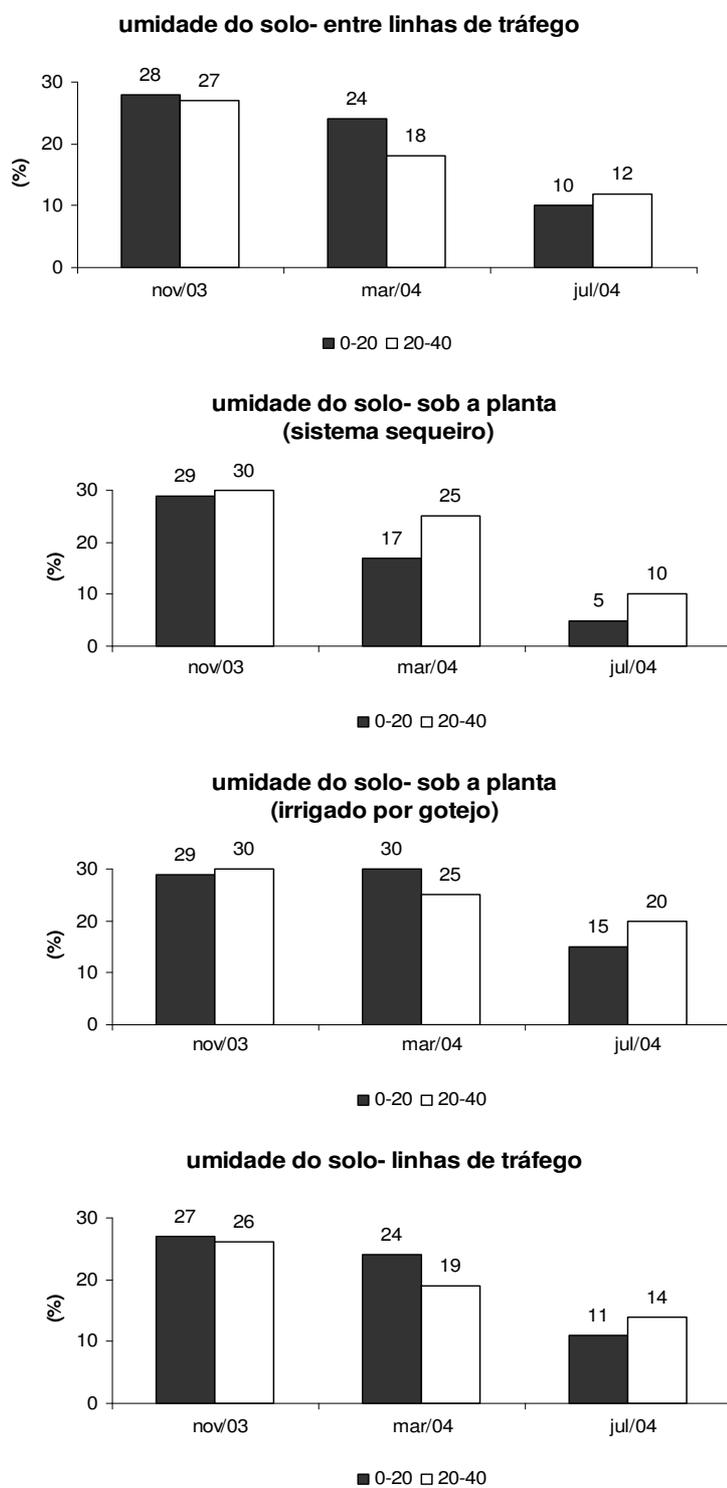
Observa-se que sob a planta de café (Figura 5) o sistema irrigado apresentou valor médio inferior no mês de março, devido a umidade proporcionada pela irrigação e a matéria orgânica em maior concentração que no sistema sequeiro. Umidade, textura e matéria orgânica influenciam de forma significativa o comportamento do solo quando submetido à compactação (BORGES et al., 1999). Para o mês de julho não houve diferença estatística em decorrência da suspensão da irrigação para a colheita do café.

Quanto à área compactada por pneus (rodada do trator) nota-se (Figura 5), no mês de março, maior resistência do solo à penetração no manejo com grade. Este fato deve-se ao revolvimento de solo que aumenta a infiltração aliada ao elevado índice pluviométrico e o trânsito de máquinas, uma vez que é período de realizar aplicações de insumos. Conforme observado por Pedrotti & Dias Júnior (1996) as operações agrícolas quando realizadas em solos muito úmidos, provocam o aumento da área de compactação.

No período de julho o manejo com herbicida, proporcionou maior compactação quando avaliado com o uso de grade, o que pode estar relacionado a ausência de revolvimento de solo e a baixa umidade (Figura 6).



**Figura 5.** Resistência do solo à penetração nas regiões de entre linhas de tráfego, sob a planta e rodada do trator (linhas de tráfego) na profundidade de 0-20 cm. Letras minúsculas comparam os manejos dentro de cada época. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste T-Student 5%. Áreas rachuradas referem-se à coleta de caracterização, a qual os manejos não foram empregados.



**Figura 6.** Valores médios de umidade nos diferentes períodos de amostragem.

Na profundidade de 20-40 cm (Figura 7) na região do meio da rua nota-se a ausência de diferença estatística entre os manejos no mês de março. Este fato está relacionado à baixa umidade (Figura 6) neste período e a pouca influência do manejo sobre esta camada, uma vez que a área de atuação da grade é de aproximadamente 15 cm. Quanto a julho o controle com herbicida apresentou menor resistência à penetração devido a presença e manutenção da *Brachiaria decumbens*, a qual apresenta sistema radicular bastante agressivo e difuso que proporciona a formação de canalículos após sua decomposição reduzindo assim a resistência no período seco.

De acordo com estudos de Muller et al. (2001) os sistemas radiculares de plantas cultivadas no inverno em sistema de plantio direto permitem a formação de bioporos em camadas compactas que contribuem na redução de resistência mecânica do solo.

Para a saia do cafeeiro na profundidade de 20-40 cm (Figura 7), observa-se no mês de março comportamento semelhante a camada superficial (0-20 cm). Quanto a julho o sistema irrigado obteve valor médio inferior quando comparado ao sequeiro, pois mesmo com a irrigação suspensa a umidade (Figura 6) é mantida na subsuperfície.

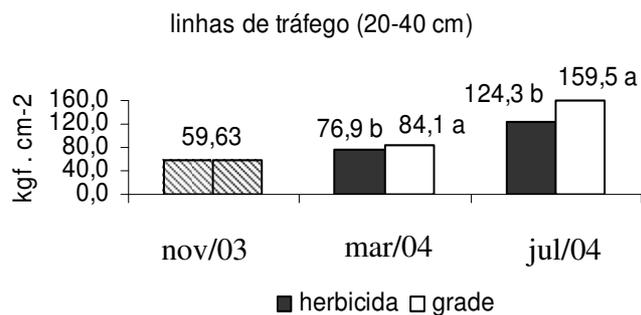
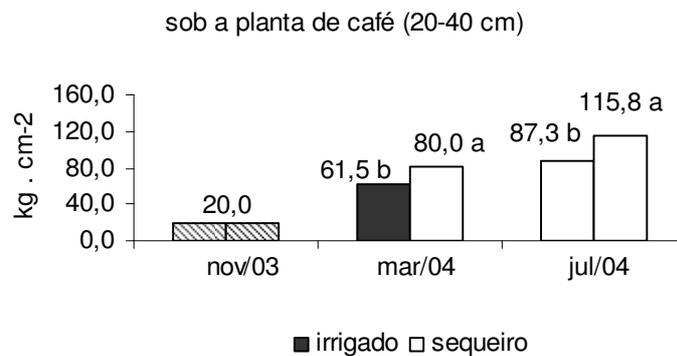
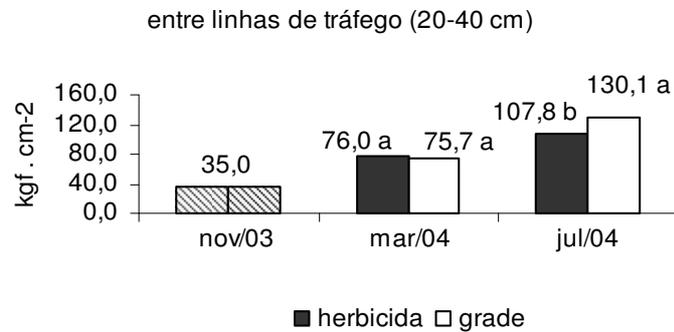
De acordo Imhoff et al. (2000) a irrigação é uma prática importante para melhorar a qualidade física do solo para o estabelecimento de condições adequadas ao crescimento das plantas em termos de resistência à penetração.

O revolvimento de solo através do uso de grade favoreceu a maior infiltração de água, o que associado à movimentação de máquinas proporcionou a compactação na camada de 20-40 cm para ambas as épocas avaliadas na região da rodada do trator (Figura 7).

O trânsito excessivo de máquinas, junto às práticas de gradagem, podem causar selamento superficial e até mesmo a compactação subsuperficial (FALQUETO, 2001).

Em solos de cerrado sob produção agrícola é comum a formação de uma camada compactada subsuperficial, apresentando assim uma maior resistência à penetração (CINTRA; MIELNICZUCK, 1983; COSTA et al., 1984).

Segundo Daniel e Maretti (1990), a profundidade máxima de efeito da compactação por maquinário, independente de seu peso e do tipo de solo não excede 50 cm.



**Figura 7.** Resistência do solo à penetração nas regiões de entre linhas de tráfego, sob a planta e rodada do trator (linhas de tráfego) na profundidade de 20-40 cm. Letras minúsculas comparam os manejos dentro de cada época. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste T-Student 5%. Áreas rachuradas referem-se à coleta de caracterização, a qual os manejos não foram empregados.

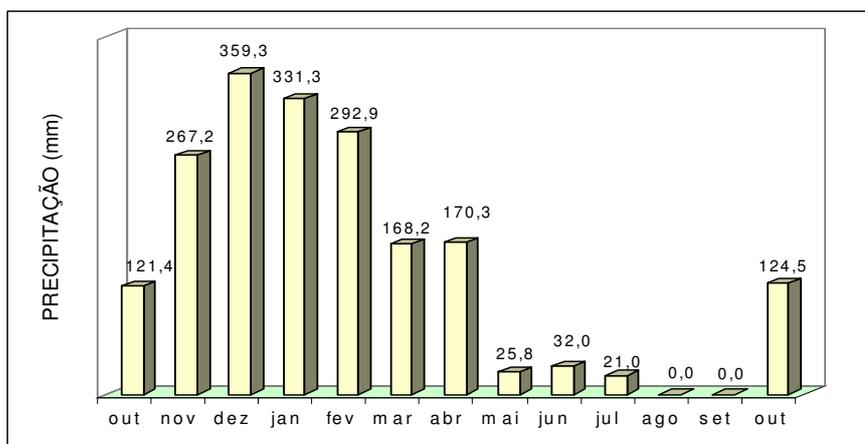
#### 4.1.2- Matéria Orgânica

Devido a elevada precipitação (Figura 9) nos meses que antecedem a aplicação dos manejos, ocorre uma maior produção de biomassa por parte da *Brachiaria decumbens* e conseqüentemente eleva-se o teor de matéria orgânica que, através da gradagem é incorporada e com isto aumenta a superfície de contato acelerando a mineralização (Figura 8), resultando assim em menores teores de matéria orgânica na profundidade de 0-20 cm da região de entre linhas de tráfego (Figura 10).

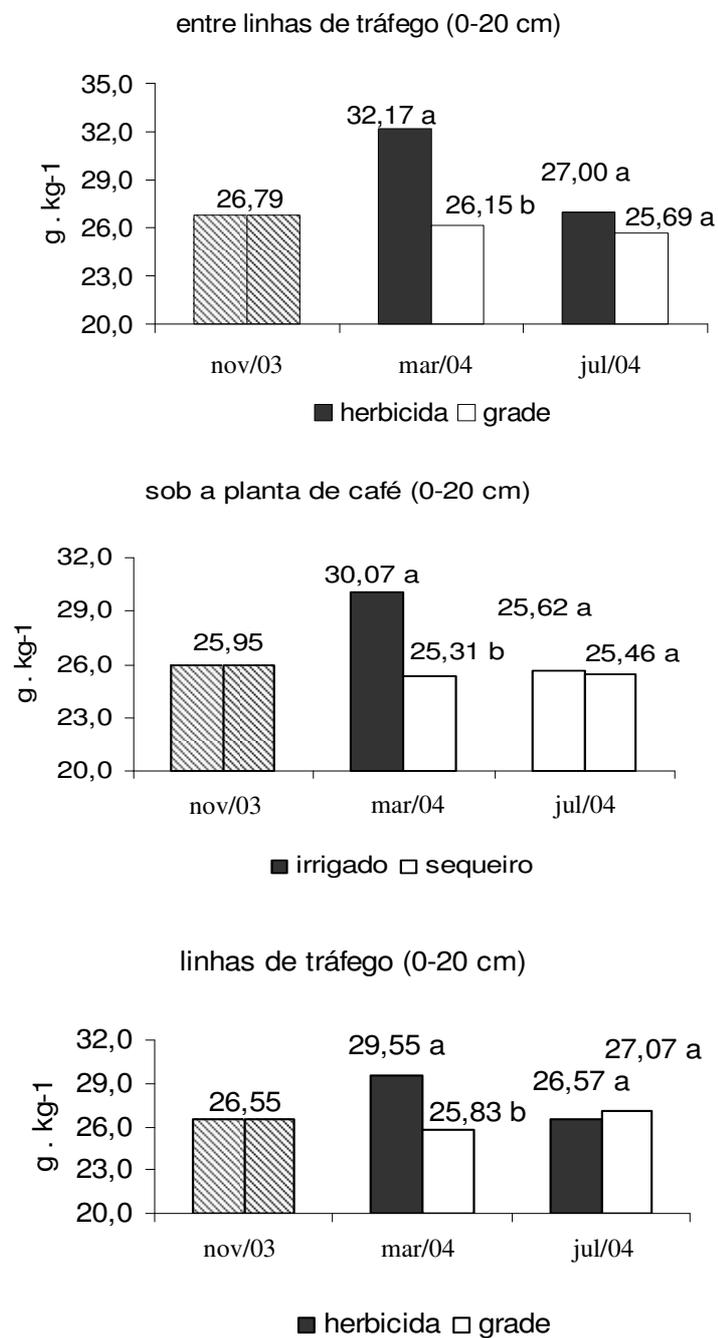
O revolvimento do solo pode ser inconveniente, pois além de causar a recompactação há a diminuição dos teores de matéria orgânica (OLIVEIRA et al., 2001).



**Figura 8.** Plantas espontâneas nas entre linhas de tráfego e sua incorporação através da gradagem.



**Figura 9.** Dados de precipitação da Fazenda Experimental do Glória.



**Figura 10.** Matéria orgânica nas regiões de entre linhas de tráfego, sob a planta e rodada do trator (linhas de tráfego) na profundidade de 0-20 cm. Letras minúsculas comparam os manejos dentro de cada época. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste T-Student 5%. Áreas rachuradas referem-se à coleta de caracterização, a qual os manejos não foram empregados.

Verifica-se (Figura 10) que sob a planta no mês de março o sistema irrigado ocasionou maior teor de matéria orgânica, devido a constante umidade a qual proporciona condições adequadas à atividade da biota do solo.

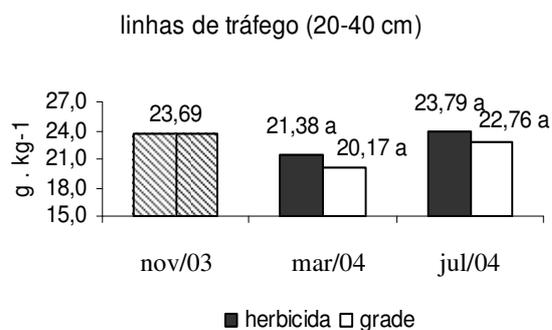
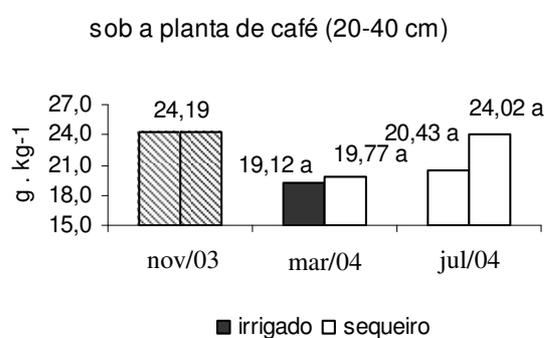
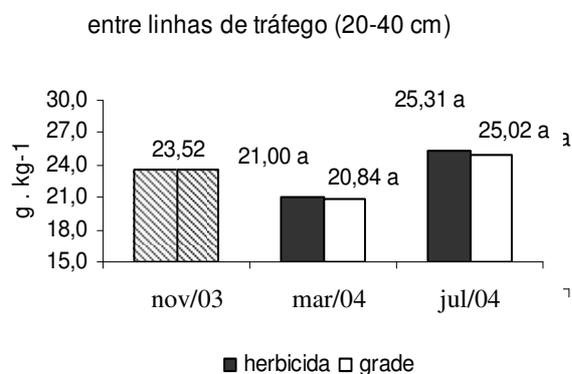
Barcelos (1997), avaliando diferentes manejos em solo de cerrado verificou que a menor oscilação de umidade favoreceu a biota do solo.

A ausência de diferença estatística entre os manejos no mês de julho sob a planta de café, deve-se à atuação do “arruador”, implemento o qual remove a matéria orgânica de solo (3-5 cm) para o meio da rua e rodada do trator (Figura 11). Ressaltando que esta foi realizada após a aplicação dos manejos (grade e herbicida), portanto a ausência de incorporação da matéria orgânica pela grade não interferiu significativamente na área compacta por pneus (rodada do trator) no período de julho.



**Figura 11.** Matéria orgânica deslocada da saia do cafeiro para as entre linhas de tráfego e rodada do trator.

Os teores de matéria orgânica na profundidade de 20-40 cm não diferiram estatisticamente para ambas épocas e regiões de amostragens avaliadas (Figura 12), devido a pouca influência dos manejos sobre este atributo na camada subsuperficial.



**Figura 12.** Matéria orgânica nas regiões de entre linhas de tráfego, sob a planta e rodada do trator (linhas de tráfego) na profundidade de 20-40 cm. Letras minúsculas comparam os manejos dentro de cada época. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste T-Student 5%. Áreas rachuradas referem-se à coleta de caracterização, a qual os manejos não foram empregados.

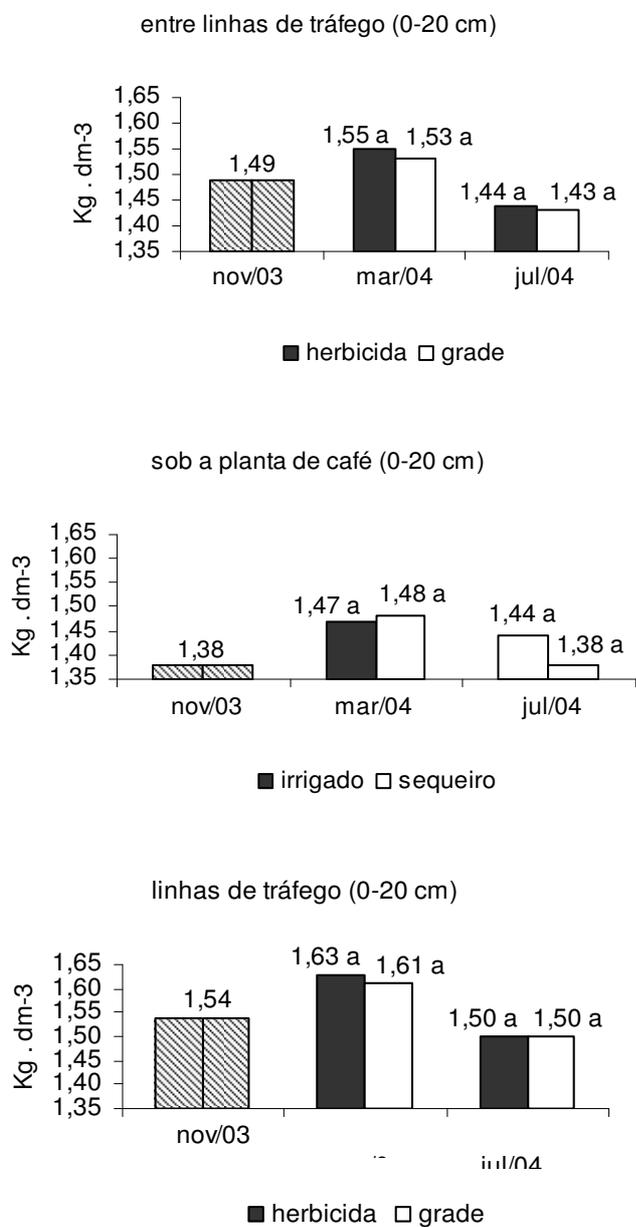
#### **4.1.3- Densidade aparente do solo**

De acordo com a Figura 13 verifica-se a ausência de diferença estatística entre os manejos e uma variação de valores nas épocas avaliadas, o que pode estar relacionado à falha metodológica de amostragem pelo cilindro de Kopecky.

Com o auxílio do amostrador de Uhland, o cilindro é penetrado no solo podendo sofrer vibrações e inclinações devido as colisões do êmbolo do amostrador o que proporciona o empacotamento do solo quando este apresenta elevada umidade, resultando em maior quantidade de massa em um volume definido, o que irá acarretar em maiores valores de densidade.

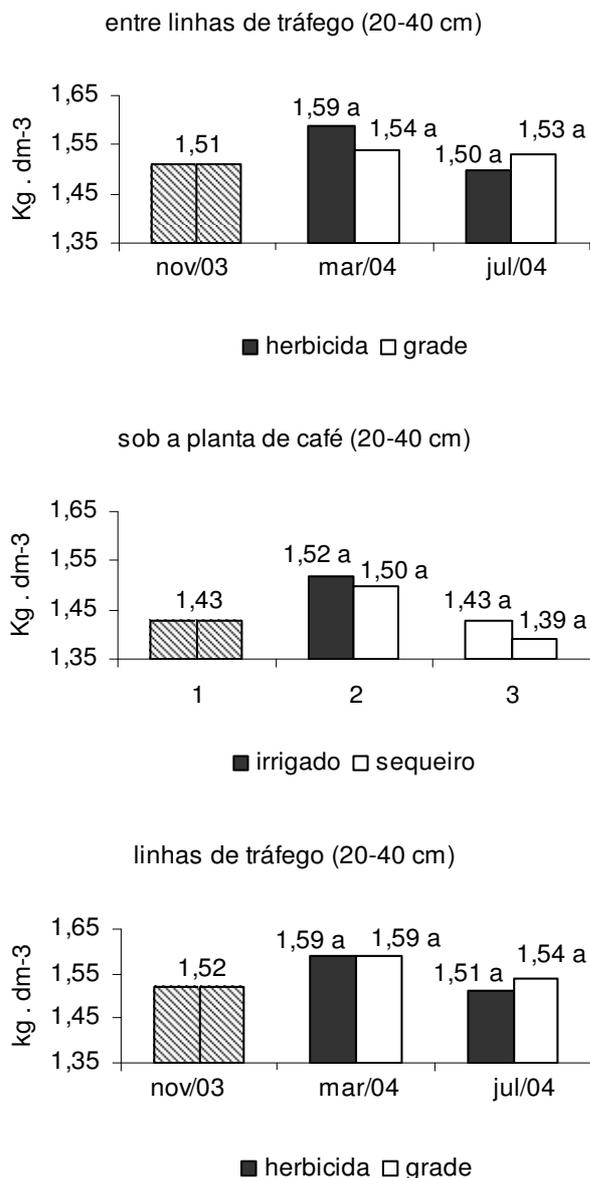
Oliveira et al. (2003) avaliando atributos físicos em diferentes práticas de manejo observaram, que o alto teor de umidade ou mesmo o impacto das gotas de chuva podem contribuir para elevados valores densidade.

Já para o período de seca é verificado o contrário, a densidade tende a cair em função da desestruturação do solo promovida pelo impacto aliado à baixa umidade o que proporciona menor massa de solo para um mesmo volume resultando em menores valores de densidade aparente.



**Figura 13.** Densidade aparente nas regiões de entre linhas de tráfego, sob a planta e rodada do trator (linhas de tráfego) na profundidade de 0-20 cm. Letras minúsculas comparam os manejos dentro de cada época. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste T-Student 5%. Áreas rachuradas referem-se à coleta de caracterização, a qual os manejos não foram empregados.

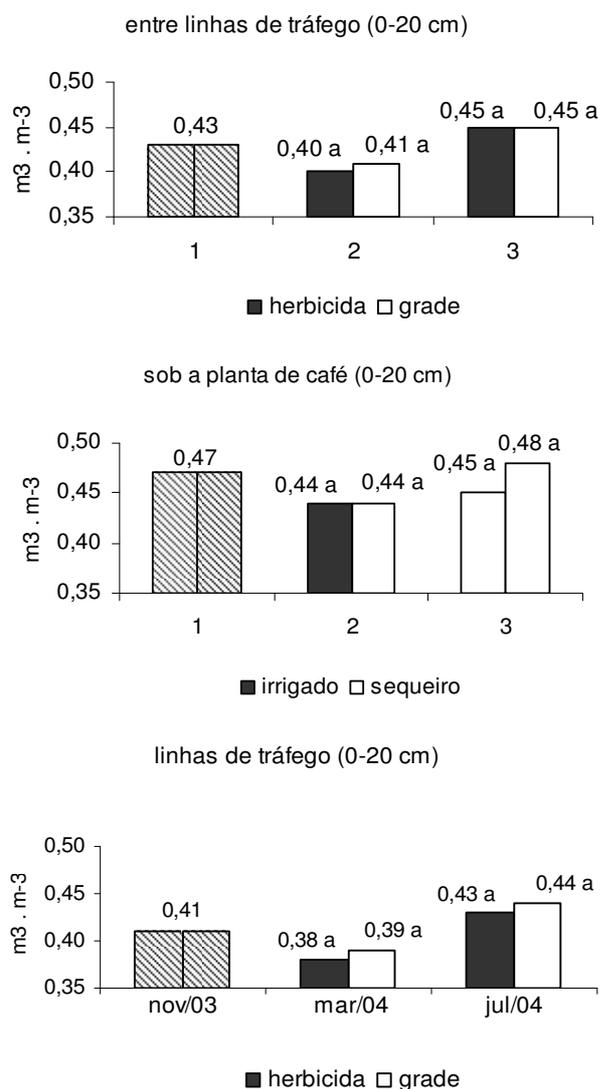
Para a profundidade de 20-40 cm (Figura 14) observa-se comportamento semelhante à camada superficial.



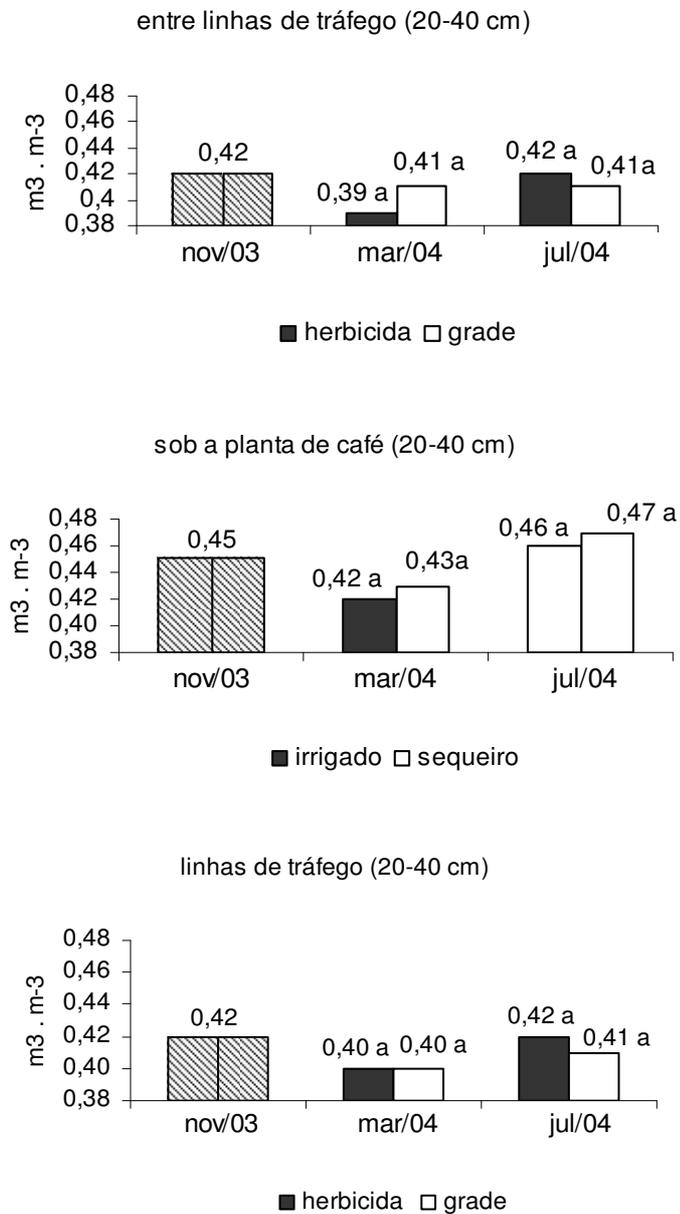
**Figura 14.** Densidade aparente nas regiões de entre linhas de tráfego, sob a planta e rodada do trator (linhas de tráfego) na profundidade de 20-40 cm. Letras minúsculas comparam os manejos dentro de cada época. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste T-Student 5%. Áreas rachuradas referem-se à coleta de caracterização, a qual os manejos não foram empregados.

#### 4.1.4- Porosidade total do solo

De acordo com as Figuras 15 e 16 verifica-se a ausência de diferença estatística, o que pode estar relacionado à falha metodológica de amostragem pelo cilindro de Kopecky.



**Figura 15.** Porosidade total do solo nas regiões de entre linhas de tráfego, sob a planta e rodada do trator (linhas de tráfego) na profundidade de 0-20 cm. Letras minúsculas comparam os manejos dentro de cada época. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste T-Student 5%. Áreas rachuradas referem-se à coleta de caracterização, a qual os manejos não foram empregados.



**Figura 16.** Porosidade total do solo nas regiões de entre linhas de tráfego, sob a planta e rodada do trator na profundidade de 20-40 cm. Letras minúsculas comparam os manejos dentro de cada época. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste T-Student 5%. Áreas rachuradas referem-se à coleta de caracterização, a qual os manejos não foram empregados.

## **4.2- Análise de Geoestatística**

### **4.2.1- Resistência à penetração**

Observa-se (Tabela 2) que na profundidade de 0-20 cm no mês de março para ambos os manejos, ajustou-se para o modelo linear sem patamar (LSP). Este representa um fenômeno de infinita capacidade de dispersão. Neste caso, o campo de amostragem trabalhado não foi suficientemente grande para detectar o alcance da dependência para o atributo resistência do solo à penetração.

O controle de plantas daninhas com o uso de grade ajustou-se para o modelo efeito pepita puro (EPP) na camada de 20-40 cm (Tabela 2, Figuras 17-18). Este modelo indica uma tendência geral de independência espacial para distâncias maiores ou iguais a 4 m (distância amostrada no experimento). Toda variabilidade apresentada é devido ao acaso.

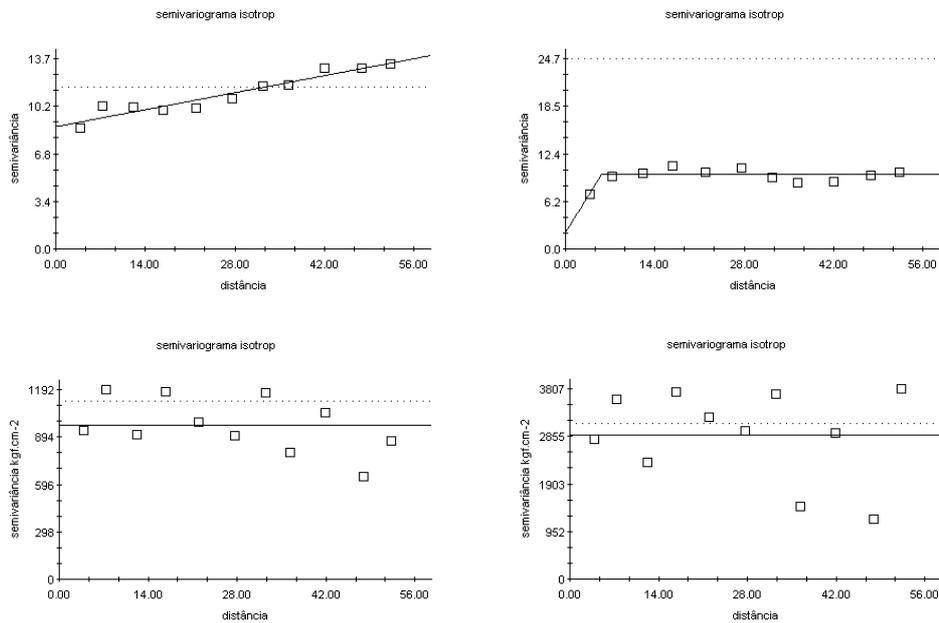
Para a profundidade de 20-40 cm na camada subsuperficial do manejo com herbicida o modelo ajustado foi linear com patamar (LCP), o qual demonstra uma dependência espacial após a estabilização tem efeito independente com alcance de 4,5 m.

Quanto ao mês de julho independente do manejo e da profundidade avaliada o modelo que melhor ajustou-se foi o efeito pepita puro (EPP).

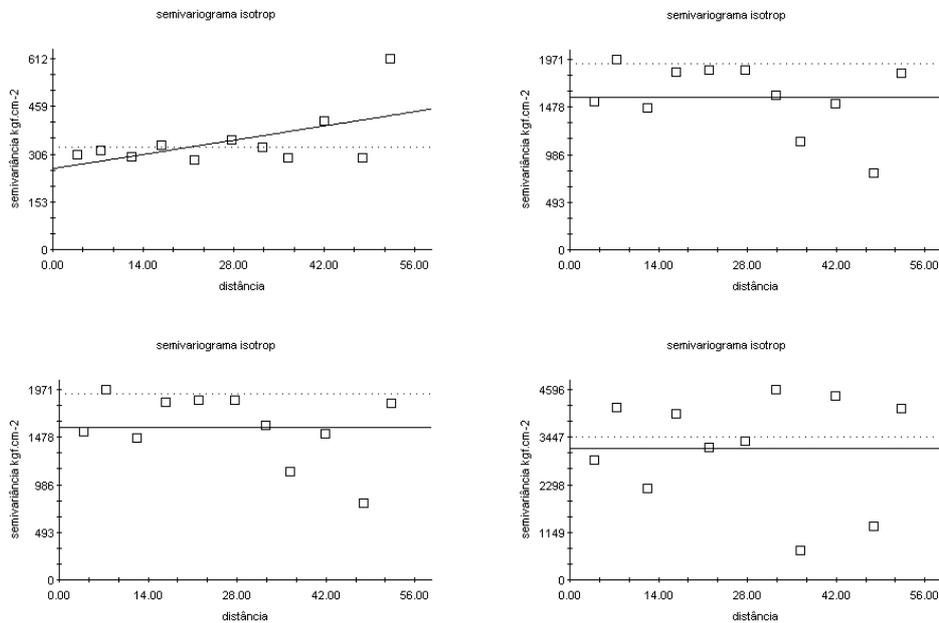
**Tabela 2.** Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais de Resistência do solo à penetração em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.

Manejo	Profundidade	Modelo	C <sub>o</sub>	C	A	B
<b>Março de 2004</b>						
<b>Herbicida</b>	0-20cm	LSP	234,0779	281,2829	-	0,9027
	20-40 cm	LCP	114,1000	284,7000	4,2	-
<b>Grade</b>	0-20cm	LSP	259,3087	429,8731	-	3,2617
	20-40 cm	EPP	134,1572	-	-	-
<b>Julho de 2004</b>						
<b>Herbicida</b>	0-20cm	EPP	967,4780	-	-	-
	20-40 cm	EPP	2888,6812	-	-	-
<b>Grade</b>	0-20cm	EPP	1582,8010	-	-	-
	20-40 cm	EPP	3185,090	-	-	-

Co – Efeito pepita; Co + C – patamar; a – alcance; b – coeficiente angular; EPP – Efeito pepita puro; LCP – modelo linear com patamar; LSP – modelo linear sem patamar.



**Figura 17.** Semivariogramas do atributo físico resistência do solo à penetração, nos períodos de amostragens de março/ 04 (acima) e julho/04 (abaixo) nas profundidades 0-20 cm e 20-40 cm no manejo com herbicida.



**Figura 18.** Semivariogramas do atributo físico resistência do solo à penetração, nos períodos de amostragens de março/04 (acima) e julho/04 (abaixo) nas profundidades 0-20 cm e 20-40 cm no manejo com grade.

#### **4.2.2- Matéria orgânica**

Através da Tabela 3 e Figuras 19-20, verifica-se que as profundidades de 0-20 cm no manejo com herbicida e 20-40 cm no manejo com grade no mês de março ajustou-se pelo modelo linear sem patamar (LSP) o qual como já foi comentado anteriormente indica uma infinita capacidade de dispersão, sendo assim insuficiente o campo de amostragem para detectar a dependência espacial da matéria orgânica.

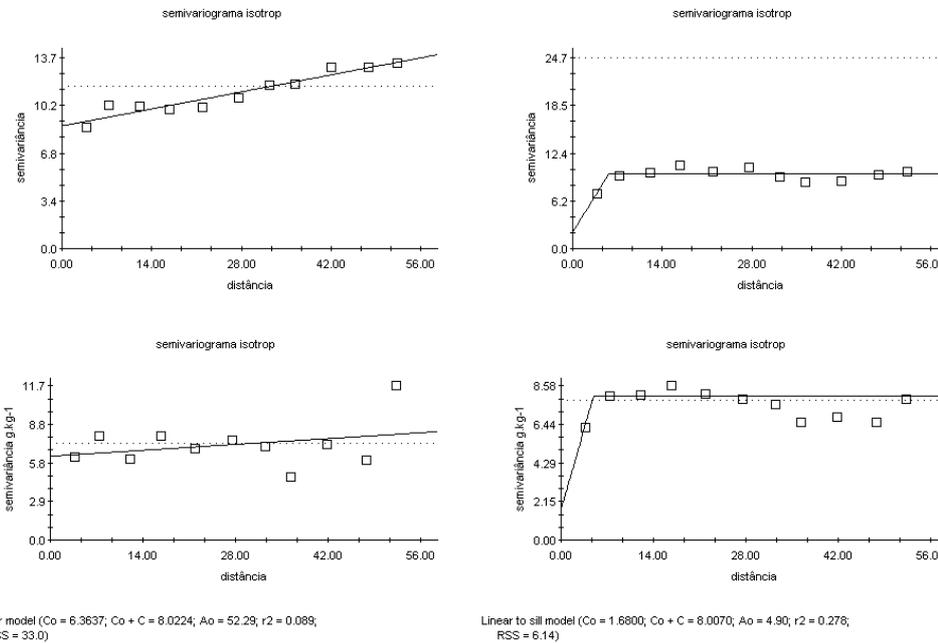
O modelo adotado pelo programa GS<sup>+</sup>, para a camada subsuperficial no controle de plantas infestantes com herbicida e o manejo com grade na profundidade de 0-20 cm no mês de março, foi o linear com patamar (LCP).

Para julho observa-se (Tabela 3, Figuras 19-20) que independente da profundidade e do manejo avaliado o modelo ajustado foi o LSP, o qual indica que neste período os teores de matéria orgânica estão em infinita dispersão.

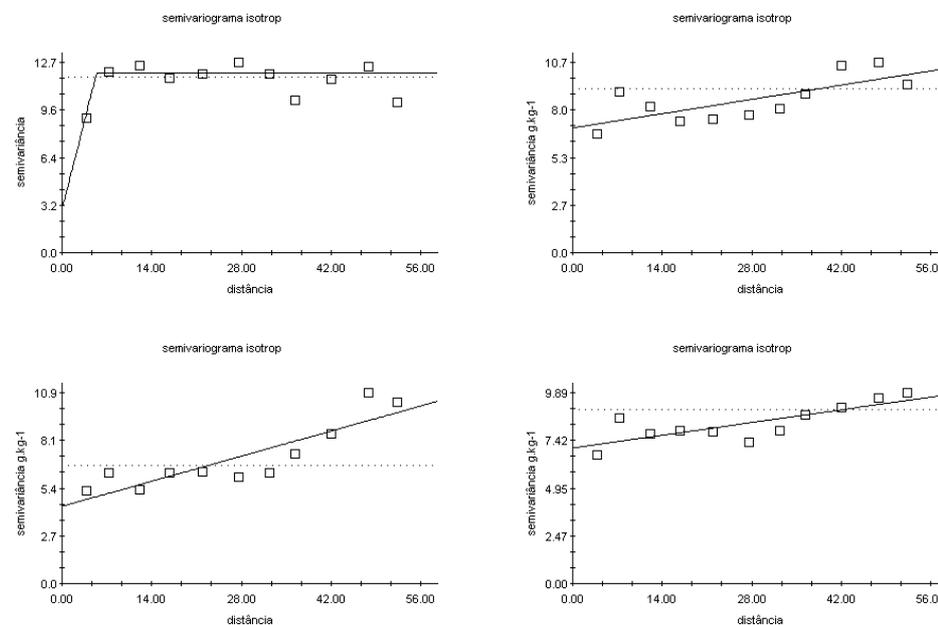
**Tabela 3.** Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais de carbono orgânico total em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação. (para obter matéria orgânica basta multiplicar por 1,724)

Manejo	Profundidade	Modelo	C <sub>0</sub>	C	A	B
<b>Março de 2004</b>						
<b>Herbicida</b>	0-20cm	LSP	8,7751	13,3330	-	0,0872
	20-40 cm	LCP	2,0800	9,6500	5,6	-
<b>Grade</b>	0-20cm	LCP	2,8800	12,000	5,4	-
	20-40 cm	LCP	1,3000	8,7400	5,2	-
<b>Julho de 2004</b>						
<b>Herbicida</b>	0-20cm	LCP	0,0100	7,8200	4,4	-
	20-40 cm	LCP	1,6800	8,0070	4,9	-
<b>Grade</b>	0-20cm	LSP	7,0313	9,4943	-	0,0471
	20-40 cm	LSP	4,3932	9,7308	-	0,1021

Co – Efeito pepita; Co + C – patamar; a – alcance; b – coeficiente angular; EPP – Efeito pepita puro; LCP – modelo linear com patamar; LSP – modelo linear sem patamar.



**Figura 19.** Semivariogramas da matéria orgânica do solo nos períodos de amostragens de março/04 (acima) e julho/04 (abaixo) nas profundidades 0-20 cm e 20-40 cm no manejo com herbicida.



**Figura 20.** Semivariogramas da matéria orgânica do solo nos períodos de amostragens de março/04 (acima) e julho/04 (abaixo) nas profundidades 0-20 cm e 20-40 cm no manejo com grade.

#### **4.2.3- Densidade aparente do solo**

Para o atributo físico densidade aparente observa-se (Tabela 4, Figuras 21-22), que o manejo com herbicida ajustou-se pelo modelo linear sem patamar (LSP) na profundidade de 0-20 cm no período de março.

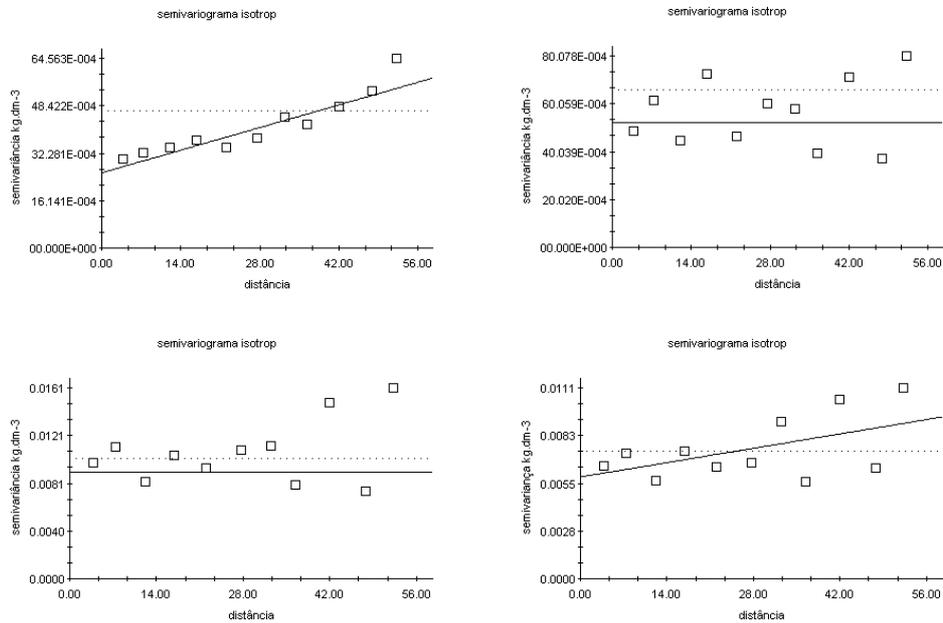
As duas profundidades avaliadas no manejo com grade e na profundidade de 20-40 cm no controle com herbicida, verificou-se o modelo efeito pepita puro (EPP). Este modelo como já foi mencionado anteriormente indica uma tendência geral de independência espacial para distâncias maiores ou iguais a 4 m (distância amostrada no experimento). Neste caso, é possível inferir que toda variabilidade deste elemento foi ao acaso. Guimarães (2000), trabalhando amostras de densidade do solo em diferentes manejos observou uma independência espacial para distâncias maiores ou igual a 10 m.

Para julho verifica-se (tabela 4, Figuras 21-22) que o modelo linear sem patamar (LSP) nas profundidades 0-20 cm (manejo com herbicida) e 20-40 cm (grade). Quanto as profundidades 0-20 cm (herbicida) e 20-40 cm (grade) observa-se o efeito pepita puro (EPP).

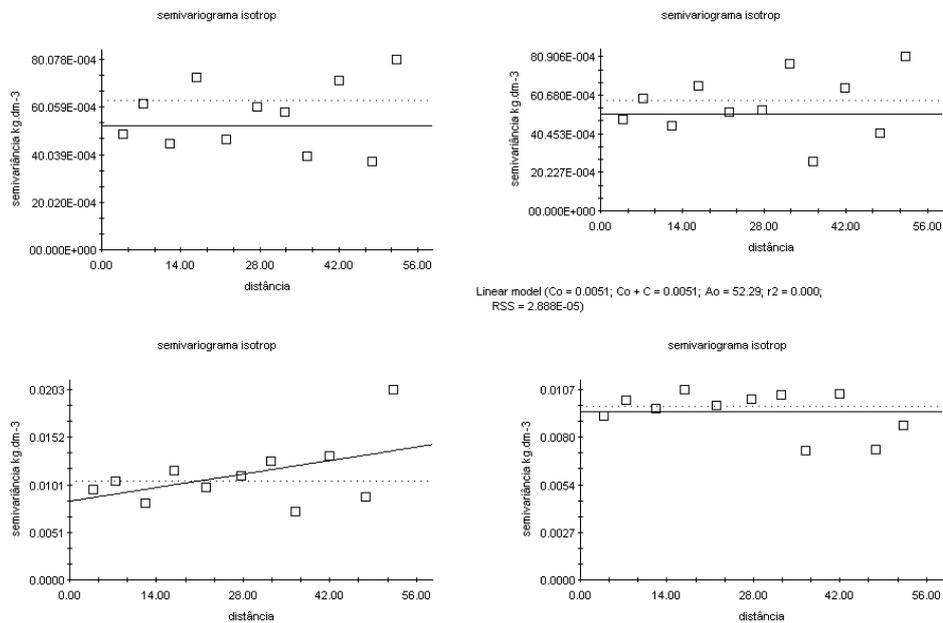
**Tabela 4.** Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais de densidade do solo em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.

Manejo	Profundidade	Modelo	C <sub>o</sub>	C	A	B
<b>Março de 2004</b>						
<b>Herbicida</b>	0-20cm	LSP	0,0025	0,0056	-	0,00006
	20-40 cm	EPP	0,0052	-	-	-
<b>Grade</b>	0-20cm	EPP	0,0052	-	-	-
	20-40 cm	EPP	0,0051	-	-	-
<b>Julho de 2004</b>						
<b>Herbicida</b>	0-20cm	EPP	0,0090	-	-	-
	20-40 cm	LSP	0,0059	0,0090	-	0,00006
<b>Grade</b>	0-20cm	LSP	0,0084	0,0138	-	0,00010
	20-40 cm	EPP	0,00947	-	-	-

Co – Efeito pepita; Co + C – patamar; a – alcance; b – coeficiente angular; EPP – Efeito pepita puro; LCP – modelo linear com patamar; LSP – modelo linear sem patamar.



**Figura 21.** Semivariogramas do atributo físico densidade aparente do solo nos períodos de amostragens de março/04 (acima) e julho/04 (abaixo) nas profundidades 0-20 cm e 20-40 cm no manejo com herbicida.



**Figura 22.** Semivariogramas do atributo físico densidade aparente do solo nos períodos de amostragens de março/04 (acima) e julho/04 (abaixo) nas profundidades 0-20 cm e 20-40 cm no manejo com grade.

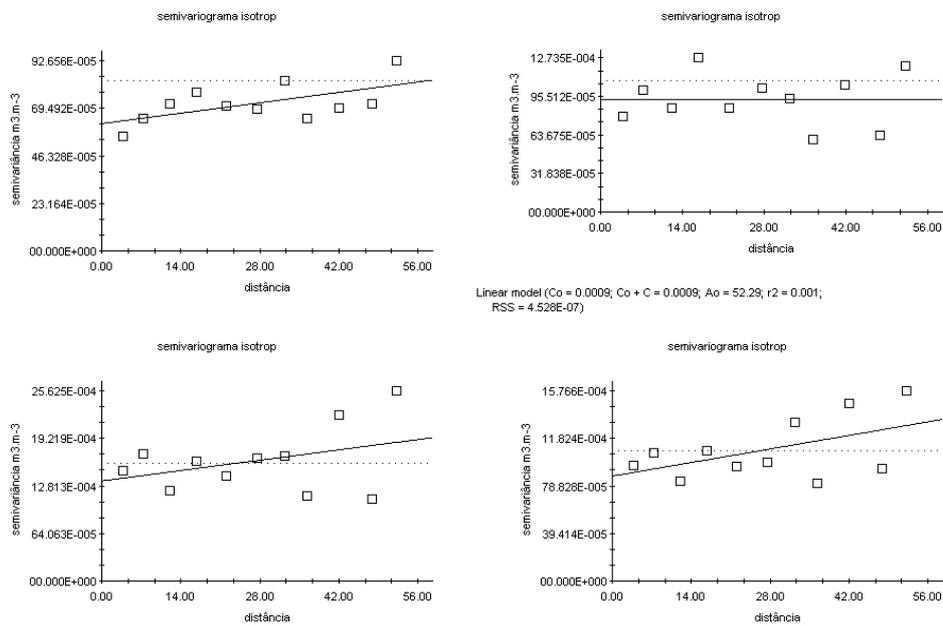
#### 4.2.4- Porosidade total do solo

Para os valores de porosidade total do solo (Tabela 5, Figuras 23-24) verifica-se no mês de março o modelo linear sem patamar (LSP) para as profundidades 0-20 cm no manejo com herbicida e 20-40 cm (grade). O efeito pepita puro (EPP) foi observado no manejo com herbicida na profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm (grade).

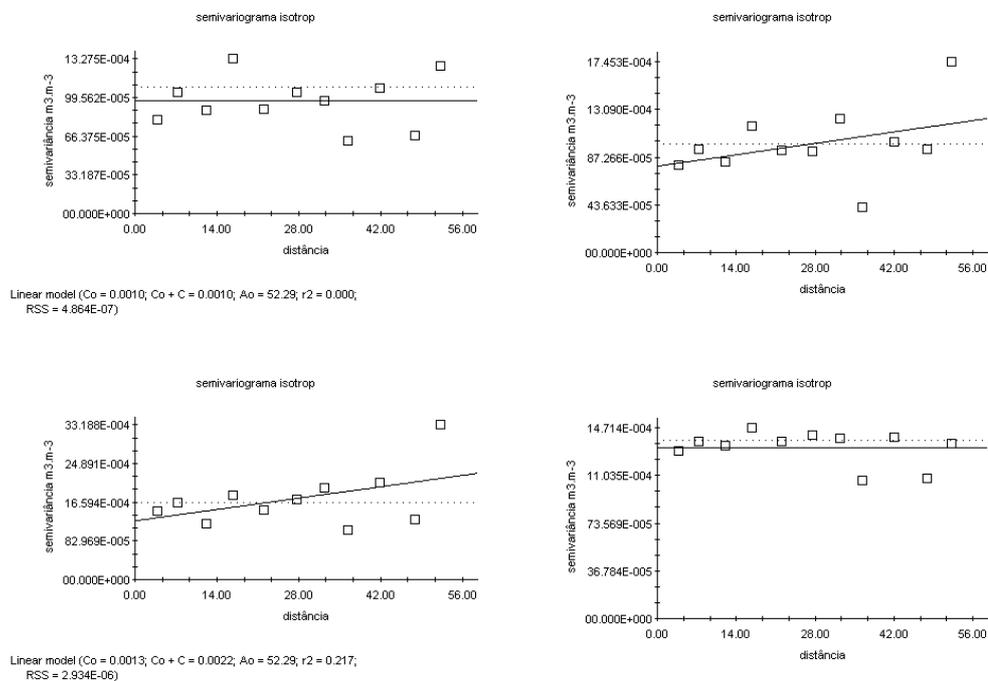
**Tabela 5.** Modelos de semivariogramas ajustados aos valores experimentais de porosidade do solo em diferentes manejos, profundidades e épocas de avaliação.

Manejo	Profundidade	Modelo	C <sub>o</sub>	C	A	B
<b>Março de 2004</b>						
<b>Herbicida</b>	0-20cm	LSP	0,0006	0,0008	-	0,000003
	20-40 cm	EPP	0,0009	-	-	-
<b>Grade</b>	0-20cm	EPP	0,0010	-	-	-
	20-40 cm	LSP	0,0008	0,0012	-	0,000007
<b>Julho de 2004</b>						
<b>Herbicida</b>	0-20cm	LSP	0,0012	0,0019	-	0,00001
	20-40 cm	LSP	0,0009	0,0013	-	0,000008
<b>Grade</b>	0-20cm	LSP	0,0013	0,0022	-	0,00002
	20-40 cm	EPP	0,0013	-	-	-

Co – Efeito pepita; Co + C – patamar; a – alcance; b – coeficiente angular; EPP – Efeito pepita puro; LCP – modelo linear com patamar; LSP – modelo linear sem patamar.



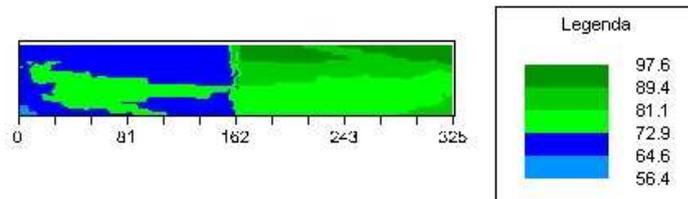
**Figura 23.** Semivariogramas do atributo físico porosidade total do solo nos períodos de amostragens de março/04 (acima) e julho/04 (abaixo) em duas profundidades 0-20 cm e 20-40 cm no manejo com herbicida.



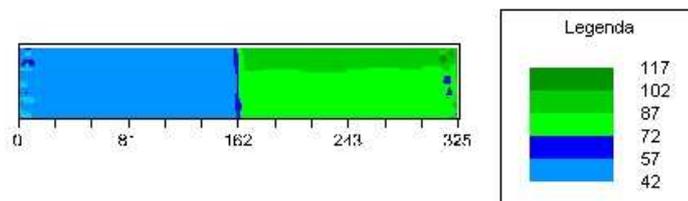
**Figura 24.** Semivariogramas do atributo físico porosidade total do solo nos períodos de amostragens de março/04 (acima) e julho/04 (abaixo) em duas profundidades 0-20 cm e 20-40 cm no manejo com grade.

Nas Figuras 24 a 32 estão as distribuições espaciais dos atributos físicos do solo, obtidos através do procedimento de Krigagem. Através destes mapas pode-se visualizar a área amostrada e a influência dos manejos aplicados. Portanto, são também, ferramentas importantes para se traçar qual manejo é ideal.

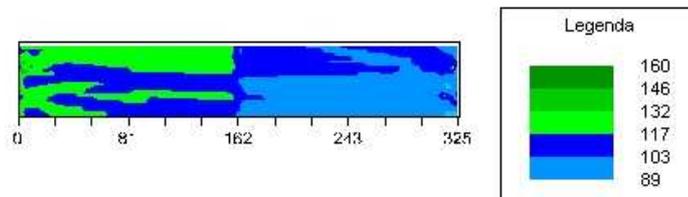
**Amostragem em março/04 na prof. 0-20 cm**



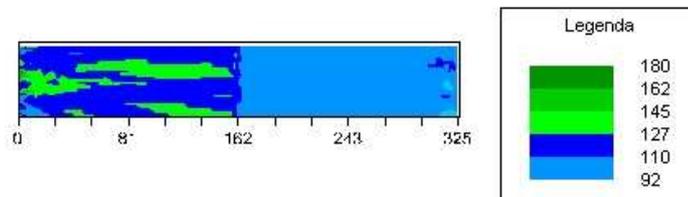
**Amostragem em março/04 na prof. 20-40 cm**



**Amostragem em julho/04 na prof. 0-20 cm**

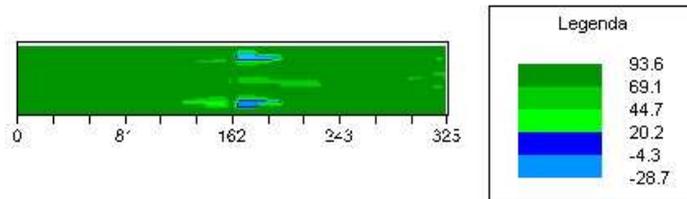


**Amostragem em julho/04 na prof. 20-40 cm**

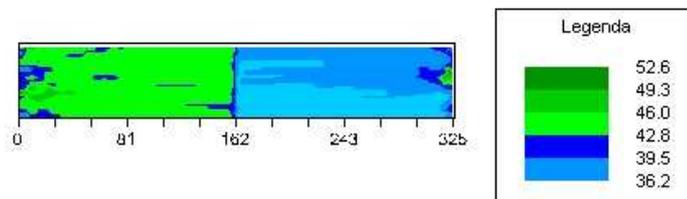


**Figura 25.** Distribuição espacial do atributo físico resistência à penetração, nos períodos de amostragens de março e julho/04 em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm) no manejo com herbicida.

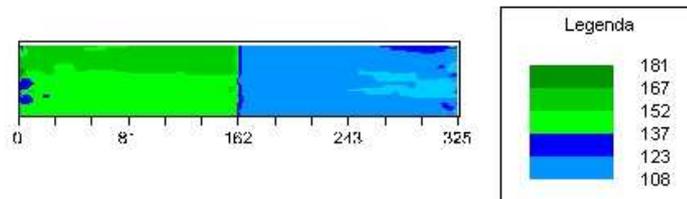
### Amostragem em março/04 na prof. 0-20 cm



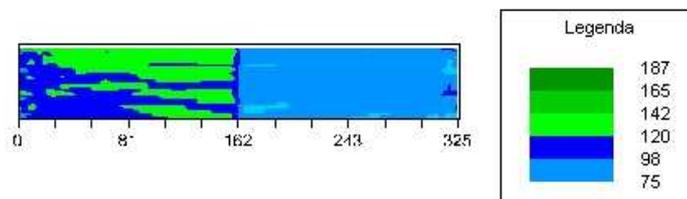
### Amostragem em março/04 na prof. 20-40 cm



### Amostragem em julho/04 na prof. 0-20 cm

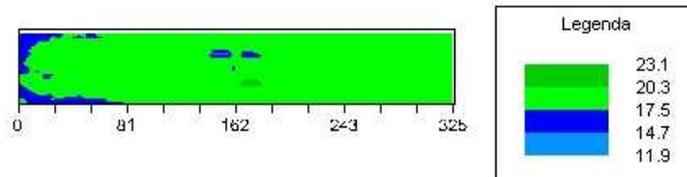


### Amostragem em julho/04 na prof. 20-40 cm

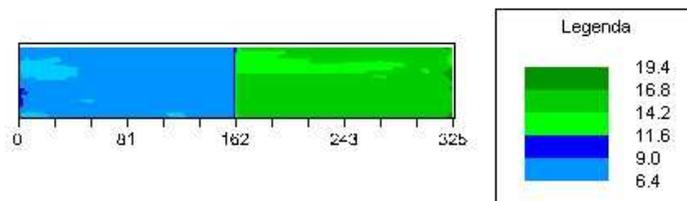


**Figura 26.** Distribuição espacial do atributo físico resistência à penetração, nos períodos de amostragens de março e julho/04 em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm) no manejo com grade.

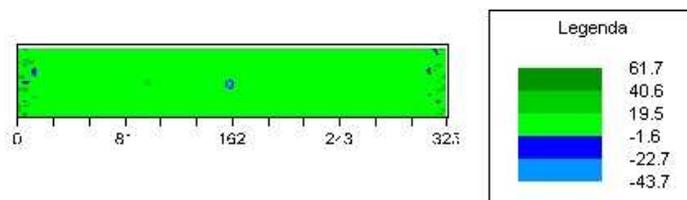
### Amostragem em março/04 na prof. 0-20 cm



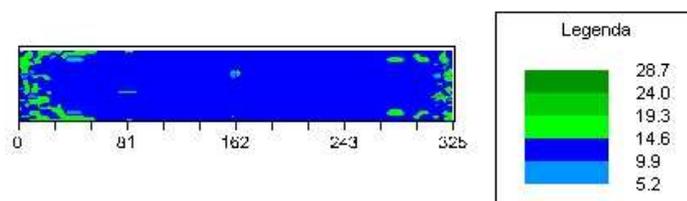
### Amostragem em março/04 na prof. 20-40 cm



### Amostragem em julho/04 na prof. 0-20 cm



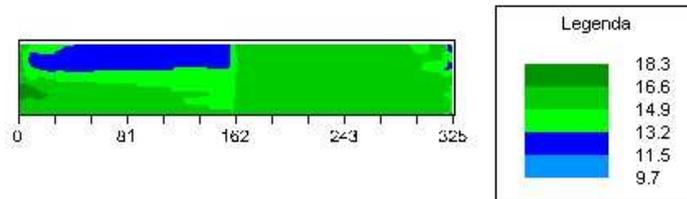
### Amostragem em julho/04 na prof. 20-40 cm



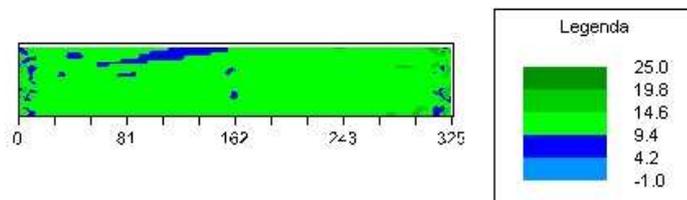
**Figura 27.** Distribuição espacial da matéria orgânica do solo nos períodos de amostragens de março e julho/04 em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm) no manejo com herbicida.

Obs.: os valores estão em carbono orgânico total, assim para se obter a matéria orgânica basta multiplicar por 1,724.

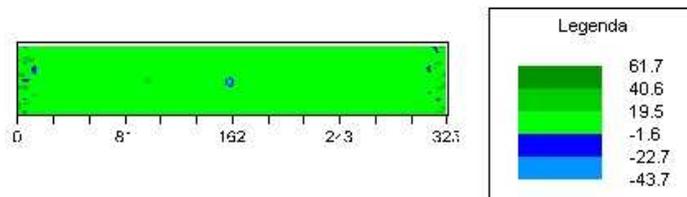
### Amostragem em março/04 na prof. 0-20 cm



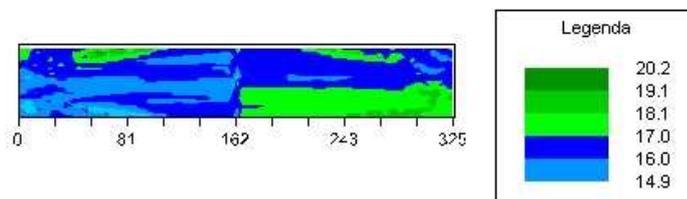
### Amostragem em março/04 na prof. 20-40 cm



### Amostragem em julho/04 na prof. 0-20 cm



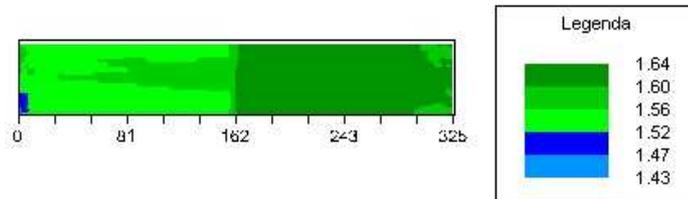
### Amostragem em julho/04 na prof. 20-40 cm



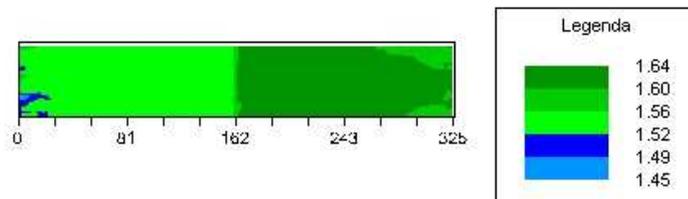
**Figura 28.** Distribuição espacial da matéria orgânica do solo nos períodos de amostragens de março e julho/04 em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm) no manejo com herbicida.

Obs.: os valores estão em carbono orgânico total, assim para se obter a matéria orgânica basta multiplicar por 1,724.

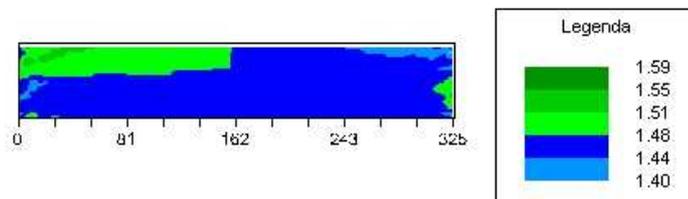
**Amostragem em março/04 na prof. 0-20 cm**



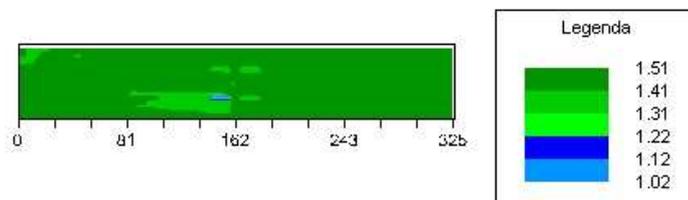
**Amostragem em março/04 na prof. 20-40 cm**



**Amostragem em julho/04 na prof. 0-20 cm**

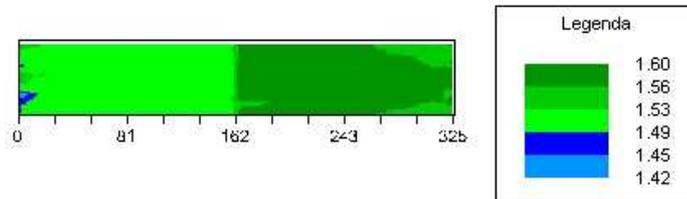


**Amostragem em julho/04 na prof. 20-40 cm**

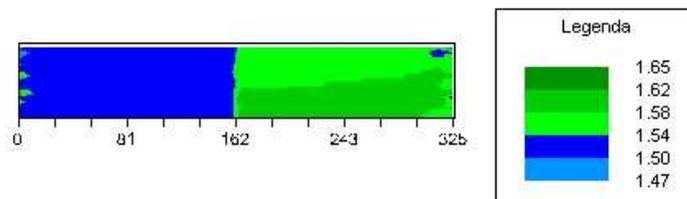


**Figura 29.** Distribuição espacial do atributo físico densidade aparente do solo nos períodos de amostragens de março e julho/04 em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm) no manejo com herbicida.

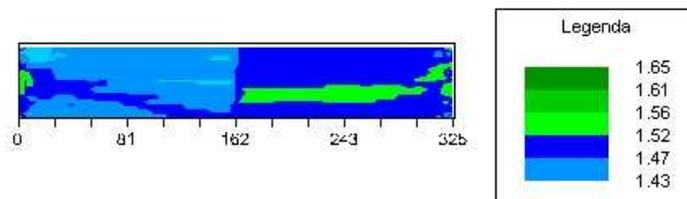
**Amostragem em março/04 na prof. 0-20 cm**



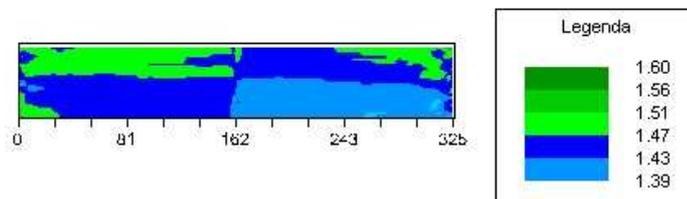
**Amostragem em março/04 na prof. 20-40 cm**



**Amostragem em julho/04 na prof. 0-20 cm**

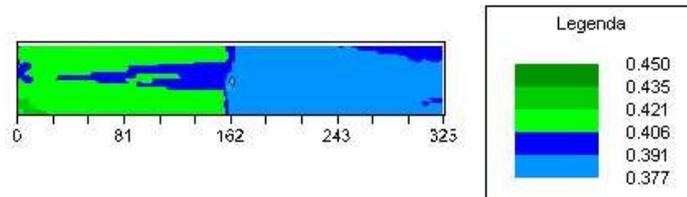


**Amostragem em julho/04 na prof. 20-40 cm**

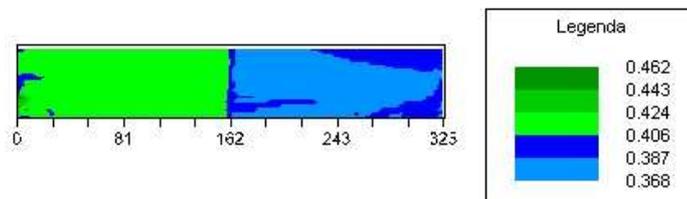


**Figura 30.** Distribuição espacial do atributo físico densidade aparente do solo nos períodos de amostragens de março e julho/04 em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm) no manejo com grade.

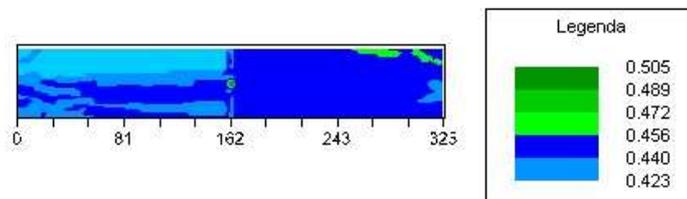
### Amostragem em março/04 na prof. 0-20 cm



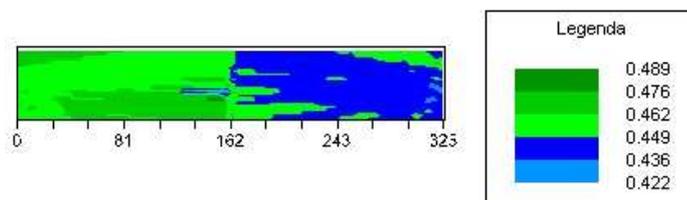
### Amostragem em março/04 na prof. 20-40 cm



### Amostragem em julho/04 na prof. 0-20 cm

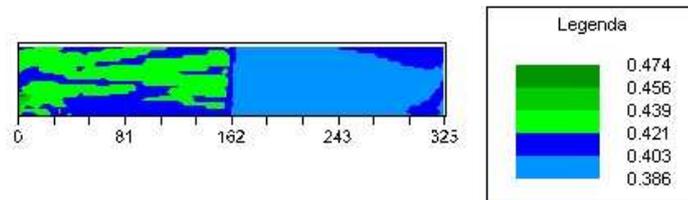


### Amostragem em julho/04 na prof. 20-40 cm

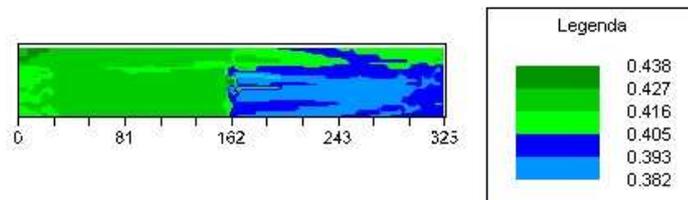


**Figura 31.** Distribuição espacial do atributo físico porosidade total do solo nos períodos de amostragens de março e julho/04 em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm) no manejo com herbicida.

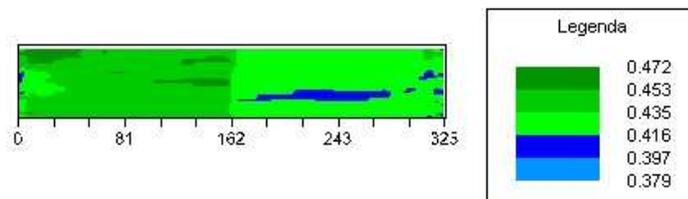
### Amostragem em março/04 na prof. 0-20 cm



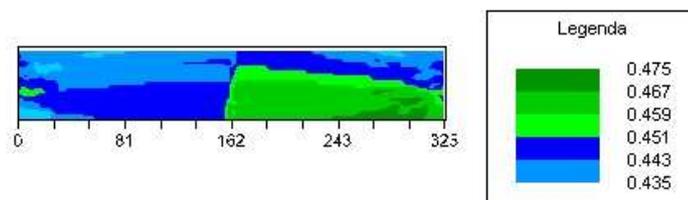
### Amostragem em março/04 na prof. 20-40 cm



### Amostragem em julho/04 na prof. 0-20 cm



### Amostragem em julho/04 na prof. 20-40 cm



**Figura 32.** Distribuição espacial do atributo físico porosidade total do solo nos períodos de amostragens de março e julho/04 em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm) no manejo com grade.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A arruação está sendo nociva ao cafeeiro, pois ao passar o arruador além de retirar a matéria orgânica da “saia” há o rompimento das radículas, uma vez que este implemento desloca até 5 cm de solo. O ideal seria colocar lonas plásticas sob a planta durante a derrriça, o que além de não interferir na matéria orgânica e nos atributos físicos do solo estaria também diminuindo gastos operacionais.

O controle químico de plantas espontâneas realizado na área, o qual aplica-se o herbicida e durante sua translocação faz-se a roçada não é muito recomendado pois além de desperdiçar produto e combustível há também a compactação do trator ao passar a roçadeira.

Embora o objetivo do trabalho não foi de avaliar metodologias observou-se que o método do cilindro de Kopecky é inadequado para solos com oscilações na umidade.

## **6. CONCLUSÃO**

-O uso da grade aliado ao intenso trânsito de máquinas e elevada umidade propiciou maior resistência à penetração no período de março nas duas profundidades avaliadas e em julho na camada de 20-40 cm na rodada do trator;

-Devido a arruação e o corte da irrigação no período de julho, os sistemas sequeiro e irrigado não apresentaram diferenças no teor de matéria orgânica;

-O modelo de semivariograma que melhor se ajustou foi o linear sem patamar (LSP), o qual indica que os valores estão em infinita dispersão.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACCHI, O.O.S. **Efeito da compactação sobre o sistema solo - planta em cultura de cana-de-açúcar (Saccharum spp)**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1976. 65p. (Dissertação, Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

BARCELOS, R A.; **Alterações físicas e químicas decorrentes de diferentes sistemas de uso e manejo do solo tendo em vista a sustentabilidade de agrossistemas em áreas de cerrado**. Universidade Federal de Uberlândia, 1997. 56 p. (Monografia).

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, v. 34, n. 9, p.1663-1667. set. 1999.

CAMBARDELLA, C. A., ELLIOT, E. T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 1, 123-130, 1994.

CARVALHO JUNIOR, I. A. DE. **Estimativas de parâmetros sedimentológicos para estudo de camadas compactadas e /ou adensadas em latossolo de textura média, sob diferentes usos**. 1995. 83f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) – UFV, Viçosa

CARVALHO JUNIOR, I. A. DE. **Estimativas de parâmetros sedimentológicos para estudo de camadas compactadas e/ou adensadas em latossolo de textura média, sob diferentes usos**. 1995. 83f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) – UFV, Viçosa.

CENTURION, J.; DEMATTÊ, J. L. I. Sistemas de solo de cerrado: efeitos das propriedades físicas na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 27, n. 2, p. 315-324, 1992.

CFSEMG- Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa, 1999. 359 p.

CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUCK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira Ciência do Solo, Campinas**, v 7, p.323-327, 1983.

CORÁ, J. E.; ARAÚJO, A . V.; PEREIRA, G. T.& BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana de açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1013-1021, 2004.

COSTA, L. M.; SEDIYAMA, C.S.; NOVAIS, R.F.; BRUNELI JR.,H.C.; FOGLI, M.G.R. Estudo do sistema radicular de cinco variedades de soja em solos com camadas compactadas na Fazenda Itamarati. In: ENCONTRO TÉCNICO SOBRE A CULTURA DA SOJA. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1984. p.113-4.

DANIEL, L. A & MARETTI, H. J. Avaliação de camada de solo compactada e análise de crescimento de plantas. In: SILVEIRA, G.M., coord. Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola, 4., Jundiaí, 1990. **Anais**. Campinas, Fundação Cargill, 1990. 22-23

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1982 – **Levantamento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro**. Bol. De Pesquisa, 1, Rio de Janeiro, 526 p.

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA SOLOS, 1999. 412p.

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

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) – Uberlândia.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa da região de cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. Campinas, SP, 2000. 85 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola-Área de concentração: Água e Solo) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo em um Latossolo Roxo**. Campinas, SP, 1996. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola-Área de concentração: Água e Solo) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

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

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O . A . & GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p.821-832, 2003.

MANTOVANI, E.V. Compactação do solo, máquinas e implementos agrícolas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, **13** (147). Manejo do Solo, Mar 1987, p.17-32.

MELO, V. F.; SILVA, J. R. C. Propriedades físicas de um Latossolo Amarelo Álico, em áreas sob cultivo e vegetação natural do cerrado. In: **Anais do XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 3, p. 1890-1892, 1995.

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**, 25: 531-538, 2001.

OLIVEIRA, Geraldo César de, DIAS JUNIOR, Moacir de Sousa, RESCK, Dimas Vital Siqueira et al.. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, fev. 2003, vol.38, no.2, p.291-299.

OLIVEIRA, J. O. A. P.; VIDIGAL FILHO, P. S.; TORMENA, C. A.; PEQUENO, MG.; SCAPIM, C.A; MUNIZ, A. S. & SAGRILLO, E. **Influências de preparo de solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz)**. R. Bras. Ci. Solo, 25:443-450, 2001.

PEDROTTI, A. & DIAS JÚNIOR, M. S. Compactação do solo: como evitá-la. **Agropecuária catarinense**, 9: 50-52, 1996.

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

STOLF, R. **Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.15, p . 229 – 235, 1991.

STONE, L.; SILVEIRA, P. M. **Efeitos de sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 25, p.395-401, 2001.

TORMENA, C. A. & ROLOFF, G. **Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto**. R. Bras. Ci. Solo, 20:333-339, 1996.

VACHAUD, G., PASSERAT, S. de, BALABANIS, P., VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science Society America Journal**. v. 49, p. 822-828, 1985.

VIERA, R.; GUIMARÃES, E. C.; DECHEN, S. C. F.; DE MARIA, I. C.; ROCHETE, P.; TOPP, G. C.; ZEBCHUUK, W. Analisando simultaneamente variabilidade espacial e temporal usando variogramas tridimensionais. In: XIII Congresso Latino Americano de Ciência do Solo- Resumos expandidos em CD-ROOM. T01-053. Águas de Lindóia, SP: SBCS/ESALQ-USP, 1996.

VIEIRA, S. R., HATFIELD, J. L., NIELSON, D. R., BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 31, n. 3, 1983.

VIEIRA, S. R.; DE MARIA, I.; LOMBARDI NETO, F.; DECHEN, S. C. F.; CASTRO, O. M. Caracterização da variabilidade espacial de propriedades físicas. In: LOMBARDI NETO, F.; CAMARGO, O. A. de coords. **Microbacias do córrego São Joaquim (Pirassununga, SP)**, Campinas, Instituto Agrônômico, 1991. P. 41-51 (Documentos IAC 29).