

ELDER SÂNZIO AGUIAR CERQUEIRA

VARIABILIDADES ESPACIAL E TEMPORAL DO TEOR DE ÁGUA DE UM
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB PLANTIOS CONVENCIONAL
E DIRETO DE FEIJÃO IRRIGADO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2004

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C416v
2004

Cerqueira, Elder Sânzio Aguiar, 1974-
Variabilidades espacial e temporal do teor de água de
um Argissolo Vermelho-Amarelo sob plantios convencio-
nal e direto de feijão irrigado. / Elder Sânzio Aguiar Cer-
queira. / Viçosa : UFV, 2004.
xi, 80f. : il. ; 29cm.

Orientador: Gutemberg Pereira Dias.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Agricultura de precisão - Variabilidade espacial. 2.
Agricultura de precisão - Variabilidade temporal. 3. Agri-
cultura de precisão - Geoestatística. 4. Feijão - Produtivida-
dade. 5. Solo - Teor de água. 6. Solo - Textura. I. Universi-
dade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 20.ed. 631.3

ELDER SÂNZIO AGUIAR CERQUEIRA

VARIABILIDADES ESPACIAL E TEMPORAL DO TEOR DE ÁGUA DE UM
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB PLANTIOS CONVENCIONAL
E DIRETO DE FEIJÃO IRRIGADO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 16 de fevereiro de 2004.

Prof. Dr. Nerilson Terra Santos
(Conselheiro)

Prof. Dr. José Eustáquio de S. Carneiro
(Conselheiro)

Prof. Dr. Mauro Aparecido Martinez

Dr. Reinaldo Lúcio Gomide

Prof. Dr. Gutemberg Pereira Dias
(Orientador)

“DAI-NOS SABEDORIA

Dai-nos forças, Senhor, para aceitar com serenidade tudo
o que não possa ser mudado.

Dai-nos coragem para mudar o que pode e deve ser mudado.

E dai-nos sabedoria para distinguir uma coisa da outra”.

OFEREÇO

À minha mãe Sebastiana e ao meu pai Lindomar, responsáveis por
todo esforço e dedicação para a minha formação pessoal e profissional.

Às minhas irmãs Cláudia, Lena e Lindiana e ao meu irmão Lindomar.

À minha sogra Maria do Carmo.

DEDICO

À minha querida esposa e amiga Nilce,
companheira de todas as horas, cujo
apoio foi fundamental para eu estar aqui.

À minha filha Laura, fonte de dedicação e
amor que sempre demonstrou a mim.

AGRADECIMENTO

A DEUS, em primeiro lugar, pela vida.

A toda a minha família, pelo apoio e incentivo ao longo da minha jornada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade de realização do Curso.

Ao Professor Gutemberg Pereira Dias, pela orientação, pela amizade e pelas críticas e sugestões valiosas durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Daniel Marçal de Queiroz, pela amizade, pelo apoio e incentivo ao meu trabalho e pelos preciosos conhecimentos, críticas e sugestões transmitidos no decorrer desta pesquisa.

Ao Professor Rubens Alves de Oliveira, pela amizade e pelas críticas e sugestões valiosas durante toda a execução deste trabalho.

Ao Professor José Eustáquio de Souza Carneiro, pelas excelentes críticas e sugestões.

Ao Professor Nerilson Terra Santos, pela amizade e pelas críticas e sugestões no decorrer deste estudo.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola, por participarem da minha formação acadêmica, transmitindo-me excelentes conhecimentos durante o Curso.

Ao meu amigo, colega e tio de consideração Edílson, pela amizade e pelo apoio e incentivo à minha carreira profissional.

Aos meus colegas e amigos de curso e a Renato, Gilton, Luizinho, Alcir, Leonardo, Darly, Elton, Jean e Murilo, do Laboratório de Mecanização Agrícola, pelo convívio, pelo companheirismo e pela ajuda nas avaliações dos trabalhos.

Aos meus amigos Júlio, Pedrinho, Elvis e Roberto, pelo auxílio na realização dos trabalhos de campo.

Aos meus amigos Marcelo Rossi, Lucimar, Flávio e Ismael, pelo apoio moral e ajuda na realização das análises.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, especialmente a Jurandir, Galinari, Marcelo, José Mauro e Juvercino, pela colaboração.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

ELDER SÂNZIO AGUIAR CERQUEIRA, filho de Lindomar Cerqueira e Sebastiana Alves de Aguiar Cerqueira, nasceu em Mortugaba, Bahia, em 23 de maio de 1974.

Em 1993, iniciou o Curso de Engenharia de Agrimensura na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, onde, durante a graduação, foi bolsista de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), graduando-se em março de 1999.

Em abril de 2002, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola da UFV, submetendo-se à defesa de tese em 16 de fevereiro de 2004.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Definição e breve histórico da agricultura de precisão.....	3
2.2. Irrigação por aspersão tipo pivô central	4
2.3. A geoestatística.....	6
2.4. Variabilidade espacial do teor de água e da textura do solo.....	15
2.5. A cultura do feijão	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1. Localização e caracterização da área experimental	19
3.2. A cultura	20
3.3. Análise exploratória de dados.....	22
3.3.1. Distribuição de freqüências e histograma	22
3.3.2. Análise descritiva e inferências clássicas	22
3.4. Amostras e determinações	25
3.4.1. Textura do solo	25
3.4.2. Teor de água no solo	26

	Página
3.4.3. Uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação	29
3.4.4. Produtividade de grãos do feijão.....	29
3.4.5. Correlação entre a produtividade da cultura e o teor de água no solo	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Análise exploratória dos dados e análise da variabilidade.....	32
4.1.1. Textura	32
4.1.1.1. Análise descritiva	32
4.1.1.2. Análise da variabilidade espacial da textura do solo.....	35
4.1.2. Teor de água no solo	41
4.1.2.1. Análise descritiva	41
4.1.2.2. Análise da variabilidade espacial do teor de água no solo.....	44
4.1.2.3. Análise da variabilidade temporal do teor de água no solo.....	54
4.1.3. Produtividade	54
4.1.3.1. Análise descritiva	54
4.1.3.2. Análise da dependência espacial da produtividade	55
4.2. Correlação do teor de água no solo com a produtividade.....	60
4.3. Considerações finais.....	61
5. CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
APÊNDICE	69
PÊNDICE A.....	70

RESUMO

CERQUEIRA, Elder Sânzio Aguiar, M. S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2004. **Variabilidades espacial e temporal do teor de água de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob plantios convencional e direto de feijão irrigado.** Orientador: Gutemberg Pereira Dias. Conselheiros: Daniel Marçal de Queiroz, José Eustáquio de Souza Carneiro, Nerilson Terra Santos e Rubens Alves de Oliveira.

Este trabalho teve por objetivo estudar as variabilidades espacial e temporal do teor de água de um Argissolo Vermelho-Amarelo irrigado por pivô central, bem como avaliar o efeito do teor de água no solo sobre a produtividade do feijoeiro, em plantios direto e convencional de feijão. Inicialmente, foi feita a caracterização da cobertura vegetal da área sob plantio direto, bem quanto a análise de textura do solo, totalizando 30 e 60 pontos amostrais nos plantios direto e convencional, respectivamente, mediante o uso de malha de 15,00 por 15,00 m. Para a determinação do teor de água no solo, foram feitas amostragens de três em três dias, em uma malha de 10,00 por 10,00 m, com o total de 69 e 136 pontos nos plantios direto e convencional, respectivamente, totalizando 5.330 pontos amostrados em 26 dias. A produtividade do feijão foi avaliada em uma malha de 20,00 por 20,00 m, num total de 13 e 26 pontos nos plantios direto e convencional, respectivamente. As análises das frações granulométricas do solo permitiram caracterizá-lo, nos dois sistemas de plantio, como de textura argilosa. O alcance encontrado foi de

87,60; 80,80; e 87,30 m, em argila, silte e areia, respectivamente, no plantio convencional; e 64,66; 44,40; e 227,70 m, em argila, silte e areia, respectivamente, no plantio direto. Verificou-se que os modelos ajustados e selecionados de semivariogramas, nos dois sistemas de plantio, com exceção da variável areia, no plantio direto, foram os mesmos, evidenciando que a estrutura de variação no espaço é similar em todas as granulometrias, com forte grau de dependência espacial. Para a análise do teor de água no solo, foram consideradas as seguintes fases de desenvolvimento da cultura do feijão: V1 – Emergência, V3 – Primeira folha trifoliolada, R6 – Floração, R8 – Enchimento das vagens e R9 – Maturação fisiológica. O melhor ajuste dos modelos aos semivariogramas foi o esférico, em ambos os sistemas de plantio, à exceção da fase R6, do plantio direto, que apresentou o modelo exponencial. Em uma análise conjunta dos alcances de todas as fases de desenvolvimento da cultura, o alcance variou de 68,50 a 78,30 m no plantio convencional e de 58,20 a 210,90 m no plantio direto, permitindo classificar como forte o grau de dependência espacial. Descartando-se a fase V1, os alcances variaram nas demais fases de 68,50 a 78,30 m no plantio convencional e de 100,00 a 210,90 m no plantio direto, indicando que inferências a respeito dessa variável devem considerar, além do sistema de manejo empregado, a variação espacial desse atributo nas fases de desenvolvimento da cultura. A análise da produtividade apresentou melhor ajuste do modelo ao semivariograma, nos plantios convencional e direto; o modelo esférico, com alcance da ordem de 45,70 e 56,60 m, respectivamente, permitiu classificar como forte o grau de dependência espacial. A correlação entre a produtividade e o teor de água no solo nas fases R6 e R8, nos dois sistemas de plantio, apresentou-se baixa. Em face das metodologias empregadas neste trabalho, os resultados permitiram as seguintes conclusões: a) a dependência espacial das variáveis textura, teor de água no solo e produtividade ocorreu nos dois sistemas de plantio; b) identificou-se uma estabilidade na variabilidade temporal do teor de água no solo, nos dois sistemas de plantio; e c) a correlação entre a produtividade e o teor de água no solo, nos dois sistemas de plantio, foi baixa, verificando-se que a água não foi o fator limitante da produtividade.

ABSTRACT

CERQUEIRA, Elder Sânzio Aguiar, M. S., Universidade Federal de Viçosa February, 2004. **Space-time variabilities of water content in a Red-Yellow Argissol under conventional and no-tillage cultivation of irrigated bean.** Adviser: Gutemberg Pereira Dias. Committee Members: Daniel Marçal de Queiroz, José Eustáquio de Souza Carneiro, Nerilson Terra Santos and Rubens Alves de Oliveira.

The objective of this work was to study the space-time variabilities of water content in a red-yellow argissol center pivot irrigated, as well as to evaluate the effect of water content on the soil and yield in conventional and no-tillage bean cultivation. Initially, the vegetable cover characterization of the area in no-tillage system was carried out, as well as the soil texture analysis, totaling 30 and 60 sample locations in no-tillage and conventional systems, respectively, on a 15 m square grid. To determine soil water content, samplings were collected every three days, on a 10 m square grid, yielding a total of 69 and 136 locations in no-tillage and conventional systems, respectively, totaling 5,330 locations sampled in 26 days. Bean yield was evaluated on a 20 m square grid, yielding a total of 13 and 26 locations in no-tillage and conventional systems, respectively. The granular fraction analyses classified the soil as clay in the two cultivating systems. The range found was 87.6; 80.8; and 87.3 m, for clay, silt and sand, respectively, for conventional system and 64.66; 44.4; and 227.7 m, for clay, silt and sand, respectively, for no-tillage system. It was

verified that the fitted and selected semivariogram models in the two cultivating systems, except for the variable sand in no-tillage, were the same, showing that the structure of variation in the space is similar in all the granulometries, with high level of spatial dependence. For the soil water content analysis, the following stages of bean crop development were considered: V1 – Emerge \nce, V3 – First trifoliolate leaf, R6 – Flowering, R8 – Pod-fill and R9 – Physiological maturation. The best fit to the semivariograms was the spherical model in both cultivating systems, except stage R6 in no-tillage that fitted to a exponential model. A grouped analysis showed that the ranges of all stages of crop development varied from 68.5 to 78.3 m in no-tillage and from 58.2 to 210.9 m in the conventional system, which is classified as high level of spatial dependence. Stage V1 apart, the ranges in the other stages varied from 68.5 to 78.3 m in the conventional system and from 100 to 210,9 m in no-tillage, indicating that inferences regarding this variable should consider, besides cultivation system, the spatial variation of this attribute in the stages of development. Yield analysis gave the spherical model the best fit to the semivariogram in the conventional and no-tillage systems; reaching 45.7 and 56.6 m, respectively, classifying spatial dependence as high level. The correlation between yield and soil water content in stages R6 and R8 was low in the two systems. The results obtained permitted the following conclusions: a) spatial dependence of variables texture, soil water content and yield occurred in both systems; b) it was verified a stability in time variability of soil water content in the two systems; c) and correlation between yield and soil water content was low in the two systems, showing that the water was not the yield limiting factor.

1. INTRODUÇÃO

A água é o insumo mais importante na produção agrícola, posto ser necessária em todos os processos fisiológicos e bioquímicos da planta, sendo essa atividade, atualmente, a maior usuária da água dentre as atividades humanas. Seu uso na irrigação tem contribuído para reduzir os riscos de frustração de safra e estimulado os produtores a investir cada vez mais no setor. A aplicação de água na quantidade adequada para atender às necessidades da cultura é importante, pois, se aplicada em quantidade insuficiente, resulta em estresse hídrico e, em excesso, pode ocasionar perdas por escoamento superficial e por percolação, redundando em baixa eficiência de aplicação, ou lixiviação excessiva de nutrientes ou problemas de drenagem, criando um ambiente favorável ao desenvolvimento de doenças, com conseqüências na qualidade e produtividade da lavoura.

Na agricultura irrigada, uma das formas de se alcançar a produtividade desejada, além da economia de água e energia, é buscar uma metodologia em que o manejo da irrigação possa ser feito por meio da determinação do teor de água no solo, na camada explorada efetivamente pelo sistema radicular das plantas. Nesse caso, a quantidade de água necessária à cultura é mensurada a partir do teor de água já existente no solo no momento da irrigação.

No acompanhamento do teor de água para o manejo da irrigação, é importante levar em conta o número de amostragens, considerando-se o custo, a exatidão e o tempo necessários para sua mensuração, já que a retenção de

água no solo pode variar muito, até mesmo dentro do mesmo tipo de solo, em face das diversas propriedades físicas que determinam a proporção e a distribuição de seus macro e microporos.

O solo, por mais uniforme que seja em sua aparência, pode apresentar grandes variações em suas propriedades físico-químicas (ALVAREZ e CARRARO, 1976). Portanto, deve-se adotar uma metodologia de coleta de dados que permita qualificá-lo ao longo da área de interesse.

A aplicação de água na cultura, de acordo com a necessidade de cada parcela, em razão da variabilidade do teor de água no solo, pode propiciar a obtenção de maior produtividade, eficiência de uso de água e retorno econômico. No entanto, a maioria dos manejos de sistemas de irrigação não leva em consideração essa variabilidade, aplicando, geralmente, a mesma lâmina de água em toda a área a ser irrigada. O estudo da variabilidade espacial da água no solo poderia, portanto, permitir manejo mais adequado e a manutenção do seu teor sempre num intervalo em que não ocorra consumo excessivo de energia por parte da planta para extraí-la do solo.

Para o estudo de distribuição espacial, a estatística clássica não é apropriada, pois considera que todas as observações são independentes entre si. Nesse caso, o uso da geoestatística tem sido fundamental, pois leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial entre as observações.

O estudo da variabilidade espacial do teor de água no solo, utilizando semivariogramas e krigagem, é uma importante ferramenta para promover melhor manejo do sistema de irrigação. Isso permitiria evitar desperdício de água, reduzir o consumo de energia e obter melhor produção da cultura explorada no local. Assim, esta pesquisa objetivou, sob condições de dois sistemas de plantio, convencional e direto: (i) identificar e analisar as distribuições espacial e temporal do teor de água e apenas a espacial das frações granulométricas de um Argissolo Vermelho-Amarelo, cultivado com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), irrigado por pivô central; e (ii) avaliar a correlação do teor de água no solo com a produtividade do feijoeiro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Definição e breve histórico da agricultura de precisão

A agricultura de precisão é definida como um conjunto de tecnologias e procedimentos utilizados que permitem a otimização no gerenciamento dos sistemas de produção, tendo como elemento-chave o gerenciamento das variabilidades espacial e temporal de produção e os fatores a ela relacionados (SHIRATSUCHI, 2001).

Um dos primeiros trabalhos de tratamento diferenciado das áreas agrícolas foi conduzido pelos pesquisadores Linsley e Bauer (1929), quando realizaram o tratamento localizado da correção do pH em uma área de 17 ha, com base em dados de 23 amostras de solo ordenadamente coletadas (MOLIN, 1997).

Com o advento da mecanização agrícola, os tratamentos culturais foram uniformizados, o mesmo ocorrendo no sistema de plantio e na colheita. Atualmente, o manejo mecanizado, que pode ser considerado convencional, define uma única prática em toda a área de cultivo, normalmente áreas grandes, sem considerar as variações de fertilidade do solo, desenvolvimento de plantas, índice de infestações de pragas ou doenças ou, mesmo, produtividade (SILVA et al., 2003).

A partir de 1980, a agricultura de precisão progrediu com conjuntos de ferramentas e técnicas de produção, tornando-se disponíveis para a agricultura

com inovações tecnológicas, como o Sistema de Posicionamento Global (GPS), monitoramento de colheita, programas de computador para mapeamento e armazenamento de dados e aplicação de insumos a taxas variáveis.

Para identificar e tratar a variabilidade dos dados na escala recomendada, diferentes tecnologias usadas como ferramentas na agricultura de precisão é que orienta e direciona a aquisição e manipulação de uma quantidade muito maior de dados para a tomada de decisão do que a agricultura tradicional (SARAIVA et al., 1998).

A agricultura de precisão resume-se na aquisição e uso racional de informações obtidas a partir de equipamentos de alta tecnologia, visando ao aumento de produtividade com o menor impacto possível ao meio ambiente (MACHADO, 2000).

2.2. Irrigação por aspersão tipo pivô central

A irrigação vem se tornando sinônimo de eficiência produtiva num ambiente em que a competitividade está cada vez mais acirrada. A implantação dessa tecnologia, com base em eficiência econômica, busca minimizar os danos ao meio ambiente. Seu uso, tanto do ponto de vista quantitativo quanto do qualitativo, quase sempre significa um salto tecnológico do padrão de produção em todos os aspectos.

No Brasil, seu uso vem se intensificando cada vez mais pela ampliação e aprimoramento de técnicas em nosso horizonte agrícola. Ainda assim, a grande maioria dos usuários da agricultura irrigada não adota qualquer estratégia de uso e manejo racional da água de irrigação.

Em geral, segundo Espindula Neto (2002), o manejo da irrigação vem sendo feito de forma empírica pelo produtor rural, cuja consequência e a aplicação de água tanto em excesso quanto em falta, acarretando prejuízos por refletir na produtividade e rentabilidade da cultura.

Considerando-se a preocupação crescente com a escassez de água e a necessidade premente de economia tanto de água quanto de energia, atualmente os produtores se defrontam com o desafio de continuar a

desempenhar seu importante papel socioeconômico com maior racionalidade no uso dos recursos naturais (ESPINDULA NETO, 2002).

O pivô central é um equipamento de irrigação por aspersão que possui movimento circular, sendo constituído por uma linha lateral dotada de tubos de aço e aspersores, suportada por torres com rodas, nas quais operam dispositivos de propulsão do sistema, imprimindo à linha um movimento de rotação, em torno de um ponto ou pivô, que lhe serve de ancoragem (BERNARDO, 1995).

O alto consumo de energia e o fato de somente irrigar áreas circulares são as principais desvantagens deste sistema; suas principais vantagens são a alta eficiência e uniformidade de aplicação e a economia de mão-de-obra na irrigação de áreas extensas. Nesse sistema, o coeficiente de uniformidade de aplicação de água atinge valores superiores a 85%, e, quando bem dimensionado e operado, esse limite ultrapassa os 90%. No entanto, se o equipamento não for bem dimensionado e operado, pode apresentar uniformidade de aplicação inferior a 70%, chegando até mesmo a diminuir o rendimento da cultura sob ele instalada (CUNHA, 2000).

O parâmetro mais usado para descrever a uniformidade da irrigação é o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen – CUC, recomendado por Christiansen em 1942, o qual avalia a uniformidade de aplicação de água com base na média dos desvios absolutos em relação à média dos valores obtidos de precipitação (BONOMO, 1999). A equação que determina o CUC é:

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |L_i - \bar{L}|}{n\bar{L}} \right) \quad (1)$$

em que CUC é o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, em%; L_i , a precipitação coletada nos pluviômetros de ordem i , em mm; \bar{L} , a precipitação média coletada, em mm; e n , o número de observações.

Na aplicação da Equação 1, considera-se que cada coletor representa áreas iguais, uma vez que foi desenvolvido para sistemas de aspersão convencional. Isso não ocorre em dados coletados sob um sistema tipo pivô central, no qual os coletores são equidistantemente espaçados ao longo de

uma linha radial que parte do ponto central (pivô) para a extremidade. Dessa forma, Heermann e Hein (1968), citados por Bonomo (1999) e Tarjuelo et al. (1999), redefiniram o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen para sistemas tipo pivô central, ponderando as lâminas coletadas em relação à área representada por cada coletor, segundo a equação ajustada:

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\left| \frac{\sum_{i=1}^n S_i L_i - \frac{\sum_{i=1}^n L_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}}{\sum_{i=1}^n L_i S_i} \right|}{\sum_{i=1}^n L_i S_i} \right) \quad (2)$$

em que S_i é a distância do centro de rotação ao ponto i , em m.

Bernardo (1995) orientou, com o intuito de facilitar o cálculo do “CUC”, a utilização da equação básica de Christiansen (1942) apenas alterando a precipitação média coletada (\bar{L}) por precipitação média ponderada \bar{X} , considerando como fator de ponderação o número de ordem dos coletores.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n Nc_i} \quad (3)$$

em que V_i é o volume ponderado, em mL; e Nc_i é o número de ordem do coletor i .

2.3. A geoestatística

As ferramentas da análise exploratória (média, variância, desvio-padrão, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo, coeficiente de assimetria e curtose) não são suficientes para descrever a variabilidade espacial, pois não consideram as posições das amostras no campo (ORTIZ, 2002). Segundo Gonçalves et al. (1999), nessa situação são usadas as

ferramentas geoestatísticas, pois permitem não só avaliar e modelar a estrutura de dependência espacial, tornando possível o mapeamento das propriedades do solo na área por meio de interpolação geoestatística, mas também avaliar e descrever a correlação espacial entre propriedades.

Segundo Ortiz (2002), estudos que se utilizam da geoestatística para caracterizar a variabilidade de solos têm se tornado cada vez mais freqüentes e são encontrados em literaturas de forma sistemática. Além de caracterizar uma região, o conhecimento da variabilidade de um solo pode indicar a quantidade e a distribuição de amostras a serem retiradas, possibilitando melhor detalhamento da área e dos resultados.

A adoção dos procedimentos geoestatísticos e sua justificativa têm como base o entendimento e o tratamento da variável. Para a aplicação desses procedimentos, é fundamental a compreensão dos instrumentos e conceitos utilizados, como: estacionaridade, modelagem da estrutura da dependência espacial e verificação da distribuição espacial da variável com obtenção de mapas que representem os valores da propriedade em estudo na área.

Segundo Guimarães (2000), uma variável aleatória pode ser entendida como uma medida de particularidade que se espera variar de acordo com alguma lei de distribuição de probabilidade, sendo caracterizada por parâmetros da distribuição (média, variância etc.). Guimarães (2000) acrescentou que, quando a variável aleatória assume diferentes valores em função da localização onde é amostrada no campo, caracteriza-se uma variável regionalizada, e, considerando o conjunto de todas as possíveis realizações da variável aleatória em todos os locais do campo, tem-se uma função aleatória.

De acordo com Zimback (2003), supondo que $Z(x)$ representa o valor da variável para o local x , em que x é o vetor de coordenadas (x,y) e $Z(x+h)$ representa o valor da mesma variável para alguma distância h , em qualquer direção, o variograma resume a continuidade espacial para comparação de dois valores e para todos os h significativos.

Segundo David (1977), citado por Guimarães (2000), se a esperança da variável aleatória for igual à média (μ) e se a variância for finita, sendo $Z(x)$ uma realização Z da variável x , a esperança matemática é definida como: $E[Z(x)] = \mu$. Uma função aleatória $Z(x)$ é estacionária de segunda ordem se:

- a) O valor esperado $E[Z(x)]$ existir e não depender da posição x , ou seja, para qualquer x dentro da área S .
- b) Para cada par de variáveis aleatórias, $[Z(x), Z(x+h)]$, a função co-variância, $C(h)$, existir e for função de h , para qualquer x dentro da área S , em que:

$$C(h) = E[Z(x) Z(x+h)] - \quad (4)$$

Da Equação (4), tem-se que a co-variância só depende da distância h , e uma variável aleatória é uma função intrínseca se:

$$E[Z(x)] =$$

$$\text{VAR} [Z(x) - Z(x+h)] = E[Z(x) - Z(x+h)]^2 = 2\gamma(h) \quad (5)$$

Observa-se que a variância é igual a $2\gamma(h)$, surgindo daí o nome de semivariância para a notação $\gamma(h)$. Então:

$$2\gamma(h) = E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (6)$$

A hipótese intrínseca é a mais freqüentemente usada em geoestatística, sobretudo por ser a menos restritiva.

A função $\gamma(h)$ é o semivariograma, e a razão para o prefixo "semi" é que a Equação (6) pode ser escrita na forma (FREITAS, 2000):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (7)$$

O semivariograma é uma das ferramentas da geoestatística utilizada para determinar a variabilidade espacial de atributos do solo. Portanto, se a hipótese de estacionaridade de segunda ordem puder ser satisfeita, a co-variância $C(h)$ e o variograma $2\gamma(h)$ são ferramentas equivalentes para caracterizar a dependência espacial.

Vieira et al. (1983) afirmaram que a dependência espacial entre as observações pode ser expressa através do momento de inércia, estimado pela seguinte equação:

$$\hat{g}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (8)$$

em que $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separado pela distância h , se a variável for escalar.

Na Figura 1 é apresentado um semivariograma típico, no qual os principais parâmetros associados são o efeito pepita (C_0), o patamar (C_0+C_1) e o alcance (a).

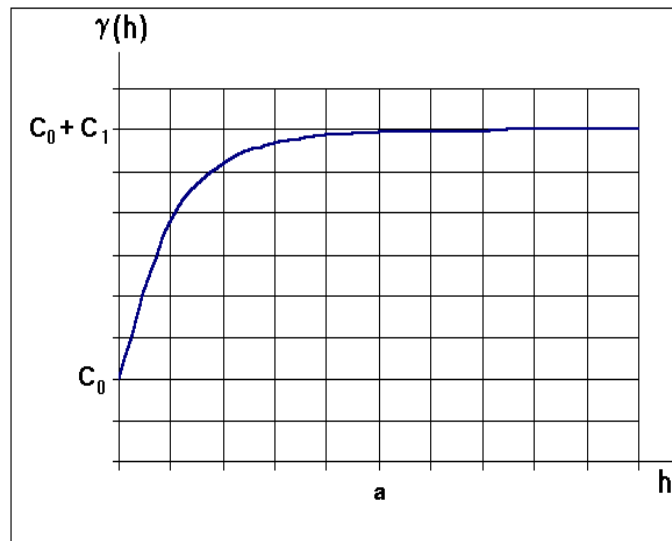


Figura 1 – Semivariograma típico mostrando os valores do efeito pepita (C_0), do patamar (C_0+C_1) e do alcance (a).

O parâmetro C_0 , denominado efeito pepita, representa as microestruturas não captadas pela menor escala da amostragem, por erros de amostragem, de análises laboratoriais etc.; C_0+C_1 , denominado patamar, é o valor no qual o semivariograma se estabiliza e é uma estimativa da variância da população; “ a ”, denominado alcance, é a amplitude de dependência e indica a distância abaixo da qual as amostras têm uma autocorrelação espacial, ou seja, é a zona de dependência espacial de uma amostra, marcando a distância a partir da qual as amostras se tornam independentes.

Segundo Trangmar et al. (1985), quando o Efeito Pepita (C_0) for aproximadamente igual ao Patamar (C_0+C_1), denomina-se Efeito Pepita Puro, demonstrando que a amostra não recebe influência espacial.

Cambardella et al. (1994), estudando o comportamento de inúmeros semivariogramas, determinaram faixas de dependência espacial que permitem verificar o grau de dependência espacial de determinada variável em função da relação entre o intercepto ou efeito pepita (C_0) e o patamar (C_0+C_1). Eles propuseram intervalos para o uso do percentual da semivariância do efeito pepita para mensurar a dependência espacial, denominado IDE (Índice de Dependência Espacial), que são os seguintes: IDE $\leq 25\%$ – forte dependência espacial; IDE entre 25 e 75% – moderada dependência espacial; e IDE $> 75\%$ – fraca dependência espacial. O IDE é expresso pela equação:

$$IDE = \frac{C_0}{C_0 + C_1} \cdot 100 \quad (9)$$

Para a modelagem do semivariograma (Gráfico 1), todos os dados são pareados em todas as combinações possíveis e agrupados dentro de classes de distâncias e direções aproximadamente iguais. Esses processos são efetuados na “Análise do Semivariograma”, na qual são construídos os semivariogramas experimentais, sendo neles verificada a possibilidade de as variáveis estudadas possuírem a propriedade de anisotropia, que é a não-homogeneidade das distribuições das variâncias em ângulos diferentes no espaço. Quando o semivariograma é isotrópico, apenas um (o unidirecional) é suficiente para descrever a variabilidade da variável no campo (ZIMBACK, 2003).

Ainda segundo Zimback (2003), os modelos teóricos de semivariogramas são superpostos à seqüência de pontos obtidos no variograma experimental, de modo que a curva que melhor se ajusta aos pontos obtidos representasse a magnitude, o alcance e a intensidade da variabilidade espacial da variável estudada.

Os modelos de semivariograma mais utilizados são o esférico, o exponencial, o gaussiano, o linear e o linear com patamar.

Nos modelos seguintes, C_0 é o efeito pepita, $C_0 + C_1$ o patamar, h a distância entre as amostras e a o alcance do semivariograma. Esses modelos são representados pelas seguintes equações:

a) Modelo esférico

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left(1,5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0,5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right) & \text{se } 0 < h \leq a \\ C_0 + C_1 & \text{se } h > a \end{cases} \quad (10)$$

O modelo esférico é obtido selecionando-se os valores do efeito pepita, C_0 , e do patamar, $C_0 + C_1$, passando-se depois uma reta que intercepte o eixo-y em C_0 e seja tangente aos primeiros pontos próximos de $h=0$. Essa reta cruzará o patamar a distância, $a'=2/3 a$. Assim, o alcance, a , será $a=3/2 a'$. O modelo esférico é linear até aproximadamente $1/3 a$, estando a representação gráfica desse modelo na Figura 2.

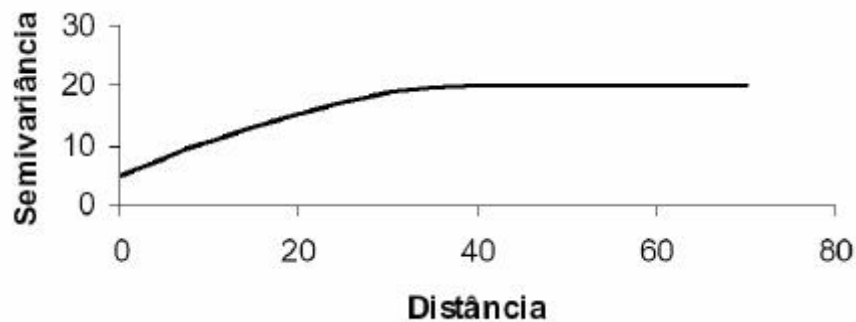


Figura 2 – Semivariograma esférico.

b) Modelo exponencial

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(1 - \exp \left(-\frac{3h}{a} \right) \right) \quad \text{se } 0 < h < d \quad (11)$$

em que d é a máxima distância na qual o semivariograma é definido.

Uma diferença fundamental entre o modelo exponencial e o esférico é que o exponencial atinge o patamar apenas assintoticamente, enquanto o modelo esférico o atinge no valor do alcance. O parâmetro a é determinado visualmente como a distância após a qual o semivariograma se estabiliza. Os parâmetros C_0 e C_1 para os modelos exponencial e gaussiano são determinados da mesma maneira que para o esférico. A representação gráfica desse modelo encontra-se na Figura 3.

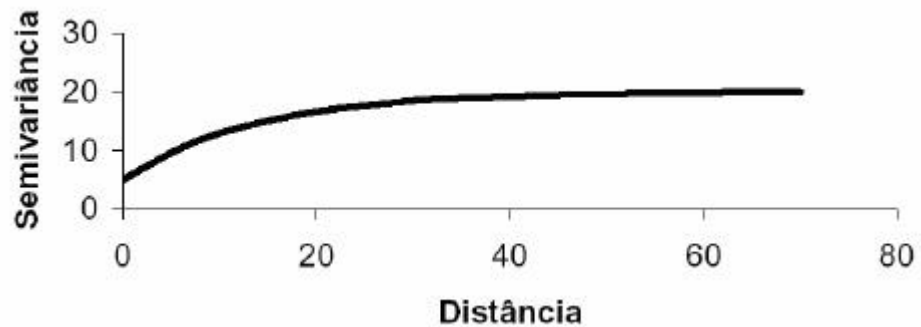


Figura 3 – Semivariograma exponencial.

c) Modelo gaussiano

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(1 - \exp\left(-\frac{3h^2}{a^2}\right) \right) \quad \text{se } 0 < h < d \quad (12)$$

A representação gráfica desse modelo está na Figura 4.

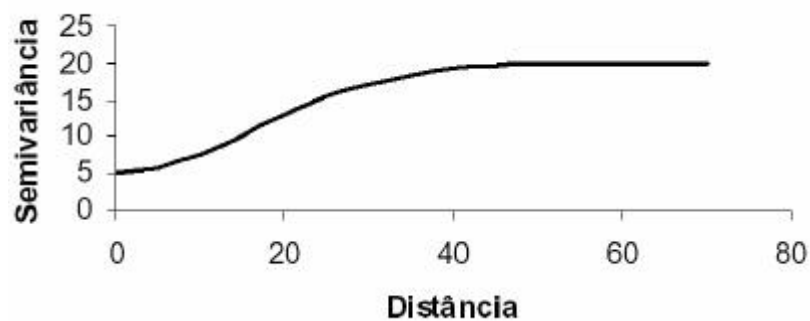


Figura 4 – Semivariograma gaussiano.

d) Modelo linear

$$\gamma(h) = C_0 + C_1|h| \quad \text{se } 0 < h \leq a \quad (13)$$

Esse modelo corresponde a fenômenos que têm uma capacidade infinita de dispersão, por isso não apresenta variância finita e a co-variância não pode ser definida. A representação gráfica desse modelo encontra-se na Figura 5.

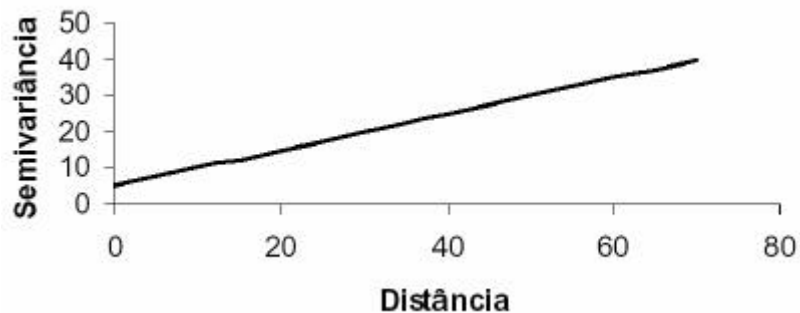


Figura 5 – Semivariograma linear.

e) Modelo linear com patamar

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + \frac{C_1}{ah} & \text{se } 0 < h \leq a \\ C_0 + C_1 & \text{se } h > a \end{cases} \quad (14)$$

em que C_1/a é o coeficiente angular para $0 < h < a$.

Nesse modelo, o patamar é determinado por inspeção; o coeficiente angular, C_1/a , é determinado pela inclinação da reta que passa pelos primeiros pontos de $\gamma(h)$, dando-se maior peso àqueles que correspondem a maior número de pares; o efeito pepita, C_0 , é determinado pela intersecção da reta no eixo $\gamma(h)$; o alcance, a , é o valor de h correspondente ao cruzamento da reta inicial com o patamar; e $C_1 = \text{patamar} - C_0$. A representação gráfica desse modelo encontra-se na Figura 6.

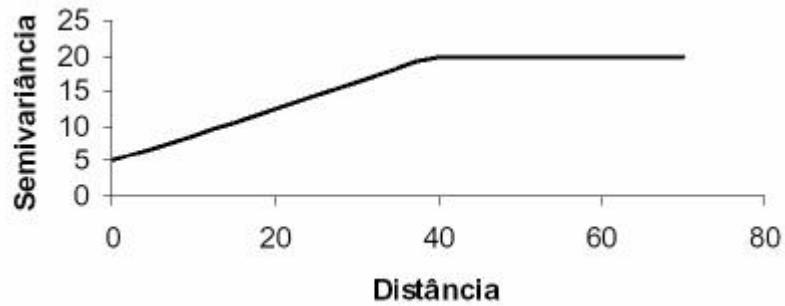


Figura 6 – Semivariograma linear com patamar.

Um dos objetivos da modelagem do semivariograma é a obtenção de estimativas em locais não amostrados para, por exemplo, gerar os mapas de variabilidade espacial.

Diversos métodos são usados para interpolação, como o método da triangulação, o método dos polígonos, o método do inverso da distância e o método do vizinho mais próximo. Entretanto, a maioria desses métodos não fornece o algoritmo dos erros associados aos resultados obtidos, o que, efetivamente, é fornecido pelo método geoestatístico da krigagem, segundo um modelo contínuo da variação espacial (ZIMBACK, 2003).

Vieira et al. (1983) definiram krigagem como uma técnica de estimação de valores de uma variável aleatória em locais não amostrados, usando parâmetros dos semivariogramas e o conjunto inicial de valores experimentais.

Segundo Rossi et al. (1994), três características da krigagem a distinguem dos outros métodos de interpolação. São elas: pode fornecer uma estimativa que é maior ou menor do que os valores da amostra, sendo as técnicas tradicionais restritas à faixa de variação das amostras; tem a vantagem de usar a distância e a geometria (relação de anisotropia) entre as amostras, enquanto os métodos tradicionais usam distâncias euclidianas para avaliar as amostras; e, diferentemente dos métodos tradicionais, a krigagem leva em conta a minimização da variância do erro esperado, por meio de um modelo empírico da continuidade espacial existente ou do grau de dependência espacial com a distância ou direção.

Para a comparação dos métodos de interpolação, alguns critérios são utilizados, por exemplo, quadrado médio do erro, quadrado da soma dos erros

e coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados obtidos pela validação cruzada (cross-validation) (ZIMBACK, 2003).

O processo de validação cruzada, de acordo com Myers (1997), citado por Zimback (2003), é bastante simples: remove-se um dado do conjunto de dados amostrais, e, usando um estimador e função ponderada relacionada com a distância, estima-se o valor retirado, utilizando as amostras remanescentes. Têm-se, agora, dois valores para o mesmo ponto, o real e o estimado. O erro da estimação pode ser calculado pela diferença entre o valor real e o estimado, sendo repetido em cada local amostrado.

As principais etapas a serem seguidas na análise da variabilidade espacial são: (i) análise exploratória dos dados (média, variância, desvio-padrão, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo, coeficiente de assimetria e curtose), após a verificação e exclusão de dados atípicos existentes; (ii) análise da semivariância por meio dos semivariogramas e ajuste de modelos pela análise da validação cruzada; (iii) interpolação por "krigagem" utilizando os parâmetros dos modelos ajustados; e (iv) construção de mapas com a superfície dos dados estimados.

2.4. Variabilidade espacial do teor de água e da textura do solo

O solo é um corpo natural e complexo, resultante da interação dos seus fatores de formação, como material de origem, clima, organismos, relevo e tempo, que o torna um sistema dinâmico e variável, fundamental para a sustentação das diversas formas de vida do Planeta. Os processos de formação determinam, portanto, as características químicas, físicas e biológicas do solo, conferindo-lhe variabilidade espacial elevada (MELO FILHO, 2002).

Gajem et al. (1981), usando espaçamento amostral de 2 m, identificaram modelos para os semivariogramas das umidades referentes às tensões de 0,01 e 1,5 MPa, com alcance da ordem de 30 m.

Carvalho (1991), citado por Guimarães (2000), informou que as propriedades relacionadas ao movimento da água no solo, como a condutividade hidráulica, seguem uma distribuição de probabilidade log-normal,

devido à grande variabilidade espacial dessas propriedades, requerendo, portanto, grande número de amostras para uma adequada caracterização.

Cadima et al. (1980), citados por Guimarães (2000), determinaram a condutividade hidráulica em função da umidade do solo para um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média. Utilizando a estatística descritiva, encontraram expressiva variabilidade dos dados, sendo, portanto, possível incorrer em erros consideráveis, quando se estimam fluxos de água nesse solo a partir de valores médios.

Gonçalves e Folegatti (1995), em pesquisas sobre a variabilidade espacial de uma Terra Roxa Estruturada, com o uso de irrigação, ajustaram modelos de semivariogramas com alcance de 30 m para a areia e a argila e 10 m para o silte.

Chen et al. (1995) concluíram que se deve considerar a variabilidade espacial no planejamento experimental para estimativas do número de amostras de umidade do solo.

Utilizando o conceito de estabilidade temporal da umidade do solo, Vachaud et al. (1985) verificaram que locais de ocorrências de valores máximos, mínimos e médios são praticamente coincidentes com o decorrer do tempo. O conhecimento da estabilidade temporal pode reduzir o esforço de amostragem da variável.

Or e Hanks (1992), citados por Gonçalves (1997), estudaram o efeito de um sistema de irrigação localizada com taxa de aplicação variável no espaço sobre a produção. A umidade do solo, a altura da cultura e a produção exibiram estrutura espacial semelhante à aplicação de água, sendo a variabilidade da produção menor que a variabilidade da irrigação. Os autores concluíram que os métodos de manejo de irrigação devem considerar a variabilidade do solo e a uniformidade de irrigação.

De acordo com Warrick e Nielsen (1980), citados por Gonçalves (1997), conforme a propriedade do solo considerada, o coeficiente de variação (CV) pode variar de valores menores que 10 a maiores que 100%. De modo geral, a condutividade hidráulica saturada tem gerado CV de 100 a 200%. Frações granulométricas têm apresentado CV entre 10 e 100% e umidade a uma dada tensão, CV da ordem de 10 a 50%. Os referidos autores concluíram que a classificação da dispersão das propriedades do solo pode ser expressa

pelo coeficiente de variação, em três níveis: baixa variação ($CV < 12\%$), média ($12\% < CV < 80\%$) e alta ($CV > 80\%$).

Libardi et al. (1986) trabalharam com amostras retiradas a cada 0,5 m, ao longo de uma transecção de 150 m, buscando avaliar a variação espacial da umidade e da textura. Concluíram, a partir da análise dos semivariogramas, que os valores de alcance foram de 16 m para umidade, 15 m para argila, 10 m para areia e 40 m para silte.

Segundo Guimarães (2000), Vieira (1997), utilizando dados de teores de argila e silte e atributos químicos de um Latossolo Roxo, verificou que, na camada de 0-25 cm, os coeficientes de variação foram mais altos do que na camada de 25-50 cm. Ele fez uma suposição de que isso pode ter ocorrido devido às alterações impostas pelo cultivo. Nesse mesmo trabalho, o autor ajustou semivariogramas para as variáveis pesquisadas, detectando-se a dependência espacial.

Vauclin et al. (1983) estudaram a variação espacial das frações texturais, conteúdo de água disponível e água armazenada a 0,033 MPa, considerando o limite superior da faixa de água disponível para as plantas. Verificaram que todas as propriedades apresentaram dependência espacial, com alcances entre 25 e 50 m.

Gonçalves (1997), estudando o solo Podzólico Vermelho-Escuro, obteve, para uma malha de 20 por 20 m, coeficientes de variação de 17,30, 12,80 e 24,00 m para argila, silte e areia, respectivamente.

2.5. A cultura do feijão

O feijão apresenta um consumo médio de 2.950 t por ano ou 18 kg por habitante por ano (CONAB, 2001) e é um dos mais importantes constituintes da dieta do brasileiro, por ser excelente fonte protéica, além de possuir bom conteúdo de carboidratos e ser rico em ferro. Além de sua relevância na dieta do brasileiro, é um dos produtos agrícolas de maior importância econômico-social, em razão da grande área cultivada e da mão-de-obra empregada (BORÉM e CARNEIRO, 1998).

Os Estados do Paraná e Bahia se destacam na produção de feijão na safra das “águas” (semeadura em novembro – 1ª safra); Ceará, Paraná e Bahia

na produção de feijão na safra da “seca” (semeadura em fevereiro – 2ª safra); e Minas Gerais, São Paulo e Goiás são os estados maiores produtores do feijão de “inverno” (semeadura em julho – 3ª safra) (CONAB, 2001).

O feijoeiro é sensível tanto à deficiência hídrica quanto ao excesso d'água, e as fases de seu crescimento e desenvolvimento são as mais sensíveis (STONE, 1986).

O manejo adequado da irrigação na cultura do feijoeiro consiste em fornecer água ao solo no momento oportuno e na quantidade suficiente para atender à necessidade hídrica da planta. Esse manejo tem, como objetivos, maximizar a produtividade da cultura, controlar o uso de água e energia, diminuir a incidência de doenças e manter ou melhorar as condições químicas e físicas do solo (SILVEIRA e STONE, 1994).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização da área experimental

Este trabalho foi conduzido no Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, município de Coimbra, MG (Figura 7), no período de julho a novembro do ano de 2003.

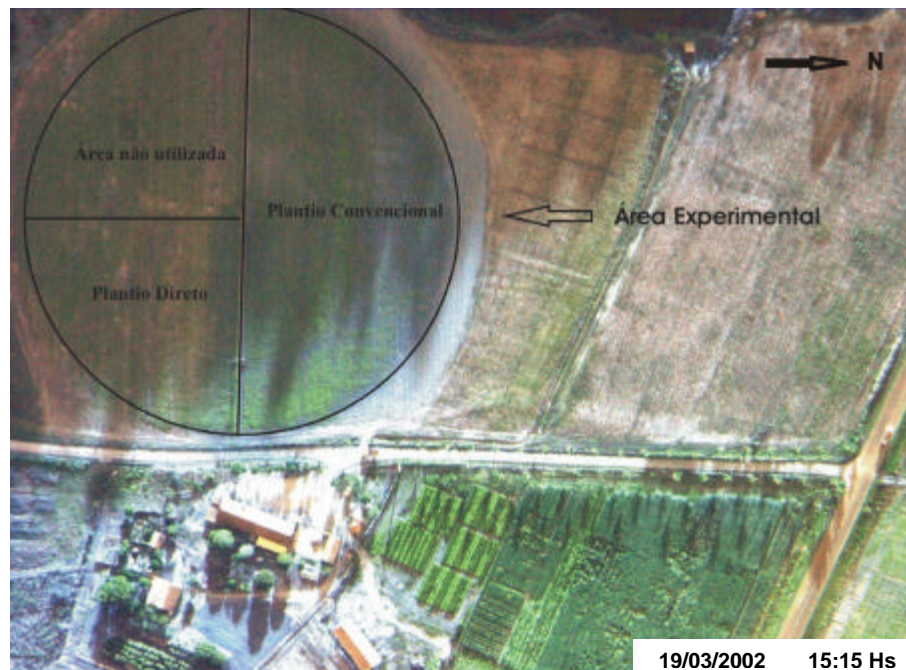


Figura 7 – Foto aérea do Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, município de Coimbra, MG.

A área experimental está compreendida nas coordenadas geográficas do datum WGS 84 (World Geodetic System 1984): 20°49'51" de latitude sul, 42°45'57" de longitude oeste de Greenwich e altitude de 721,00 m acima do nível médio do mar. O experimento utilizou 75% de uma área de 2,72 ha irrigada sob pivô central, sendo 1,36 ha cultivado com plantio convencional e 0,68 ha com plantio direto. O solo foi caracterizado como Argissolo Vermelho-Amarelo Câmbico, fase terraço. O relevo na área experimental (Figura 8ab) é plano, e sua maior declividade não ultrapassa 0,02 m m⁻¹, localizado no plantio convencional na direção leste–noroeste.

3.2. A cultura

Utilizou-se o cultivar de feijão do grupo comercial carioca, denominado BRSMG Talismã, semeado em 27 de julho de 2003, com espaçamento entre linhas de 0,45 m, com cerca de 13 sementes por metro. Das principais características do BRSMG Talismã, destacam-se a floração e o ciclo médio de 44 e 85 dias, respectivamente.

O preparo do solo para semeadura convencional do feijão foi realizado com aração a 25 cm de profundidade, com arado de disco, e posteriormente foram realizadas duas gradagens para nivelamento e uniformização do terreno, cinco dias antes do plantio.

O plantio foi executado com semeadora–adubadora Semeato SHM 11/13, regulada para plantar 13 sementes de feijão por metro de fileira e aplicada uma adubação com 400 kg ha⁻¹ do formulado 8-28-16 (NPK), no plantio e 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio na forma de sulfato de amônio, aos 40 dias após a semeadura. O espaçamento entre linhas foi de 0,45 m, utilizando-se 288.889 sementes ha⁻¹ para 240-250 mil plantas ha⁻¹.

Aos 30 dias após a semeadura, realizou-se a aplicação dos herbicidas fluazifop-p-butil + fomesafen (produto comercial Robust na dose de 200 mL ha⁻¹) em mistura com bentazon (produto comercial Basagran, na dose de 700 mL ha⁻¹). Juntamente com os herbicidas, foi aplicado molibdênio na dose de 70 g ha⁻¹. Essa aplicação foi realizada com pulverizador costal. Não foram realizadas pulverizações com fungicida, durante o desenvolvimento da cultura.

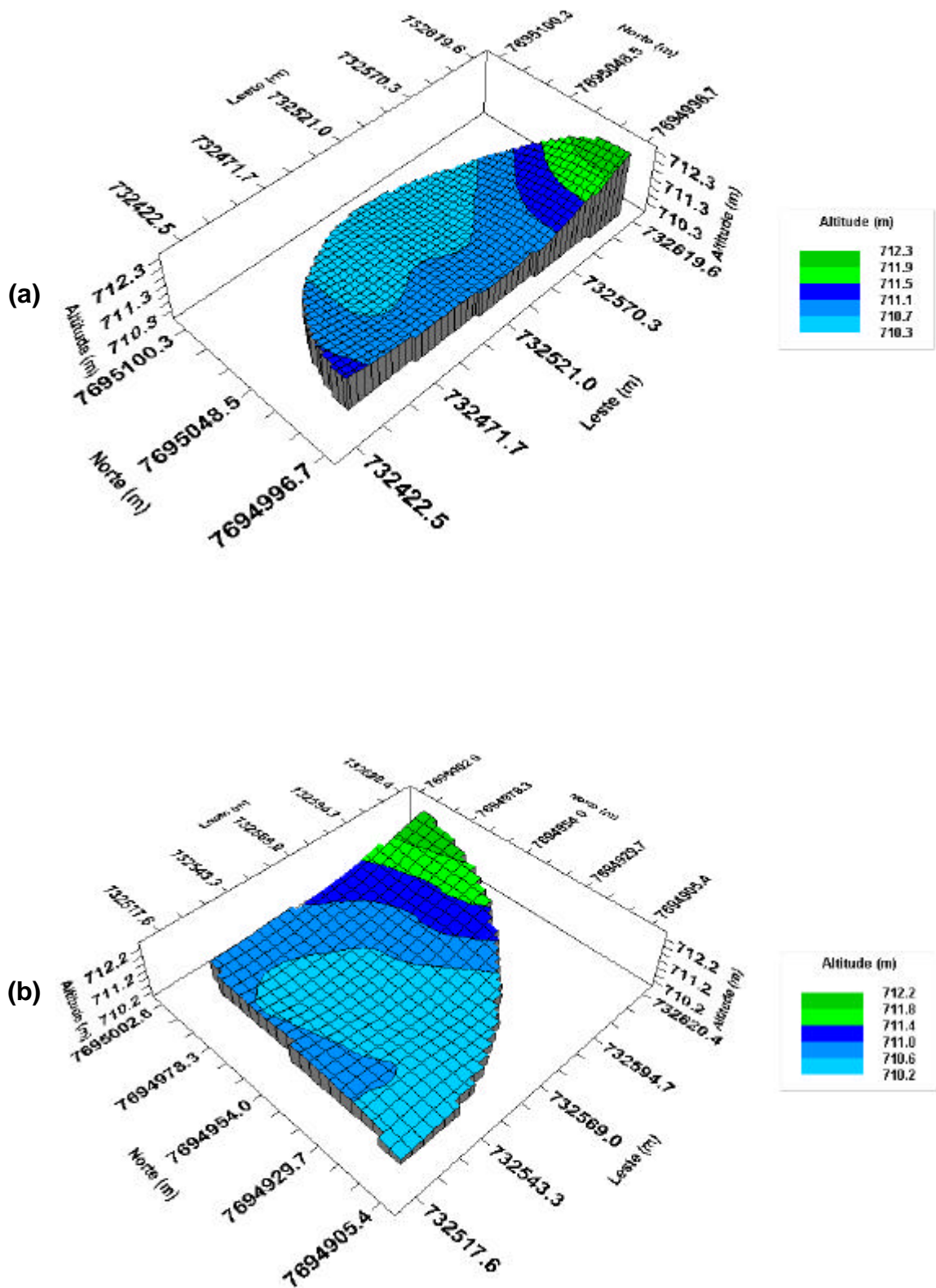


Figura 8 – Representação do relevo da área experimental nos sistemas de plantio convencional (a) e plantio direto (b).

A semeadura, no plantio direto, foi realizada sobre diferentes tipos de parcelas de palhadas (Figura 9) e com a mesma adubação e defensivos usados no plantio convencional. O plantio direto vem sendo realizado na área desde 1997, com rotação de culturas de feijão e milho. Na Tabela 1, apresentam-se as quantidades e os tipos de matéria seca encontrada na cobertura do solo das parcelas experimentais nas quais foi feito o plantio direto. Na Figura 9, mostra-se a localização dessas parcelas no campo.

3.3. Análise exploratória de dados

A primeira fase de análise dos resultados de cada variável limitou-se à análise exploratória dos dados coletados. Essa análise preliminar teve como objetivo descrever a variável, através de gráficos e estimativas dos parâmetros estatísticos, anterior a qualquer aplicação de técnicas de estatística espacial.

Os dados obtidos em cada variável foram armazenados em planilhas do Excel, com o respectivo posicionamento geográfico de cada amostra.

3.3.1. Distribuição de freqüências e histograma

A distribuição de freqüências consistiu em agrupar as observações de uma variável em classes ou categorias, tendo o histograma como uma das representações gráficas dessa distribuição. Sua finalidade foi permitir uma visualização do comportamento da variável em estudo, com relação à tendência de concentração de dados (tendência simétrica ou assimétrica). Essa tendência, principalmente na análise não-espacial de dados, pode direcionar procedimentos diferenciados de análise (GUIMARÃES, 2001).

3.3.2. Análise descritiva e inferências clássicas

Foram determinados alguns parâmetros estatísticos, como média, variância, desvio-padrão, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo, coeficiente de assimetria e curtose. As determinações dos parâmetros serviram para descrever a variável, bem como caracterizar a sua distribuição de probabilidade.

Tabela 1 – Tipos de palhada e quantidade de matéria seca encontrada nas parcelas experimentais do sistema de plantio direto

Parcelas	Matéria Seca de Brachiaria (t)	Matéria Seca de Milho (t)	Palhada Total (t)
B (amarelo)	5	5	10
1 (azul)	12	6	18
2 (verde)	8	6	14
3 (vermelho)	5	6	11
4 (vermelho)	5	6	11
5 (vermelho)	5	6	11
6 (vermelho)	5	6	11
7 (ciano)	-	6	6
8 (magenta)	27	-	27

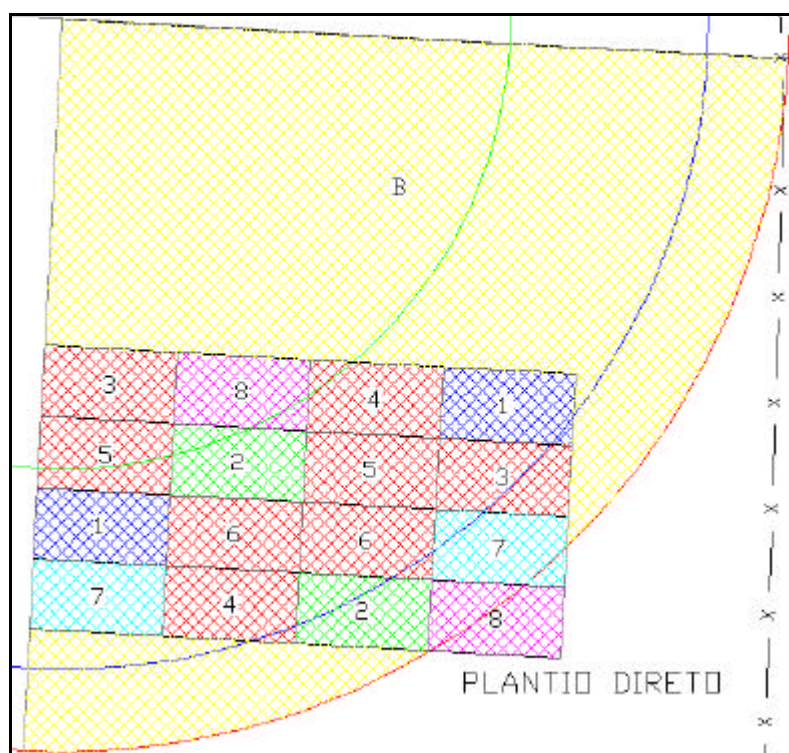


Figura 9 – Representação dos tipos de palhada na parcela experimental (dimensões 17,00 x 9,00 m) do sistema de plantio direto, sendo: B (amarelo), 10 t de palhada; 1 (azul), 18 t de palhada; 2 (verde), 14 t de palhada; 3 (vermelho), 11 t de palhada; 4 (vermelho), 11 t de palhada; 5 (vermelho), 11 t de palhada; 6 (vermelho), 11 t de palhada; 7 (ciano), 6 t de palhada; e 8 (magenta), 27 t de palhada.

O coeficiente de assimetria (C_s) é obtido usando:

$$C_s = \frac{m_3}{\sqrt{m_2^3}} \quad (18)$$

em que m_2 e m_3 são, respectivamente, o segundo e terceiro momentos centrados na média, ou

$$\text{seja, } m_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^s}{n} \quad \text{com } s = 1, 2, 3, \dots$$

Esse coeficiente foi utilizado para inferências sobre a simetria da distribuição da variável em estudo, caracterizando-se como e quanto a distribuição de freqüências se afasta da simetria, atendendo à classificação da distribuição de C_c pela seguinte denominação: se $C_s > 0$, a distribuição é assimétrica à direita; se $C_s < 0$, assimétrica à esquerda; e se $C_s = 0$, simétrica.

Para testar se os dados têm tendência à normalidade, utilizou-se a metodologia de Beiguelman (1994), citado por Gonçalves (1997), que consiste em dividir o valor C_s por $(6 n^{-1})^{0,5}$, sendo o valor resultante comparado com o valor “t” tabelado, do teste de Student no nível de significância desejado. Se o módulo do valor calculado for menor que “t”, então a distribuição é simétrica; caso contrário, assimétrica, com simetrias positiva ou negativa.

O coeficiente de curtose (C_c) é obtido usando:

$$C_c = \frac{m_4}{m_2^2} \quad (19)$$

em que m_4 é o quarto momento em relação à média aritmética, ou seja, $s = 4$.

Foi utilizado atendendo à classificação da distribuição de C_c pela seguinte denominação: se $C_c = 0$, a distribuição é mesocúrtica (distribuição normal); se $C_c < 0$, platicúrtica; e se $C_c > 0$, leptocúrtica.

Para testar se o C_c se desvia significativamente de zero, o valor de C_c foi dividido por $(24 n^{-1})^{0,5}$ e comparado com o mesmo valor “t” usado para a assimetria, conforme Beiguelman (1994), citado por Gonçalves (1997).

3.4. Amostragens e determinações

A área experimental foi georreferenciada com o DGPS ProXRS da Trimble, com precisão de 10 cm + 1 ppm. Os pontos para serem amostrados foram locados e estaqueados com a Estação Total, modelo 212, da Topcon, com precisão de 5 mm + 1 ppm.

3.4.1. Textura do solo

Durante o mês de julho de 2003, depois do levantamento georreferenciado, foram feitas as amostragens de solo para determinação da textura, utilizando-se uma malha de 15,00 por 15,00 m (Figura 10), totalizando 60 pontos amostrais para o plantio convencional, cuja área era de 1,36 ha, e 30 pontos amostrais para o plantio direto, cuja área era de 0,68 ha.

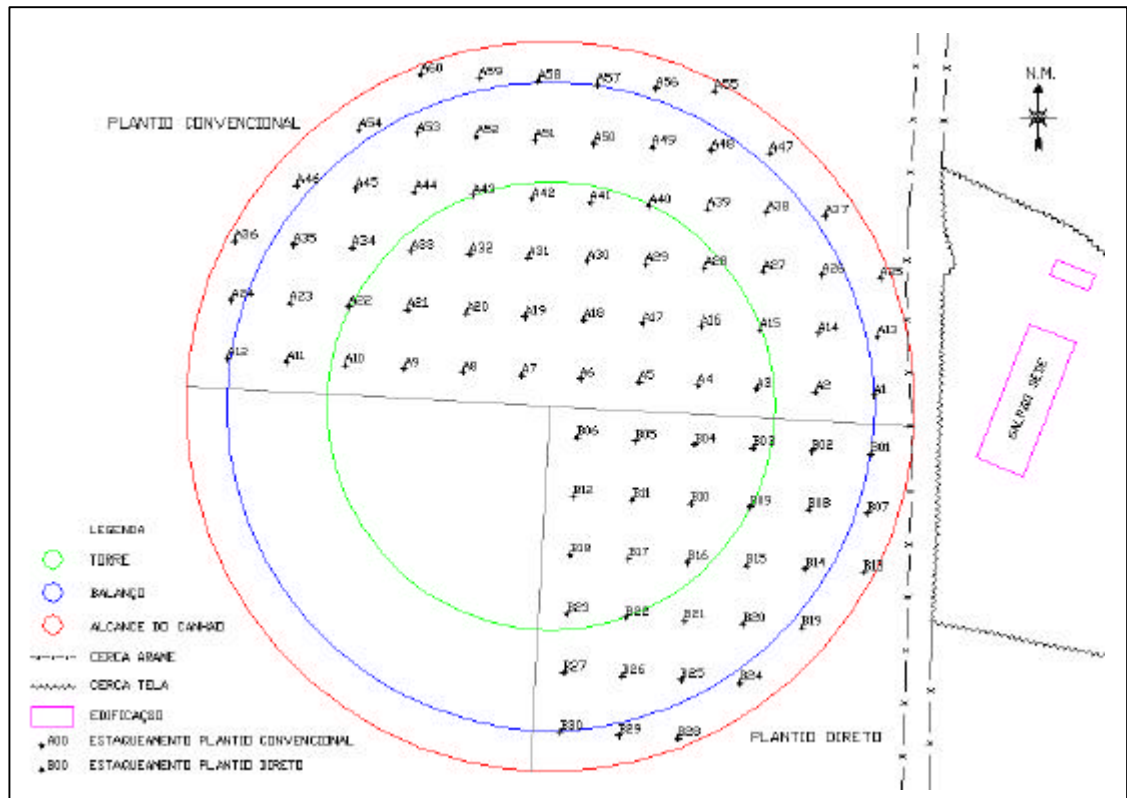


Figura 10 – Mapa de amostragem em malha regular para mensuração da variável textura.

Toda a área foi georreferenciada com o DGPS, e todos os pontos de coleta foram locados e estaqueados com Estação Total. A coleta de solo para determinação da textura foi feita ao lado da estaca, sendo coletadas duas amostras de solo em cada local, nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm, com um trado tipo holandês. As amostras foram homogeneizadas, colocadas em sacos plásticos e analisadas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da UFV, para obter a composição textural de cada amostra. Em cada classe de textura foi determinada a curva de retenção de água no solo.

Os dados obtidos com relação à textura do solo foram analisados, utilizando-se técnicas de geoestatística. Os semivariogramas para a determinação dos parâmetros dos modelos (patamar, alcance e intercepto) foram obtidos com a utilização do programa computacional GS+ (Geostatistical for the Environmental Sciences).

O modelo do semivariograma selecionado foi aquele que apresentou melhor resultado no teste de validação cruzada (valores reais *versus* valores estimados), considerando-se 16 vizinhos mais próximos na obtenção das estimativas.

A relação entre o efeito pepita e o patamar $IDE = (C_0 / (C_0 + C))^{-1}$ foi calculado para mensurar o grau da dependência espacial dos componentes texturais do solo.

Após a seleção do modelo, confeccionaram-se os mapas representativos da variabilidade espacial dos componentes texturais do solo da área experimental, usando o método de interpolação por krigagem, com localização georreferenciada. Usaram-se no georreferenciamento as coordenadas no Sistema Geodésico Brasileiro, com projeção UTM (Universal Transverso de Mercator) no datum SAD 69 (South American Datum 1969).

3.4.2. Teor de água no solo

Entre os meses de agosto e outubro de 2003, foram feitas amostragens de solo, de três em três dias, para determinação do teor de água no solo. Utilizou-se uma malha de 10,00 por 10,00 m, com os pontos amostrais definidos no centro de cada malha, totalizando 136 pontos amostrais para o plantio convencional na área de 1,36 ha e 69 pontos amostrais para o plantio

direto na área de 0,68 ha (Figura 11). Foram coletadas 5.330 amostras de solo durante esse período de amostragens.

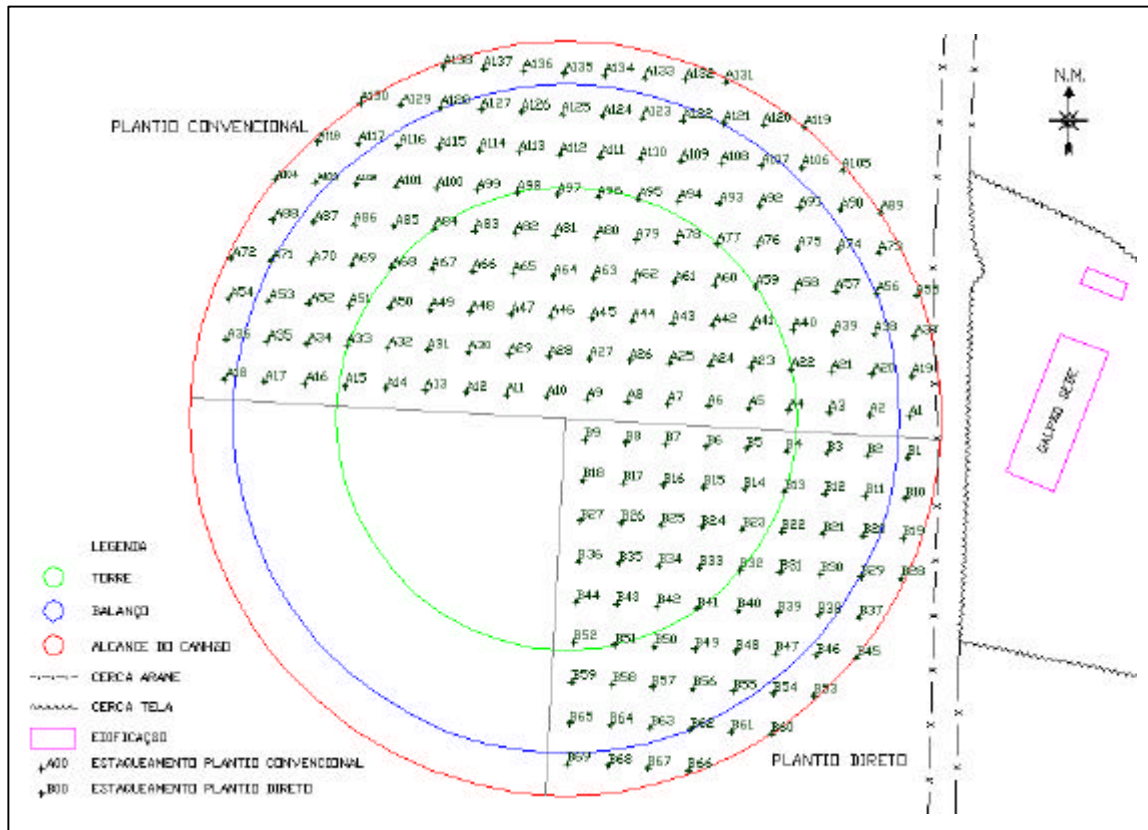


Figura 11 – Mapa de amostragem em malha regular para mensuração da variável teor de água no solo.

Todos os pontos de coleta de solo, para determinação do teor de água, foram locados com Estação Total por coordenadas UTM e estaqueados. A coleta de solo foi feita ao lado da estaca, não ultrapassando o raio de 1,00 m, sendo coletadas duas amostras de solo em cada local, nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm, com um trado tipo holandês, que foram homogêneas. As amostras compostas foram analisadas no Laboratório de Solo e Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. Utilizou-se o método-padrão da estufa de acordo com a Embrapa (1997), para determinação do teor de água.

O manejo da irrigação foi feito com base na evapotranspiração da cultura e no teor de água do solo, obtido pelo método-padrão de estufa, em amostras de solo coletadas de três em três dias. Conseqüentemente, a lâmina d'água aplicada em cada irrigação ao longo do desenvolvimento da cultura foi variável (3,00 a 18,00 mm), usando turno de rega de três dias. Para o cálculo dessa lâmina, determinou-se a capacidade de campo (CC) média do solo da área experimental, para os plantios convencional e direto (33,60 e 36,50 g (100 g)⁻¹, respectivamente), bem como o ponto de murcha médio, para os plantios convencional e direto (18,00 e 22,90 g (100 g)⁻¹, respectivamente). A lâmina d'água aplicada variou dentro da faixa de água disponível, considerando-se um fator de disponibilidade de água no solo igual a 0,50.

A evapotranspiração da cultura (Etc) foi calculada a partir da evapotranspiração de referência (Eto), estimada pelo método de Penman-Monteith, usando-se coeficientes de cultura (kc) na cultura do feijão recomendado por Doorenbos e Pruitt (1977).

Foi realizado um estudo geoestatístico nos dados de teor de água. Com essa finalidade foram ajustados os semivariogramas para a variável teor de água nos seguintes ciclos de desenvolvimento da cultura do feijão, de acordo com a escala da CIAT (1987): V1 – Emergência, V3 – Primeira folha trifoliolada, R6 – Floração, R8 – Enchimento das vagens e R9 – Maturação fisiológica.

Adotou-se como critério para a escolha do modelo do semivariograma o maior valor do coeficiente de correlação, obtido pela validação cruzada.

A relação entre o efeito pepita e o patamar $IDE = (C_0 (C_0+C)^{-1})$ foi calculada para mensurar o grau da dependência espacial do teor de água no solo.

Após a escolha do melhor modelo para o semivariograma foi gerado o mapa de distribuição espacial do teor de água na área experimental. Esse mapa foi produzido utilizando-se o programa GS+, pelo método de interpolação por krigagem, com localização georreferenciada. Usaram-se no georreferenciamento as coordenadas no Sistema Geodésico Brasileiro, na projeção UTM (Universal Transverso de Mercator) e no datum SAD 69 (South American Datum 1969).

3.4.3. Uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação

Para a irrigação foi utilizado um sistema por aspersão tipo pivô central, de média pressão, marca ASBRASIL VALMATIC, modelo LIGHT-PA3-VL-1-88. O pivô apresentava linha lateral de 82,52 m de comprimento, suportada por uma torre. O vão é de 56,93 m e o balanço, de 25,59 m, com o total de 14 aspersores rotativos de média pressão e um canhão de pequeno porte na extremidade final da tubulação. A área irrigada é de 2,72 ha. Com a velocidade ajustada para 100%, o sistema completava uma volta em três horas, aplicando-se uma lâmina média de água na ordem de 2,07 mm.

A uniformidade de distribuição de água foi avaliada, seguindo-se a metodologia descrita por Bernardo (1995).

3.4.4. Produtividade de grãos do feijão

No mês de novembro de 2003 foram feitas amostragens na lavoura para determinação da produtividade de grãos do feijão, ou seja, uma malha predefinida de 20,00 por 20,00 m, totalizando 26 pontos amostrais para o plantio convencional e 13 para o plantio direto (Figura 12).

Todos os pontos de coleta de produtividade foram locados com a Estação Total e estaqueados. A coleta do feijão foi feita atendendo a quatro linhas de plantas de feijão, distanciadas entre si 0,45 m, com 4,00 m de comprimento, totalizando uma área de 7,20 m², sendo coletadas por arranquio manual. Em seguida, as amostras foram levadas para um galpão aberto para secagem, e, após 10 dias, foi feita a debulha. Posteriormente, as amostras de feijão foram levadas ao laboratório, para secagem uniforme dos grãos.

A massa do feijão colhido em cada ponto da malha foi obtida, sendo para cada ponto amostrado realizadas quatro repetições para determinação do teor de água do feijão, o qual foi obtido utilizando-se estufa a 103,00 °C ± 1 °C por 72 horas, segundo a ASAE (1997). Com base nos dados do teor de água dos grãos, a produtividade de cada ponto da malha foi corrigida para o teor de água de 13%.

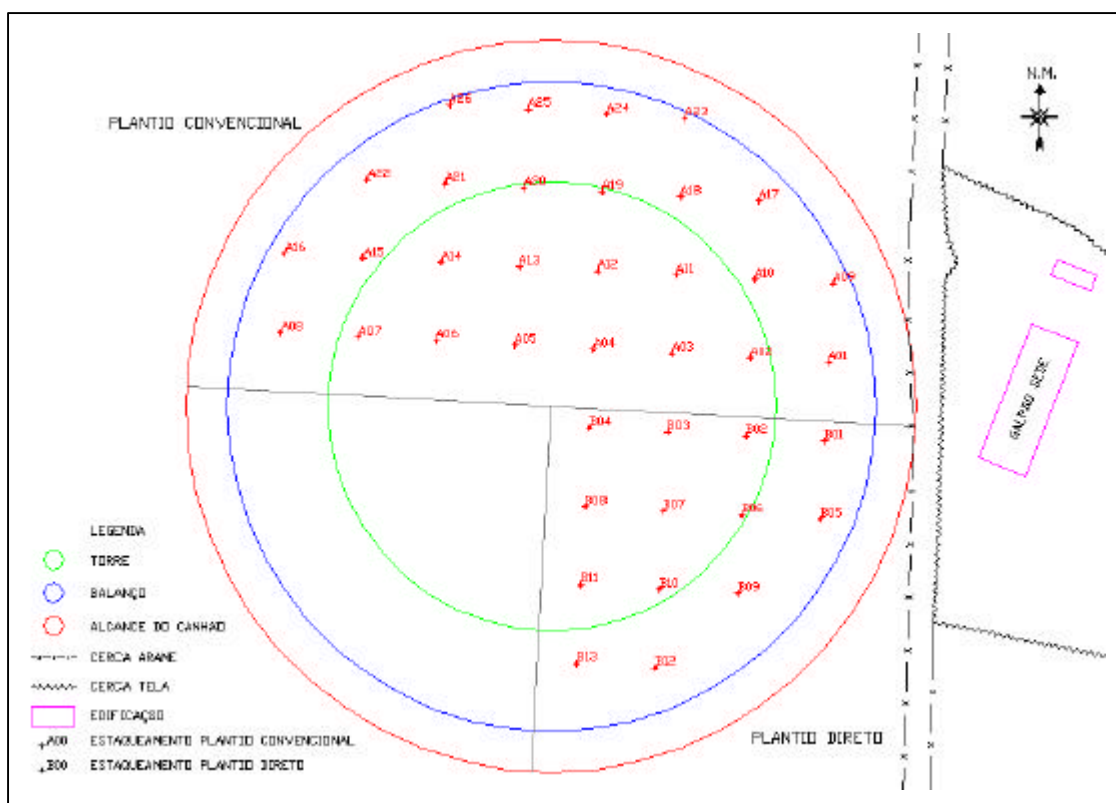


Figura 12 – Mapa de amostragem em malha regular, para mensuração da variável produtividade.

O semivariograma ajustado para a produtividade foi obtido utilizando-se o programa computacional GS+. Com base nos dados obtidos experimentalmente, o modelo do semivariograma foi selecionado tendo como critério as estimativas do coeficiente de correlação da validação cruzada.

A relação entre o efeito pepita e o patamar $IDE = (C_0 (C_0 + C)^{-1})$ foi calculada para mensurar o grau da dependência espacial da produtividade do feijão.

O modelo de semivariograma selecionado para produtividade gerou o mapa de distribuição espacial da produtividade do feijão na área experimental, mediante o emprego do programa GS+, pelo método de interpolação por krigagem, com localização georreferenciada. Usaram-se para o georreferenciamento as coordenadas no Sistema Geodésico Brasileiro, na projeção UTM (Universal Transverso de Mercator) e no datum SAD 69 (South American Datum 1969).

3.4.5. Correlação entre a produtividade da cultura e o teor de água no solo

Com base nos dados experimentais de produtividade do feijão e teor de água no solo, realizou-se análise da correlação entre a produtividade e a variabilidade espacial do teor de água no solo.

A estimativa de correlação foi obtida entre o teor de água no solo e a produtividade da cultura nos dois sistemas de cultivo utilizando o programa computacional Excel[®], considerando-se os pontos de coleta comum por essas duas variáveis.

As estimativas de correlações simples foram obtidas, objetivando-se verificar uma possível relação entre essas variáveis, para a utilização de modelos estatísticos nas estimativas da produtividade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise exploratória dos dados e análise da variabilidade

Com o objetivo de diagnosticar o comportamento espacial das variáveis do solo, foram realizadas análises estatísticas descritivas, as quais estão inseridas num contexto mais amplo da análise exploratória. Elas deram subsídios para avaliar a forma como essas variáveis se dispersaram no espaço.

4.1.1. Textura

4.1.1.1. Análise descritiva

Na Tabela 2 é apresentada a estatística descritiva dos valores de frações granulométricas, e na Figura 13 encontram-se os histogramas dos dados coletados nos sistemas de plantio convencional e direto, segundo a malha de 15,00 por 15,00 m. Os valores dos coeficientes de variação (CV) no plantio convencional foram de 20,66; 26,50; e 43,23% e, no plantio direto, de 11,38; 24,12; e 36,39% para argila, silte e areia, respectivamente.

Verifica-se, pelos valores de CV, que as variáveis argila, silte e areia apresentaram média dispersão, nos plantios convencional e direto, com exceção da argila, no plantio direto, que exibiu baixa dispersão, de acordo com critérios de Warrick e Nielsen (1980). Diversos autores, estudando a

variabilidade espacial da granulometria, também encontraram CV na ordem de 10 a 50% (WARRICK e NIELSEN, 1980; GONÇALVES 1997). Essa dispersão pôde também ser verificada por meio dos valores mínimo e máximo dessas variáveis.

Os valores observados indicaram maior dispersão, medida pelo CV (Tabela 2), no sistema de manejo convencional do que no direto. Esse fato revela que, quando forem feitas amostragens nos dois sistemas, deve-se estabelecer um número maior de amostras para o plantio convencional, em comparação com o plantio direto. A tendência de maior dispersão no plantio convencional em relação ao plantio direto pode estar associada à maior declividade do terreno do plantio convencional, fazendo uma seleção de material mais fino (argila) nos pontos da área com baixa altitude, devido ao transporte pela chuva, provocando maior heterogeneidade no sistema de manejo convencional, que se encontrava no ponto mais alto do terreno.

Tabela 2 – Estatística descritiva dos valores das frações granulométricas de argila, silte e areia (dag kg^{-1}), nos sistemas de plantio convencional e direto

Parâmetros Estatísticos	Plantio Convencional			Plantio Direto		
	Argila	Silte	Areia	Argila	Silte	Areia
\bar{X}	53,35	13,85	32,80	59,82	15,96	24,21
s^2	121,45	13,45	201,04	46,37	14,85	77,66
	11,02	3,67	14,18	6,81	3,85	8,81
CV	20,66	26,50	43,23	11,38	24,12	36,39
Valor Mínimo	38	8	3	47	11	8
Valor Máximo	77	24	50	71	25	41
n	60	60	60	28	28	28
Cs (erro)	0,82 (0,31)	0,75 (0,31)	-0,83 (0,31)	-0,11 (0,44)	0,57 (0,44)	-0,05 (0,44)
Cc (erro)	-0,64 (0,61)	-0,30 (0,61)	-0,65 (0,61)	-0,89 (0,86)	-0,57 (0,86)	-0,66 (0,86)
t (5%)	2,00	2,00	2,00	2,05	2,05	2,05
t Cs	2,59	2,37	2,62	0,24	1,23	0,11
t Cc	1,01	0,47	1,03	0,96	0,62	0,71

em que t é o valor “t” tabelado, do teste de Student a 5% de significância; t Cs é o teste de tendência à normalidade, conforme Beiguelman (1994); e t Cc é o teste para verificar se o Cc desvia significativamente de zero, conforme Beiguelman (1994).

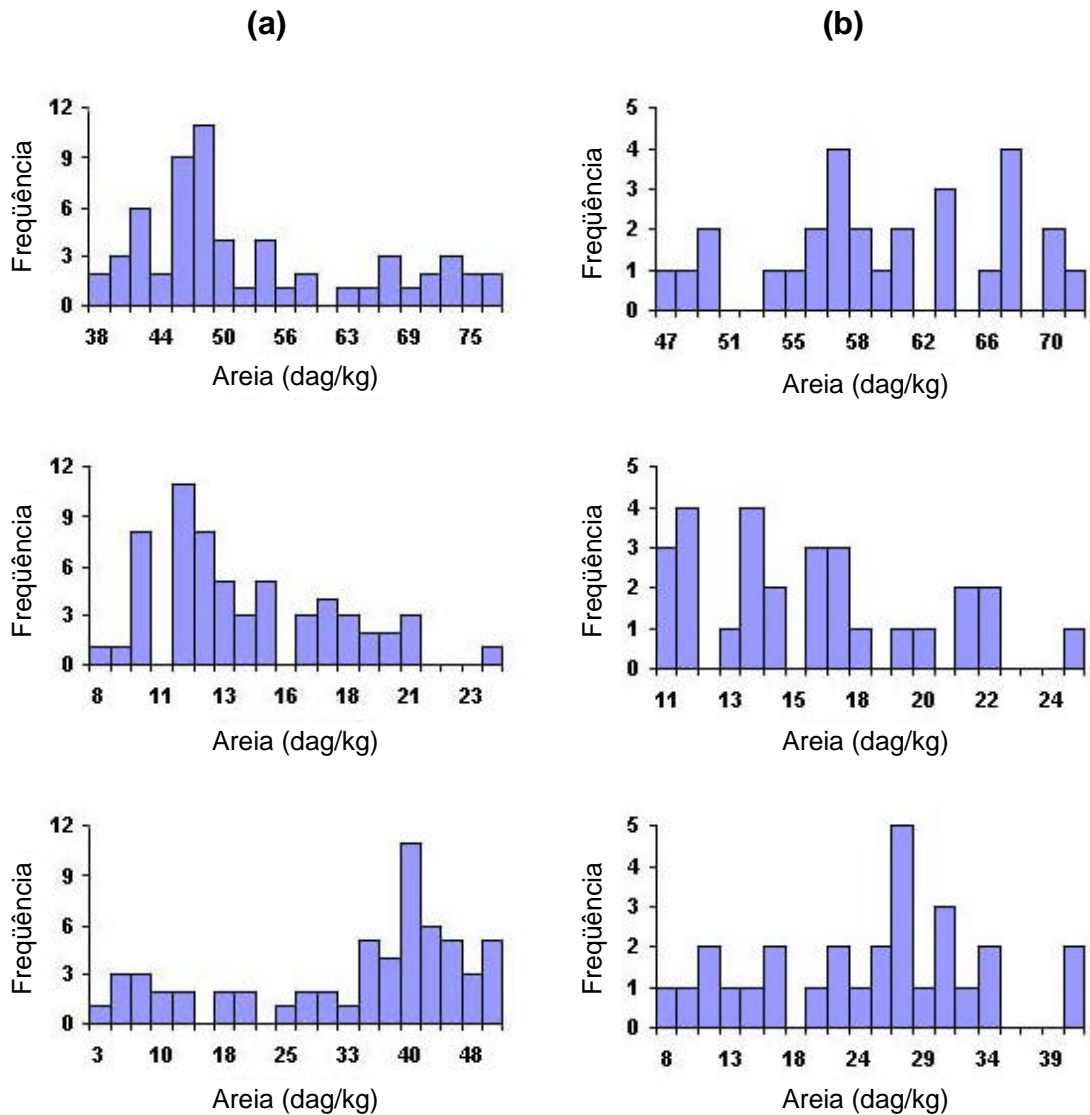


Figura 13 – Histogramas das frações granulométricas nos sistemas de plantio convencional (a) e plantio direto (b).

De acordo com o teste apresentado por Beiguelman (1994), citado por Gonçalves (1997), para os coeficientes de assimetria e curtose mostrados na Tabela 2, podem-se caracterizar todas as distribuições no plantio convencional como assimétricas (argila e silte assimétrica à direita e areia assimétrica à esquerda) e mesocúrticas a 5% de significância, ou seja, as distribuições podem ser consideradas como normais e, no plantio direto, como simétricas (argila, silte e areia) e mesocúrticas; a 5% de significância, as distribuições também podem ser consideradas como normais.

4.1.1.2. Análise da variabilidade espacial da textura do solo

Para verificar se os componentes texturais apresentam dependência espacial, foram ajustados semivariogramas experimentais (Figura 14) a partir dos dados coletados na malha.

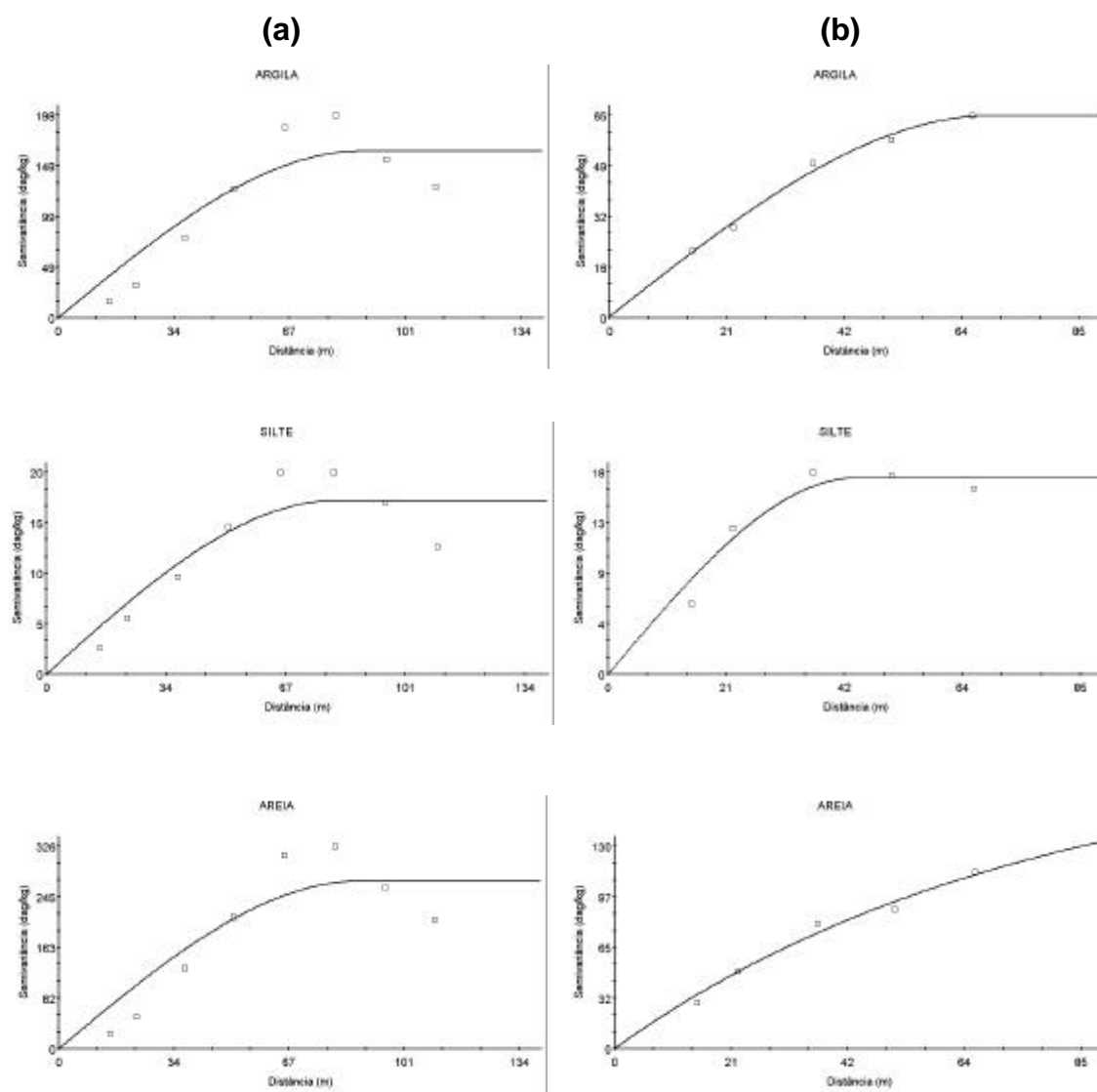


Figura 14 – Semivariogramas dos dados experimentais das frações granulométricas, nos sistemas de plantio convencional (a) e de plantio direto (b).

Na Tabela 3, mostra-se que foi possível ajustar uma estrutura de variabilidade espacial nos conteúdos de argila, silte e areia. No plantio convencional, o alcance do modelo ajustado foi de 87,60; 80,80; e 87,30 m para argila, silte e areia, respectivamente. Já no plantio direto, o alcance do modelo ajustado foi de 68,90; 44,40; e 227,70 m para argila, silte e areia, respectivamente.

Tabela 3 – Modelos e estimativas dos parâmetros dos semivariogramas experimentais da granulometria, nos sistemas de plantio convencional e direto

Modelo		Efeito Pepita (Co)	Patamar (Co+C)	Alcance (Ao)	r^2 (%)	SQR	IDE (%)
Plantio Convencional							
Argila	Esférico	0,10	162,70	87,60	86,9	5.860,00	0,060
Silte	Esférico	0,01	17,14	80,80	85,3	50,10	0,060
Areia	Esférico	0,01	269,80	87,30	86,6	17.026,00	0,004
Plantio Direto							
Argila	Esférico	0,50	64,66	68,90	99,1	11,70	0,773
Silte	Esférico	0,10	17,09	44,40	93,6	8,03	0,585
Areia	Exponencial	0,10	192,70	227,70	98,1	88,50	0,052

em que r^2 é coeficiente de determinação, SQR é a soma dos quadrados dos resíduos e IDE é o Índice de Dependência Espacial.

Os semivariogramas experimentais, que apresentaram maior valor de coeficiente de determinação na validação cruzada do teor de argila, silte e areia, encontram-se na Figura 14. Isso indica que, apesar de esses componentes texturais diferirem em ordem de grandeza, a estrutura de dependência espacial tende a ser a mesma em todas as componentes texturais.

Pode-se observar que o modelo esférico apresentou o melhor ajuste para descrever a dependência espacial da argila e silte em ambos os métodos de plantio e da areia no plantio convencional. Já o modelo exponencial

apresentou melhor ajuste para descrever a dependência espacial da areia no plantio direto.

O grau de dependência espacial das variáveis, classificado pela relação entre o efeito pepita (C_0) e o patamar (C_0+C) (CAMBARDELLA et al., 1994), indicou forte dependência espacial, ou seja, C_0 foi menor que 25% do C_0+C nos plantios convencional e direto.

A Tabela 4 e Figura 15 ilustram os parâmetros e os gráficos da validação cruzada relativos às frações granulométricas argila, silte e areia, nos dois sistemas de plantio utilizados.

Os gráficos da validação cruzada das variáveis argila, silte e areia, no plantio convencional (Figura 15), evidenciam que os valores estimados dispersaram pouco dos valores observados, podendo isso ser também verificado pelo parâmetro r^2 da Tabela 4. Isso significa que o modelo ajustado erra pouco quando estima valores. Portanto, espera-se que a interpolação por krigagem venha produzir boas estimativas, devido ao bom ajuste do modelo esférico. No plantio direto, nota-se que os valores estimados se dispersaram bastante dos observados. Isso significa que o modelo ajustado não estima valores adequadamente, podendo ser também verificado pelo parâmetro r^2 da Tabela 4. Portanto, espera-se que a interpolação por krigagem não produza boas estimativas, visto que não houve bom ajuste do modelo aos dados experimentais.

Nas Figuras 16 e 17, mostram-se os mapas interpolados por krigagem e os modelos de semivariogramas selecionados, da distribuição espacial dos valores das frações granulométricas do solo na área experimental, nos dois sistemas de manejo, para melhor descrição dos seus valores na área.

Considerando a direção ou o sentido do eixo norte como referência nos mapas da Figura 16, nota-se que, no plantio convencional, o maior teor de argila e silte tende a se concentrar na parte superior do mapa e o maior teor de areia, a se concentrar na parte inferior do mapa. No plantio direto (Figura 17), visto que não houve bom ajuste do modelo aos dados experimentais, os mapas apresentaram uma tendência para o maior teor de argila na parte inferior, de silte na parte intermediária e de areia na parte superior dos mapas. Tal fato pode estar associado à declividade do terreno (declividade menor que $0,02 \text{ m m}^{-1}$ na direção leste–noroeste), fazendo uma deposição do material

Tabela 4 – Parâmetros da validação cruzada das frações granulométrica argila, silte e areia nos plantios convencional e direto

Parâmetros	Plantio Convencional			Plantio Direto		
	Argila	Silte	Areia	Argila	Silte	Areia
Coefficiente de Regressão	1,02	0,99	1,03	0,90	0,90	1,05
r^2 (%)	92,50	76,20	94,40	48,30	40,30	60,80

em que r^2 é coeficiente de determinação.

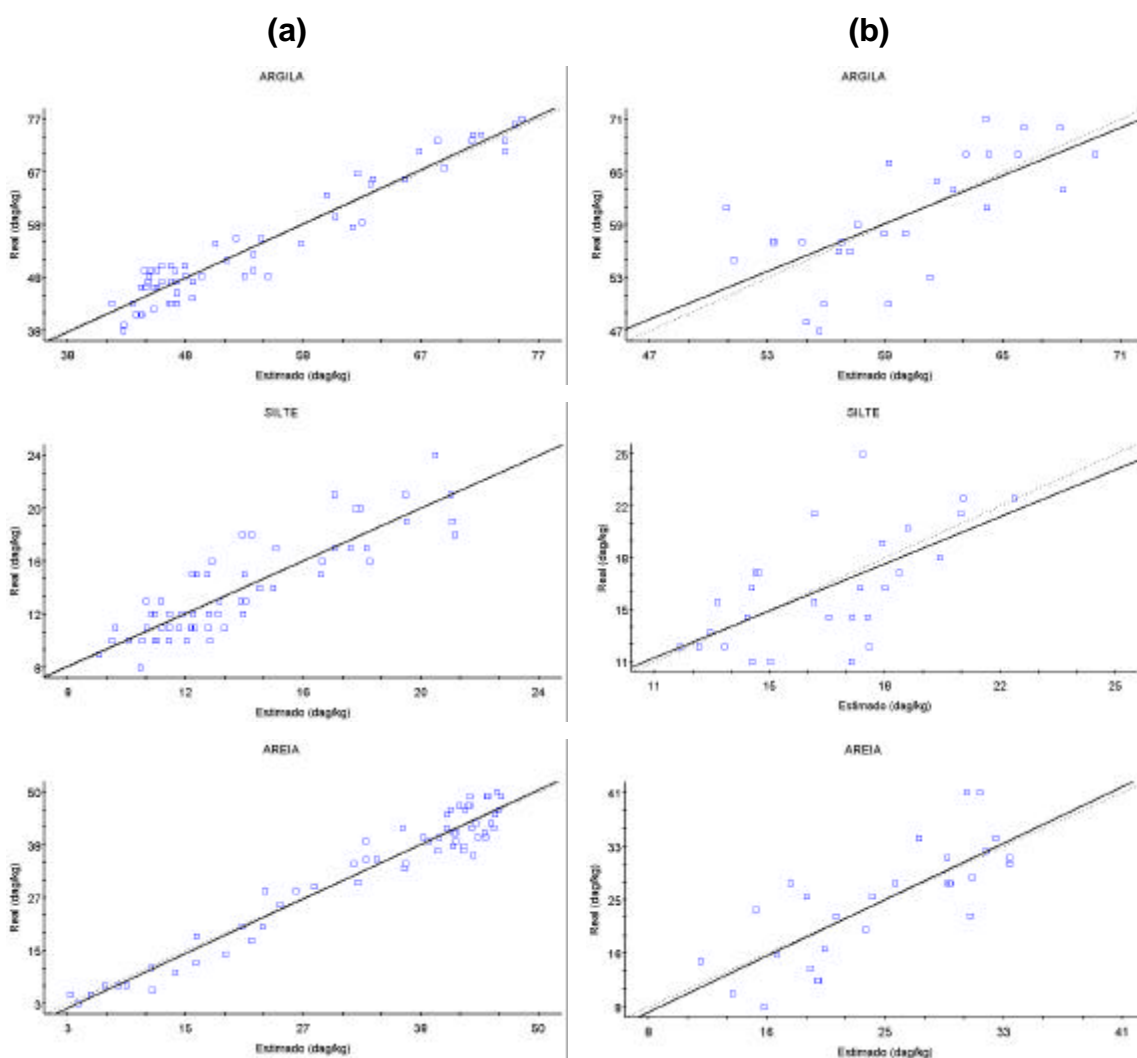


Figura 15 – Gráficos de validação cruzada das frações granulométrica argila, silte e areia, nos sistemas de plantio convencional (a) e de plantio direto (b).

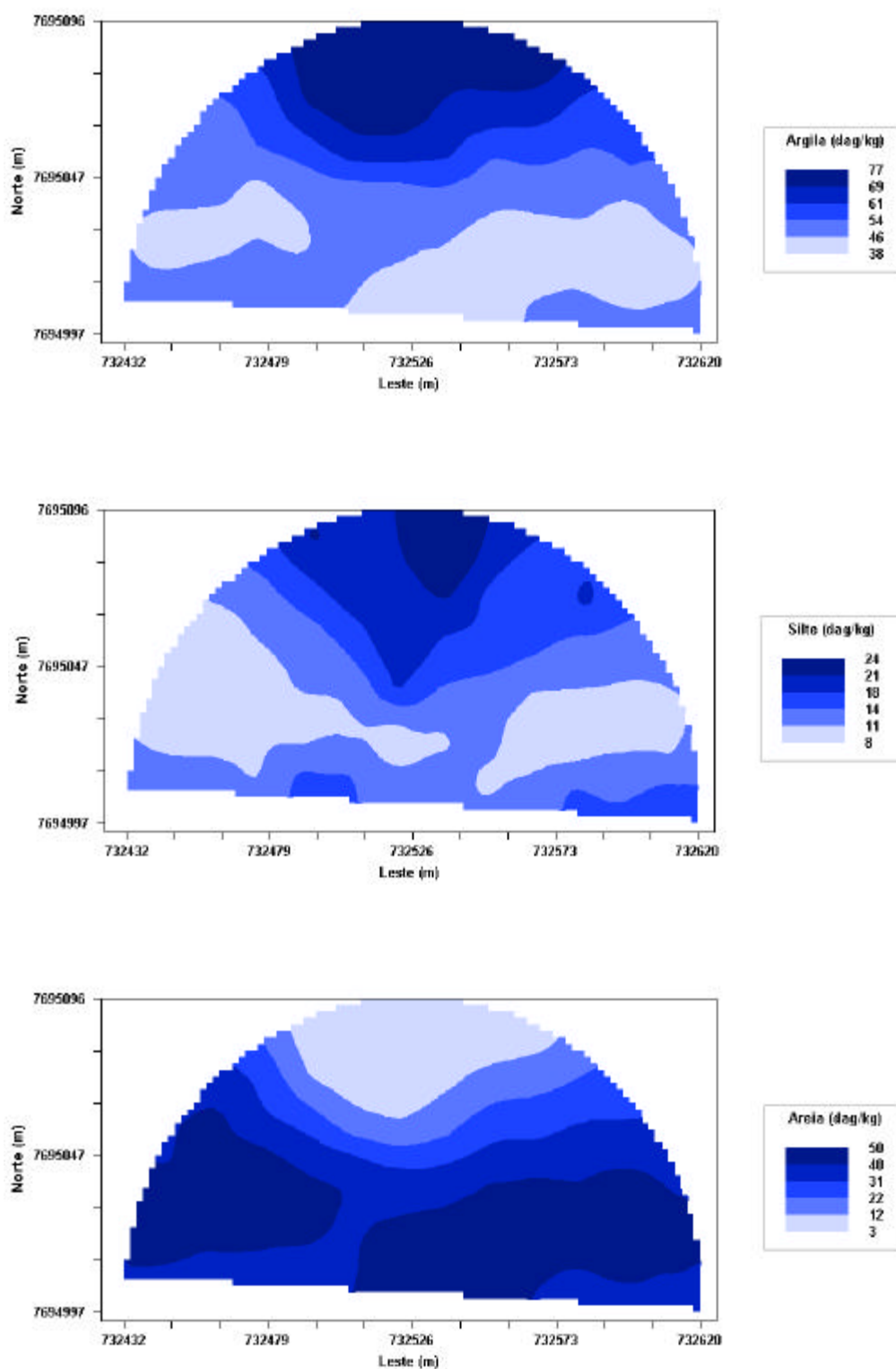


Figura 16 – Mapas interpolados por krigagem das frações granulométricas de argila, silte e areia, no sistema de plantio convencional.

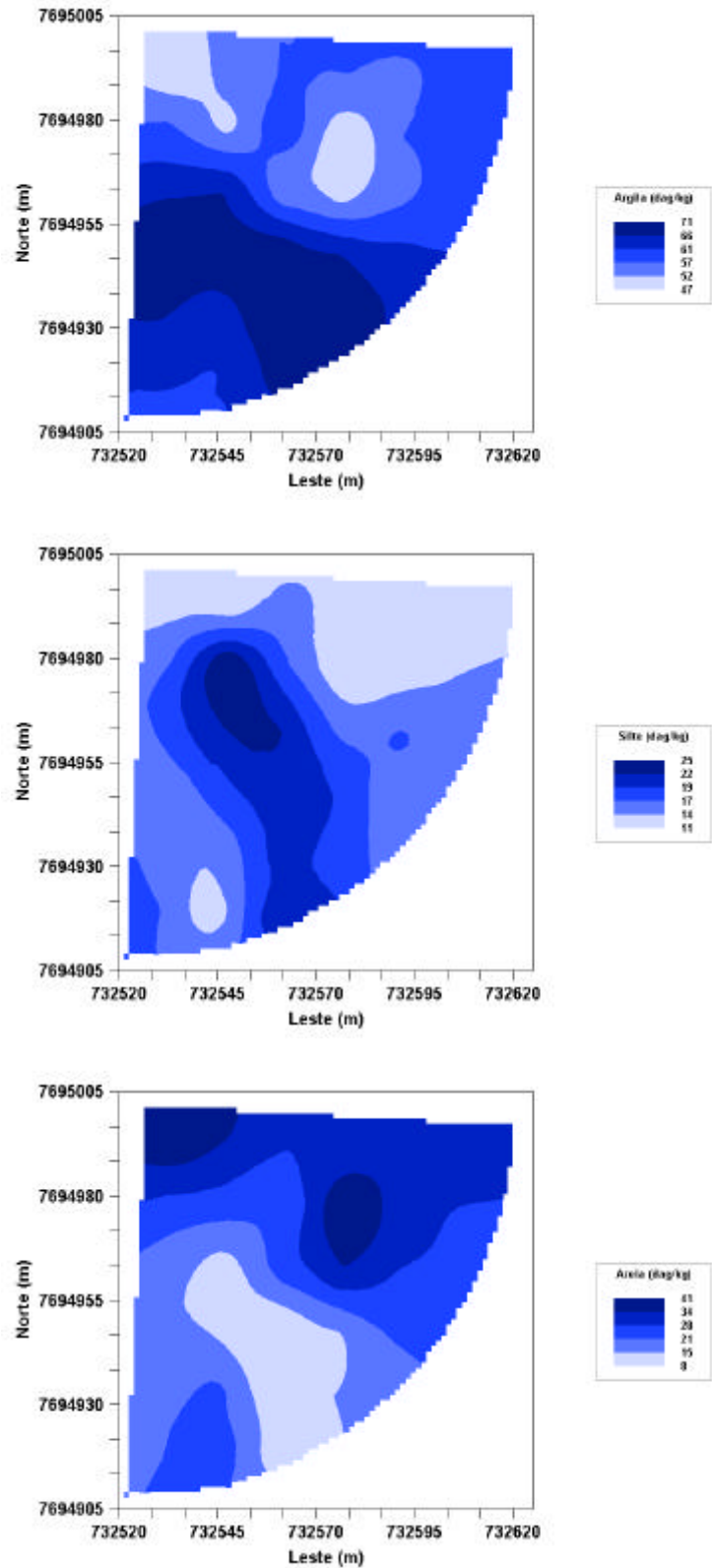


Figura 17 – Mapas interpolados por krigagem das frações granulométricas de argila, silte e areia, no sistema de plantio direto.

mais fino (argila) nos pontos da área com baixa altitude, devido ao transporte pela chuva, provocando concentrações em determinadas localizações no sistema de manejo convencional. No sistema de plantio direto, a direção da declividade é de nordeste–sudoeste, fazendo também uma deposição do material mais fino (argila) nos pontos da área com baixa altitude.

4.1.2. Teor de água no solo

4.1.2.1. Análise descritiva

Foram coletadas amostras de solo em 136 e 68 pontos nos sistemas de plantio convencional e direto, respectivamente, para estudar a distribuição espacial do teor de água no solo. Devido ao fato de atualmente não se recomendar o uso do canhão hidráulico, foram descartadas as áreas por ele irrigadas, reduzindo as análises para 108 e 54 pontos, correspondentes aos plantios convencional e direto, respectivamente.

As estatísticas descritivas dos valores do teor de água no solo, com base em peso de matéria seca, em todas as fases de desenvolvimento da cultura, são mostradas na Tabela 5, correspondentes a 108 e 54 pontos amostrais nos plantios convencional e direto, respectivamente, com exceção da fase V3 do plantio direto, equivalente a 53 pontos amostrais, sendo eliminado um ponto amostral por ser identificado como um dado atípico.

Os teores de água no solo apresentaram no plantio convencional CV com valores de 16,88; 15,49; 17,15; 15,74; e 20,62% nas fases V1, V3, R6, R8 e R9, respectivamente, e no plantio direto, 8,84; 8,91; 9,28; 10,82; e 12,63% nas fases V1, V3, R6, R8 e R9, respectivamente. Verifica-se, pelo valor de CV, que o teor de água no solo apresentou dispersão abaixo de 21% nos plantios convencional e direto. Ressalta-se que a fase R9 do plantio direto apresentou uma tendência para maior dispersão em relação às outras fases, devido ao fato de a influência do teor de água no solo ser mais baixo no local com teor de palha menor (área B da Figura 9 com dados da Tabela 1).

A dispersão, medida pelo CV (Tabela 5), tende a ser maior no sistema de manejo convencional do que no direto. Esse fato revela que, quando forem feitas amostragens do teor de água no solo nos dois sistemas, deve-se

Tabela 5 – Estatísticas descritivas do teor de água no solo em g (100 g)⁻¹ nos sistemas de plantio convencional e direto, nas respectivas fases

Parâmetros Estatísticos	Plantio Convencional					Plantio Direto				
	V1	V3	R6	R8	R9	V1	V3	R6	R8	R9
\bar{X}	25,12	27,70	27,17	29,61	24,97	31,90	34,81	34,26	36,50	29,92
s^2	17,97	18,44	21,70	21,72	26,52	7,96	9,61	10,13	15,57	14,33
CV	4,24	4,29	4,66	4,66	5,15	2,82	3,10	3,18	3,95	3,78
Valor Mínimo	16,88	15,49	17,15	15,74	20,62	8,84	8,91	9,28	10,82	12,63
Valor Máximo	17,92	18,61	19,43	21,89	17,25	26,1	25,51	24,62	28,89	20,21
n	35,40	37,38	37,23	41,90	41,31	36,83	41,27	41,11	45,73	38,78
Cs	108	108	108	108	108	54	53	54	54	54
(erro)	0,57	0,20	0,62	0,71	1,04	-0,05	-0,45	-0,40	0,23	0,10
Cc	(0,23)	(0,23)	(0,23)	(0,23)	(0,23)	(0,32)	(0,33)	(0,32)	(0,32)	(0,32)
(erro)	-0,58	-0,70	-0,45	-0,30	0,33	-0,96	0,45	0,32	-0,71	-0,38
t (5%)	(0,46)	(0,46)	(0,46)	(0,46)	(0,46)	(0,64)	(0,64)	(0,64)	(0,64)	(0,64)
t Cs	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
t Cc	2,42	0,85	2,63	3,01	4,41	0,15	1,34	1,18	0,69	0,3
	1,23	1,48	0,95	0,64	0,70	1,44	0,67	0,47	1,07	0,57

em que V1, V3 R6, R8 e R9 fases do ciclo da cultura (V1 – Emergência, V3 – Primeira folha trifoliolada, R6 – Floração, R8 – Enchimento das vagens e R9 – Maturação fisiológica); t é o valor “t” tabelado, do teste de Student a 5% de significância; t Cs é o teste de tendência à normalidade; e t Cc é o teste para verificar se o Cc desvia significativamente de zero.

estabelecer um número maior de amostras para o plantio convencional, em comparação com o plantio direto, que tem o controle natural do teor de água no solo, em função da camada de palha, tornando a dispersão menor.

Na Figura 18, mostram-se os histogramas do teor de água em g (100 g)⁻¹ nos sistemas de plantio convencional e direto, nas cinco etapas de desenvolvimento da cultura.

Segundo o teste apresentado por Beiguelman (1994), pode-se caracterizar a distribuição para o plantio convencional em todas as fases de desenvolvimento da cultura, com ligeira assimetria à direita e mesocúrtica, a 5% de significância, com exceção da fase V3, que apresentou simetria. No plantio direto, a distribuição apresentou simétrica e mesocúrtica a 5% de significância. Pelo teste utilizado, todas as distribuições podem ser consideradas como normais.

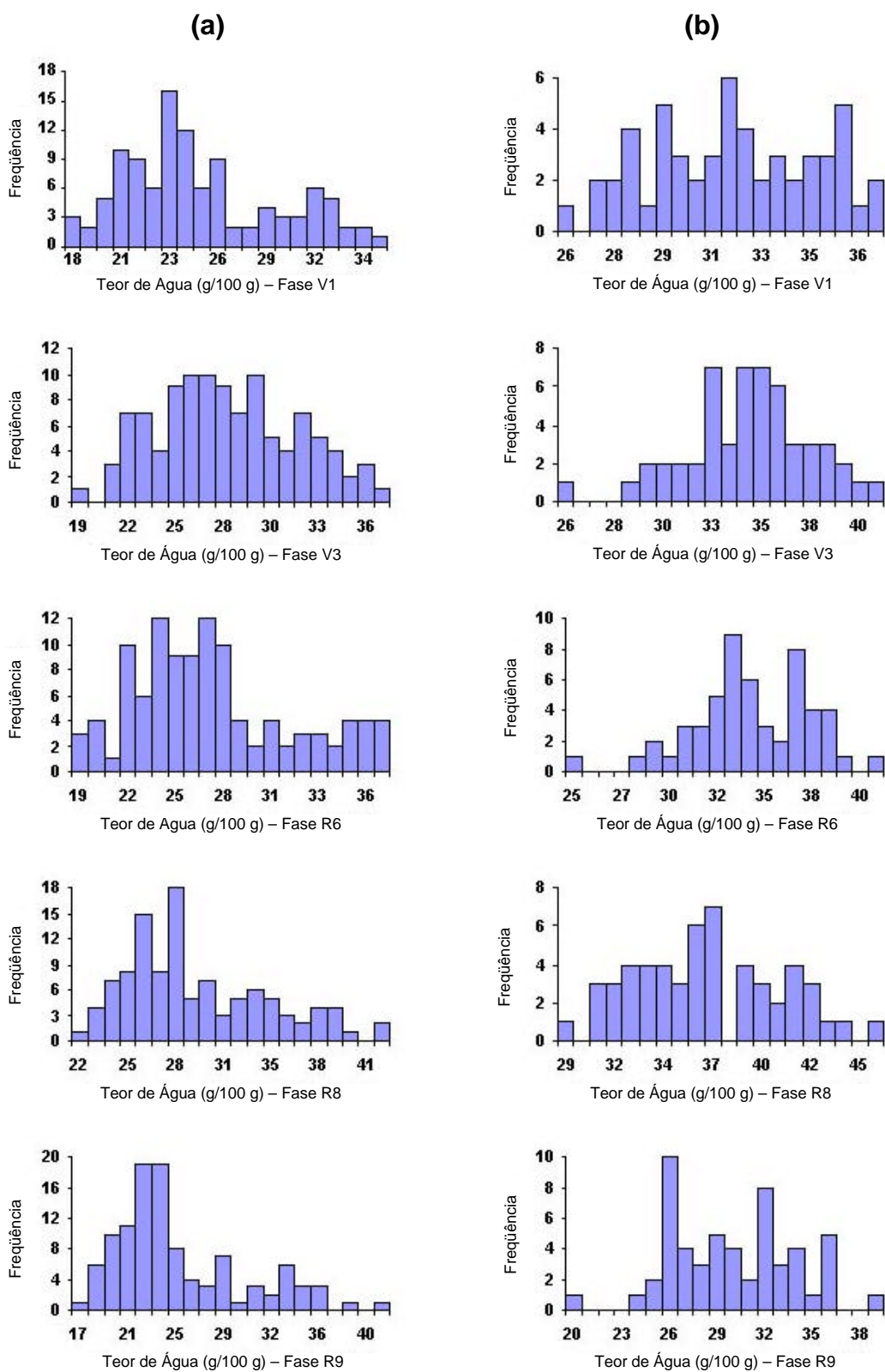


Figura 18 – Histogramas do teor de água em g (100 g)^{-1} , nas diferentes fases do ciclo de desenvolvimento da cultura, nos sistemas de plantio convencional (a) e de plantio direto (b).

4.1.2.2. Análise da variabilidade espacial do teor de água no solo

Encontram-se, na Tabela 6 e nas Figuras 19 e 20, as estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados e selecionados dos semivariogramas experimentais no teor de água no solo, nas fases (V1, V3, R6, R8 e R9) de desenvolvimento da cultura, nos plantios convencional e direto.

Tabela 6 – Modelo e parâmetros dos semivariogramas experimentais do teor de água no solo, nas diferentes fases do ciclo de desenvolvimento da cultura

Sistema de plantio	Fases	Modelo	Efeito Pepita (Co)	Patamar (Co+C)	Alcance (Ao)	r^2 (%)	SQR	IDE (%)
Convencional	V1	Esférico	0,01	22,97	72,60	86,7	85,6	0,04
	V3	Esférico	0,01	22,93	68,50	87,3	57,9	0,04
	R6	Esférico	0,01	28,98	78,30	91,9	87,5	0,03
	R8	Esférico	0,01	28,02	73,30	85,3	139,0	0,04
	R9	Esférico	0,10	34,78	75,40	87,7	185,0	0,29
Direto	V1	Exponencial	1,87	9,64	58,20	88,3	2,21	19,40
	V3	Esférico	3,13	23,24	172,30	96,8	2,19	13,47
	R6	Esférico	4,91	24,51	210,90	78,8	11,80	20,03
	R8	Esférico	7,06	36,11	193,70	94,2	6,48	19,55
	R9	Esférico	2,60	25,19	100,00	99,8	0,507	10,32

em que r^2 (coeficiente de determinação), SQR (soma dos quadrados dos resíduos), IDE (índice de dependência espacial) e V1, V3 R6, R8 e R9 fases do ciclo da cultura (V1 – Emergência, V3 – Primeira folha trifoliolada, R6 – Floração, R8 – Enchimento das vagens e R9 – Maturação fisiológica).

As variações da amplitude da dependência espacial entre as fases de desenvolvimento da cultura indicam que inferências a respeito da variável teor de água devem considerar, além do sistema de manejo empregado, as fases de desenvolvimento no ciclo da cultura.

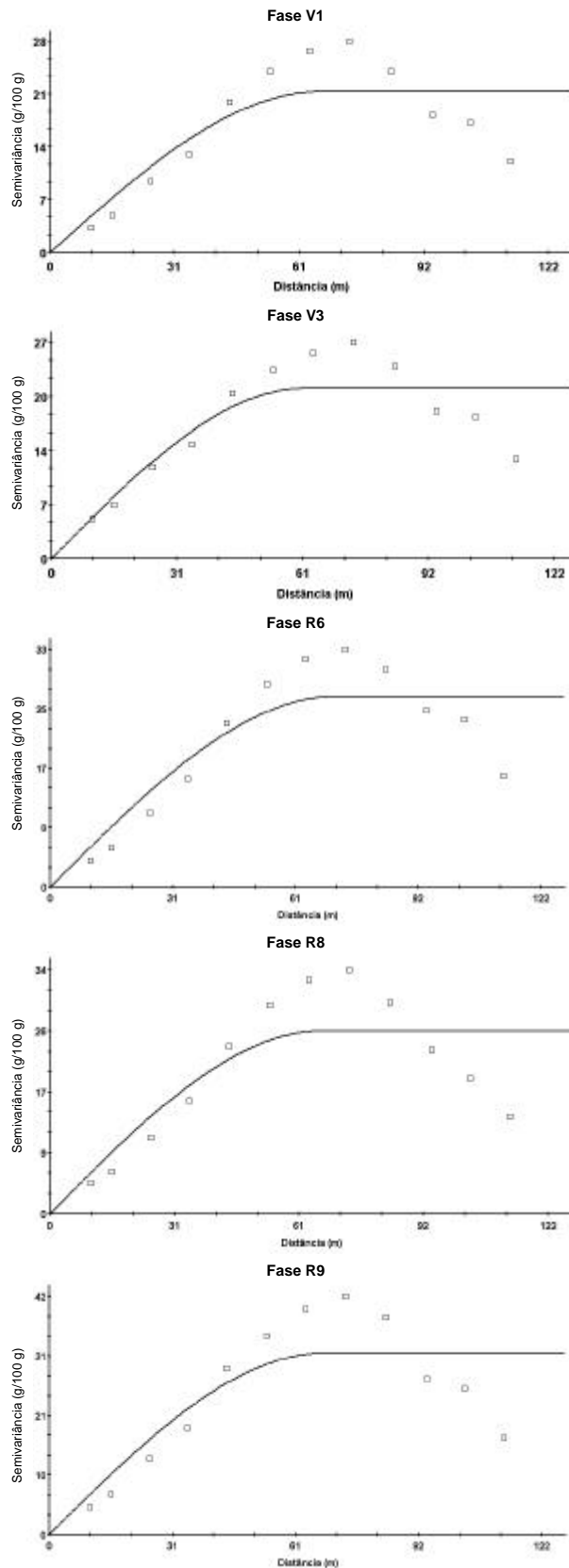


Figura 19 – Semivariogramas experimentais do teor de água no solo nas diferentes fases do ciclo de desenvolvimento da cultura, no sistema de plantio convencional.

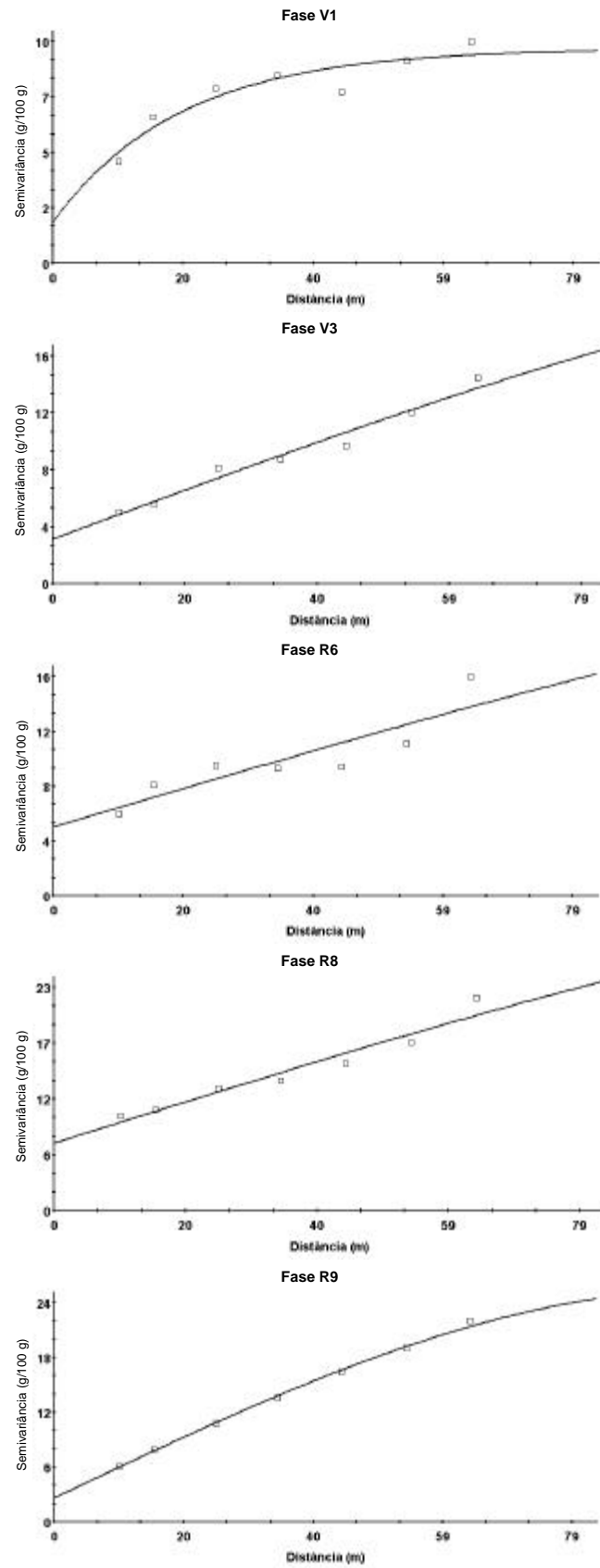


Figura 20 – Semivariogramas experimentais do teor de água no solo nas diferentes fases do ciclo de desenvolvimento da cultura, no sistema de plantio direto.

O índice de dependência espacial (IDE) permitiu classificar o grau de dependência espacial do teor de água no solo como forte, ou seja, o efeito pepita foi menor que 25% do patamar nos plantios convencional e direto em todas as fases, conforme Cambardella et al. (1994). Deve-se ressaltar que, embora o IDE do plantio direto se situe na faixa de forte dependência espacial, conforme a classificação utilizada, seu valor médio é da ordem de 186 vezes o valor do IDE do plantio convencional, evidenciando que, em áreas de plantio direto, o controle do teor de água no solo pode ter malha maior, reduzindo o custo do controle dessa variável.

Observa-se, na Tabela 6 e também nas Figuras 19 e 20, que o efeito pepita (C_0) no plantio convencional tendeu a ser menor em relação ao plantio direto. Esse fato pode ser devido à variação da quantidade de palha por unidade de área, bem como ao tipo de palha (do milho e brachiaria) no plantio direto, existente nos locais amostrados.

No sistema de plantio convencional, o teor de água no solo apresentou dependência espacial, quando se ajustou o modelo esférico para o semivariograma. Os alcances obtidos foram de 72,60; 68,50; 78,30; 73,30; e 75,40 m, nas fases do ciclo da cultura V1, V3, R6, R8 e R9, respectivamente. No sistema de plantio direto, o teor de água no solo também apresentou dependência espacial, quando se ajustou o modelo esférico nas fases V3, R6, R8 e R9, com alcances de 172,30; 210,90; 193,70; e 100,00 m, respectivamente; e na fase V1, quando se ajustou o modelo exponencial com alcance de 58,20 m. Essa diferença entre os dois sistemas de plantio se deve, provavelmente, à maior capacidade de retenção de água pelo solo no plantio direto, em função da camada de palha, resultando numa dependência espacial com tendência à maior amplitude, ou seja, mesmo com uma malha maior, ainda foi possível detectar dependência espacial do teor de água no solo.

A seleção dos modelos ajustados foi feita por meio da validação cruzada. Na Tabela 7 são mostradas as estimativas dos parâmetros dos gráficos da validação cruzada do teor de água no solo, nas fases do ciclo de desenvolvimento da cultura, nos plantios convencional e direto.

Tabela 7 – Estimativa dos parâmetros da validação cruzada do teor de água no solo, nas diferentes fases do ciclo de desenvolvimento da cultura

Parâmetros	Plantio Convencional					Plantio Direto				
	V1	V3	R6	R8	R9	V1	V3	R6	R8	R9
Coefficiente de Regressão	1,019	0,970	0,996	0,978	0,994	1,012	1,074	1,124	1,001	1,048
r^2 (%)	89,0	75,4	85,9	81,2	85,1	33,0	45,2	20,9	32,8	59,7

em que r^2 (coeficiente de determinação) e V1, V3 R6, R8 e R9 = fases do ciclo da cultura (V1 – Emergência, V3 – Primeira folha trifoliolada, R6 – Floração, R8 – Enchimento das vagens e R9 – Maturação fisiológica).

As Figuras 21 e 22 representam os gráficos da validação cruzada da variável teor de água no solo, nas fases do ciclo de desenvolvimento da cultura, nos sistemas de plantios convencional e direto.

Os gráficos (Figura 21) do plantio convencional mostram que os valores estimados dispersaram pouco dos observados. Percebe-se, com esse resultado, que o modelo de semivariograma foi convenientemente ajustado, esperando-se, com isso, que a interpolação produza boas estimativas.

Analisando os gráficos (Figura 22) no plantio direto, nota-se que os valores estimados se dispersaram dos observados. Isso significa que os modelos de semivariogramas ajustados não foram eficientes na estimação adequada dos valores próximos da média amostral. Portanto, espera-se que a interpolação por krigagem não produzirá boas estimativas.

Nota-se que, no plantio direto (Tabela 7), o coeficiente de determinação (r^2) da validação cruzada é baixo, ou seja, a variação das estimativas usando o modelo selecionado em relação à variação total dos dados é alta. Na krigagem, os pontos estimados de densidade da variável mais próximos de zero na realidade são acrescidos de maior teor de água, e pontos com um valor muito alto de teor de água no solo têm sua densidade da variável diminuída. Segundo Shiratsuchi (2001), essa suavização da densidade da variável é característica do método de interpolação, quando se têm dados muitos discrepantes, porém é melhor do que considerar uma densidade da variável média ou utilizar interpoladores que não consideram a dependência espacial existente.

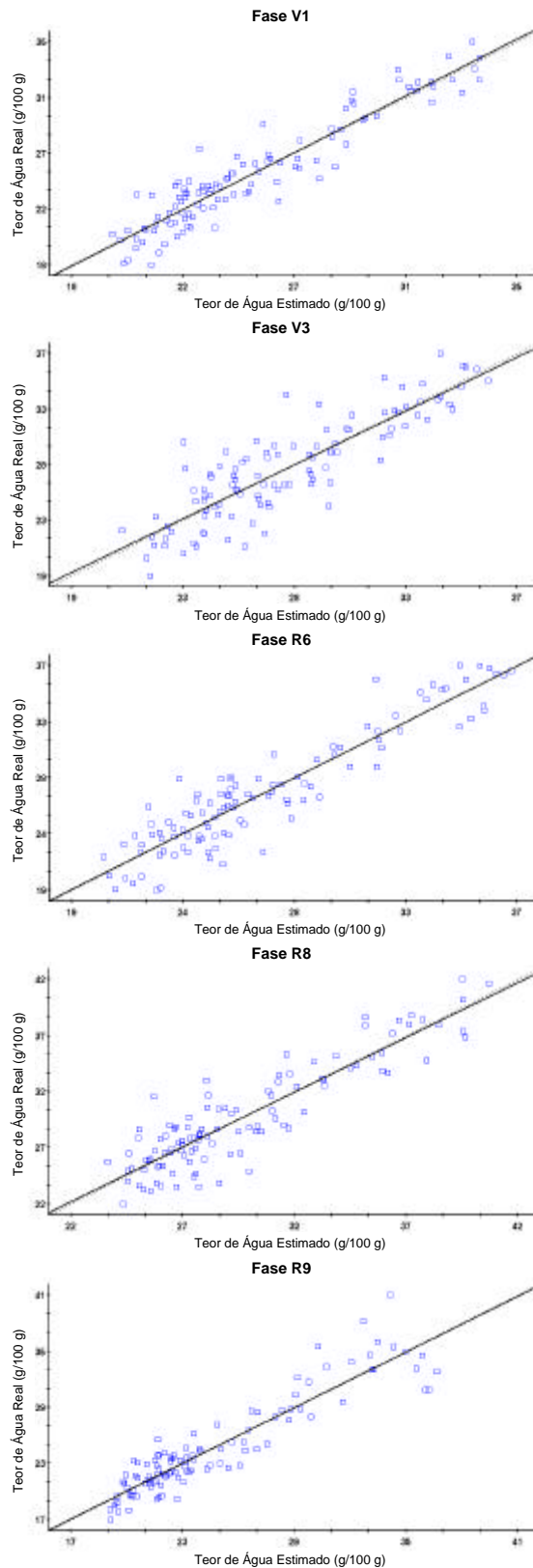


Figura 21 – Gráficos da validação cruzada dos dados experimentais do teor de água no solo, no plantio convencional e nas fases do ciclo de desenvolvimento da cultura (V1 – Emergência, V3 – Primeira folha trifoliolada, R6 – Floração, R8 – Enchimento das vagens e R9 – Maturação fisiológica).

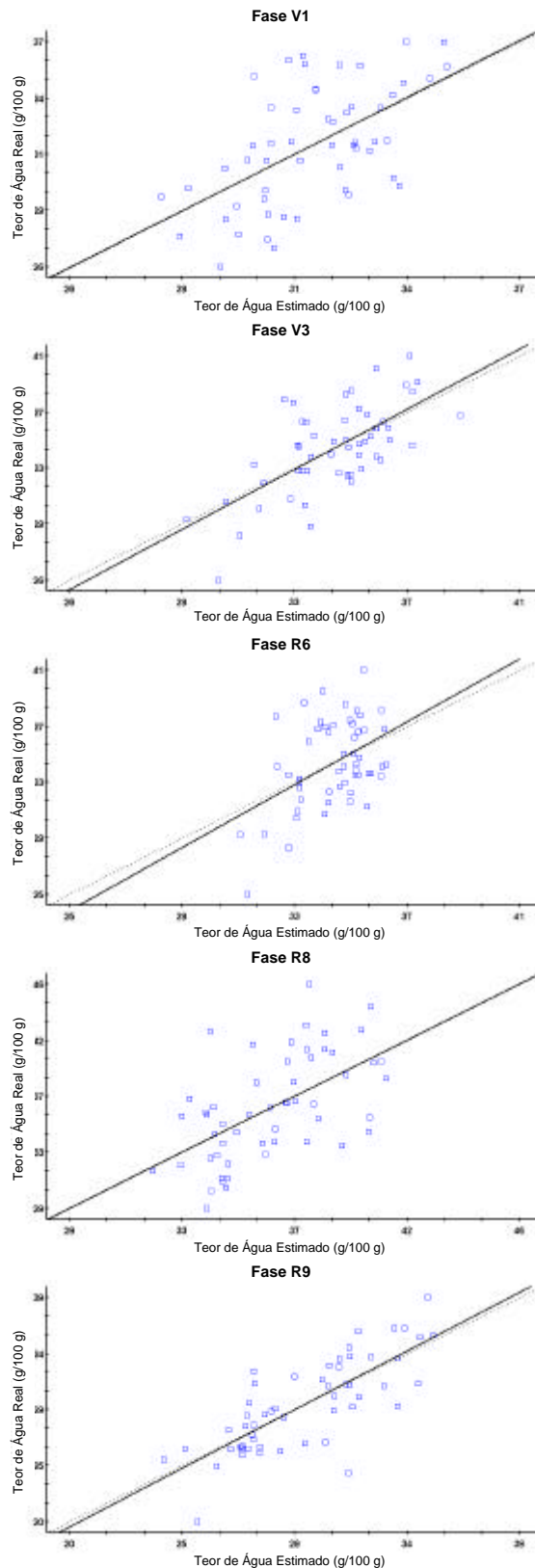


Figura 22 – Gráficos da validação cruzada dos dados experimentais do teor de água no solo, no plantio direto e nas fases do ciclo de desenvolvimento da cultura (V1 – Emergência, V3 – Primeira folha trifoliolada, R6 – Floração, R8 – Enchimento das vagens e R9 – Maturação fisiológica).

As Figuras 23 e 24 representam os mapas da variável teor de água no solo, nas fases do ciclo de desenvolvimento da cultura, nos sistemas de plantios convencional e direto.

Os mapas da variável teor de água no solo do plantio convencional (Figura 23) e do plantio direto (Figura 24) evidenciam grande diferença dessa variável entre os dois sistemas. Nota-se que, no plantio convencional, o teor de água no solo tem variação entre 17,00 e 42,00 g (100 g)⁻¹ e o plantio direto, entre 22,00 e 42,00 g (100 g)⁻¹. Esse fato corresponde a um teor de água no solo mais baixo em 22,70% no plantio convencional, em relação ao plantio direto, devido ao fato de a cobertura com camada de palha diminuir a evaporação no plantio direto.

Os valores do teor de água no solo do plantio convencional (Figura 23) indicam que os valores mais altos tendem a se concentrar na metade superior do mapa, considerando-se o eixo norte como referência. E as posições ocupadas pelos valores do teor de água no solo, no plantio direto (Figura 24), visto que não houve bom ajuste do modelo aos dados experimentais, indicam os valores mais altos do teor de água na metade inferior do mapa.

A tendência de maior teor de água no solo do plantio convencional (Figura 23), localizado na parte superior do mapa, pode ser ocasionada pela maior concentração de argila (Figura 16). O mesmo comportamento ocorreu no plantio direto (Figuras 24 e 16). No plantio direto, além da variabilidade espacial da textura, ocorreu distribuição diferenciada da cobertura de palha na área, conforme apresentado na Tabela 1 e na Figura 9, indicando que na parte superior do mapa há menor quantidade de cobertura, com maior quantidade na parte inferior.

Os mapas do teor de água no solo em algumas fases do ciclo de desenvolvimento da cultura, no plantio convencional (Figura 23) e no plantio direto (Figura 24), mostram que é possível prever onde instalar sensores de determinação do teor de água no solo para monitoramento da irrigação na área em estudo. Locais no mapa com alto e baixo teor de água são ideais para instalação de sensores, pois os teores de água alto e baixo são repetitivos em todo o ciclo da cultura.

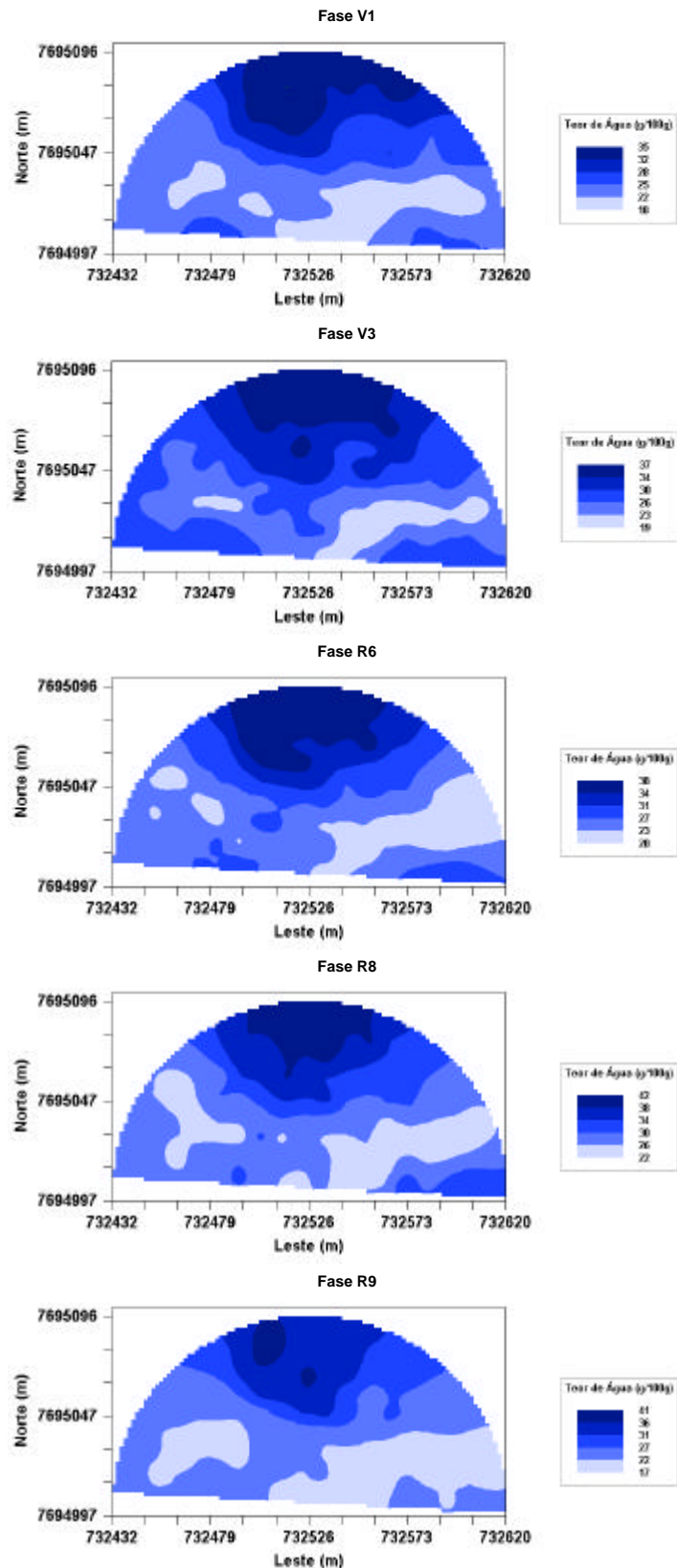


Figura 23 – Mapas interpolados por krigagem do teor de água no solo, no plantio convencional nas fases do ciclo de desenvolvimento da cultura (V1 – Emergência, V3 – Primeira folha trifoliolada, R6 – Floração, R8 – Enchimento das vagens e R9 – Maturação fisiológica).

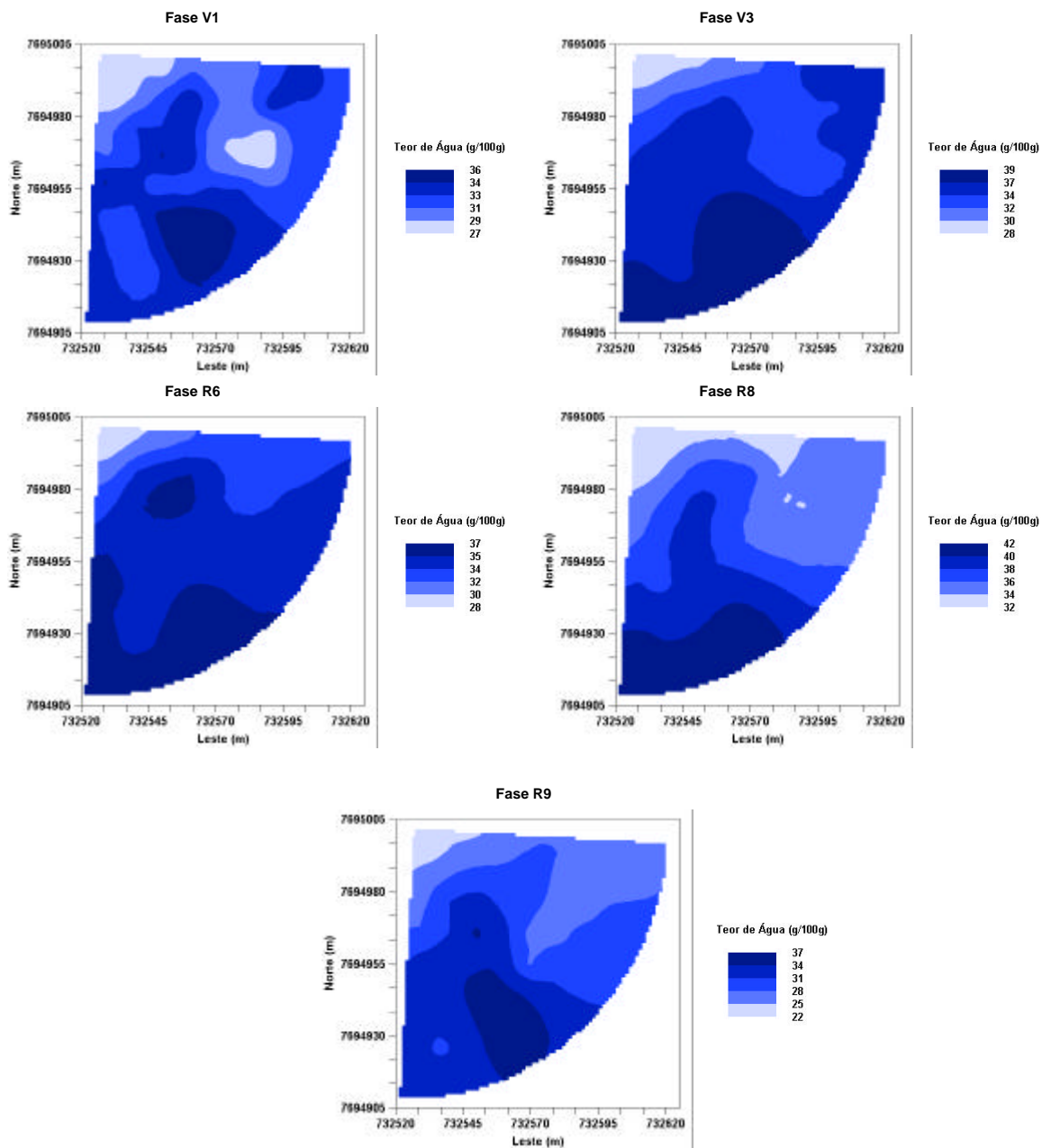


Figura 24 – Mapas interpolados por krigagem do teor de água no solo, no plantio direto nas fases do ciclo de desenvolvimento da cultura (V1 – Emergência, V3 – Primeira folha trifoliolada, R6 – Floração, R8 – Enchimento das vagens e R9 – Maturação fisiológica).

4.1.2.3. Análise da variabilidade temporal do teor de água no solo

Analisando conjuntamente os alcances das cinco fases do ciclo de desenvolvimento da cultura estudados sobre o teor de água no solo, no sistema de plantio convencional, percebeu-se que o alcance variou de 68,50 a 78,30 m. Portanto, o estudo do teor de água no solo não deve ser feito com malha maior que 68,50 m, pois corre-se o risco de perder em informações quanto à dependência espacial. No sistema de plantio direto, percebeu-se que o alcance variou de 58,20 a 210,90 m, e, portanto, não se deve fazer estudo do teor de água no solo com malha maior que 58,20 m, pois, também, corre-se o risco de se perder em informações quanto à dependência espacial. No entanto, sendo desconsiderada a análise da fase V1 no sistema de plantio direto, devido ao fato de a infiltração da água não ter sido o suficiente no solo por causa da retenção da cobertura, o alcance iria variar de 100,00 a 210,90 m, aumentando a malha máxima para se fazer o estudo do teor de água no solo até 100,00 m.

De maneira geral, observaram-se pequenas diferenças entre as fases de desenvolvimento da cultura, quando se analisam os mapas do teor de água no solo nos plantios convencional e direto.

4.1.3. Produtividade

4.1.3.1. Análise descritiva

As estatísticas descritivas sobre a produtividade são apresentadas na Tabela 8, correspondente a 26 e 13 pontos amostrais nos plantios convencional e direto, respectivamente. Foram eliminados três e três pontos amostrais nos plantios convencional e direto, respectivamente, por serem considerados dados atípicos.

Nas áreas de plantios convencional e direto, as produtividades médias foram de 169,37 e 226,80 g m⁻² (equivalentes a 1.693,70 e 2.268,00 kg ha⁻¹), com desvios-padrão de 35,52 e 19,94 g m⁻², respectivamente. Os coeficientes de variação dos plantios convencional e direto foram, respectivamente, de 20,97 e 8,79%, indicando que os dados tendem a apresentar dispersões diferenciadas entre os dois sistemas de plantio. Esse fato revela que, quando forem feitas amostragens de produtividade nos dois sistemas, deve-se estabelecer maior número de amostras para o plantio convencional, em comparação com o plantio direto.

Tabela 8 – Estatística descritiva da produtividade (g m^{-2}) nos sistemas de plantios convencional e direto

Parâmetros Estatísticos	Plantio Convencional	Plantio Direto
\bar{X}	169,37	226,80
s^2	1261,94	397,76
	35,52	19,94
CV	20,97	8,79
Valor Mínimo	76,73	201,14
Valor Máximo	224,56	258,41
n	23	10
Cs (erro)	-0,69 (0,48)	0,34 (0,69)
Cc (erro)	0,42 (0,93)	-1,08 (1,33)
t (5%)	2,07	2,26
t Cs	1,35	0,44
t Cc	0,41	0,70

em que t é o valor “t” tabelado, do teste de Student a 5% de significância; t Cs é o teste de tendência à normalidade, conforme Beiguelman (1994); e t Cc é o teste para verificar se o Cc desvia significativamente de zero, conforme Beiguelman (1994).

A Figura 25 representa os histogramas da produtividade (g m^{-2}), nos sistemas de plantios convencional e direto, que mostram uma tendência dos dados à simetria. Pelo critério apresentado por Beiguelman (1994), citado por Gonçalves (1997), pode-se caracterizar a distribuição dos plantios convencional e direto como assimétrica à direita e simétrica, respectivamente, e mesocúrtica a 5% de significância, ou seja, as distribuições podem ser consideradas aproximadamente normais.

4.1.3.2. Análise da dependência espacial da produtividade

O modelo e as estimativas dos parâmetros do modelo ajustado do semivariograma selecionado na produtividade da área experimental, no plantio convencional (Figura 26), encontram-se na Tabela 9.

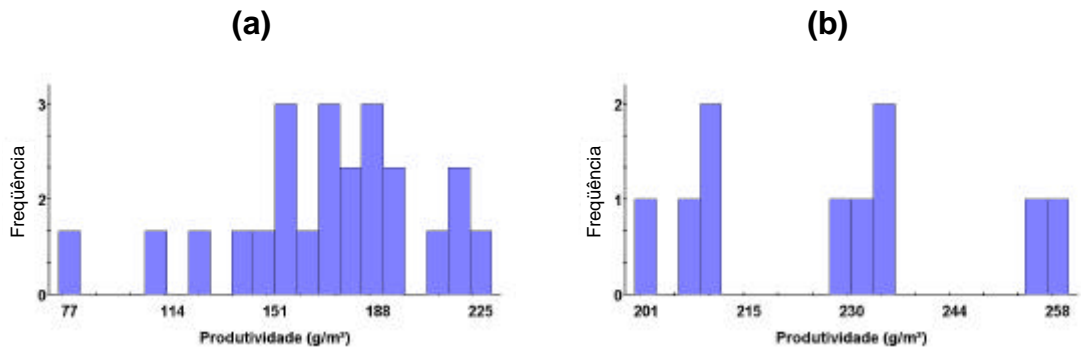


Figura 25 – Histogramas da produtividade (g m⁻²) nos sistemas de plantio convencional (a) e de plantio direto (b).

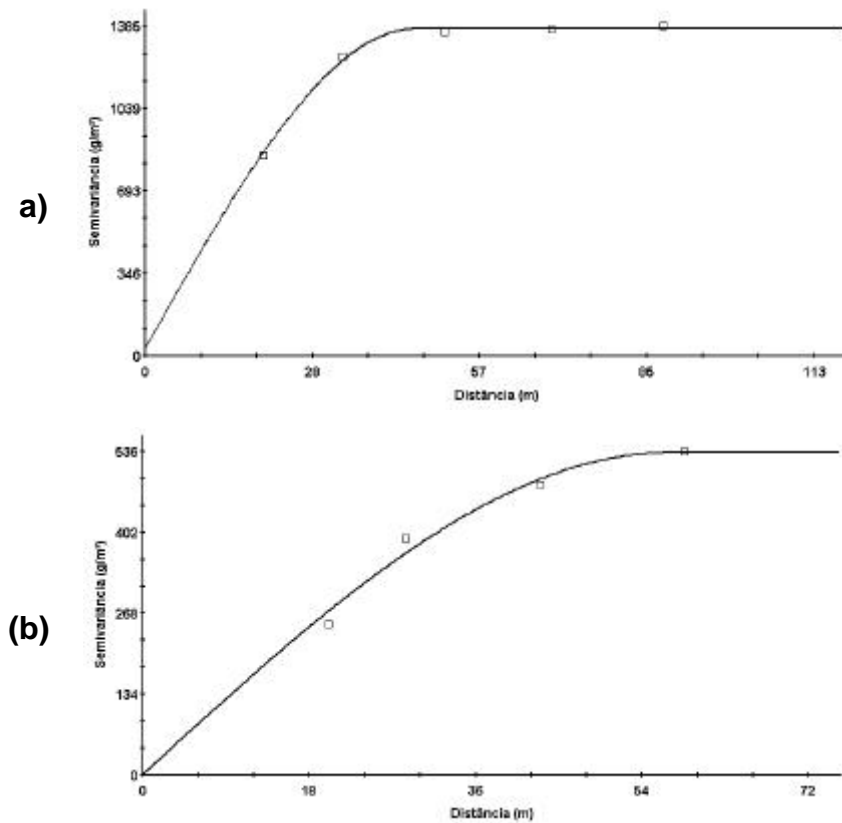


Figura 26 – Semivariograma experimental da produtividade (g m⁻²) nos sistemas de plantio convencional (a) e de plantio direto (b).

Tabela 9 – Modelo e parâmetros do semivariograma dos dados experimentais da produtividade, nos sistemas de plantio convencional e de plantio direto

Variável	Modelo	Efeito Pepita (Co)	Patamar (Co+C)	Alcance (Ao)	r^2 (%)	SQR	IDE (%)
Produtividade (PC)	Esférico	36	1375,00	45,70	99,7	792	2,62
Produtividade (PD)	Esférico	1	534,70	56,60	97,5	1194	0,19

em que r^2 é coeficiente de determinação, SQR é a soma dos quadrados dos resíduos e IDE é o Índice de Dependência Espacial.

O modelo esférico ajustado às semivariâncias experimentais, nos sistemas de plantio convencional e direto, indica uma dependência espacial entre as observações até as distâncias de 45,70 e 56,60 m, respectivamente. Portanto, não se deve fazer estudo de produtividade com malha maior que 45,70 m no plantio convencional e 56,60 m no plantio direto.

O índice de dependência espacial (IDE) permitiu classificar o grau de dependência espacial da produtividade como forte, nos plantios convencional e direto, ou seja, o efeito pepita variou menos que 25% do patamar, de acordo com critérios apresentados por Cambardella et al. (1994).

A Figura 27ab representam os mapas da variável produtividade nos sistemas de plantios convencional e direto, respectivamente. Os mapas foram interpolados por krigagem.

Considerando o eixo norte como referência no mapa, os valores da produtividade no plantio convencional (Figura 27a) apontam a tendência dos valores mais altos de produtividade em se concentrarem na metade inferior do mapa, enquanto os valores baixos tendem a se concentrar na parte superior. No plantio direto (Figura 27b), as posições ocupadas pelos dados coletados de produtividade evidenciam a tendência de os valores mais altos se concentrarem na metade inferior do mapa e os valores baixos, na parte superior do mapa.

No mapa da Figura 27a do plantio convencional, quando a produtividade tendeu a ser baixa, notou-se que a cultura se desenvolveu com déficit de água, como é observado na Figura 28a. Isso ocorreu devido ao fato

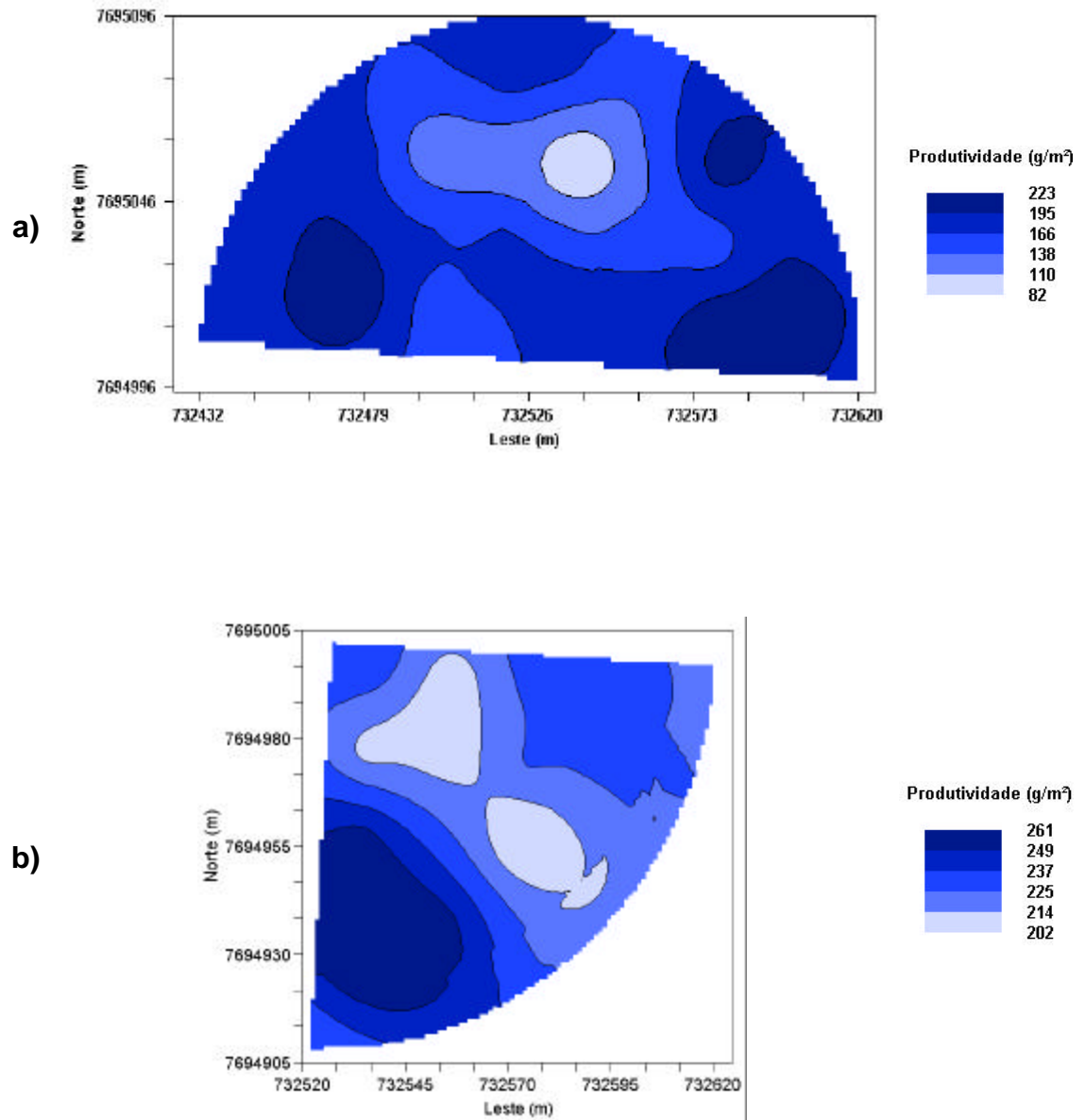
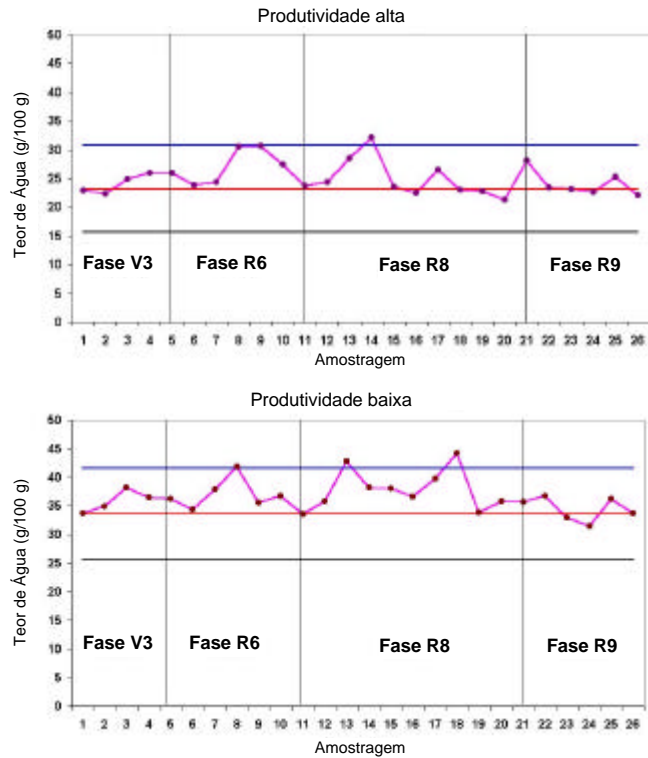


Figura 27 – Mapas da produtividade (g m⁻²), nos sistemas de plantio convencional (a) e de plantio direto (b).

(a)



(b)

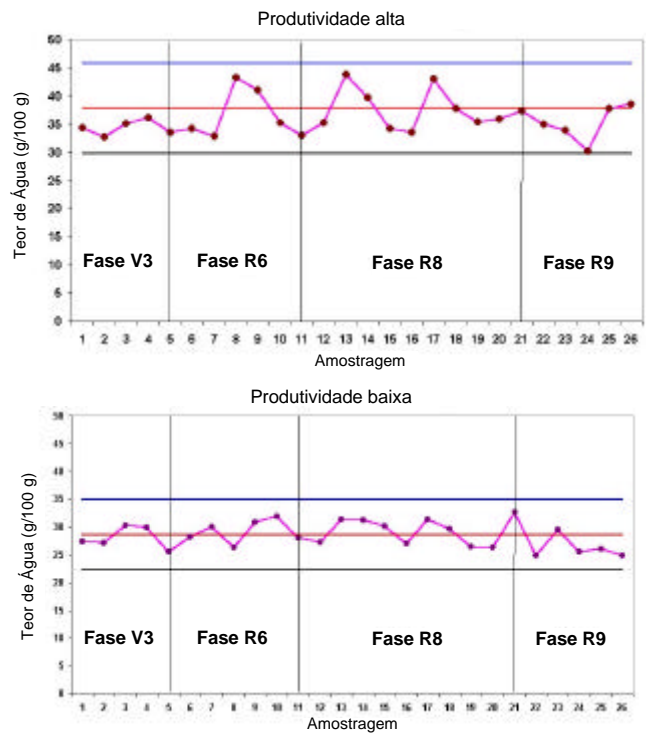


Figura 28 – Variação do teor de água no solo, ao longo do ciclo da cultura, onde ocorreram as produtividades máxima e mínima, representadas nos mapas de produtividade, nos sistemas de plantio convencional (a) e plantio direto (b), nas fases do ciclo de desenvolvimento da cultura (V3 – Primeira folha trifoliolada, R6 – Floração, R8 – Enchimento das vagens e R9 – Maturação fisiológica).

de, no desenvolvimento da planta, o teor de água estar na faixa em que a cultura gasta energia para conseguir extrair água do solo e estar na região onde há maior retenção de água, por possuir maior teor de argila (Figura 16). No ponto onde a produtividade tendeu a ser alta, notou-se que a cultura se desenvolveu dentro do limite da água disponível (AD).

No plantio direto (mapa da Figura 27b), em que a produtividade tendeu a ser alta, notou-se que a cultura se desenvolveu dentro do limite da AD, como observado na Figura 28b. Esse fato ocorreu devido ao fato de a cobertura existente ter o controle natural do teor de água. Onde a produtividade tendeu a ser baixa no mapa (Figura 28b), verificou-se que a cultura se desenvolveu com déficit de água em todo o ciclo e estava na região onde havia maior retenção de água, por possuir maior teor de argila (Figura 17).

4.2. Correlação do teor de água no solo com a produtividade

As correlações simples entre a produtividade e o teor de água no solo, nas fases R6 e R8 da cultura, nos sistemas de plantios convencional (PC) e direto (PD), em que a planta mais precisa de água, são representadas na Tabela 10.

Pelos dados apresentados (Tabela 10), constata-se que são baixos (inferiores a 50%) os valores do coeficiente de correlação entre a produtividade e o teor de água no solo, nas fases R6 e R8 da cultura, nos sistemas de plantio convencional e direto.

Tabela 10 – Dados de correlação entre a produtividade com o teor de água no solo nas fases R6 e R8 da cultura, nos sistemas de plantios convencional (PC) e direto (PD)

Variável	R6	R8
PC – Coeficiente de Correlação (%)	-36,10	-44,51
PD – Coeficiente de Correlação (%)	7,99	21,70

Em que R6 é a fase de floração e R8, a fase de enchimento da vargem.

Devido aos baixos valores das correlações apresentadas na Tabela 10, um modelo de regressão linear ajustado para essas variáveis não estimaria valores condizentes com a realidade. Dessa forma, optou-se por não ajustar o modelo de regressão linear a esses dados.

Supõe-se que a ausência da correlação entre a produtividade e o teor de água no solo esteja associada a fatores de solo de outras naturezas, não analisados nesta pesquisa, e que não é só a água o fator limitante da produtividade nos dois sistemas de plantio analisados.

4.3. Considerações finais

O conhecimento da existência da dependência espacial é aplicado na agricultura de precisão a partir do uso dos mapas de granulometria, teor de água no solo e produtividade. A interpretação correta de tais mapas pode levar ao uso mais eficiente dos recursos naturais existentes, proporcionando, assim, menor custo de produção, além de preservar o meio ambiente.

A dependência espacial detectada no mapa de granulometria do solo é um claro indício de que o agricultor vai ter que realizar um manejo do uso de água de forma diferenciada em relação a toda a sua área. Tal resultado pôde ser constatado pela dependência espacial, também detectada no teor de água no solo, além da semelhança entre os mapas de granulometria e de teor de água com relação à tendência de concentração dos maiores valores de argila e teor de água.

Os mapas gerados para granulometria e teor de água no solo poderão indicar ao agricultor a quantidade de água que ele deve aplicar em cada região da área. Além disso, os resultados aqui obtidos indicam que a quantidade a ser aplicada em cada região do mapa tende a seguir o mesmo comportamento ao longo do desenvolvimento da cultura.

5. CONCLUSÕES

Em face das metodologias empregadas no solo e na cultura e dos resultados, bem como das condições em que este trabalho foi conduzido, pôde-se concluir que:

– O método geoestatístico utilizado possibilitou identificar a dependência espacial das variáveis textura e teor de água no solo (nos dois sistemas de plantio) e produtividade (no sistema de plantio convencional).

– É possível, através do mapeamento da variabilidade espacial do teor de água no solo, determinar a quantidade de sensores de umidade, bem como a localização para distribuí-los de forma racional em campo.

– Pelo método geoestatístico utilizado, foi possível identificar os locais da distribuição do comportamento das frações granulométricas, do teor de água no solo e da produtividade, dando subsídios à instalação de futuros experimentos com custos reduzidos.

– A dependência espacial dos atributos frações granulométricas e teor de água no solo, no plantio convencional, é menor quando comparada com o plantio direto.

– O estudo da textura não deve ser feito com malha superior a 80,80 e 44,40 m nos plantios convencional e direto, respectivamente.

– O estudo do teor de água no solo não deve ser feito com malha superior a 68,50 e 100,00 m nos plantios convencional e direto, respectivamente.

- O estudo da produtividade não deve ser feito com malha superior a 45,70 m no plantio convencional e 56,60 m no plantio direto.
- A produtividade não apresentou correlação com os teores de água no solo, verificados nas fases R6 (floração) e R8 (enchimento das vagens).
- O plantio direto do feijão propiciou produtividade superior à do plantio convencional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de irrigação por aspersão pivô central, caracterização de desempenho: método de ensaio; 1º projeto de norma.** Rio de Janeiro: ABNT, 1985. 22 p. (PN 12:02.08.005).

ASAE – AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **The society for engineering in agricultural, food, and biological systems 2950 Niles Rd.** St. Joseph: ASAE, 1998. (ASAE Standard S352.2 DEC97).

ALVAREZ, V. H.; CARRARO, I. M. Variabilidade do solo numa unidade de amostragem em solos de Cascavel e de Ponta Grossa – Paraná. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 23, 1976.

BEIGUELMAN, B. **Curso prático de bioestatística.** 3. ed. Ribeirão Preto, SP: Sociedade Brasileira de Genética, 1994. 244 p.

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

BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais.** Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1999. Tese (Doutorado).

BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Eds.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas.** Viçosa, MG: UFV, 1998. p. 13-17.

CADIMA, Z. A.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica em latossolo vermelho amarelo textura média, no campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 4, n. 2, p. 63-66, 1980.

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

CARVALHO, T. M. **Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de um latossolo vermelho amarelo através da geoestatística**. Lavras, MG: Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1991. Dissertação (Mestrado).

CHEN, J.; HOPMANS, J. W.; FOGG, G. E. Sampling design for soil moisture measurements in large field trials. **Soil Science**, v. 159, n. 3, p. 155-161, 1995.

CIAT – CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol**. Cali, Colombia: Aart van Schoonhoven y Marcial A. Pastor-Corrales (comps.), [s. d.]. 56 p.

CHRISTIANSEN, J. P. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 124 p. (Bulletin 670).

CONAB. **Indicadores da agropecuária**, São Paulo: Editora Companhia Nacional de Abastecimento; Brasília, 2001. v. 10, n. 1, p. 33.

CUNHA, J. P. **Fungigação: eficácia e uniformidade de distribuição do epoxiconazol, em três lâminas de água, no controle de doenças do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2000. Dissertação (Mestrado).

DAVID, M. **Geostatistical ore reserve estimation**. New York: Elsevier, 1977. v. 8, 364 p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Rome, Italy: FAO, 1977. (Irrigation and Drainage Paper 24).

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

ESPINDULA NETO, D. **Uso racional de água e de energia elétrica na cafeicultura irrigada por pivô central e gotejamento**. Viçosa, MG: UFV, DGU, 2002. Dissertação (Mestrado).

FREITAS, V. A. **Análise de dados espaciais por meio de semivariogramas**. Uberlândia, MG: Universidade Federal de Uberlândia; Faculdade de Matemática, 2000. 30 p.

GAJEM, Y. M.; WARRICK, A. W.; MYERS, D. E. Spatial dependence of physical properties of a typic torrifuvent soil. **Soil Science Society of American Journal**, v. 45, n. 4, p. 709-715, 1981.

GONÇALVES, A. C.; FOLEGATTI, M. V. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo, ao longo de uma transeção em área irrigada por pivô central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1995. p. 95; p. 3-190.

GONÇALVES, A. C. A. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo de irrigação.** Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1997. Tese (Doutorado).

GONÇALVES, A. C.; FOLEGATTI, M. V.; VIEIRA, S. R. Padrões de amostragens e intensidade de krigagem na caracterização do armazenamento de água no solo, em áreas irrigada por pivô central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 1485-1495, 1999.

GS+. **GS+ Geostatistics for the Environmental Sciences.** Version 5.3.1. Gamma Design Software, Michigan, 2000.

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.** Campinas, SP: FEAGRI/UNICAMP, 2000. Tese (Doutorado).

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada.** Uberlândia, MG: Núcleo de Estudos Estatísticos e Biométricos da Universidade Federal de Uberlândia, 2001. 48 p.

HEERMANN, D. F.; HEIN, P. R. Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler system. **Transactions of the ASAE**, v. 11, n. 1, p. 11-14, 1968.

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

MACHADO, P. L. O. A. **Agricultura de precisão para a recomendação de adubação da soja sob plantio direto.** ago. 2000. Seção Edição atual. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/index.html>>. Acesso em: 7 jun. 2002.

MELO FILHO, J. F. **Variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica em função da umidade de um latossolo sob condições de campo.** Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2002. Tese (Doutorado).

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão. Parte I: O que é o estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, v. 17, n. 2, p. 109-121, 1997.

MYERS, J. C. **Geostatistical error management**. Qualifying uncertainty for environmental sampling and mapping. New York: Van Nostrand Reinhold, 1997. 571 p.

OR, D.; HANKS, R. J. Soil water and crop yield spatial variability induced by irrigation nonuniformity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 226-233, 1992.

ORTIZ, G. C. **Aplicação de métodos geoestatístico para identificar a magnitude e a estrutura da variabilidade espacial de variáveis físicas do solo**. Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2002. Dissertação (Mestrado).

RIBEIRA Jr., P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1995. Dissertação (Mestrado).

ROSSI, R. E.; DUNGAN, J. L.; BECK, L. R. Kriging in the shadows: geostatistical interpolation for remote sensing. **Remote Sens. Environ**, v. 49, p. 32-40, 1994.

SARAIVA, A. M.; CUGNASCA, C. E. Sistemas para agricultura de precisão: equipamentos e programas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, MG : UFLA/SBEA, 1998. 244 p.

SILVA, F. M.; FIM, E.; CASTRO NETO, P.; MACHADO, R. V. **Aplicação da agricultura de precisão na lavoura cafeeira**. NET, Patrocínio, set. 2003. Seção Edição atual. Disponível em: <<http://www.revistacafeicultura.com.br/edicao05/presisao.htm>>. Acesso em: 2 dez. 2003.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Manejo da irrigação do feijoeiro**: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. (EMBRAPA – CNPAF; Circular Técnico, 27).

SHIRATSUCHI, L. S. **Mapeamento da variabilidade espacial das plantas daninhas com a utilização de ferramentas da agricultura de precisão**. Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2001. Dissertação (Doutorado).

STONE, L. F. **Irrigação do feijoeiro**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1986. (EMBRAPA – CNPAF; Circular Técnico, 20).

TARJUELO, J.M.; MONTERO, J.; HONRUBIA, F.T.; ORTIZ, J.J.; ORTEGA, J.F. Analysis of uniformity of sprinkle irrigation in a semi-arid area. **Agricultural Water Management**, v. 40, p. 315-331, 1999.

TRANGMAR, B. B.; YORST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, p. 45-93, 1985.

VACHAUD, G.; PASSERAT, DE S.; 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.

VAUCLIN, M.; VIEIRA, S. R.; VAUCHAUD, G.; NIELSEN, D. R. The use of cokriging with limited field observation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, p. 175-184, 1983.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 31, n. 3, p. 1-75, 1983.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, SP, v. 56, n.1, p. 181-190, 1997.

WARRICH, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. cap. 13, p. 319-344.

ZIMBACK, C. R. L. **Elementos de geoestatística**. Botucatu, SP: GEPAG FCA–UNESP, 2003. 48 p.

APÉNDICE

APÊNDICE A

Quadro 1A – Valores das análises granulométricas do solo de diferentes locais da área com plantio convencional.

Referência	Localização		Argila (dag kg ⁻¹)	Silte (dag kg ⁻¹)	Areia (dag kg ⁻¹)	Textura
	Leste (m)	Norte (m)				
A01	732609,080	7695005,081	47	16	37	Argila
A02	732594,104	7695005,938	46	14	40	Argila
A03	732579,129	7695006,796	49	15	36	Argila
A04	732564,153	7695007,653	46	12	42	Argila
A05	732549,178	7695008,511	43	11	46	Argilo-Arenosa
A06	732534,202	7695009,368	38	13	49	Argilo-Arenosa
A07	732519,227	7695010,226	41	12	47	Argilo-Arenosa
A08	732504,251	7695011,083	47	15	38	Argila
A09	732489,276	7695011,941	48	15	37	Argila
A10	732474,301	7695012,798	50	11	39	Argila
A11	732459,325	7695013,656	49	13	38	Argila
A12	732444,350	7695014,513	47	12	41	Argila
A13	732609,937	7695020,056	42	11	47	Argilo-Arenosa
A14	732594,962	7695020,914	39	11	50	Argilo-Arenosa
A15	732579,986	7695021,771	41	10	49	Argilo-Arenosa
A16	732565,011	7695022,629	41	10	49	Argilo-Arenosa
A17	732550,035	7695023,486	43	12	45	Argila
A18	732535,060	7695024,344	46	11	43	Argila
A19	732520,084	7695025,201	49	10	41	Argila
A20	732505,109	7695026,059	50	11	39	Argila
A21	732490,133	7695026,916	45	10	45	Argilo-Arenosa
A22	732475,158	7695027,774	46	11	43	Argila
A23	732460,183	7695028,631	43	8	49	Argilo-Arenosa
A24	732445,207	7695029,489	43	10	47	Argilo-Arenosa
A25	732610,795	7695035,032	49	11	40	Argila
A26	732595,819	7695035,889	43	11	46	Argila
A27	732580,844	7695036,747	48	11	41	Argila
A28	732565,868	7695037,604	47	11	42	Argila
A29	732550,893	7695038,462	47	13	40	Argila
A30	732535,917	7695039,319	51	14	35	Argila
A31	732520,942	7695040,177	48	18	34	Argila
A32	732505,966	7695041,034	49	12	39	Argila
A33	732490,991	7695041,892	48	12	40	Argila
A34	732476,016	7695042,749	44	10	46	Argilo-Arenosa
A35	732461,040	7695043,607	49	9	42	Argila
A36	732446,065	7695044,464	50	10	40	Argila
A37	732596,677	7695050,865	54	12	34	Argila

Continua...

Quadro 1A – Cont.

Referência	Localização		Argila (dag kg ⁻¹)	Silte (dag kg ⁻¹)	Areia (dag kg ⁻¹)	Textura
	Leste (m)	Norte (m)				
A38	732581,701	7695051,722	52	13	35	Argila
A39	732566,726	7695052,580	55	15	30	Argila
A40	732551,750	7695053,437	54	17	29	Argila
A41	732536,775	7695054,295	63	17	20	Muito Argilosa
A42	732521,799	7695055,152	66	20	14	Muito Argilosa
A43	732506,824	7695056,010	67	16	17	Muito Argilosa
A44	732491,848	7695056,867	59	13	28	Argila
A45	732476,873	7695057,725	55	12	33	Argila
A46	732461,898	7695058,582	48	10	42	Argila
A47	732582,559	7695066,698	57	18	25	Argila
A48	732567,583	7695067,555	65	15	20	Muito Argilosa
A49	732552,608	7695068,413	66	16	18	Muito Argilosa
A50	732537,632	7695069,270	68	21	11	Muito Argilosa
A51	732522,657	7695070,127	74	19	7	Muito Argilosa
A52	732507,681	7695070,985	73	20	7	Muito Argilosa
A53	732492,706	7695071,842	71	17	12	Muito Argilosa
A54	732477,731	7695072,700	58	14	28	Argila
A55	732568,441	7695082,530	73	17	10	Muito Argilosa
A56	732553,465	7695083,388	74	19	7	Muito Argilosa
A57	732538,490	7695084,245	71	24	5	Muito Argilosa
A58	732523,514	7695085,103	76	21	3	Muito Argilosa
A59	732508,539	7695085,960	77	18	5	Muito Argilosa
A60	732493,563	7695086,818	73	21	6	Muito Argilosa

Quadro 2A – Valores das análises granulométricas do solo de diferentes locais da área com plantio convencional.

Referência	Localização		Argila (dag kg ⁻¹)	Silte (dag kg ⁻¹)	Areia (dag kg ⁻¹)	Textura
	Leste (m)	Norte (m)				
B01	732608,222	7694990,105	58	11	31	Argila
B02	732593,247	7694990,963	56	12	32	Argila
B03	732578,271	7694991,820	57	12	31	Argila
B04	732563,296	7694992,678	57	15	28	Argila
B05	732548,320	7694993,535	55	11	34	Argila
B06	732533,345	7694994,393	47	12	41	Argila
B13	732607,365	7694975,130	59	14	27	Muito-Argilosa
B14	732592,389	7694975,987	57	13	30	Argila
B15	732577,414	7694976,845	48	11	41	Argila
B16	732562,438	7694977,702	61	17	22	Muito-Argilosa
B17	732547,463	7694978,560	50	25	25	Argila
B18	732532,487	7694979,417	57	16	27	Argila
B25	732606,507	7694960,154	58	15	27	Argila
B26	732591,532	7694961,012	56	17	27	Argila
B27	732576,556	7694961,869	50	16	34	Argila
B28	732561,581	7694962,727	53	22	25	Argila
B29	732546,605	7694963,584	66	22	12	Muito-Argilosa
B37	732590,674	7694946,036	64	14	22	Muito-Argilosa
B38	732575,699	7694946,894	67	19	14	Muito-Argilosa
B39	732560,723	7694947,751	71	21	8	Muito-Argilosa
B41	732530,772	7694949,466	70	14	16	Muito-Argilosa
B47	732574,841	7694931,918	67	18	15	Muito-Argilosa
B48	732559,866	7694932,776	70	20	10	Muito-Argilosa
B49	732544,890	7694933,633	63	14	23	Muito-Argilosa
B50	732529,915	7694934,491	67	16	17	Muito-Argilosa
B55	732559,008	7694917,800	67	21	12	Muito-Argilosa
B56	732544,033	7694918,658	61	12	27	Muito-Argilosa
B57	732529,057	7694919,515	63	17	20	Muito-Argilosa

Quadro 3A – Valores, em g (100 g)⁻¹, dos teores de água do solo no plantio convencional nas fases (V1, V3, R6, R8 e R9) da cultura (Laboratório de Solo e Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV).

Nº Amostra	Leste (m)	Norte (m)	V1	V3	R6	R8	R9
A02	732601,696	7695003,332	25,13	27,16	28,42	33,33	23,04
A03	732591,710	7695003,874	25,24	29,58	30,21	31,59	21,27
A04	732581,725	7695004,416	25,86	26,75	27,79	28,96	23,50
A05	732571,740	7695004,959	24,21	29,03	26,71	32,89	23,63
A06	732561,755	7695005,501	23,22	26,29	25,19	25,87	21,55
A07	732551,769	7695006,043	20,73	23,63	23,86	25,61	19,73
A08	732541,784	7695006,585	20,32	21,15	22,52	23,51	18,99
A09	732531,799	7695007,128	17,92	22,15	22,83	27,79	19,71
A10	732521,813	7695007,670	19,97	24,15	23,66	24,32	21,11
A11	732511,828	7695008,212	21,15	23,80	23,93	26,18	19,50
A12	732501,843	7695008,754	23,86	26,71	26,99	28,56	24,44
A13	732491,858	7695009,296	25,13	29,53	28,40	31,58	24,59
A14	732481,872	7695009,839	26,02	29,78	26,62	26,35	24,79
A15	732471,887	7695010,381	26,41	28,87	27,08	26,58	23,41
A16	732461,902	7695010,923	23,46	26,39	24,64	26,45	22,20
A17	732451,916	7695011,465	24,04	30,01	26,44	28,07	22,12
A20	732602,238	7695013,317	22,51	26,97	25,50	29,97	22,00
A21	732592,253	7695013,860	22,84	25,94	23,72	28,13	22,01
A22	732582,267	7695014,402	24,06	24,63	23,76	26,56	21,24
A23	732572,282	7695014,944	24,13	25,84	24,83	28,55	23,56
A24	732562,297	7695015,486	20,68	21,76	23,74	23,07	19,81
A25	732552,312	7695016,028	18,29	18,61	19,43	21,89	19,08
A26	732542,326	7695016,571	20,57	21,89	22,46	23,91	19,95
A27	732532,341	7695017,113	23,43	27,67	26,03	27,94	23,38
A28	732522,356	7695017,655	23,20	27,62	23,69	27,73	21,70
A29	732512,370	7695018,197	21,97	23,64	26,35	28,92	23,57
A30	732502,385	7695018,739	20,51	23,04	24,94	26,41	22,91
A31	732492,400	7695019,282	21,69	25,87	22,45	29,60	22,27
A32	732482,415	7695019,824	23,67	28,48	28,26	26,88	23,89
A33	732472,429	7695020,366	22,69	28,24	23,79	28,54	22,45
A34	732462,444	7695020,908	20,87	25,37	24,39	23,40	21,88
A35	732452,459	7695021,451	23,57	26,36	27,04	28,69	21,84
A38	732602,780	7695023,303	18,85	21,06	19,99	25,31	18,13
A39	732592,795	7695023,845	18,04	22,35	19,50	23,53	17,25
A40	732582,810	7695024,387	19,68	20,48	20,41	23,19	18,30
A41	732572,824	7695024,929	19,55	21,20	20,54	24,92	18,77
A42	732562,839	7695025,471	19,23	20,12	19,61	24,85	18,26
A43	732552,854	7695026,014	19,85	22,42	23,08	26,39	21,32
A44	732542,868	7695026,556	20,57	22,77	22,20	25,22	20,80
A45	732532,883	7695027,098	20,83	22,22	22,42	25,60	21,90
A46	732522,898	7695027,640	24,09	27,06	24,78	28,73	24,11
A47	732512,913	7695028,183	24,47	26,31	27,02	24,79	22,29

Continua...

Quadro 3A – Cont.

Nº Amostra	Leste (m)	Norte (m)	V1	V3	R6	R8	R9
A48	732502,927	7695028,725	21,90	29,90	28,23	31,47	24,17
A49	732492,942	7695029,267	21,98	21,10	26,52	23,72	19,77
A50	732482,957	7695029,809	21,39	21,35	21,95	25,80	21,11
A51	732472,971	7695030,351	21,11	21,60	23,97	24,56	21,70
A52	732462,986	7695030,894	21,23	25,92	24,23	26,61	19,64
A53	732453,001	7695031,436	22,35	24,45	22,69	28,56	23,24
A56	732603,322	7695033,288	23,37	22,27	20,57	23,75	19,87
A57	732593,337	7695033,830	20,12	25,01	22,07	25,00	20,38
A58	732583,352	7695034,372	21,72	24,88	23,00	25,78	20,74
A59	732573,367	7695034,915	23,54	23,73	24,36	26,46	19,46
A60	732563,381	7695035,457	23,04	24,46	25,34	24,51	22,67
A61	732553,396	7695035,999	22,40	24,58	25,68	27,55	22,53
A62	732543,411	7695036,541	24,21	25,14	25,91	27,96	24,13
A63	732533,425	7695037,083	25,81	28,65	27,74	28,38	22,76
A64	732523,440	7695037,626	24,43	29,53	26,29	28,81	23,31
A65	732513,455	7695038,168	22,91	27,52	27,24	30,25	22,64
A66	732503,470	7695038,710	24,77	24,49	25,09	28,34	24,12
A67	732493,484	7695039,252	23,55	27,15	26,15	27,74	21,44
A68	732483,499	7695039,794	21,49	25,30	23,32	27,16	21,09
A69	732473,514	7695040,337	20,96	25,38	22,47	25,31	20,94
A70	732463,528	7695040,879	24,37	25,50	24,69	25,85	22,15
A71	732453,543	7695041,421	23,82	27,89	23,55	27,35	22,40
A74	732593,879	7695043,815	27,03	29,11	22,18	27,62	25,86
A75	732583,894	7695044,358	23,66	26,30	23,47	27,28	23,73
A76	732573,909	7695044,900	26,26	28,85	26,87	30,44	26,47
A77	732563,923	7695045,442	28,91	29,05	26,92	30,34	27,41
A78	732553,938	7695045,984	26,59	33,95	28,25	28,67	25,52
A79	732543,953	7695046,526	25,90	29,08	26,58	30,16	28,76
A80	732533,968	7695047,069	28,62	30,93	30,17	35,24	32,54
A81	732523,982	7695047,611	30,85	32,58	32,40	34,01	32,01
A82	732513,997	7695048,153	30,16	32,44	31,32	35,13	28,99
A83	732504,012	7695048,695	27,98	33,10	30,81	32,34	25,34
A84	732494,026	7695049,238	25,46	27,76	27,92	29,52	23,09
A85	732484,041	7695049,780	24,65	25,89	27,43	30,47	23,88
A86	732474,056	7695050,322	23,59	27,09	25,58	26,88	23,92
A87	732464,071	7695050,864	23,07	24,76	21,49	23,40	24,94
A91	732584,436	7695054,343	24,73	26,47	25,94	28,34	23,02
A92	732574,451	7695054,885	27,64	30,90	27,79	31,95	25,52
A93	732564,466	7695055,427	25,61	30,32	27,64	30,06	26,86
A94	732554,480	7695055,970	25,63	28,40	29,20	32,76	24,76
A95	732544,495	7695056,512	26,10	29,06	30,78	32,45	28,31
A96	732534,510	7695057,054	29,59	30,46	32,06	33,75	33,31
A97	732524,525	7695057,596	31,91	34,58	35,12	37,08	35,75
A98	732514,539	7695058,138	32,24	33,28	35,42	38,22	33,38
A99	732504,554	7695058,681	31,58	31,80	35,34	34,99	35,81

Continua...

Quadro 3A – Cont.

Nº Amostra	Leste (m)	Norte (m)	V1	V3	R6	R8	R9
A100	732494,569	7695059,223	31,47	32,18	32,08	34,59	29,11
A101	732484,583	7695059,765	26,23	28,63	26,80	28,61	24,69
A102	732474,598	7695060,307	23,51	26,34	28,22	27,60	24,79
A107	732574,993	7695064,870	30,57	31,06	29,80	33,53	28,89
A108	732565,008	7695065,413	29,43	35,34	30,71	32,96	28,30
A109	732555,023	7695065,955	28,54	32,43	36,12	34,22	27,90
A110	732545,037	7695066,497	29,30	31,26	32,38	35,36	33,64
A111	732535,052	7695067,039	31,54	32,93	34,58	38,70	33,49
A112	732525,067	7695067,581	34,26	33,49	33,04	37,27	38,51
A113	732515,081	7695068,124	32,42	32,67	34,07	38,35	31,18
A114	732505,096	7695068,666	32,40	34,84	36,99	34,68	34,82
A115	732495,111	7695069,208	31,89	32,16	35,72	37,80	34,17
A116	732485,126	7695069,750	27,40	31,05	29,19	33,07	29,10
A121	732565,550	7695075,398	33,19	33,11	33,25	33,59	30,68
A122	732555,565	7695075,940	30,63	34,61	33,69	38,54	29,86
A123	732545,580	7695076,482	32,44	37,38	37,23	36,78	34,89
A124	732535,594	7695077,025	31,44	35,10	36,50	41,90	36,30
A125	732525,609	7695077,567	34,14	36,27	37,19	41,56	31,21
A126	732515,624	7695078,109	35,40	36,06	36,61	40,12	35,25
A127	732505,638	7695078,651	33,27	36,32	36,83	37,87	41,31
A128	732495,653	7695079,193	32,22	33,74	36,12	37,94	33,17

Quadro 4A – Valores, em g (100 g)⁻¹, dos teores de água do solo no plantio direto nas fases (V1, V3, R6, R8 e R9) da cultura (Laboratório de Solo e Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV).

Nº Amostra	Leste (m)	Norte (m)	V1	V3	R6	R8	R9
B02	732601,154	7694993,347	34,52	35,29	32,90	32,84	26,42
B03	732591,168	7694993,889	31,91	38,23	34,04	35,84	27,83
B04	732581,183	7694994,431	29,36	30,79	30,20	30,23	28,13
B05	732571,198	7694994,973	28,59	32,38	33,44	31,11	28,22
B06	732561,212	7694995,516	31,19	30,51	30,72	32,23	25,72
B07	732551,227	7694996,058	27,40	28,66	28,05	32,69	24,82
B08	732541,242	7694996,600	29,44	29,80	29,00	32,14	25,34
B09	732531,257	7694997,142	27,54	25,51	24,62	31,72	20,21
B20	732600,611	7694983,361	32,03	32,93	31,37	34,46	26,44
B21	732590,626	7694983,904	35,20	34,15	32,47	37,12	26,23
B22	732580,641	7694984,446	29,75	31,21	31,57	31,16	25,94
B23	732570,655	7694984,988	31,17	33,18	35,91	42,15	31,65
B24	732560,670	7694985,530	35,95	37,98	39,59	41,18	28,89
B25	732550,685	7694986,073	32,09	33,17	36,57	38,34	29,37
B26	732540,700	7694986,615	28,99	33,65	37,71	33,76	27,41
B27	732530,714	7694987,157	26,10	31,00	29,05	28,89	26,27
B38	732600,069	7694973,376	31,98	36,60	38,72	36,15	29,01
B39	732590,084	7694973,918	27,01	35,00	32,16	30,45	26,25
B40	732580,099	7694974,461	29,85	29,27	30,53	30,88	26,24
B41	732570,113	7694975,003	28,50	36,68	31,46	35,93	29,11
B42	732560,128	7694975,545	33,76	35,62	37,20	36,94	29,40
B43	732550,143	7694976,087	32,14	38,60	37,78	41,43	33,07
B44	732540,157	7694976,629	33,73	34,36	37,04	36,46	32,23
B45	732530,172	7694977,172	30,81		33,12	35,92	26,98
B56	732599,527	7694963,391	31,87	33,05	34,95	34,58	29,57
B57	732589,542	7694963,933	27,64	34,89	37,32	36,54	30,05
B58	732579,556	7694964,475	28,35	33,21	36,79	35,26	26,42
B59	732569,571	7694965,018	28,37	32,86	36,92	33,76	26,02
B60	732559,586	7694965,560	35,79	37,57	33,41	33,89	33,15
B61	732549,600	7694966,102	35,73	37,18	34,97	40,86	36,01
B62	732539,615	7694966,644	31,73	35,09	34,23	38,41	29,74
B63	732529,630	7694967,186	29,55	35,68	32,57	32,92	26,68
B74	732588,999	7694953,948	31,15	32,44	31,06	33,91	26,78
B75	732579,014	7694954,490	33,58	33,31	33,62	34,88	32,68
B76	732569,029	7694955,032	33,15	36,15	32,10	36,87	24,22
B77	732559,044	7694955,574	29,97	35,36	32,84	35,64	34,64
B78	732549,058	7694956,117	30,33	33,95	34,04	42,66	31,67
B79	732539,073	7694956,659	33,48	36,78	33,43	36,75	33,91
B80	732529,088	7694957,201	36,17	34,86	37,43	36,78	32,02
B91	732578,472	7694944,505	34,31	40,38	33,51	40,24	31,56
B92	732568,487	7694945,047	35,08	41,27	36,72	40,61	33,87
B93	732558,501	7694945,589	36,83	39,24	36,58	38,93	35,53
B94	732548,516	7694946,131	35,70	36,17	33,78	42,06	36,23

Continua...

Quadro 4A – Cont.

Nº Amostra	Leste (m)	Norte (m)	V1	V3	R6	R8	R9
B95	732538,531	7694946,674	31,92	34,35	36,17	33,59	31,45
B96	732528,545	7694947,216	32,07	35,35	38,14	39,94	33,69
B107	732567,944	7694935,062	35,65	37,13	41,11	42,35	35,64
B108	732557,959	7694935,604	36,81	39,43	36,80	39,86	38,78
B109	732547,974	7694936,146	33,69	36,21	33,51	35,72	33,72
B110	732537,989	7694936,688	29,75	35,26	34,72	40,88	30,54
B111	732528,003	7694937,231	33,02	34,22	34,13	34,66	31,60
B121	732557,417	7694925,619	34,86	38,74	38,17	44,08	36,26
B122	732547,432	7694926,161	31,64	35,00	34,03	39,96	29,80
B123	732537,446	7694926,703	30,85	36,65	33,32	38,70	30,67
B124	732527,461	7694927,245	34,59	38,81	38,60	45,73	31,45

Quadro 5A – Valores da produtividade, a 13% de umidade, no plantio convencional em kg ha⁻¹ (Laboratório de Solo e Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV).

Nº Amostra	Leste (m)	Norte (m)	P (Kg ha ⁻¹)
P01A	732597,245	7695013,588	2245,64
P02A	732577,275	7695014,673	2132,51
P03A	732557,304	7695015,757	1834,33
P04A	732537,334	7695016,842	1890,41
P05A	732517,363	7695017,926	1664,60
P06A	732497,393	7695019,011	1535,18
P07A	732477,422	7695020,095	2194,89
P08A	732457,451	7695021,180	1961,27
P09A	732598,330	7695033,559	1930,45
P10A	732578,359	7695034,643	1438,03
P11A	732558,389	7695035,728	1532,46
P13A	732518,448	7695037,897	1713,33
P14A	732498,477	7695038,981	1673,84
P16A	732458,536	7695041,150	1883,21
P17A	732579,444	7695054,614	2086,62
P19A	732539,503	7695056,783	767,27
P20A	732519,532	7695057,867	1227,40
P21A	732499,561	7695058,952	1100,47
P22A	732479,591	7695060,036	1770,46
P23A	732560,558	7695075,669	1425,72
P24A	732540,587	7695076,754	1581,16
P25A	732520,616	7695077,838	1769,89
P26A	732500,646	7695078,922	1595,42

Quadro 6A – Valores, em kg ha⁻¹, da produtividade, a 13% de umidade, no plantio direto (Laboratório de Solo e Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV).

Nº Amostra	Leste (m)	Norte (m)	P (Kg ha ⁻¹)
P01B	732596,161	7694993,618	2329,90
P02B	732576,190	7694994,702	2308,42
P03B	732556,220	7694995,787	2082,43
P04B	732536,249	7694996,871	2349,58
P06B	732575,106	7694974,732	2269,81
P07B	732555,135	7694975,816	2089,90
P08B	732535,165	7694976,901	2095,75
P09B	732574,022	7694954,761	2011,44
P11B	732534,080	7694956,930	2558,30
P12B	732552,966	7694935,875	2584,11

Quadro 7A – Valores da análise da correlação entre a produtividade e o teor de água do solo no plantio convencional.

Nº Amostra	Leste (m)	Norte (m)	P (Kg ha ⁻¹)	R6 g (100 g) ⁻¹	R8 g (100 g) ⁻¹
P01A	732597.245	7695013.588	2245.64	34.30	29.00
P02A	732577.275	7695014.673	2132.51	24.20	27.70
P03A	732557.304	7695015.757	1834.33	21.60	22.80
P04A	732537.334	7695016.842	1890.41	23.90	25.80
P05A	732517.363	7695017.926	1664.60	24.90	27.80
P06A	732497.393	7695019.011	1535.18	24.40	28.30
P07A	732477.422	7695020.095	2194.89	25.90	27.30
P08A	732457.451	7695021.180	1961.27	25.50	26.20
P09A	732598.330	7695033.559	1930.45	21.00	24.40
P10A	732578.359	7695034.643	1438.03	23.40	26.10
P11A	732558.389	7695035.728	1532.46	25.30	26.30
P13A	732518.448	7695037.897	1713.33	27.10	29.60
P14A	732498.477	7695038.981	1673.84	26.20	28.10
P16A	732458.536	7695041.150	1883.21	23.80	26.50
P17A	732579.444	7695054.614	2086.62	26.70	30.40
P19A	732539.503	7695056.783	767,27	31,20	33,40
P20A	732519.532	7695057.867	1227.40	34.90	37.60
P21A	732499.561	7695058.952	1100.47	33.80	34.60
P22A	732479.591	7695060.036	1770.46	27.40	28.30
P23A	732560.558	7695075.669	1425.72	33.70	35.90
P24A	732540.587	7695076.754	1581.16	36.70	39.30
P25A	732520.616	7695077.838	1769.89	36.60	40.80
P26A	732500.646	7695078.922	1595.42	36.70	37.90

Quadro 8A – Valores da análise da correlação entre a produtividade e o teor de água do solo no plantio direto

Nº Amostra	Leste (m)	Norte (m)	P (KG ha ⁻¹)	R6 g (100 g) ⁻¹	R8 g (100 g) ⁻¹
P01B	732596.161	7694993.618	2329.90	32.90	33.90
P02B	732576.190	7694994.702	2308.42	32.50	33.40
P03B	732556.220	7694995.787	2082.43	32.00	34.10
P04B	732536.249	7694996.871	2349.58	29.50	32.30
P06B	732575.106	7694974.732	2269.81	33.60	34.70
P07B	732555.135	7694975.816	2089.90	35.90	38.10
P08B	732535.165	7694976.901	2095.75	33.90	35.30
P09B	732574.022	7694954.761	2011.44	34.40	36.50
P11B	732534.080	7694956.930	2558.30	35.10	37.10
P12B	732552.966	7694935.875	2584.11	35.60	39.60