

RACHEL MUYLAERT LOCKS GUIMARÃES

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS EM UM
NITISSOLO VERMELHO E CORRELAÇÃO COM O DESENVOLVIMENTO
DO FEIJOEIRO**

MARINGÁ
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO - 2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

RACHEL MUYLAERT LOCKS GUIMARÃES

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS EM UM
NITOSSOLO VERMELHO E CORRELAÇÃO COM O DESENVOLVIMENTO
DO FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal para obtenção de título de Mestre.

MARINGÁ
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO - 2007

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)**

G963d Guimarães, Rachel Muylaert Locks
Distribuição espacial de propriedades físico-
hídricas em um nitossolo vermelho e correlação com o
desenvolvimento do feijoeiro / Rachel Muylaert Locks
Guimarães. -- Maringá : [s.n.], 2007.
80 f. : figs., tabs.

Orientador : Prof. Dr. Antônio Carlos Andrade
Gonçalves.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Maringá. Programa de Pós-graduação em Agronomia, 2007.

1. Distribuição espacial - Solo. 2. Solo -
Propriedades físico-hídricas. 3. Geoestatística. 4.
Feijoeiro - Cultura. 5. Feijão - Produtividade. I.
Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-
graduação em Agronomia. II. Título

CDD 21.ed. 631.43

Ao meu esposo *Everton Blainski*

Aos meus pais *Roberto e Deborah*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudo.

À Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização deste curso;

Ao Professor-orientador Dr. Antônio Carlos Andrade Gonçalves pela orientação, atenção, amizade, confiança, pelo despertar para o tema e pelas lições de cidadania.

Ao Prof. Dr. Cássio Antonio Tormena pela orientação, atenção e despertar para o vasto universo da ciência do solo.

Aos Professores Dr. Roberto Rezende, Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas e Dr. Altair Bertonha, pelo apoio e conselhos durante a realização deste trabalho.

Aos Servidores Osmar, Amaurídio, Eduardo e Nelson, pelo apoio e amizade na operacionalização do trabalho.

Aos Servidores e amigos do PGA, Érika C. T. Sato e Reinaldo Bernardo pela disponibilidade de horários, atenção e amizade.

Aos amigos Odair, Rivanildo, Thais, Rúbia, Eslauco, Celso e Tedson pela amizade e colaboração durante o trabalho.

Ao amigo e companheiro Everton pelo apoio em todas as horas, e pela motivação para a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais Deborah e Roberto e à minha irmã Nathalia, pela compreensão durante a realização deste trabalho;

BIOGRAFIA

RACHEL MUYLEAERT LOCKS GUIMARÃES, filha de Roberto Cristo Locks Guimarães e Deborah Muylaert Guimarães, nasceu na cidade do Rio de Janeiro, Estado do Rio de Janeiro, no dia 30 de janeiro de 1982. Ingressou na Universidade Estadual de Maringá, Paraná – UEM, em fevereiro de 2000, no curso de Agronomia. Durante o período de graduação foi bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET). Graduiu-se em dezembro de 2004 e em março de 2005 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, em nível de Mestrado, área de concentração: Produção vegetal, na Universidade Estadual de Maringá.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Cultura do feijoeiro.....	3
2.2 Armazenamento de água no solo.....	5
2.3 Resistência do solo à penetração.....	6
2.4 Índice de área foliar.....	8
2.5 Geoestatística.....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Área experimental.....	17
3.2 Esquema de amostragem.....	18
3.3 Instalação e condução da cultura.....	19
3.4 Sistema de irrigação.....	21
3.5 Propriedades físicas do solo.....	21
3.6 Índice de área foliar.....	22
3.7 Resistência do solo à penetração.....	23
3.8 Armazenamento de água no solo.....	24
3.9 Colheita.....	24
3.10 Análise estatística.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Densidade, porosidade e água disponível do solo.....	27
4.2 Resistência do solo à penetração.....	32
4.3 Armazenamento de água no solo.....	40
4.4 Índice de área foliar.....	49
4.5 Produtividade relativa.....	55
4.6 Lâmina total de irrigação.....	58
4.7 Relações entre as variáveis.....	61
5 CONCLUSÕES	68
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Estatística descritiva para densidade do solo (ds), água disponível (AD), porosidade total (Pt), macroporosidade (MAP) e microporosidade (MIP).....	27
Tabela 2	Estatística descritiva para os valores de resistência do solo à penetração média (RPm) e para as profundidades de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 cm.....	33
Tabela 3	Estatística descritiva dos valores de lâmina aplicada, via irrigação, e dos valores de armazenamento de água no solo, expressos em mm, medidos antes da irrigação (AA), após irrigação (A 1) e ao longo do tempo.....	41
Tabela 4	Estatística descritiva do índice de área foliar em $m^2 m^{-2}$ medido em 7 períodos considerados no dia do ano.....	49
Tabela 5	Estatística descritiva para a variável produtividade relativa.....	55
Tabela 6	Estatística descritiva da variável lâmina total de irrigação.....	58
Tabela 7	Correlação linear de Pearson para as variáveis armazenamento de água no solo, índice de área foliar e produtividade relativa.....	61
Tabela 8	Correlação linear de Pearson para as variáveis resistência do solo à penetração, índice de área foliar e produtividade relativa.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Semivariograma experimental e modelo ajustado.....	13
Figura 2	Croqui da área experimental. As estrelas representam os aspersores dispostos no espaçamento 15x18 m. Os quadrados representam o centro da quadrícula, apresentando a ordem dos pontos amostrados.....	18
Figura 3	Curva de retenção de água no solo. Pontos medidos e linha indicando ajuste dos dados ao modelo de van Genuchten.....	19
Figura 4	Lâminas de água aplicadas via irrigação e via precipitação pluviométrica, e principais eventos ocorridos durante o ciclo da cultura.....	20
Figura 5	Gráficos “box-plot” para as distribuições de valores de água disponível, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo.....	29
Figura 6	Retas de probabilidade normal para as distribuições de valores de água disponível (AD), porosidade total (Pt), macroporosidade (MAP), microporosidade (MIP) e densidade do solo (ds).....	30
Figura 7	Semivariogramas experimentais escalonados, para porosidade total (Pt), macroporosidade (MAP), microporosidade (MIP).....	30
Figura 8	Semivariogramas experimentais escalonados para as variáveis densidade do solo e água disponível.....	31
Figura 9	Gráficos “box-plot” para os valores de resistência à penetração nas profundidades de 5, 10, 15, 20, 25, 30 cm e RPm.....	34
Figura 10	Gráfico de probabilidade normal para os valores de resistência à penetração nas profundidades de 5, 10, 15, 20, 25, 30 cm e RPm..	35
Figura 11	Distribuição espacial dos valores de RPm(a), RP 5 cm (b), RP 10 cm (c), RP 15 cm (d), RP 20 cm (e), RP 25 (f) e RP 30 cm (g).....	36
Figura 12	Semivariogramas experimentais escalonados, de resistência do solo à penetração média, a 10 cm de profundidade, a 15 cm de profundidade, e a 20 cm de profundidade.....	37

Figura 13	Distribuição espacial dos valores de RPm (a), RP 10 cm (b), RP 15 cm (c) e RP 20 cm (d).....	38
Figura 14	Gráficos “box-plot” para de lâmina de água aplicada, via irrigação, e dos valores de armazenamento de água no solo, expressos em mm, medidos antes da irrigação (AA), após irrigação (A 1) e ao longo do tempo	42
Figura 15	Retas de probabilidade normal para os valores de lâmina de água aplicada, via irrigação, e de armazenamento de água no solo, expresso em mm, medidos antes da irrigação (AA), após a irrigação (A 1) e ao longo do tempo.....	43
Figura 16	Valores de lâmina de água de irrigação e de armazenamento de água no solo, em mm, antes da aplicação de água (AA), após a irrigação (A 1) e ao longo do tempo.....	45
Figura 17	Semivariogramas experimentais escalonados, de armazenamento antes da irrigação (AA), armazenamento 72 horas (A 72) e armazenamento 98 horas (A 98).....	46
Figura 18	Distribuição espacial dos valores para armazenamento antes da irrigação (a), após 72 horas (b), após 98 horas (c), e lâmina de irrigação aplicada (d).....	47
Figura 19	Semivariograma experimental de lâmina de irrigação aplicada.....	48
Figura 20	Gráfico “box-plot” para os valores do índice de área foliar medidos em 7 períodos.....	51
Figura 21	Retas de probabilidade normal para os valores de índice de área foliar medidos em sete períodos.....	51
Figura 22	Semivariogramas experimentais escalonados de IAF 1, ..., IAF6.....	53
Figura 23	Distribuição espacial de valores para as variáveis IAF 1 (a), IAF 2 (b), IAF 3 (c), IAF 4 (d), IAF 5 (e) e IAF 6 (f).....	54
Figura 24	Gráfico “Box-plot (a)” e reta de probabilidade normal (b) da variável produtividade relativa.....	56
Figura 25	Semivariograma experimental da variável produtividade relativa.....	57
Figura 26	Distribuição espacial dos valores de produtividade relativa.....	57

Figura 27	Gráfico “box-plot” (a) e reta de probabilidade normal (b) para a variável lâmina total de irrigação.....	59
Figura 28	Semivariograma experimental para a variável lâmina total de irrigação.....	60
Figura 29	Distribuição espacial dos valores de lâmina total de irrigação.....	60
Figura 30	Semivariograma cruzado entre as variáveis IAF 6 e RP 10.....	63
Figura 31	Semivariograma cruzado entre as variáveis IAF 6 e lâmina total de irrigação aplicada na área.....	64
Figura 32	Semivariograma cruzado entre as variáveis produtividade relativa e armazenamento de água no solo antes da irrigação.....	65
Figura 33	Semivariograma cruzado entre as variáveis produtividade relativa e lâmina total de irrigação.....	66
Figura 34	Semivariogramas cruzados e escalonados para as variáveis produtividade relativa e IAF 2, ..., IAF6.....	67

RESUMO

GUIMARÃES, Rachel Muylaert Locks, M.S. Universidade Estadual de Maringá, fevereiro de 2007. **Distribuição espacial de propriedades físico-hídricas em um Nitossolo Vermelho e correlação com o desenvolvimento do feijoeiro.** Professor Orientador: Dr. Antônio Carlos Andrade Gonçalves.

A descrição do padrão espacial das propriedades físico-hídricas do solo e das variáveis de produção de uma cultura possibilita o estudo de suas inter-relações, o que permite a caracterização de subáreas a serem tratadas individualmente. Esta descrição é possível desde que se considere a posição no espaço dos valores amostrais e a estrutura de dependência espacial da variável. As ferramentas geoestatísticas são necessárias nesse processo, permitindo a análise de dependência espacial, a partir de ajustes de semivariogramas experimentais, segundo um modelo matemático, e a caracterização da variabilidade espacial, por meio do mapeamento da variabilidade a partir da estimativa, sem tendenciosidade, de valores para locais não amostrados. Assim, este trabalho teve como objetivos descrever estatisticamente e avaliar a dependência espacial das variáveis densidade, porosidade, água disponível do solo; resistência do solo à penetração, armazenamento de água no solo, índice de área foliar e produtividade relativa; descrever a estrutura de dependência espacial dos valores de cada variável e apontar as possíveis correlações entre as variáveis em questão. O experimento foi desenvolvido em um Nitossolo Vermelho distroférico, cultivado com feijão. Na área, subdividida em 80 quadrículas de 9 m² cada, realizou-se a coleta de dados de cada variável, em cada ponto, possibilitando, assim, proceder à análise geoestatística. Os resultados mostraram que as variáveis estudadas, de um modo geral, apresentaram estrutura de dependência espacial. Foi possível encontrar correlação entre as propriedades físico-hídricas e desenvolvimento vegetal e produtividade. As correlações apontaram para a degradação do sistema estudado, sinalizando que restrições à aeração do solo podem ter sido responsáveis pela restrição ao desenvolvimento das plantas.

Palavras-chave: distribuição espacial, geoestatística, propriedades físico-hídricas.

ABSTRACT

GUIMARÃES, Rachel Muylaert Locks, Universidade Estadual de Maringá, February of 2007. **Spatial distribution of soil properties on red nitosoil and correlations with bean crop development.** Adviser: Dr. Antônio Carlos Andrade Gonçalves.

The spatial pattern of soil properties and crop production variables, can be a useful tool to study the relationship among this variables, allowing the characterization of sub-areas to be individually treated. This description is possible since the spatial position of the values of this variables and the spatial dependence is considered. Geostatistics tools are necessary on this process, allowing the spatial dependences analysis, from fitting models on experimental semivariograms, according to a mathematical model, and the characterization of the spatial variability, by mapping the spatial variability from estimates, without tendencies, values for locals that were not sampled before. The objectives of this work were: to describe statistically and to evaluate the spatial variability of bulk density, soil porosity, available water, soil resistance penetration, water storage, leaf area index and crop yield; to describe the values spatial dependence of each variable, and aim the possible relationship between the variables studied. This study were realized on a nitosoil, cultivated with crop bean. The experimental area were sub-divided on 80 squares, with 9 m² each one. The variables studied were collected in each point, allowing geostatistics analysis. The results showed that the studied variables presented spatial dependence structure. The correlation analysis showed the spatial correlation between the soil properties and crop development and production. The correlative analysis soil degradation of the draw attentive to the restritives on soil aeration could be the responsible process for the development restriction, of the plants.

Keywords: spatial distribution, geostatistics, soil properties.

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa agrônômica tem lançado mão de ferramentas da estatística clássica para testar diferenças entre tratamentos. Porém, quando se depara com uma situação onde a variabilidade da variável estudada é muito grande, considera-se que foi encontrada uma dificuldade nesse estudo, por se considerar que parte dessa variabilidade é um erro, ou resíduo, fruto de fatores não controlados e ao acaso. Essa variabilidade pode estar sendo ocasionada por ter sido considerado o sistema inicialmente como homogêneo, prejudicando a compreensão dos resultados obtidos no experimento.

Estudos realizados do sistema solo – água – planta – atmosfera precisam incluir considerações sobre a variabilidade espacial e temporal de propriedades do solo e de plantas em condições de campo, além das variáveis atmosféricas. O solo e as distribuições das diferentes partes das plantas, dentro e fora do solo, são fundamentalmente heterogêneos. As variações no solo são decorrentes das taxas variáveis nas quais atuaram os processos de sua formação e das diversas atuações do homem durante seu cultivo.

A distribuição radicular e da parte aérea das plantas depende das propriedades do solo, das operações de plantio, de pragas e de doenças. Assim, medidas de propriedades do solo e da planta apresentam, muitas vezes, características que podem ou não estar distribuídas ao acaso em relação à sua distribuição espacial no campo.

Para descrever essa variabilidade, é necessária uma abordagem da estatística clássica e da geoestatística para mostrar a magnitude e a estrutura de variabilidade espacial das variáveis em estudo. A descrição do padrão espacial das propriedades físicas do solo e das variáveis de produção de uma cultura possibilita o estudo de suas inter-relações caracterizando subáreas a serem tratadas individualmente, no contexto da agricultura de precisão. Esta descrição é possível desde que se considere a posição no espaço dos valores amostrais e a estrutura de dependência espacial da variável. As ferramentas geoestatísticas são necessárias nesse processo.

O emprego da geoestatística com o objetivo de identificar e avaliar a estrutura espacial das variáveis possibilita uma nova visão sobre a análise da interação entre as propriedades do solo e características das culturas. As ferramentas da geoestatística permitem a análise de dependência espacial, a partir de ajustes de semivariogramas experimentais, segundo um modelo matemático, e a caracterização da variabilidade espacial, por meio do mapeamento da variabilidade a partir da estimativa, sem tendenciosidade de valores para locais não amostrados.

Nesse trabalho, foi formulada a hipótese de que as variáveis físico-hídricas do solo não se distribuem ao acaso no sistema, existindo uma estrutura de dependência espacial para estas variáveis. Com isso, o desenvolvimento das plantas e a produção da cultura podem expressar esta distribuição espacial. Além disto, as técnicas da geoestatística aplicadas a dados obtidos permitem avaliar o padrão espacial das variáveis estudadas.

Com base nessa hipótese, o trabalho foi conduzido com os seguintes objetivos: descrever estatisticamente e avaliar a dependência espacial das variáveis, densidade do solo, porosidade do solo, água disponível, resistência do solo à penetração, armazenamento de água no solo durante um ciclo de secamento, índice de área foliar e produtividade relativa. Descrever a estrutura de dependência espacial de cada variável e apontar as possíveis correlações entre as mesmas, buscando a compreensão do sistema.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do Feijoeiro

Entre os legumes comestíveis, o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) apresenta a mais ampla distribuição geográfica. A espécie cultivada em regiões onde a temperatura oscila entre 10 e 35°C, com aproximadamente 80% de toda a produção da América Latina procedente de microrregiões cuja temperatura média durante a estação de crescimento varia entre 17,5 e 25°C. Na maioria das regiões de cultivo, a época de semeadura é determinada para que a floração ocorra quando a temperatura oscilar entre $21 \pm 2^\circ\text{C}$, escala aparentemente considerada ótima para a floração, e quando existir um adequado suprimento de água para o crescimento.

P. vulgaris é considerada uma espécie com pouca tolerância a déficits hídricos severos. A água constitui outro fator climático limitante do rendimento, pois cerca de 60% do feijão cultivado, em áreas de produção da América Latina, sofrem déficits hídricos moderados a severos, após a floração (Laing et al., 1984). As áreas aptas à produção de feijão apresentam precipitações anuais de 500 a 1500 mm. A evapotranspiração calculada numa cultura com ciclo de 75 dias no Brasil foi de 220 mm (Silveira e Stone, 1979).

Em virtude do curto período de seu ciclo, pequenos períodos de seca podem afetar severamente o crescimento do feijoeiro. De acordo com esse ciclo, que é de 60 a 120 dias, a cultura requer de 300 a 500 mm de água, dependendo do clima. Quando estas necessidades não são satisfeitas, o rendimento se reduz a um valor dependente da etapa fenológica em que o déficit de água acontece. Quando a seca se apresenta na etapa vegetativa, por exemplo, o efeito sobre o crescimento é mínimo, enquanto na etapa de pré-floração e enchimento de vagens, a planta é muito sensível à falta de água no solo. (Acosta-Gallegos & Shibata, 1989; Acosta-Gallegos & Adams, 1991; Calvache & Reichardt, 1996). Millar & Gardner (1972) encontraram uma redução de 47% na produção de matéria seca do feijoeiro quando o potencial de água no solo passou de -2.800 hPa para -4.000 hPa, indicando que, além

disso, o fechamento dos estômatos devido ao estresse de água reduz a taxa de crescimento mais que a transpiração.

Stansell & Smittle (1980) encontraram redução da produção de 41% e 48% quando a irrigação foi aplicada a -5.000 hPa e -7.500 hPa, respectivamente, em comparação à irrigação a -2.500 hPa. A redução do uso da água pela cultura foi proporcionalmente menor que o decréscimo da produtividade, resultando em eficiência do uso da água de 0,62, 0,45 e 0,4 ton de grãos/cm de água, para os tratamentos de irrigação de -2.500, -5.000 e -7.500 hPa. A produção de grãos foi reduzida quando as plantas foram submetidas a tensões de -7.500 hPa de estresse de água durante os períodos de pré-floração, floração e formação das vagens.

No Brasil, Magalhães & Millar (1978), Hostalacio & Valio (1984), e Stone et al. (1988) mostraram que o déficit hídrico durante a floração do feijoeiro provoca as maiores reduções de produtividade, sendo tanto maior esta redução quanto maior o número de dias em que a planta fica submetida à seca. Silveira et al. (1984) encontraram as maiores produções com a lâmina de água de 6 mm/dia (411 mm/ciclo) e a menor com 2 mm dia⁻¹ (173 mm ciclo⁻¹).

Doorembos & Kassam (1979), analisando vários experimentos realizados no mundo, em feijoeiro, notaram que um déficit hídrico de 50% na etapa vegetativa provoca redução de rendimento de apenas 10%. O mesmo déficit na floração reduz a produção em 55%, e durante o enchimento das vagens, em 38%. No entanto, o déficit durante a maturação reduz o rendimento em apenas 10%.

O feijoeiro é uma planta relativamente sensível ao excesso de água no solo. Nestas condições, o desenvolvimento vegetativo e o rendimento são bastante prejudicados. O efeito na planta depende, entre outros, do solo, do estágio de desenvolvimento, da cultivar, da temperatura e da duração da inundação.

A respiração é um dos aspectos mais sensíveis da atividade da planta, e a redução respiratória tem efeito limitante no desenvolvimento da cultura. O aumento da resistência ao movimento de água por meio das raízes, a diminuição da absorção de nutrientes, o aumento da concentração de substâncias tóxicas na planta, a diminuição do crescimento e do potencial de

água na folha são outros aspectos negativos que ocorrem quando há excesso de água.

Em condições de drenagem imperfeita, comum em solos de várzeas, mesmo pequenos períodos de deficiência de oxigênio afetam a cultura. Uma significativa redução da produção foi observada por Silva (1982), com a inundação do solo por dois dias, em comparação com plantas em condições ideais de umidade. Na floração, a produtividade teve redução de 48%, 57% e 68% quando ocorreu excesso de água no solo por dois, quatro e seis dias, respectivamente. Foi observado também que a fase de frutificação é a mais sensível à má aeração do solo. Em uma condição de excesso de água no solo no estágio de florescimento-frutificação do feijoeiro, Menezes & Pinto (1967) obtiveram produtividade de 56 kg ha^{-1} , enquanto, mantendo-se umidade em torno da capacidade de campo durante todo o ciclo da cultura, a produtividade foi de 1.024 kg ha^{-1} , isto é 18,6 vezes maior.

Forsythe & Legarda (1878) observaram forte redução no rendimento, próxima de 90%, quando submeteram uma linhagem de feijão (27-R) a cinco inundações semanais de 12 horas. Igual redução foi observada por Muñoz (1973), com seis e 12 inundações com nove horas de duração.

2.2 Armazenamento de água no solo

A distribuição espacial dos valores de lâmina de água aplicada tem forte influência sobre o padrão espacial de armazenamento de água no solo. A distribuição de água está diretamente ligada ao desenvolvimento das plantas e ao aspecto econômico referente à aplicação de água. Entretanto, fatores intrínsecos do solo podem afetar a capacidade de armazenamento de água, bem como a distribuição espacial destes valores, Trintinalha (2005).

A uniformidade de aplicação de água, segundo alguns autores (Mantovani, 1993; Gohring; Wallender, 1987; Letey et al., 1984; Solomon, 1894), relaciona-se diretamente com o rendimento da cultura. Porém, Rezende (2000) concluiu que a irrigação ótima para o desenvolvimento vegetativo (máximo IAF) foi de máxima uniformidade, o que não correspondeu ao ótimo de produção.

Gonçalves et al. (2004) concluíram que o padrão de armazenamento de água no solo, apresenta forte estabilidade temporal, ditada por fatores intrínsecos ao mesmo, sendo pouco influenciados pelo padrão espacial de lâmina aplicada.

Trintinalha (2005), trabalhando com distribuição espacial e estabilidade temporal do armazenamento de água em um Nitossolo Vermelho distroférico, concluiu que o padrão espacial de armazenamento de água no solo apresentou elevada estabilidade temporal, o que está associado aos fatores intrínsecos do solo, que determinam a sua capacidade de armazenamento de água.

Jácome (2006), ao estudar a distribuição espacial de variáveis de produção do feijoeiro e do armazenamento de água no solo, concluiu que a uniformidade de distribuição do armazenamento de água no solo dependeu mais da distribuição espacial das características físico-hídricas deste do que da uniformidade de aplicação de água, e que o padrão espacial de distribuição do armazenamento de água no solo mostrou-se fortemente estável no tempo, independente da uniformidade de aplicação de água.

2.3 Resistência do solo à penetração

A resistência que a matriz do solo oferece às raízes é determinante para avaliação da qualidade física de um solo, além de disponibilidade de água, aeração e temperatura do mesmo, Hamblin (1985); Letey (1985), citado por Araújo et al. (2004).

A compactação do solo proporciona modificações nos valores de densidade do solo, na resistência à penetração das raízes, a porosidade total, a distribuição dos poros e sua porosidade de aeração, o armazenamento de água no solo e disponibilidade de água às plantas, o movimento de ar no perfil do solo, aumentando ou diminuindo a absorção de nutrientes, o que afeta o desenvolvimento das plantas em geral e conseqüentemente a produção agrícola (Klein et al., 1998; Beutler et al., 2001; Utset; Cid, 2001).

Segundo Bowen e Kratky (1985), as propriedades mais usadas para avaliar compactação e conseqüentemente qualidade física de um solo são a densidade do solo e a resistência mecânica à penetração.

Borges et al. (1999) observaram que, com o aumento da compactação do solo, além da resistência à penetração das raízes ao solo aumentar, a água disponível às plantas diminuía, embora a quantidade volumétrica desta aumentasse. Segundo estes autores, por causa da compactação, a porosidade total do solo diminui e a microporosidade aumenta, fazendo com que a água fique retida com mais força, impedindo seu acesso às plantas.

Araújo et al. (1994) e Tormena et al. (1998) concluíram que a resistência à penetração é influenciada positivamente pela densidade e negativamente pela umidade do solo.

Valores de resistência mecânica à penetração que variam de 1,0 a 3,5 MPa (Canarache, 1990; Merotto & Mundstock, 1999), ou de 2,0 a 4,0 MPa, segundo Arshad et al. (1996), podem restringir ou mesmo impedir o crescimento e o desenvolvimento das raízes. Pauletto et al. (1989) constataram que somente seriam consideradas camadas compactadas aquelas cujos valores de resistência mecânica do solo à penetração fossem superiores a 1,72 MPa e alertaram também para o fato de que o limite superior de 2,32 MPa impediria o desenvolvimento do sistema radicular de uma cultura anual. Porém, Tavares Filho et al. (2001) apresentaram que valores de resistência à penetração superior a 3,5 MPa apenas influenciaria a morfologia de uma planta anual, e não restringiria o desenvolvimento de seu sistema radicular.

Santos et al. (2005), ao estudar a correlação linear e espacial entre o rendimento de grãos do feijoeiro e a resistência mecânica à penetração do solo, constataram que essas duas variáveis não apresentaram correlação linear, evidenciando que apenas 3,4% da variação do rendimento da cultura foram explicados pela variação da resistência à penetração. Neste trabalho, também se constatou que as variáveis apresentaram estrutura de dependência espacial quando avaliadas independentemente, porém quando se avaliou sua correlação espacial, o semivariograma apresentou-se sem estrutura de dependência espacial, evidenciando a não-correlação espacial dessas variáveis.

Mata et al. (1999), quando estudaram a correlação entre resistência à penetração e rendimento de grãos em feijoeiro, em Maringá (PR), em um Nitossolo Vermelho distroférico, verificaram que o semivariograma cruzado para estas duas variáveis mostrou-se sem estrutura para a parcela sob aração.

Para a parcela sob escarificação, a estrutura se manifestou de forma bem definida, evidenciando correlação espacial entre essas variáveis.

2.4 Índice de área foliar

O crescimento de um organismo é definido como uma alteração em seu volume e peso, conforme Fernández et al. (1982), ou ainda, como a variação temporal da quantidade de matéria das plantas (Pereira e Machado, 1987). É um fenômeno quantitativo afetado pela altitude e longitude e que pode ser mensurado por meio de variáveis, tais como: acúmulo de matéria seca, número de nós, índice de área foliar (IAF), entre outros.

O índice de área foliar (IAF) é uma medida da área foliar correspondente à superfície de tecido foliar, produzida sobre determinada área de solo. Como a folha é o principal órgão responsável pela fotossíntese, a taxa de produção de matéria seca, pelas comunidades vegetais, é função da superfície foliar, conforme estabelecido por Shibles e Weber (1965).

$$IAF = \frac{A_{foliar}}{AS} \quad (1)$$

em que A_{foliar} é a área foliar (m^2), e AS é a área de solo disponível para a planta (m^2).

Segundo Kûet e Marshall (1971), o IAF reflete a capacidade produtiva atual de uma comunidade vegetal, sendo que esse índice, o arranjo das folhas e a altura das hastes são usualmente os fatores mais importantes na competição por luz. Em feijoeiro, o rendimento em grãos depende do IAF no florescimento. Maior crescimento dos ramos resultará em aumento de área foliar, em maior interceptação de luz e, portanto, em maior produtividade, tanto de matéria seca quanto de grãos (Jones, 1971; White, 1988). O índice de área foliar de uma cultura mostra-se como uma variável eficaz para indicar a capacidade fotossintética, e sua determinação é importante em estudos que relacionam nutrição de plantas, competição e relações solo-planta-atmosfera (Luchiari Junior, 1978; Bergamaschi, 1984; Oliveira e Silva, 1990).

Há diferentes métodos para se estimar a área foliar, a maioria com alto grau de precisão. Podem ser utilizados equipamentos sofisticados como medidores de área foliar, ou utilizar-se um planímetro, ou ainda métodos baseados na comparação do peso de uma área conhecida de papel com o peso de recortes do perímetro das folhas, desenhados sobre o mesmo papel.

Em diversas pesquisas, tem sido utilizado o método de estimar a área foliar usando um perfurador de folhas e tomando amostras dos discos de tecido foliar com peso do restante da matéria seca da folha (Blackman e Wilson, 1951). Entre os métodos mais utilizados, pode-se citar: o medidor de área foliar, que consiste em um equipamento integrador de área foliar ou de qualquer superfície opaca; uso de planímetros, que a partir de contornos foliares impressos em papel, estima-se a área real pelo uso de planímetro; e uso de áreas conhecidas de lâminas. Neste caso, pode-se fazer uso de furadores cilíndricos que poderão retirar discos foliares de áreas conhecidas (área interna do cilindro). Deve-se obter o maior número de discos possível e de diferentes partes das folhas. Estes discos são acondicionados em sacos de papel e levados para a estufa de aeração forçada até massa constante. A área dessas folhas é estimada a partir das relações entre a massa seca dos discos (MS_{disco}), área total dos discos, a soma das áreas de todos os discos (A_{disco}) e a Massa seca total das folhas amostradas (MS_{folhas}), conforme equação 2.

$$A_{Foliar} = \frac{A_{disco} \cdot ms_{folhas}}{ms_{disco}} \quad (2)$$

Como o índice de área foliar é uma relação entre área da superfície foliar e área de solo, sabendo-se o número de plantas por metro e o espaçamento entre linhas, calcula-se o IAF conforme equação 1.

Quando há problemas nutricionais e escassez de água, as plantas carecem de matérias primas para a síntese de um sistema foliar extenso, e o IAF permanecerá insuficiente (Larcher, 1986). Alvim e Alvim (1969), citado por Rezende (2002), observaram valores de IAF de 1,4 a 7,6 na cultura do feijoeiro solteiro, enquanto Portes (1996) relatou valores experimentais de IAF que variam de 0,75 a 2,20 e de 0,80 a 4,0, respectivamente, durante o ciclo de plantas de feijoeiro das cultivares Carioca e Aporé, ambas de hábitos de

crescimento indeterminados, submetidos ou não a adubações nitrogenadas foliares dos 25 dias até o final do florescimento. Para as duas cultivares, o máximo valor de IAF foi observado ao redor do 55º dia do ciclo, declinando rapidamente a partir do 85º dia.

Em um estudo avaliando a variação do índice de área foliar da cultura do feijão em função de diferentes lâminas de irrigação, Rezende et al., (2004) observaram variação no índice de área foliar em função do coeficiente de aplicação de água (CUC). Para CUC > 86%, o IAF máximo foi próximo a 4,32 m² m⁻² e mínimo de 3,10m² m⁻², e para CUC < 66%, IAF máximo de 2,84 m² m⁻² e mínimo de 2,07 m² m⁻².

Gomes et al. (2000), avaliando componentes de crescimento e desenvolvimento de quatro cultivares de feijão irrigado e sequeiro, observaram que de todas as cultivares, o feijão irrigado apresentou maiores valores que o de sequeiro. A cultivar carioca apresentou um IAF máximo próximo a 5,8 m² m⁻² e o de sequeiro próximo a 2 m² m⁻², ambos aos 56 dias após germinação, afirmando uma redução em função do stress hídrico.

Medeiros et al. (2000) avaliaram duas diferentes densidades populacionais de plantas (14 e 28 plantas por m²), e seus IAF, em função dos graus-dias acumulados no ciclo da cultura, observando que o máximo IAF ocorreu aos 800 graus – dias acumulados, com índices de 3,6 e 2,7 m² m⁻², respectivamente para as densidades de 14 e 28 plantas por m².

2.5 Geoestatística

A geoestatística, ou teoria das Variáveis Regionalizadas (Matheron, 1963), apresenta um conjunto de ferramentas para estudo da estrutura espacial de um fenômeno, associando a posição relativa das observações no espaço e possíveis correlações dessas observações em função da distância de separação entre elas, Montenegro (1999).

Webster & Oliver (1990) e Ortiz (2003) afirmam que algumas propriedades físicas do solo apresentam variabilidade espacial, ou seja, valores amostrados em locais mais próximos tendem ser mais semelhantes entre si, até certo limite, do que aqueles amostrados a distâncias maiores.

Para usar esta ferramenta que permite identificar as inter-relações espaciais das variáveis, as séries de valores devem apresentar algumas pressuposições básicas, identificadas por meio da estatística descritiva e análise exploratória dos dados. Portanto, essas duas ferramentas, estatística clássica e geoestatística, trabalhando em conjunto, subsidiam de forma satisfatória a tomada de decisão para manejo de propriedades físicas do solo e irrigação.

Segundo Gonçalves (1997), os conceitos de variável aleatória, variável regionalizada, funções aleatórias e estacionaridade são fundamentais para geoestatística. Folegatti (1996) afirma que para o ajuste de semivariogramas a normalidade dos dados não é necessária, mas desejável. Em casos em que a distribuição não é normal, mas razoavelmente simétrica, pode-se admitir as hipóteses necessárias para a construção de semivariogramas experimentais.

A estacionaridade que atende usualmente a geoestatística é definida como sendo a hipótese intrínseca que, além de atender à estacionaridade de primeira ordem, segundo Journel e Huijbregts (1978), corresponde ao fato de que para todo vetor h , a variância da diferença $[Z(s)-Z(s+h)]$ é finita e independe da posição na região, dependendo apenas do valor de h , ou seja:

$$\text{Var}[Z(s) - Z(s+h)] = E[Z(s) - Z(s+h)]^2 = 2\gamma(h) \quad (3)$$

A determinação do valor da função de semivariância poderia ser feita para cada valor de h , caso houvesse disponível várias realizações da variável aleatória (v.a.) $Z(s)$ em cada posição s . Como em cada posição s usualmente tem-se apenas uma realização da v.a., apenas um par de valores $[Z(s), Z(s+h)]$ existe para cada posição s . Para contornar este problema, segundo Journel e Huijbregts (1978), é introduzida a hipótese intrínseca, segundo a qual a função de semivariância é função apenas do vetor de separação h , e não da localização na região.

Hamlett et al. (1986) afirmam que é necessário que se faça uma análise criteriosa nos dados antes de utilizar ferramentas sofisticadas como semivariogramas, autocorrelação e mapas de krigagem. Mas, afirmam também

que a estacionaridade é muito mais exceção do que regra, portanto, a não-estacionaridade dos dados deve ser sempre considerada.

O instrumento mais indicado na estimativa da dependência espacial entre amostras é o semivariograma, Silva (1988), que permite sustentação para técnicas de krigagem e permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(si) - z(si+h)]^2 \quad (4)$$

em que $N(h)$ é o número de pares de pontos defasados pelo vetor h . O gráfico dos valores assim calculados, em função dos valores de h , é denominado semivariograma experimental.

O semivariograma experimental pode ter várias formas, que depende do conjunto de dados e do intervalo de amostragem utilizado. A semivariância aumenta com o aumento da distância entre os locais amostrados, alcançando um valor constante (sill – componente estrutural) em uma dada distância de separação, chamada de alcance da dependência espacial. Sendo assim, o sill (C) aproxima a variância s^2 dos valores amostrados para um fenômeno que apresenta estacionaridade. Pontos separados por distâncias menores que o alcance são espacialmente relacionados. Portanto, pontos separados por uma distância maior que o alcance não são espacialmente relacionados porque a variância s^2 , impõe variação ao acaso. O alcance define o raio máximo para interpolação por semelhança entre vizinhos, por krigagem, Trangmar et al (1985).

A Figura 1 expressa o comportamento típico de uma semivariograma em que o fenômeno estudado apresenta estrutura de dependência espacial.

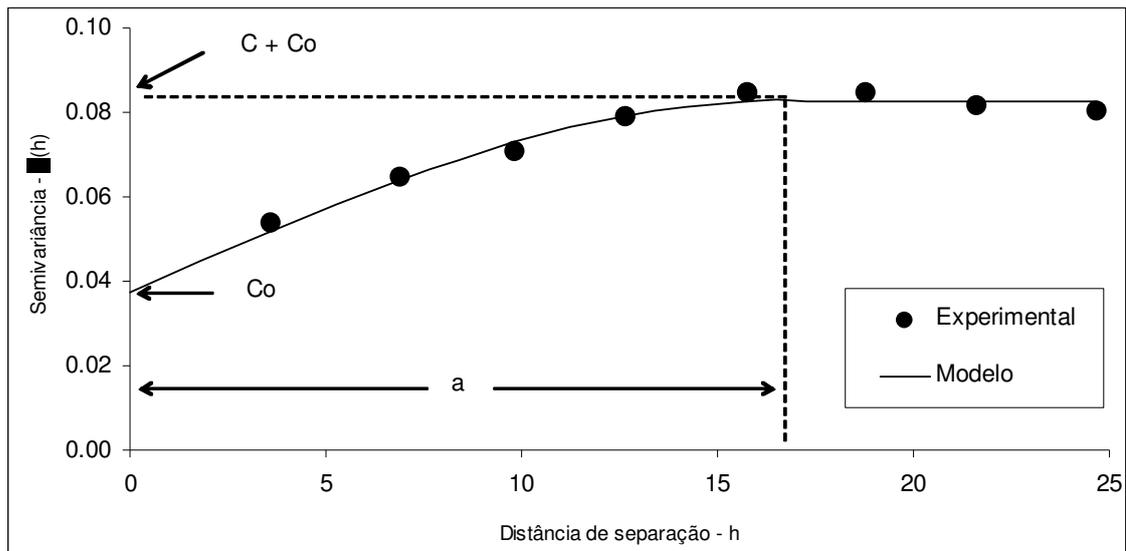


Figura 1 – Semivariograma experimental e modelo ajustado.

O semivariograma inicia com um valor baixo, chamado de efeito pepita ou “Nugget effect” (C_0), e cresce à medida que h aumenta, até o alcance ou “Range” (a), que representa a distância em que a propriedade apresenta dependência espacial. Dessa forma, o semivariograma atinge um valor denominado patamar ($C + C_0$), onde C é o “Sill”. A partir dessa distância, os dados podem ser considerados independentes.

Em alguns casos, a semivariância pode aumentar continuamente, sem mostrar um patamar definido, prejudicando, por conseguinte, o entendimento da sua variação no espaço, indicando a presença de tendências e ausência de estacionaridade.

O efeito pepita, que é um parâmetro importante do semivariograma, reflete o erro analítico, indicando uma variabilidade não explicada (ao acaso) de um ponto para outro, que pode ser devida tanto a erros de medidas ou microvariação não detectada em função da distância de amostragem utilizada (Cambardella et al., 1994; Paz et al., 1996; Vieira, 1997), sendo impossível quantificar a contribuição individual dos erros de medições ou da variabilidade. Esse parâmetro pode facilitar a comparação do grau de dependência espacial das variáveis em estudo. Para análise do grau de dependência espacial das variáveis em questão, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994):

$$GD = \left(\frac{C_0}{C_0 + C} \right) * 100 \quad (5)$$

em que GD é o grau de dependência, C_0 o nugget effect e o C_0+C o patamar. De acordo com Cambardela (1994) são considerados de forte dependência os semivariogramas que têm efeito pepita $\leq 25\%$ do patamar, moderada quando entre 25 e 75% e fraca quando $> 75\%$.

Embora os pontos de um semivariograma experimental, construído a partir de valores medidos, se apresentem de forma irregular, é possível ajustar-lhes modelos matemáticos. Para isto, um modelo matemático precisa incluir os três parâmetros descritos anteriormente: o **efeito pepita**, um **patamar** atingido após uma distância correspondente ao **alcance**. (Webster, 1985). Além disso, a forma da curva deve se ajustar aos pontos experimentais na região de crescimento da função, ou seja, para h entre zero e o alcance.

Dentre os modelos matemáticos mais utilizados para modelagem de semivariogramas experimentais na área de ciência do solo pode-se destacar o esférico, o exponencial e o gaussiano.

a) modelo esférico:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left\{ \left[\frac{3h}{2a} \right] - \frac{1}{2} \left[\frac{h}{a} \right]^3 \right\} \quad \text{Para } 0 < h \leq a \quad (6)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad \text{Para } h > a \quad (7)$$

b) modelo exponencial:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left\{ 1 - e^{\left(\frac{-3h}{a} \right)} \right\} \quad \text{Para } h \geq 0 \quad (8)$$

c) modelo gaussiano:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left\{ 1 - e^{\left(\frac{-h^2}{a^2} \right)} \right\} \quad \text{Para } h \geq 0 \quad (9)$$

Escolher o modelo mais adequado a um semivariograma experimental não é um procedimento automático, sendo comum em geoestatística o ajuste visual do modelo selecionado, o que carece de sustentação estatística.

Quando se quer relacionar uma variável com outra, pode-se utilizar o semivariograma cruzado, dessa forma pode-se inferir sobre uma propriedade a partir do valor de outra (Vieira, 2000). Segundo esse autor, a utilização do semivariograma cruzado é empregado para condutividade hidráulica e retenção de água no solo, cuja medição é difícil e cara, que podem ser normalmente correlacionadas com variáveis de fácil determinação, como teores de partículas na camada superficial do solo.

Quando se deseja comparar semivariogramas de propriedades diferentes para constatar se apresentam o mesmo padrão espacial podem-se escalonar os semivariogramas, facilitando as interpretações das propriedades em estudo. Quando se escalona um semivariograma pela variância o efeito pepita torna-se automaticamente uma fração do patamar (Vieira, 1998). O escalonamento pode ser feito por algum fator ϕ , que usualmente é utilizada a variância conforme a expressão:

$$\gamma_{esc}(h) = \frac{\gamma(h)}{\phi} \quad (10)$$

Com o modelo ajustado ao semivariograma, é possível estimar valores não-amostrados anteriormente, da variável estudada, por meio da técnica de krigagem (Journel, 1989). A partir desses valores, podem-se elaborar mapas que mostrem a distribuição espacial dos valores da variável. Segundo Gonçalves et al. (2005), a combinação do mapa de armazenamento de água e o de lâmina aplicada pode informar com riqueza de detalhes as regiões de excesso e déficit hídrico, quando trabalhou com variabilidade espacial de armazenamento de água no solo em um Nitossolo Vermelho distroférico.

Segundo Gonçalves (1997), a krigagem é uma técnica de interpolação para estimativa de valores não-medidos, a partir de valores vizinhos resultante da amostragem realizada. Existem outras técnicas para este mesmo propósito, mas a krigagem faz uso de um interpolador linear não-tendencioso e de variância mínima que assegura a melhor estimativa. Este estimador tem como base os dados amostrais da variável regionalizada e as propriedades estruturais do semivariograma obtidos a partir desses dados.

No ajuste de semivariogramas experimentais, sempre existe a incerteza sobre as hipóteses de estacionaridade assumidas, modelos selecionados, parâmetros ajustados e qualidade da krigagem. Esta incerteza representa o erro das estimativas que pode ser avaliado pelo procedimento denominado de validação cruzada. Este procedimento estima os pontos medidos pelos pontos estimados, ou seja, ela estima os valores da variável em estudo sobre os mesmos pontos amostrados e compara os novos valores com os dados medidos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O experimento foi conduzido no campo experimental do centro técnico de irrigação (CTI) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), em Maringá - PR. As coordenadas geográficas do município são 23°25' de latitude sul e 51°57' de longitude oeste. A altitude média é de 540 m acima do nível do mar.

O clima da região é caracterizado, segundo a classificação de Köppen, como Cfa, mesotérmico úmido com chuvas abundantes no verão e inverno seco. A precipitação média anual, desse município, é de 1.500 mm e a temperatura média anual está entre 21 e 22 °C. Os meses mais frios são: junho, julho e agosto com temperaturas médias entre 16 e 17 °C e os meses mais quentes são: dezembro, janeiro e fevereiro, com temperaturas médias entre 27 e 28 °C. A evapotranspiração potencial anual é de 1.100 a 1.200 mm e a umidade relativa média anual é de 80%.

O solo da área é caracterizado como Nitossolo Vermelho distroférico, A moderado, textura argilosa. O relevo é caracterizado como suave ondulado, com declividade média de 8%. As amostras de solo para análise granulométrica foram obtidas na profundidade de 0 a 15 cm, sendo a análise realizada pelo método de Bouyocos (Embrapa, 1997). Os teores encontrados de argila, silte e areia para este solo foram de 735 g.kg⁻¹, 90 g kg⁻¹ e 175 g kg⁻¹, respectivamente.

A área onde foi instalado o experimento esteve em pousio entre os anos 2000 e 2004, sendo o último cultivo, antes do pousio, com a cultura da soja. Em 2004, cultivou-se, nesta área, a cultura do feijoeiro na safra de verão, sucedida pelo cultivo da mesma cultura, na safra de verão e inverno, do ano de 2005. Finalmente, em 2006, a cultura do feijoeiro foi cultivada na safra de inverno, para a instalação deste experimento.

3.2 Esquema de amostragem

A área selecionada entre dois terraços foi subdividida em 80 quadrículas, segundo uma malha de 3 por 3 m, totalizando uma área de 48 x 15 m, ou seja, o experimento apresentou área útil de 720 m². A cultura foi instalada com bordadura de 1,5 m na lateral e 1,0 m no comprimento, totalizando uma área de 900 m².

No centro de cada quadrícula, ou seja, a 1,5 m do limite da quadrícula, instalou-se uma sonda de TDR de 20 cm de comprimento, para monitoramento de umidade do solo. As sondas utilizadas, para medida de umidade do solo, foram fabricadas e testadas no CTI, conforme metodologia descrita por Trintinalha (2005). Ao lado de cada sonda, foi instalado um coletor de água (pluviômetro), com diâmetro de 0,08 m, a 1,0 m de altura do solo para coleta de lâmina de água de chuva e irrigação. Na Figura 2, é mostrado o croqui da área experimental.

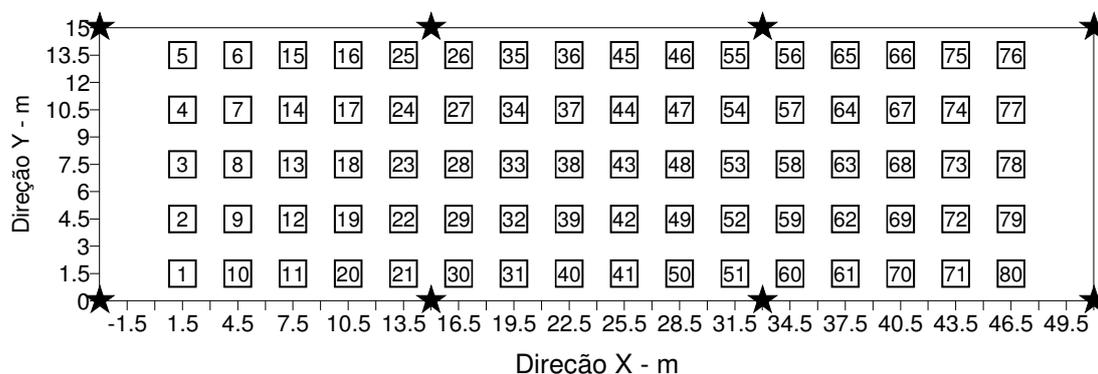


Figura 2 – Croqui da área experimental. As estrelas representam os aspersores dispostos no espaçamento 15x18 m. Os quadrados representam o centro da quadrícula, apresentando a ordem dos pontos amostrados.

Este esquema de amostragem foi adotado com base em resultados preliminares de trabalhos realizados por Gonçalves et al (2004), utilizado também por Trintinalha (2005) e Jácome (2006).

Em cada quadrícula, retirou-se uma amostra indeformada, na camada de 5 a 10 cm de profundidade, obtidas em anéis de 0,05 m de diâmetro e 0,05 m de altura. Com o auxílio de um atuador hidráulico acoplado a um trator, os anéis foram introduzidos no solo lentamente, com o objetivo de evitar ao

máximo a compactação da amostra. As amostras indeformadas retiradas foram envolvidas com papel alumínio para posterior preparo das mesmas em laboratório. O material que ficava aderido ao redor do anel foi retirado e acondicionado em sacos plásticos para fins de análises físicas. Antes dessa amostragem, a área foi irrigada para que o solo estivesse em uma condição próxima à capacidade de campo no dia da coleta. Para isto, foi necessário irrigar a área dois dias antes da coleta. As amostras obtidas foram utilizadas para determinar a densidade do solo e a curva de retenção de água no solo (Figura 3).

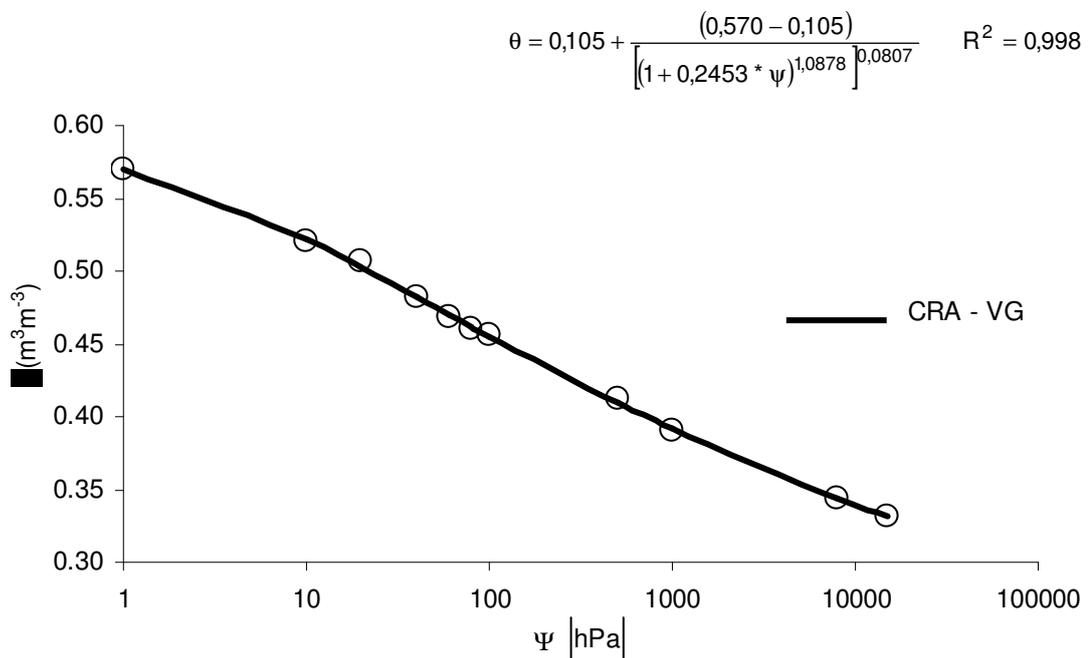


Figura 3 - Curva de retenção de água no solo. Pontos medidos e linha indicando ajuste dos dados ao modelo de van Genuchten.

3.3 Instalação e condução da cultura

A variedade de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) selecionada para o plantio foi a IPR-81. Dentre as características da planta, pode-se citar o porte ereto; é amplamente adaptável; hábito de crescimento indeterminado; flor branca; florescimento em média 43 dias após a emergência; ciclo médio de 92 dias. A altura média da cobertura é de 0,76 m (medida até a altura máxima da folhagem); número médio de nós igual a 11,35; número médio de vagens por

planta de 16; número médio de sementes por vagens de seis e peso médio de 1000 sementes de 251 g; os grãos pertencem ao grupo comercial carioca, de coloração bege clara e com listras marrom-claras.

Para o plantio do feijão, a área foi escarificada até a profundidade de 0,4 m, seguida de duas gradagens com intervalo de 10 dias entre elas. Após a segunda gradagem, foi incorporada trifuralina no solo, na dosagem de 2,4 L ha⁻¹. Antes do plantio, a área foi adubada com 300 kg ha⁻¹ da formulação 4-20-20 de NPK, com o auxílio de uma semeadora de cinco linhas. O plantio foi feito manualmente com o uso de matracas. O espaçamento utilizado foi de 0,5 m, com 15 sementes por metro linear. A semeadura foi realizada no dia 12 de abril de 2006 e a emergência ocorreu nove dias após o plantio. Durante o ciclo da cultura, foram realizadas três capinas manuais, três adubações de cobertura com sulfato de amônio e duas aplicações de inseticida para controle de vaquinha (*Diabrotica speciosa*). Na Figura 4, estão contidas as principais informações sobre a condução da cultura e a distribuição das lâminas média de água aplicada durante o ciclo da cultura do feijoeiro.

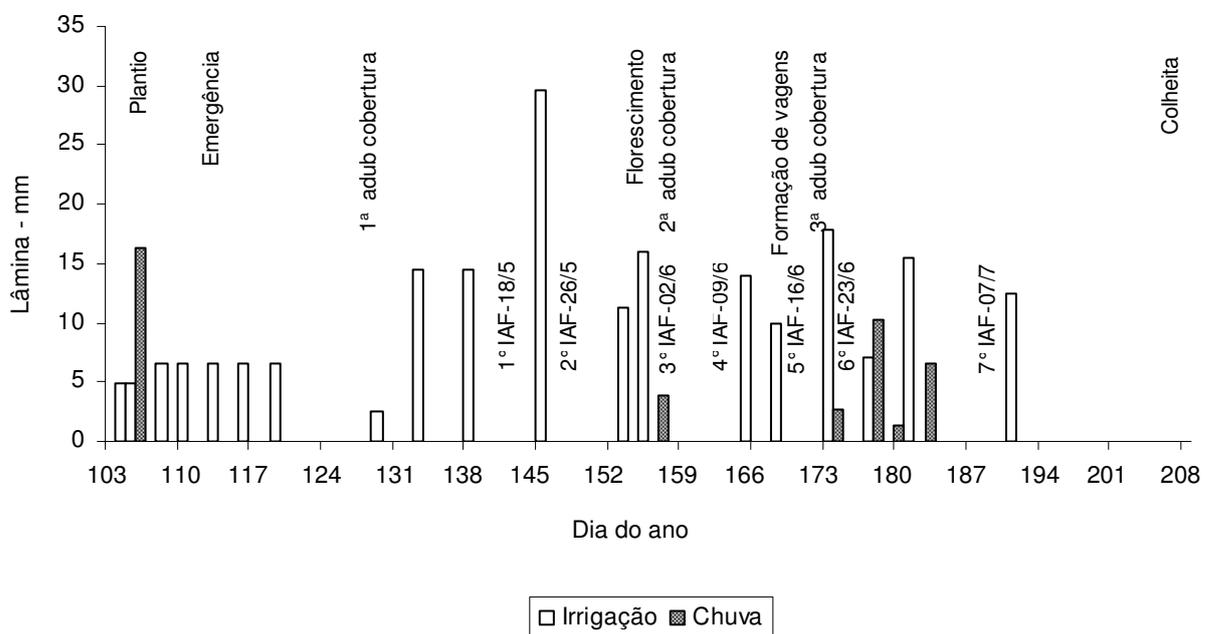


Figura 4 - Lâminas de água aplicadas via irrigação e via precipitação pluviométrica, e principais eventos ocorridos durante o ciclo da cultura.

3.4 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação foi montado em espaçamento 15 x 18 m. Dessa forma, puderam ser instalados oito aspersores (Figura 2) da marca FABRIMAR, com diâmetro do bocal 5,6 x 3,2 mm. Este espaçamento permitiu a aplicação de uma lâmina que apresentou Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) de 80% em média.

Para o estabelecimento da cultura, o aporte de água foi feito de maneira a manter o solo úmido para promover a germinação, ou seja, a lâmina aplicada nesse período, em cada irrigação, foi aproximadamente de 8 mm. Quando se iniciaram as leituras de umidade do solo, as irrigações foram feitas de maneira a manter a condição de armazenamento de água do solo próxima à capacidade de campo, fornecendo ao sistema uma lâmina de 15 mm aproximadamente em cada irrigação.

As irrigações foram realizadas preferencialmente no final de tarde ou início da manhã, quando a velocidade do vento foi pequena o bastante para ser admitida como nula, de forma a minimizar a deriva e a evaporação. Como o sistema de irrigação era fixo, permitiu assumir a hipótese de que o padrão de distribuição de água de irrigação foi constante durante todo o ciclo da cultura.

3.5 Propriedades físicas do solo

As amostras de solo foram levadas para o Laboratório de Física de Solo da UEM para as análises físicas. As amostras deformadas foram secas ao ar e peneiradas em peneira de 2 mm para determinação do conteúdo de água nos potenciais de -8.000 hPa e -15.000 hPa, e para a densidade de partículas do solo. A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico (Embrapa 1997), e foi encontrado o valor 3,17 Mg m⁻³ para este solo.

Foi determinada a densidade do solo (d_s) para cada amostra. Para isto, cada anel utilizado foi pesado e determinado o seu volume. Os anéis amostrados em cada ponto foram levados à estufa a 105 °C, e sua massa foi

determinada após 48 horas, quando a massa de solo seco foi considerada constante. A d_s foi determinada por meio da equação 11.

$$d_s = \frac{M_{ss}}{V_{anel}} \quad (11)$$

em que M_{ss} a massa do solo seco e V_{anel} o volume do anel. A porosidade total foi obtida em função da densidade do solo e da densidade de partícula, medida em laboratório, conforme equação 12:

$$P_t = 1 - \frac{d_s}{d_p} \quad (12)$$

em que d_s é a densidade do solo em $Mg\ m^{-3}$ e d_p é a densidade de partícula em $Mg\ m^{-3}$.

As amostras indeformadas foram preparadas, segundo metodologia empregada por Gonçalves (1997), sendo saturadas por 48 horas em bandeja com água até 2/3 do anel, e posteriormente levadas à mesa de tensão. A capacidade de campo foi determinada em mesa de tensão, no potencial de -60 hPa, que, segundo trabalhos realizados por Blainski (2004) é o potencial correspondente à capacidade de campo para esse solo. Portanto, o valor de umidade para este potencial (-60 hPa) foi considerado para determinação da microporosidade do solo. Naturalmente, a macroporosidade foi determinada pela subtração entre os valores da porosidade total e microporosidade do solo para cada ponto amostrado. O ponto de murcha permanente foi determinado utilizando-se amostras deformadas, em extrator de membrana de celulose, no potencial de -15.000 hPa, conforme metodologia descrita por Reeve & Carter (1991).

3.6 Índice de área foliar

A área foliar foi calculada pelo método dos discos de folhas de área conhecida, recomendado por Magalhães (1979), empregado também por Rezende (2000). Primeiramente, foram escolhidas aleatoriamente folhas de

feijão de diferentes partes das plantas. No Laboratório, utilizando-se um perfurador de 0,042 m de diâmetro, foram feitos discos nas folhas, em maior número possível e obtidos de várias partes das folhas. Estes foram acondicionados em sacos de papel e levados à estufa com circulação forçada de ar a 60°C para secagem até atingir massa constante. Após o material ser retirado da estufa, foi obtida a massa em balança com precisão de 0,01 g, estimando-se a massa seca da área conhecida, a fim de relacionar essa massa com a massa seca de todas as folhas coletadas, conforme equação 2.

Foram realizadas sete coletas de plantas para cálculo de IAF. As coletas foram realizadas semanalmente, sendo retiradas três plantas por quadrícula. No Laboratório, foram realizadas as desfolhas dessas plantas, em seguida as folhas das três plantas foram colocadas em sacos de papel, numerados de acordo com o número da quadrícula. Logo após, foram levados à estufa de circulação forçada de ar a 70°C, até atingir massa constante. Com o material retirado da estufa, obteve-se a massa seca das folhas, das três plantas, em balança com precisão de 0,01 g. Estimou-se a área foliar de cada quadrícula, a partir das relações entre a média da massa seca dos discos, área foliar dos discos e a média da massa seca das folhas das três plantas de cada quadrícula. O valor do IAF foi obtido pela relação entre área foliar da planta e área do solo disponível à mesma, conforme equação 1.

3.7 Resistência do solo à penetração

Após a colheita, foi medida a resistência do solo à penetração (RP). A medida de RP foi realizada conforme metodologia empregada por Tormena e Roloff (1996). Obtiveram-se dados de resistência à penetração, em cada quadrícula, a cada 5 cm, até a profundidade de 30 cm, totalizando seis medidas em cada ponto. Os dados foram analisados considerando a média da RP em profundidade, bem como a resistência em cada camada amostrada. As determinações de penetrometria foram realizadas com umidade próxima a capacidade de campo.

3.8 Armazenamento de água no solo

O armazenamento de água no solo, foi monitorado durante um ciclo de secamento compreendido entre os dias do ano 172 e 176. As medidas de umidade do solo foram realizadas por meio da técnica da TDR. Para o monitoramento do ciclo de secamento do solo foi realizada uma medida de umidade do solo, em cada ponto, antes da irrigação (AA) e após a aplicação da lâmina de irrigação (A 1), de aproximadamente 15 mm. Em seguida, foram feitas leituras monitorando o secamento do solo, ou seja, 26, 48, 72 e 98 horas após a irrigação, quando os valores de umidade do solo encontravam-se próximos ao ponto de murcha permanente. O armazenamento de água no solo foi calculado para a profundidade de 0 a 20 cm, onde se concentrou grande parte do sistema radicular da cultura do feijoeiro.

3.9 Colheita

A colheita foi realizada manualmente, sendo selecionadas 10 plantas por quadrícula. Buscou-se selecionar as plantas que melhor representassem o estande final de cada quadrícula. Após a colheita, as plantas foram acondicionadas em sacos numerados de acordo com as respectivas quadrículas e dispostas à sombra para uniformização da maturação. A debulha das vagens foi realizada manualmente e os grãos foram acondicionados em sacos de papel, numerados de acordo com a respectiva quadrícula, e levados à estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 60°C que após a obtenção da massa seca de grãos, foi calculada a produtividade. A produtividade média alcançada foi de 2.461 kg ha⁻¹. Porém, como o objetivo deste trabalho não foi quantificar a produtividade da cultura, mas buscar um entendimento da distribuição espacial desta variável e as possíveis correlações desta com as propriedades físico-hídricas do solo, optou-se por trabalhar com a variável produtividade relativa, ou seja, os valores obtidos em cada quadrícula foram divididos pelo máximo de produtividade alcançada. Portanto, os valores de produtividade relativa apresentaram valores na faixa de 0 a 1.

3.10 Análise estatística

As variáveis: densidade do solo, porosidade do solo, água disponível, resistência do solo à penetração, armazenamento de água no solo, índice de área foliar e produtividade relativa foram submetidas à análise estatística descritiva e exploratória dos dados, analisando a distribuição de freqüência dos dados, a hipótese de normalidade deles, ou pelo menos, razoável simetria dessas distribuições. A análise descritiva e exploratória dos dados foi realizada utilizando-se o software Statistica (STAT, SOFT, 1993).

O limite crítico para valores periféricos candidatos a “outliers”, possivelmente presentes nas distribuições de valores, foram estabelecidos segundo metodologia empregada por Libardi (1996). Para isto foi utilizada a amplitude interquartílica (AI), o quartil inferior (QI) e o quartil superior (QS), para definir as barreiras de “outliers”, isto significa que os valores abaixo do limite inferior (LI) e acima do limite superior (LS) são possíveis candidatos a “outliers”. Deste modo podem-se estabelecer esses limites da seguinte forma:

$$LI = QI - 1.5 * AI \quad (13)$$

$$LS = QS + 1.5 * AI \quad (14)$$

Em seguida, procedeu-se à análise exploratória espacial dos dados (Isaaks & Srivastava, 1989), como base para avaliação do atendimento à hipótese de estacionaridade, ao menos intrínseca, do conjunto de dados. Após esta etapa, atendendo razoavelmente as hipóteses necessárias, os dados foram analisados por meio de ferramentas da geoestatística, com a construção de semivariogramas experimentais, buscando descrever a estrutura de dependência espacial de cada variável. Verificada a estrutura de dependência espacial das variáveis, pode-se modelar os semivariogramas experimentais de acordo com os modelos citados nas equações 10 e 12. Todos os parâmetros para construção e modelagem dos semivariogramas foram trabalhados utilizando-se o software Geoeas e Variowin 2.0.

Para avaliação de possíveis correlações espaciais entre as variáveis estudadas, foram construídos e modelados semivariogramas cruzados entre as séries de valores das variáveis. Esses semivariogramas cruzados foram utilizados como ferramenta para a avaliação da correlação espacial entre as variáveis, como utilizado por Gonçalves et al. (1999). Assim como feito por esses autores, foram utilizados também os semivariogramas experimentais escalonados pela variância dos dados amostrais (Isaaks & Srivastava, 1989). Naturalmente, os semivariogramas cruzados foram escalonados pela covariância dos dados.

Buscando uma descrição ampla dos fenômenos em estudo, assim como feito por Gonçalves et al (1999), utilizou-se a metodologia abordada por Kachanoski e De Jong (1988) que consiste em avaliar os valores do coeficiente linear de Pearson obtidos a partir da correlação entre as séries de valores das variáveis medidas. O coeficiente linear de Pearson foi obtido utilizando-se o software Statistica (STAT, SOFT, 1993).

Para visualização da distribuição espacial das variáveis estudadas, foram construídas as superfícies de distribuição espacial, utilizando-se a técnica da Krigagem (Vieira, 1983). A interpolação procedeu-se a partir dos valores medidos experimentalmente e pelo modelo ajustado ao semivariograma experimental, construído para cada conjunto de dados. O software Surfer 6.0 foi utilizado para a construção das superfícies de distribuição dos valores das variáveis estudadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade, porosidade e água disponível do solo.

A estatística descritiva para os valores de densidade do solo, água disponível, porosidade total, macro e microporosidade, para os dados coletados nos 80 pontos, segundo a malha de 3 por 3 m, é mostrada na Tabela 1. Todas as variáveis, com exceção da macroporosidade, apresentaram baixa variação, expressa por coeficiente de variação (CV) com valores entre 3 e 9%, (Warrick & Nielsen, 1980). A macroporosidade apresentou coeficiente de variação de 33,8%, caracterizada como de média variação.

O valor elevado de CV (33,8%), obtido para macroporosidade (MAP), provavelmente, deve-se ao fato de que, neste solo, os valores de MAP apresentam-se reduzidos e com elevada dispersão, variando entre 0,05 a 0,22 $m^3 m^{-3}$. Além disto, a média igual a 0,10 $m^3 m^{-3}$, ou seja, relativamente próxima de zero, tende a fazer com que o CV assuma valores mais elevados.

Tabela 1- Estatística descritiva para densidade do solo (ds), água disponível (AD), porosidade total (Pt), macroporosidade (MAP) e microporosidade (MIP).

	ds-Mg m^{-3}	AD- $m^3 m^{-3}$	Pt- $m^3 m^{-3}$	MAP- $m^3 m^{-3}$	MIP- $m^3 m^{-3}$
N	80	80	80	80	80
Média	1,36	0,14	0,57	0,10	0,47
Mediana	1,37	0,14	0,57	0,10	0,47
d (K-S)	0,11*	0,07*	0,11*	0,10*	0,07*
Mínimo	1,11	0,11	0,54	0,05	0,41
Máximo	1,47	0,18	0,65	0,22	0,50
Q. inferior	1,32	0,13	0,56	0,08	0,46
Q. superior	1,41	0,15	0,58	0,12	0,48
A. interquartil.	0,08	0,02	0,03	0,04	0,02
D.-padrão	0,07	0,01	0,02	0,04	0,02
Assimetria	-1,05	-0,03	1,05	1,03	-0,77
Curtose	1,38	0,25	1,38	1,22	1,55
CV	5,1	9,4	3,8	33,8	3,4
L. inferior	1,20	0,10	0,52	0,01	0,43
L. superior	1,53	0,17	0,62	0,19	0,51

*-distribuição normal para $\alpha = 5\%$ de probabilidade / d crítico a 5%: 0,15 (Campos, 1983).

A semelhança entre os valores de média e mediana indica a simetria da distribuição dos dados, para todas as propriedades, uma vez que na distribuição normal a média aritmética e a mediana são iguais (Costa Neto,

1990). Segundo Beiguelman (1994), quanto à simetria das distribuições, pode-se considerá-las simétricas e mesocúrticas, para o nível de 5% de probabilidade. Isto é confirmado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (Campos, 1983) por meio da estatística D .

Para uma distribuição normal, os coeficientes de assimetria e curtose devem assumir valor zero. Conforme mostrado na Tabela 1, os valores destes coeficientes apresentam-se ligeiramente diferentes de zero. No entanto, não caracterizam afastamento expressivo da normalidade, apenas evidenciam que, conforme salientado por Nielsen et al (1973), na natureza não são encontradas distribuições que sejam absolutamente normais.

A avaliação das distribuições inclui a análise da existência de dados atípicos que, conforme denominado por Libardi et al (1996), sejam candidatos a “outliers”. Conforme citado por estes autores, adotou-se o critério de se definir os limites inferior e superior, de acordo com as equações 13 e 14, os quais estão mostrados na Tabela 1.

A comparação dos valores de mínimo e máximo das distribuições com os valores de limite inferior e limite superior, respectivamente, revela a existência de algum dado atípico nas distribuições de densidade, água disponível, porosidade total e macroporosidade. No caso de d_s apresenta a assimetria negativa (cauda da esquerda ligeiramente alongada), e no caso de P_t , MAP e AD apresentam assimetria positiva (cauda da direita ligeiramente alongada). Apesar da variável MIP não ter apresentado valor atípico, a sua distribuição apresenta assimetria negativa.

Todas as análises estatísticas foram realizadas com as distribuições completas (80 pontos) e com as distribuições após a remoção dos candidatos a “outliers”. Os resultados obtidos foram substancialmente os mesmos, revelando que, a remoção destes elementos em nada altera a simetria de cada distribuição. Em outras palavras, mesmo com a presença destes poucos elementos candidatos a “outliers”, as distribuições mostraram-se suficientemente próximas da normalidade, conforme estabelecido pelas análises anteriormente descritas. Portanto, todas as análises das variáveis em questão foram feitas levando-se em consideração a distribuição completa dos dados.

Na Figura 5 são mostrados os gráficos “box-plot” para as propriedades em questão. A mediana foi usada como medida de posição, sendo identificados os quartis inferior e superior e os valores extremos.

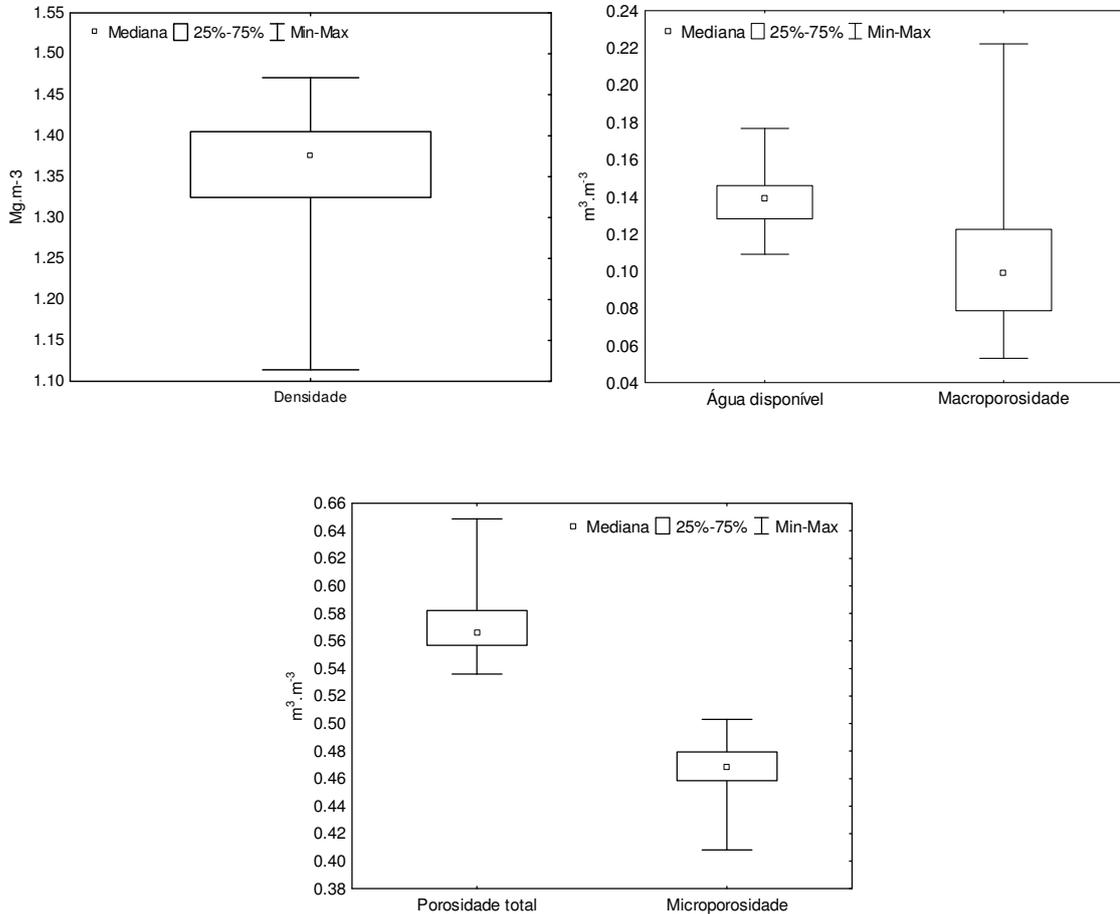


Figura 5 - Gráficos “box-plot” para as distribuições de valores de água disponível porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo.

A presença dos valores atípicos na distribuição de ds promove a assimetria negativa que pode ser observada no “box-plot” mostrado na Figura 5. Macroporosidade, porosidade total e água disponível apresentam assimetria positiva. Observa-se também que a variável microporosidade apesar de não ter apresentado valores candidatos a “outliers”, apresenta a cauda inferior (assimetria negativa) mais alongada.

Outra forma de visualização da distribuição das variáveis em questão está apresentada por meio das retas de probabilidade normal (Figura 6). Por meio destas retas, pode-se observar os valores atípicos da distribuição, como

por exemplo: para densidade, que apresenta três valores bastante discrepantes da reta.

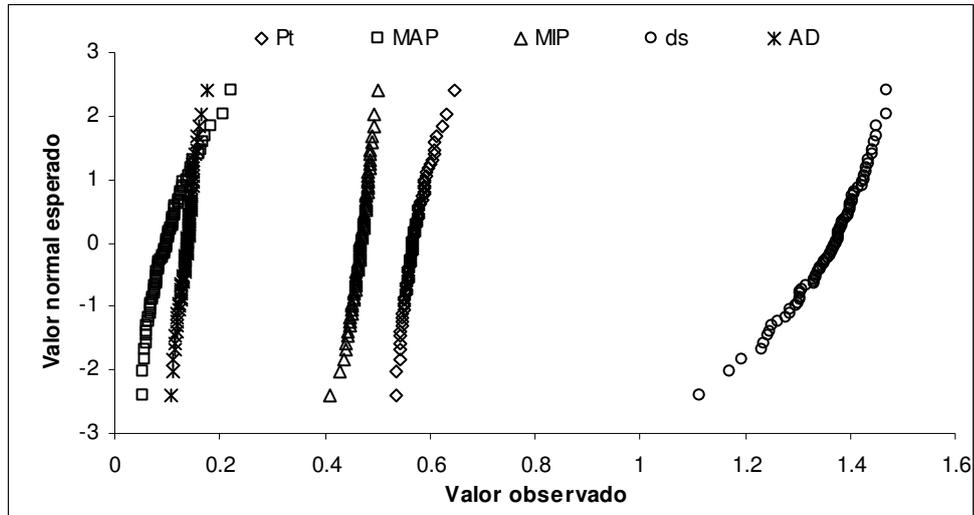


Figura 6 - Retas de probabilidade normal para as distribuições de valores de água disponível (AD), porosidade total (Pt), macroporosidade (MAP), microporosidade (MIP) e densidade do solo (ds).

Descrita a distribuição do ponto de vista da análise descritiva e exploratória dos dados, avaliou-se a existência de uma estrutura de dependência espacial das variáveis aleatórias em estudo. Para isto, foram construídos semivariogramas experimentais para estas variáveis, conforme Issaks & Srivastava (1989), os quais estão mostrados na Figura 7.

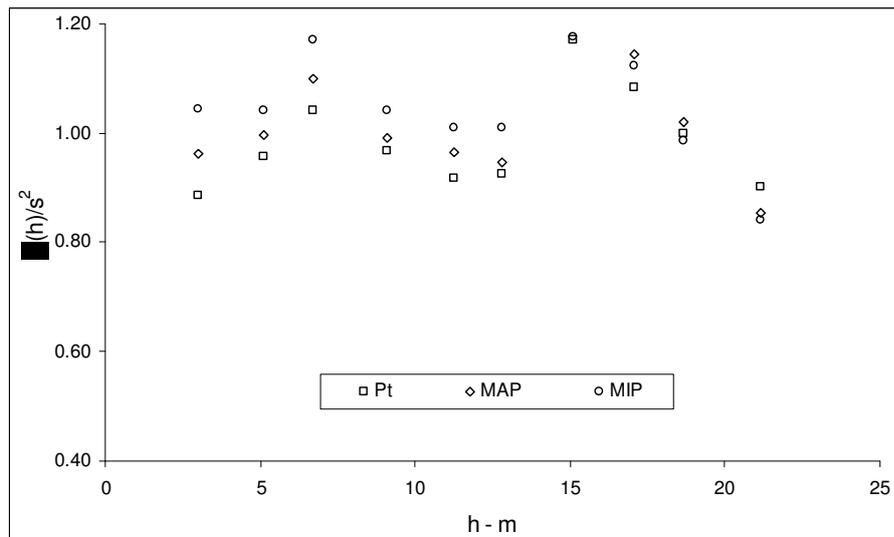


Figura 7 - Semivariogramas experimentais escalonados, para porosidade total (Pt), macroporosidade (MAP), microporosidade (MIP).

A análise espacial feita para essas variáveis revelou MAP, MIP e Pt não apresentam estrutura de dependência espacial, não permitindo o ajuste de um modelo aos semivariogramas mostrados na Figura 7. Os semivariogramas experimentais escalonados apresentaram elevado valor de efeito pepita. A variável água disponível e densidade do solo apresentaram semivariogramas experimentais escalonados com fraco grau de estrutura de dependência espacial (Figura 8). Como água disponível não apresentou correlação linear nem espacial com desenvolvimento e produtividade da cultura, não foi dada maior importância para análise desta variável.

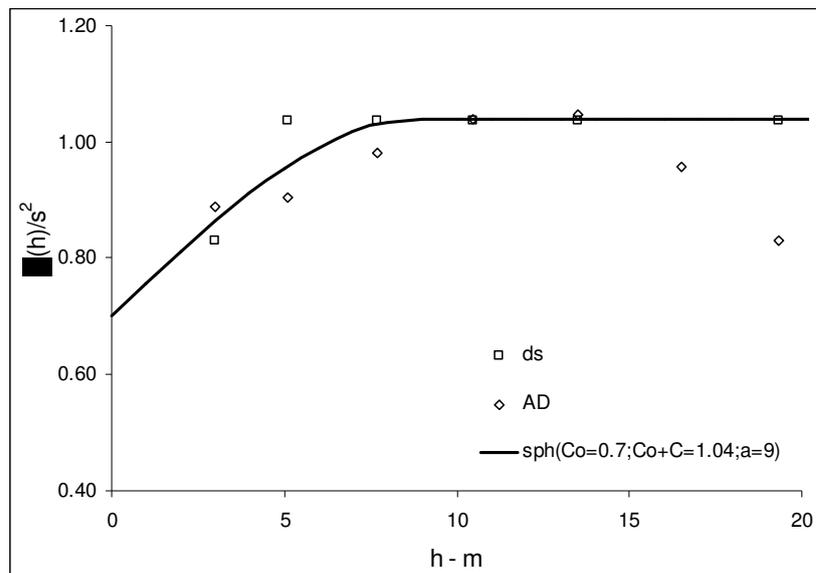


Figura 8 - Semivariogramas experimentais escalonados para as variáveis densidade do solo e água disponível.

O solo da área em estudo apresentou valores muito baixos de macroporosidade, revelando uma possível condição de solo degradado, que como consequência apresenta o comprometimento da aeração e da drenagem dele, que prejudica o desenvolvimento de plantas neste sistema. Embora a porosidade total seja grande, decorrente da microporosidade bem desenvolvida intra-agregados, resultando em grande capacidade de retenção de água no solo, esta relação entre porosidade total e microporosidade evidencia a degradação estrutural decorrente das ações de manejo, o que está associado a elevados valores de densidade do solo.

A comparação dos valores médios obtidos para umidade do solo com base em volume, na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente

($\theta_{cc} = 0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $\theta_{pmp} = 0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) com os valores obtidos por Trintinalha (2005) ($\theta_{cc} = 0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $\theta_{pmp} = 0,34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) sinaliza que pode ter ocorrido uma alteração estrutural do solo durante estes dois anos de cultivo (plantio em 2004 e 2006). Esta alteração, no valor da capacidade de campo, estaria associada a uma redução do volume de poros correspondente à faixa de macro e mesoporos, o que promoveria uma ligeira elevação dos valores de umidade para valores de potencial nesta faixa de umidade. Naturalmente, essa alteração não interfere no valor da umidade no ponto de murcha permanente, pois nesta faixa de valores de potencial, o mecanismo de adsorção é preponderante em relação à capilaridade no que se refere à retenção de água.

A água disponível média deste solo é de $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, ou seja, 1,4 mm cm^{-1} de profundidade de solo. Para os 20 cm de profundidade de solo adotados, equivalente à profundidade efetiva do sistema radicular do feijoeiro, esse valor corresponde a uma lâmina de água disponível entre capacidade de campo e ponto de murcha permanente, em média, igual a 28 mm. Adotando-se um fator de disponibilidade de 50%, a lâmina efetivamente disponível no solo é da ordem de 14 mm, o que é compatível com as irrigações realizadas.

4.2 Resistência do solo à penetração

Na Tabela 2, está mostrada a estatística descritiva dos valores encontrados para resistência do solo à penetração, nas profundidades de 5 a 30 cm, de 5 em 5 cm, além da resistência média do solo à penetração (RPm) nos 30 cm de profundidade. Estes valores foram obtidos por meio de medidas diretas no campo, utilizando-se um penetrômetro, nos 80 pontos definidos na área experimental.

Tabela 2 - Estatística descritiva para os valores de resistência do solo à penetração média (RPm) e para as profundidades de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 cm.

	Resistência do solo à penetração (MPa)						
	RPm	RP 5	RP 10	RP 15	RP 20	RP 25	RP 30
N	80	80	80	80	80	80	80
Média	1,58	0,98	1,31	1,55	1,67	1,83	2,14
Mediana	1,45	1,02	1,20	1,29	1,48	1,78	1,99
d (K-S)	0,14*	0,07*	0,14*	0,19	0,14*	0,12*	0,09*
Mínimo	0,84	0,18	0,45	0,75	0,03	0,03	0,99
Máximo	3,04	2,10	3,15	4,17	3,96	4,50	4,17
Q. inferior	1,28	0,75	1,02	1,08	1,20	1,35	1,65
Q. superior	1,82	1,20	1,50	1,75	2,13	2,16	2,56
A. interq.	0,54	0,45	0,48	0,67	0,93	0,81	0,91
D.-padrão	0,45	0,36	0,48	0,74	0,74	0,67	0,66
Assimetria	1,19	0,33	1,63	1,86	1,02	0,92	0,70
Curtose	1,45	0,34	3,57	3,24	1,24	2,71	0,19
CV	28,3	36,9	36,8	47,8	44,2	36,7	30,9
L. inferior	0,47	0,07	0,30	0,07	-0,19	0,13	0,28
L. superior	2,63	1,87	2,22	2,76	3,52	3,37	3,93

*-distribuição normal para $\alpha = 5\%$ de probabilidade / d crítico a 5%: 0,15 (Campos, 1983).

As distribuições apresentam certa assimetria, caracterizada pelas medidas de posição, média e mediana, que apresentam valores ligeiramente diferentes. O coeficiente de assimetria positivo revela que há pequena concentração de dados à direita da distribuição, expresso também pela presença de valores atípicos, principalmente acima do limite superior. A presença desses valores, candidatos a “outliers”, justificam a elevada amplitude total das distribuições. O coeficiente de variação (CV) das distribuições é de média variação, sendo o CV de RP 15 o maior valor apresentado (47,8%). A estatística d para o teste de kolmogorov-smirnov, para o nível de 5% de probabilidade revela que a variável resistência do solo à penetração, em cada uma das distribuições, apresenta distribuição normal, com exceção da resistência à penetração na profundidade de 15 cm.

Nos gráficos “box-plot” (Figura 9), pode-se observar que as caudas alongadas revelam a existência de valores discrepantes (“outliers”). Isto também pode ser visto comparando-se os valores de limite superior e inferior com os valores de máximo e mínimo da distribuição conforme Tabela 2.

O gráfico “box-plot” (Figura 9) permite verificar que a RP 15 apresentou a distribuição mais assimétrica quando comparada com os valores de RP das demais camadas. Isto é expresso pela cauda superior extremamente mais alongada do que a cauda inferior, evidenciando que valores extremos estão

promovendo este alongamento. As demais distribuições apresentaram caudas também alongadas, entretanto, mantêm certa simetria.

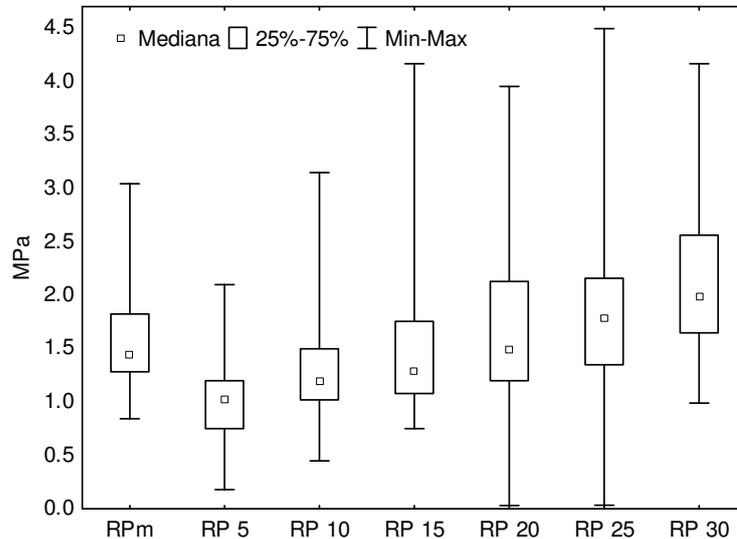


Figura 9 - Gráficos “box-plot” para os valores de resistência do solo à penetração nas profundidades de 5, 10, 15, 20, 25, 30 cm e RPm.

As retas de probabilidade normal (Figura 10) também expressam a influência de valores atípicos na distribuição da variável resistência do solo à penetração, sendo a variável RP 15 a mais comprometida em função desses valores. A camada de 5 cm de profundidade foi a que apresentou a distribuição mais próxima da normalidade (Figura 10). As demais variáveis apresentaram certo afastamento da reta 1:1 em virtude da influência de valores candidatos a “outliers”.

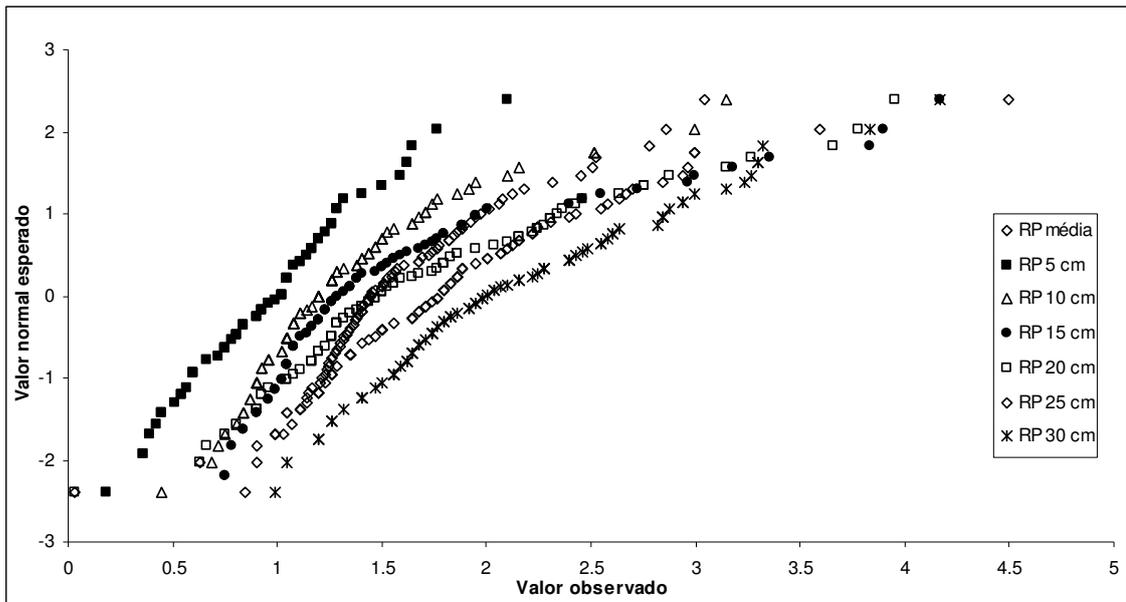


Figura 10 - Gráfico de probabilidade normal para os valores de resistência à penetração nas profundidades de 5, 10, 15, 20, 25, 30 cm e RPs.

Os valores de RP foram submetidos à transformação log normal para avaliar a possível melhora da distribuição em relação à normalidade. O procedimento de transformação de dados para log normal, apesar de ter promovido uma aproximação das distribuições à normalidade, não promoveu mudanças significativas na análise variográfica, conforme apresentado em seguida. Portanto, optou-se por prosseguir com os valores das distribuições não-transformados.

Embora valores atípicos estejam promovendo certa assimetria das distribuições da variável resistência do solo à penetração, a remoção desses valores também não promoveu mudanças substanciais na análise variográfica, com exceção para as camadas mais profundas. Portanto, optou-se por trabalhar com as séries de valores completas. De acordo com Warrick & Nielsen (1980), em se tratando de uma propriedade do solo, o ajuste a uma determinada distribuição teórica é apenas aproximado.

Para que uma variável possa ser analisada espacialmente, esta não deve apresentar tendência e nem forte concentração de valores no espaço, pois isto estaria negando a hipótese de estacionaridade. Segundo Isaaks e Srivastava (1989), isto pode ser visualizado em uma figura de “post plot”, em que uma forte concentração de símbolos iguais, seria inconveniente, enquanto

uma variação gradativa em alguma direção, indicaria uma tendência, negando a estacionaridade.

Os dados foram divididos em quatro classes, associados a quatro símbolos gráficos, cujos limites, em ordem crescente, são: 1ª classe: valor mínimo ao quartil inferior (+); 2ª classe: quartil inferior à média (◇); 3ª classe: média ao quartil superior (□); e 4ª classe: quartil superior ao valor máximo (○).

A Figura 11 permite avaliar que as quatro classes de dados ocorreram de forma dispersa na área, não sendo possível caracterizar fortes concentrações de valores na área. Variação gradativa em uma determinada direção também não foi identificada.

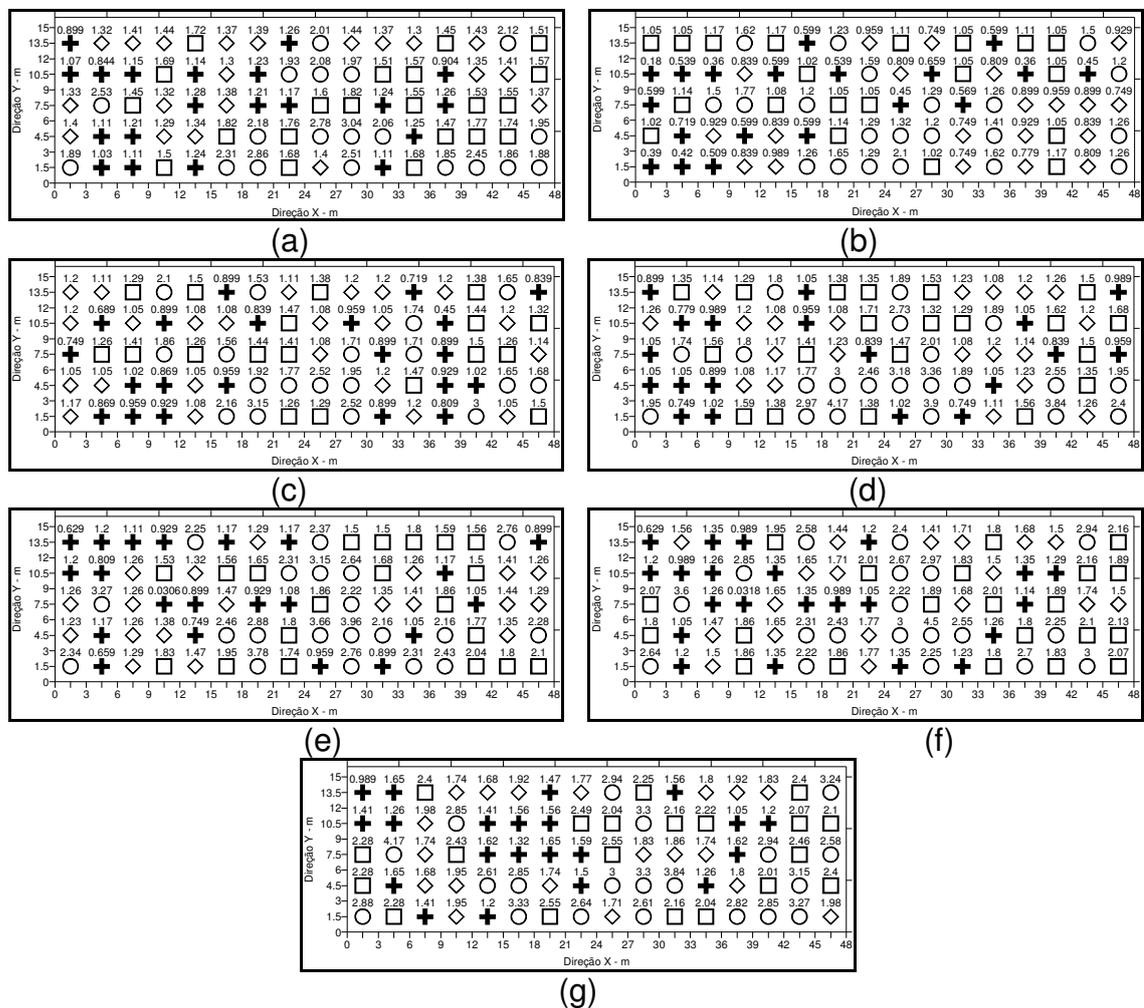


Figura 11 - Distribuição espacial dos valores de RPm (a), RP 5 cm (b), RP 10 cm (c), RP 15 cm (d), RP 20 cm (e), RP 25 (f) e RP 30 cm (g).

Para verificar se as variáveis em questão apresentam estrutura de dependência espacial, foram construídos os semivariogramas experimentais a partir dos valores de resistência à penetração nas diferentes profundidades. As variáveis RP 5, RP 25 e RP 30 não apresentaram estrutura de dependência espacial. Para as demais variáveis, os semivariogramas experimentais escalonados foram modelados (Figura 12). Em função da forte semelhança entre os semivariogramas experimentais da variável em questão, optou-se por utilizar um mesmo modelo de ajuste aos semivariogramas. O modelo ajustado descreve a estrutura de dependência espacial, a qual se manifesta com alcance da ordem de 17 m e efeito pepita equivalente a 50% do patamar, o que caracteriza moderado grau de dependência espacial, conforme a classificação de Cambardela (1994).

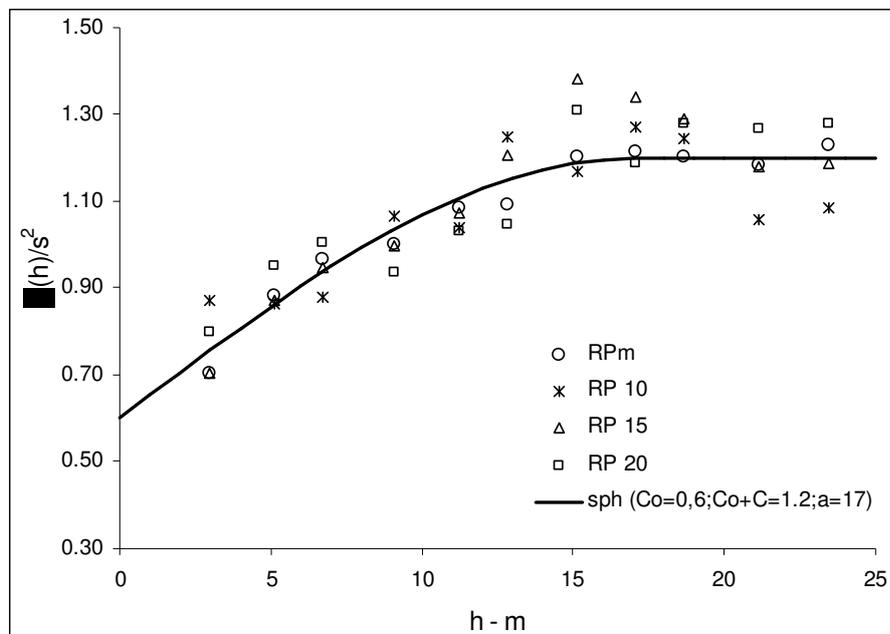


Figura 12 - Semivariogramas experimentais escalonados, de resistência do solo à penetração média, a 10 cm de profundidade, a 15 cm de profundidade, e a 20 cm de profundidade.

A ausência de estrutura de dependência espacial para a camada de 5 cm, pode ser associada à grande movimentação que ocorre nesta camada, ou seja, é a camada que mais recebe a ação das práticas de manejo, sendo periodicamente revolvida, principalmente pela ação de gradagem. Portanto, nesta camada são encontrados os menores valores de RP, porém, ocorrendo de maneira aleatória no espaço.

A remoção de candidatos a “outliers” para as camadas de 25 e 30 cm de profundidade não alterou substancialmente a distribuição, mas demonstrou que é possível construir semivariogramas experimentais com fraco grau de dependência espacial. Como estas camadas (25 e 30 cm) estão fora do interesse para este estudo, pois a profundidade efetiva em que o sistema radicular do feijoeiro encontra-se é de aproximadamente 20 cm de profundidade, não foi dada maior importância para o entendimento do sistema nessas profundidades.

Com o propósito de visualizar a distribuição no espaço, procedeu-se a interpolação por krigagem a partir dos valores medidos, utilizando-se o modelo ajustado aos semivariogramas experimentais escalonados, o qual foi multiplicado pela variância experimental para a interpolação em cada variável considerada.

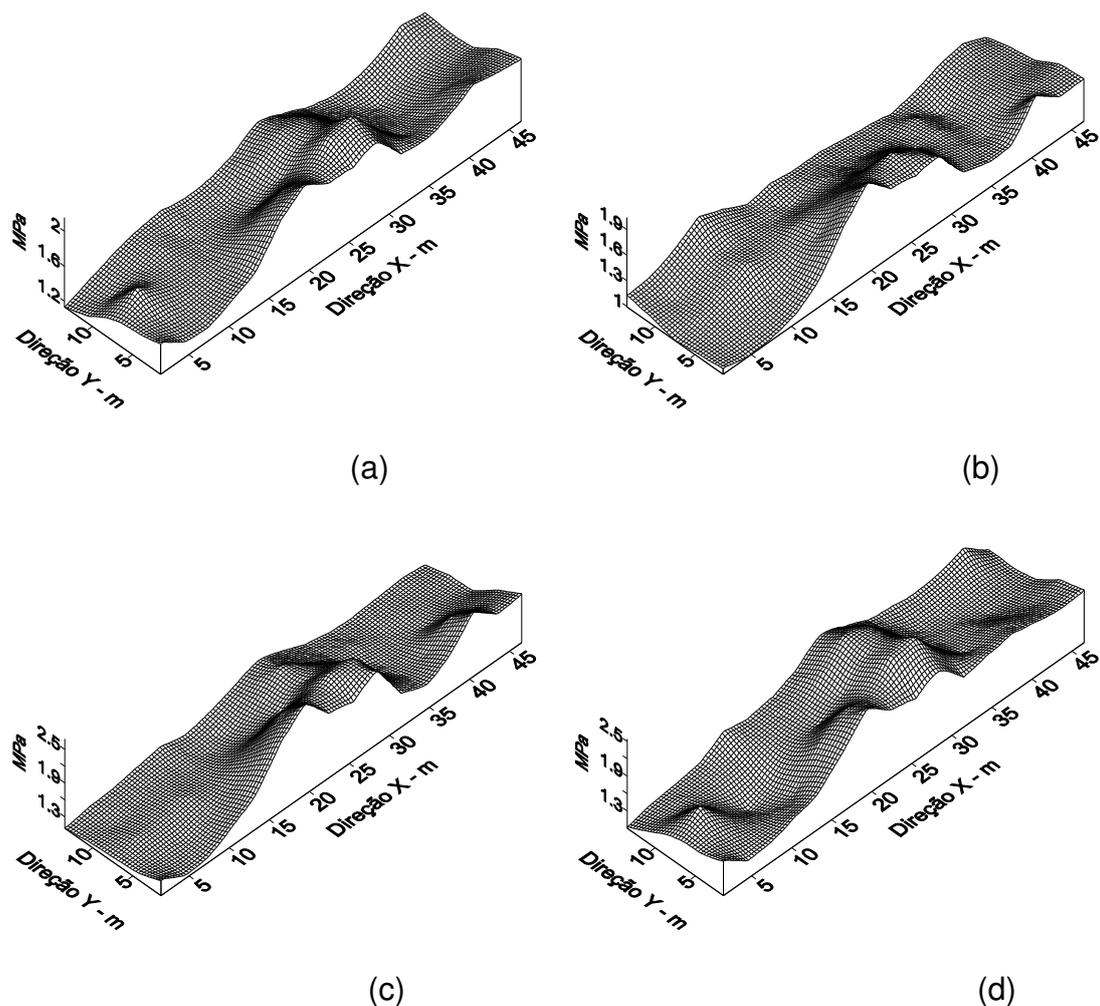


Figura 13 - Distribuição espacial dos valores de Rpm (a), RP 10 cm (b), RP 15 cm (c) e RP 20 cm (d).

A distribuição espacial dos valores de RP apresentada, por meio de krigagem (Figura 13), revela que a área que apresenta os menores valores de resistência do solo à penetração corresponde à região inferior e superior esquerda das Figuras. A porção intermediária das figuras apresenta os maiores valores de RP, seguida de uma redução nos valores, com aumento dos mesmos na região inferior e superior direita das figuras.

Embora os valores de RP apresentem considerável variabilidade, o que é natural, em função das especificidades do fenômeno considerado, nota-se que o padrão de distribuição espacial dos valores tende a ser o mesmo, nas diferentes camadas, revelando a persistência em profundidade do padrão espacial desta variável.

Os valores de CV para a camada de 15 cm, e também para de 20 cm, revelaram uma variabilidade maior da resistência do solo à penetração nestas camadas, em relação às camadas superiores e às camadas inferiores. Os valores médios de RP para essas duas camadas são maiores que os obtidos para as camadas superiores e menores que os obtidos para as camadas inferiores. Isso permite caracterizar as camadas de 15 e 20 cm como sendo uma região com maior amplitude de variação. De fato, o valor máximo encontrado na camada de 15 cm é igual ao encontrado na camada de 30 cm, e muito próximo ao encontrado na camada de 25 cm. Esses valores são consideravelmente superiores aos valores máximos encontrados nas camadas superiores (5 e 10 cm) e evidenciam que o limite de ação dos implementos agrícolas para manejo do solo coincide com esta região de 15 a 20 cm de profundidade. As camadas superiores, sendo periodicamente revolvidas, tendem a apresentar valores menores de RP com menor heterogeneidade.

A resistência média do solo à penetração (RPm), obtida para os 80 pontos experimentais, apresentou um valor médio igual a 1,58 MPa. Destaca-se que as medidas de RP foram realizadas em um momento no qual a umidade do solo corresponderia à capacidade de campo do mesmo. Este valor médio é próximo ao valor comumente citado em literatura (Silva et al, 1994), de 2,0 MPa, como sendo o valor restritivo ao desenvolvimento do sistema radicular das diversas culturas de interesse econômico. A ocorrência de valores elevados de RP, com o solo na condição de umidade na capacidade de campo

é uma evidência da degradação da qualidade física deste solo, que sinaliza para uma condição de restrição ao desenvolvimento vegetal, em torno da faixa de água disponível no solo para as plantas.

4.3 Armazenamento de água no solo

Durante o ciclo da cultura foram realizadas várias irrigações. Cada uma dessas irrigações foi conduzida de forma a levar a umidade média do solo para um valor próximo à capacidade de campo. De um modo geral, as irrigações foram realizadas quando o déficit de água, no solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, monitorada com TDR, atingia valores da ordem de 15 mm.

Uma vez que o padrão de aplicação de água de irrigação foi sempre o mesmo, selecionou-se, dentro do período de tempo correspondente ao ciclo da cultura, um ciclo de secamento do solo, após uma irrigação, para análise da distribuição espacial do armazenamento de água no solo e da persistência temporal desse padrão de distribuição espacial, na área experimental. Posteriormente, procurou-se analisar a relação entre a distribuição espacial do armazenamento de água no solo e o desenvolvimento vegetal e a produção. Selecionou-se para este fim o ciclo de secamento que teve início com a irrigação realizada no dia 172 do ano. Nessa fase, a cultura encontrava-se no momento de formação de vagens, no qual se espera intensa atividade de transpiração. A umidade do solo foi monitorada periodicamente, após a irrigação, até o dia 176 do ano, quando a umidade média na camada de 0 a 20 cm de solo da área experimental apresentava valores próximos ao identificado para o ponto de murcha permanente.

As análises foram feitas para o armazenamento de água no solo antes da irrigação (AA), após a irrigação (A 1), e ao longo do tempo, no período de 26 (A 26), 48 (A 48), 72 (A 72) e 98 (A 98) horas após a irrigação. A análise descritiva do armazenamento de água no solo encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Estatística descritiva dos valores de lâmina aplicada, via irrigação, e dos valores de armazenamento de água no solo, expressos em mm, medidos antes da irrigação (AA), após irrigação (A 1) e ao longo do tempo.

	Variáveis – mm						
	Lam	AA	A 1	A 26	A 48	A 72	A 98
N	80	80	80	80	80	80	80
Média	17,58	67,44	81,79	77,54	75,70	73,30	69,53
Mediana	18,49	67,71	80,56	77,74	75,72	73,16	69,82
d (K-S)	0,14*	0,07*	0,07*	0,10*	0,09*	0,09*	0,11*
Mínimo	7,87	50,99	57,68	56,97	56,62	53,80	49,93
Máximo	25,30	80,20	107,31	102,38	98,51	93,58	87,24
Q. inferior	15,77	64,36	76,51	74,22	71,05	69,64	66,12
Q. superior	20,23	71,05	86,54	80,73	78,88	76,95	73,34
A. interq.	4,46	6,69	10,03	6,51	7,83	7,30	7,22
D.-padrão	4,11	5,17	9,15	7,32	6,82	6,38	5,94
Assimetria	-0,76	-0,41	0,21	0,26	0,26	-0,03	-0,37
Curtose	0,17	0,80	0,73	1,80	1,60	1,42	1,55
CV	23,4	7,6	11,1	9,4	9,0	8,7	8,5
L. inferior	9,08	54,33	61,46	64,45	59,30	58,69	55,30
L. superior	26,92	81,08	101,59	90,50	90,63	87,90	84,16

*-distribuição normal para $\alpha = 5\%$ de probabilidade / d crítico a 5%: 0,15 (Campos, 1983).

Na Tabela 3, pode-se observar que todas as distribuições de armazenamento de água no solo, para os 80 pontos, apresentaram coeficiente de variação (CV) baixo, segundo Warrick & Nielsen, (1980), assumindo valores entre 7 e 11%.

A estatística d, do teste de K-S, permitiu avaliar que todas as variáveis apresentaram distribuição normal para o nível de 5% de probabilidade. Pode-se observar, na Tabela 3, que os coeficientes de assimetria, para os valores de armazenamento de água no solo, assumiram valores próximos de zero, evidenciaram a simetria das distribuições, e corroboraram a aceitação da hipótese de normalidade apontada pelo teste K-S.

Os valores de média e mediana (Tabela 3) apresentam-se próximos entre si, e indicam a simetria das distribuições das variáveis em questão. O coeficiente de curtose mostra que as distribuições são ligeiramente leptocúrticas, promovidas por pequena concentração de valores em torno da média. Isto contribui para que a amplitude interquartílica seja menor, que aumenta a probabilidade da existência de valores candidatos a “outliers”.

Conforme salientado por Libardi et al. (1996), para distribuição com esta característica, torna-se particularmente importante uma análise cuidadosa da presença desses valores candidatos a dados discrepantes, o que deve ser

feito tanto em uma avaliação gráfica das distribuições quanto por meio de uma análise exploratória espacial, avaliando-se possíveis descontinuidades espaciais.

A análise gráfica das distribuições pode ser realizada por meio dos gráficos “box plot” e por meio das retas de probabilidade (Figuras 14 e 15). Nessas figuras, pode-se observar que as distribuições são de fato bastante simétricas e que a amplitude interquartílica de cada uma das distribuições é muito pequena em relação à amplitude total dos dados de armazenamento de água no solo. Esta característica da distribuição dos dados se mantém durante todo o processo de secamento avaliado.

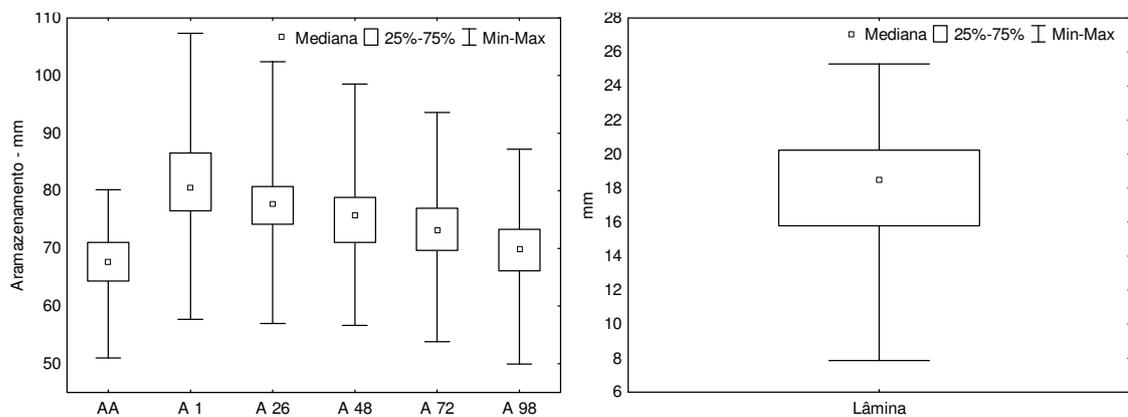


Figura 14 - Gráficos “box-plot” para lâmina de água aplicada, via irrigação, e dos valores de armazenamento de água no solo, expressos em mm, medidos antes da irrigação (AA), após irrigação (A 1) e ao longo do tempo.

As retas de probabilidade normal, mostradas na Figura 15, permitem constatar que as distribuições de valores de armazenamento são próximas da normalidade, uma vez que estas distribuições podem ser adequadamente descritas por linhas retas.

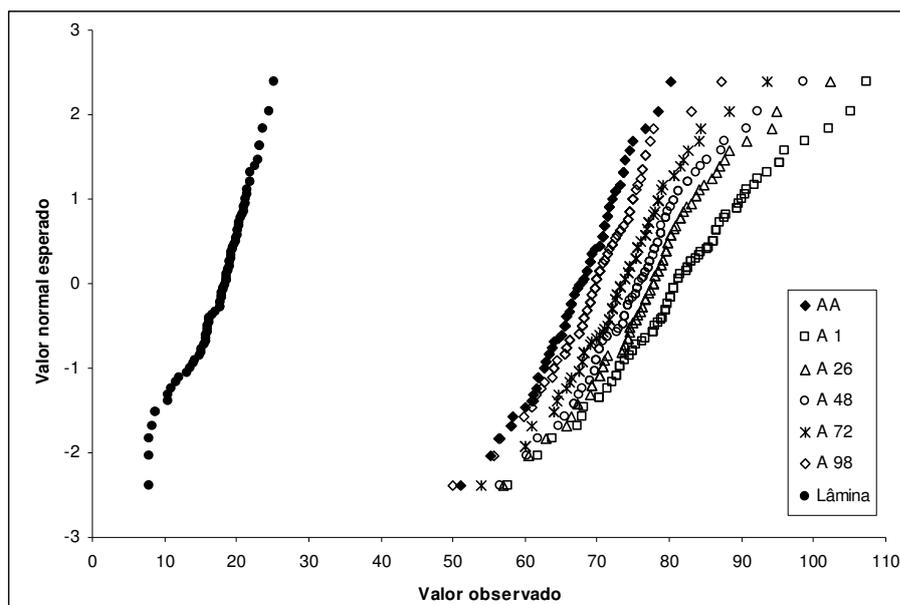


Figura 15 - Retas de probabilidade normal para os valores de lâmina de água aplicada, via irrigação, e de armazenamento de água no solo, expresso em mm, medidos antes da irrigação (AA), após a irrigação (A 1) e ao longo do tempo.

Pode-se observar que a inclinação da reta referente a cada uma das distribuições tende a aumentar à medida que o solo seca, ou seja, evidencia-se que a amplitude total dos valores diminui ao longo do tempo. Fica evidente também que essa inclinação tende para a inclinação da reta referente à distribuição dos valores de armazenamento antes da irrigação. Em outras palavras, verifica-se que o processo de secagem promove o retorno da distribuição dos valores de armazenamento de água no solo à condição existente anteriormente à irrigação, o que demonstra a estabilidade temporal da distribuição dos valores de armazenamento, conforme descrito por Trintinalha (2005), em estudos anteriores nessa área.

A grande concentração de valores, em torno das medidas de tendência central, permite observar a existência dos candidatos a “outliers”, identificados a partir da análise descritiva (Tabela 3). A comparação dos valores de mínimo e máximo com os valores de limite inferior e limite superior, respectivamente, revela que todas as distribuições de valores de armazenamento apresentem valores candidatos a “outliers” nos seus dois extremos, exceção feita apenas para a distribuição de valores de AA, a qual não apresenta dados discrepantes para a cauda da direita. O afastamento destes valores extremos, em relação à reta que descreve cada distribuição, permite avaliar que a sua caracterização

como candidato a “outliers” se dá principalmente pela forte concentração dos valores em torno das medidas de tendência central, do que efetivamente pelo afastamento destes em relação à reta.

A lâmina de irrigação aplicada apresenta grande amplitude total (Tabela 3), caracterizando uma aplicação de água desuniforme na área. O valor de coeficiente de variação revela esta desuniformidade, assumindo o valor 23,4%, média variação, segundo Warrick e Nielsen (1980). Destaca-se, no entanto, que o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para esta irrigação assumiu o valor 78%, próximo a 80%, tradicionalmente adotado como aceitável para a irrigação por aspersão (Christiansen,1942). A assimetria negativa da distribuição dos valores de lâmina aplicada mostra que existe pequena concentração de valores para a esquerda da distribuição (cauda inferior mais alongada, Figura 14), caracterizada também pela existência de valores candidatos a “outliers” abaixo do limite inferior. O valor aproximado de zero para o coeficiente de curtose evidencia a simetria da distribuição corroborando com a hipótese de normalidade apontada pelo teste de K-S. A reta de probabilidade normal (Figura 15) para esta variável mostra a existência de 6 valores atípicos inferiores ao limite inferior, mas a distribuição pode ser adequadamente descrita por uma linha reta, que caracteriza a normalidade da distribuição.

Com o propósito de avaliar a distribuição no espaço dos valores de lâmina de água aplicada e de valores de lâmina de água armazenada nos 20 cm de profundidade de solo, procedeu-se à construção de um gráfico a fim de mostrar os valores obtidos em cada um dos 80 pontos de amostragem (Figura 16). Pode-se verificar que o solo apresentava antes da irrigação (AA) um padrão de distribuição dos valores de armazenamento com certa dispersão, caracterizada por um CV de 7,66%, conforme Tabela 3. A aplicação de água, via irrigação, apesar de desuniforme, apresentando CV de 23,4%, não determinou novo padrão de distribuição de armazenamento de água. Embora em alguns pontos se tenha uma variação de armazenamento relativamente grande entre antes da irrigação (AA) e após a irrigação (A 1), decorrente de maiores valores de lâmina aplicada, o padrão de distribuição de valores pouco se alterou.

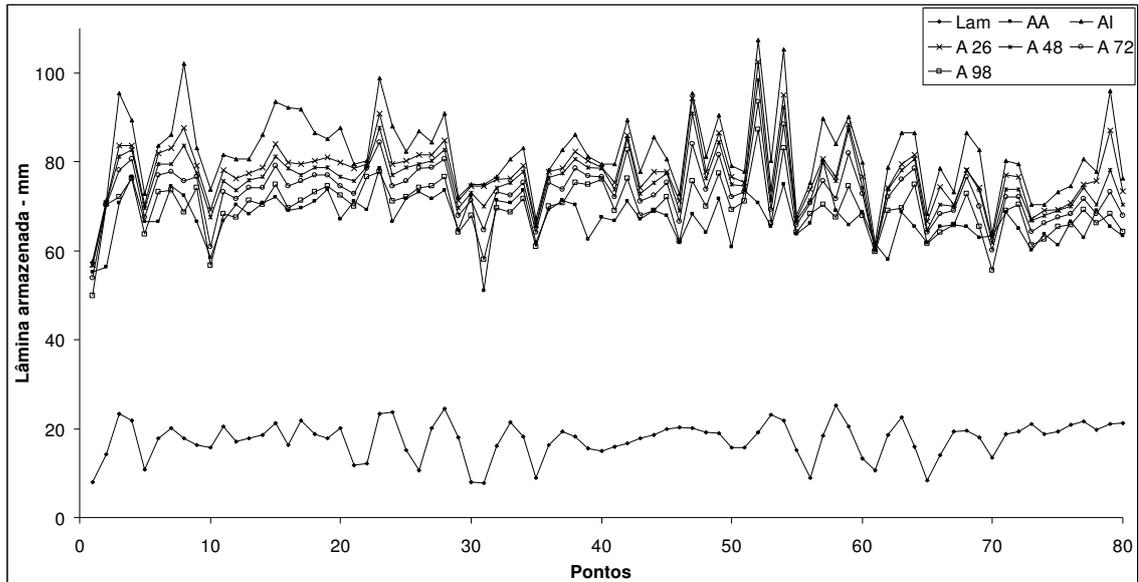


Figura 16 – Valores de lâmina de água de irrigação e de armazenamento de água no solo, em mm, antes da aplicação de água (AA), após a irrigação (A 1) e ao longo do tempo.

Após a aplicação de água, a baixa uniformidade da aplicação impôs certa dispersão nos valores de armazenamento, verificado pelo aumento do CV para 11,19% (A 1). Porém, com o passar do tempo, nota-se que a dispersão diminui tendendo a retornar ao padrão inicial. Como pode ser visto na Tabela 3, o CV de A 26 assumiu o valor 9,4%, diminuindo progressivamente para 9,0; 8,7 e 8,5% em A 48, A 72 e A 98, respectivamente.

Após a análise descritiva e exploratória dos dados, procurou-se analisar a presença de dependência espacial das distribuições em estudo. Para tanto foram construídos os semivariogramas experimentais, a partir dos valores medidos no campo, antes da aplicação e nos cinco momentos após a irrigação.

Por meio dos semivariogramas construídos, ficou claro que A 1, A 26 e A 48 não apresentaram estrutura de dependência espacial. Apenas AA, A 72 e A 98 apresentaram estrutura de dependência espacial. Como os mesmos, apresentaram-se muito semelhantes foi ajustado um único modelo (Figura 17). Os semivariogramas experimentais escalonados mostraram a existência de uma estrutura de dependência espacial, a qual pode ser descrita por meio de um modelo exponencial ajustado aos semivariogramas experimentais escalonados, cujo alcance foi da ordem de 10,5 m.

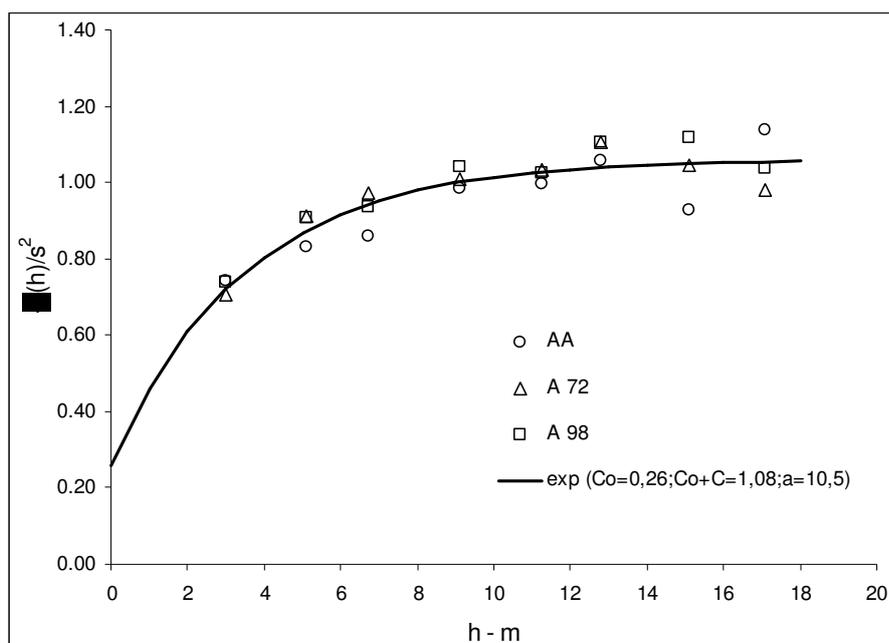


Figura 17 - Semivariogramas experimentais escalonados, de armazenamento antes da irrigação (AA), armazenamento 72 horas (A 72) e armazenamento 98 horas (A 98).

Estes resultados corroboram o encontrado por Trintinalha (2005) que identificou uma forte estrutura de dependência espacial, com elevada persistência no tempo para esta variável. O modelo ajustado para os semivariogramas para armazenamento de água no solo, também corrobora o encontrado por Trintinalha (2005), que identificou o modelo exponencial como sendo o mais adequado, com alcance da ordem de 10 m. Gonçalves et al (1999) também encontraram estrutura de dependência espacial para a variável armazenamento, em um Argissolo do Estado de São Paulo.

O grau de dependência espacial (GD) foi calculado para estas variáveis, conforme equação 5. O valor de GD encontrado foi de 24,53% para os semivariogramas experimentais escalonados das variáveis em questão, ou seja, apresenta forte grau de dependência espacial, segundo a classificação de Cambardela (1994).

Provavelmente, o fato de A 1, A 26 e A 48 não terem apresentado estrutura de dependência espacial está relacionada com a distribuição aleatória dos poros de maior diâmetro na área. Em outras palavras, a lâmina aplicada de forma irregular na área preencheu os macro e mesoporos. Como foi visto, no item 4.1, que os poros de maior diâmetro apresentam distribuição irregular, fica claro que as distribuições dos valores de A 1, A 26 e A 48 ocorram de maneira

aleatória no espaço, ou seja, do momento da irrigação até A 48, o solo encontrava-se em processo de drenagem dos macroporos até a capacidade de campo, momento este em que a macroporosidade encontra-se preenchida por ar e não mais por água, apontando para que, a partir deste momento, o armazenamento de água no solo apresente estrutura de dependência espacial, determinada pelas características intrínsecas do solo.

A distribuição dos valores de armazenamento de água no solo pode ser descrita procedendo-se à interpolação por krigagem, a partir dos valores medidos, utilizando-se o modelo ajustado aos semivariogramas experimentais escalonados das variáveis que apresentaram estrutura de dependência espacial (Figura 18).

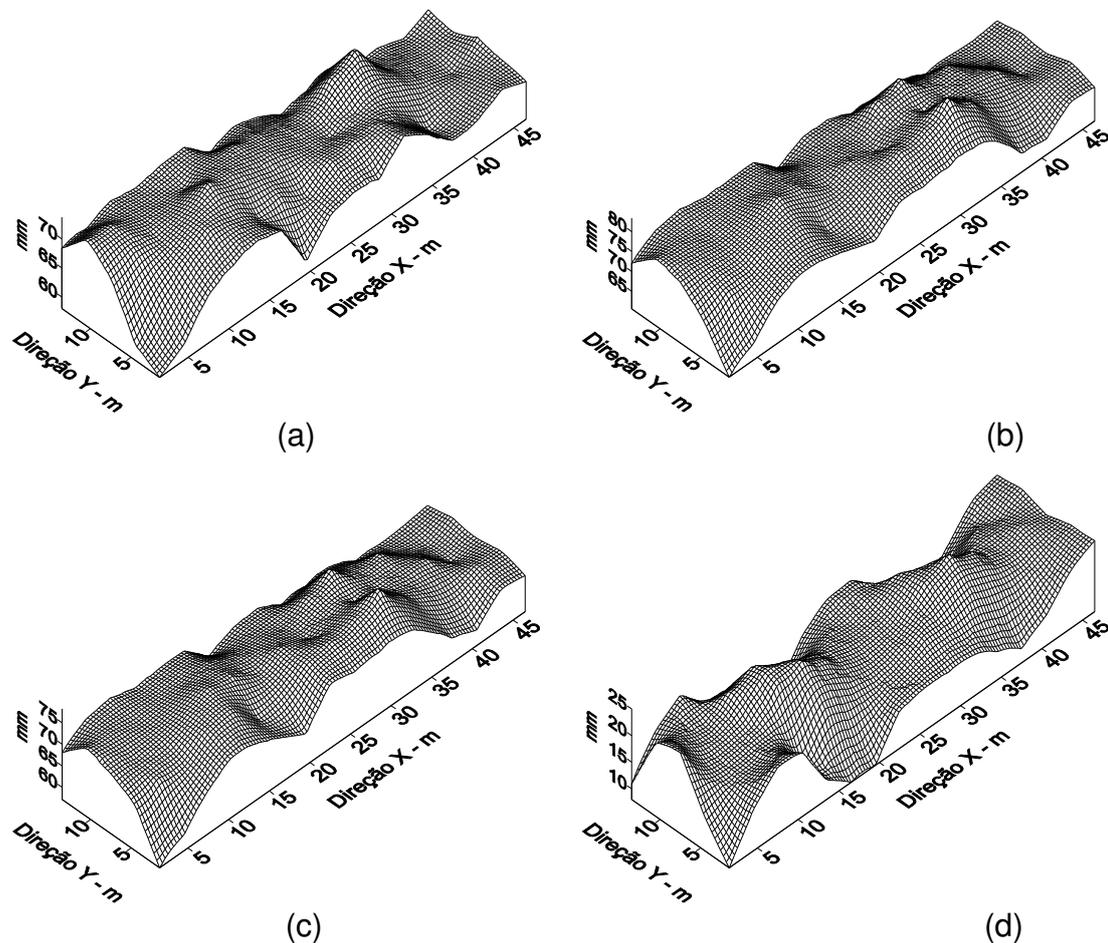


Figura 18 - Distribuição espacial dos valores para armazenamento antes da irrigação (a), após 72 horas (b), após 98 horas (c), e lâmina de irrigação aplicada (d).

A interpolação dos valores de lâmina de água aplicada foi realizada também por meio da interpolação por krigagem. Para tanto, foi necessária a construção do semivariograma experimental para a variável lâmina de irrigação. Por meio da análise variográfica, pode-se verificar que a distribuição dos valores de lâmina de irrigação apresentaram estrutura de dependência espacial, sendo ajustado o modelo esférico para o semivariograma experimental (Figura 19).

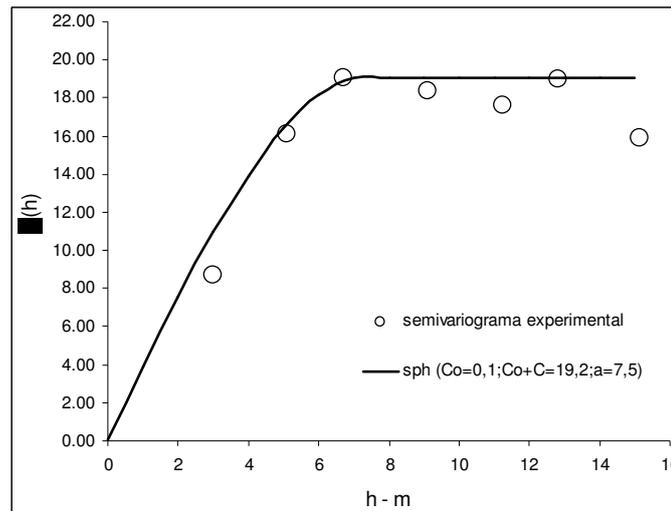


Figura 19 - Semivariograma experimental de lâmina de irrigação aplicada.

Pode-se verificar que, na Figura 18d, os valores das maiores lâminas aplicadas concentraram-se ao longo da porção intermediária da área. Portanto, os valores menores de lâmina estão concentrados nas extremidades correspondentes aos valores extremos de Y.

A Figura 18a apresenta a distribuição de valores de armazenamento antes da irrigação. Embora possa ser observada uma considerável dispersão dos valores no espaço, a estacionaridade intrínseca do processo, assumida “a priori”, pode ser corroborada por uma distribuição no espaço que não se caracteriza por uma tendência de variação dos valores que possa apontar para uma variação sistemática em qualquer direção.

Pode-se verificar que a aplicação de água pouco modificou a distribuição espacial do armazenamento de água no solo. Naturalmente, as regiões que receberam as maiores lâminas de água, ainda apresentam valores de armazenamento um pouco maiores que aqueles verificados antes da aplicação. A distribuição espacial dos valores, nas Figuras 18a, 18b e 18c,

permite verificar que esta distribuição depende mais de fatores intrínsecos ao solo do que da distribuição de lâmina de água aplicada, revelando que o padrão espacial de armazenamento de água no solo apresenta elevada estabilidade temporal. Os resultados encontrados para armazenamento de água no solo são particularmente semelhantes aos encontrado por Trintinalha (2005), corroborando a hipótese da estabilidade temporal desta variável.

4.4 Índice de área foliar

O desenvolvimento vegetal da cultura durante o ciclo, nas condições estudadas, foi avaliado por meio do índice de área foliar (IAF), calculado conforme equação 1. Os valores de IAF foram obtidos semanalmente, para cada uma das 80 quadrículas, totalizando sete medidas desta variável entre a germinação e o início da maturação. As coletas foram realizadas nos dias 138, 146, 153, 160, 167, 174 e 188 do ano. A análise estatística descritiva e exploratória dos valores (Tabela 4) foi realizada para cada uma das datas consideradas.

Tabela 4 - Estatística descritiva do índice de área foliar em $m^2 m^{-2}$ medido em 7 períodos considerados no dia do ano.

	Índice de área foliar $m^2 m^{-2}$						
	IAF 1 138	IAF 2 146	IAF 3 156	IAF 4 160	IAF 5 167	IAF 6 174	IAF 7 188
N	80	80	80	80	80	80	80
Média	0,40	0,63	0,97	0,94	1,32	1,31	1,23
Mediana	0,38	0,58	0,91	0,91	1,21	1,25	1,16
d (K-S)	0,09*	0,13*	0,10*	0,10*	0,10*	0,12*	0,13*
Mínimo	0,15	0,22	0,24	0,43	0,39	0,61	0,67
Máximo	0,82	1,33	2,13	2,07	2,78	2,89	2,30
Q. inferior	0,30	0,40	0,64	0,68	0,99	1,01	1,01
Q. superior	0,47	0,80	1,26	1,08	1,56	1,48	1,38
A. interq.	0,18	0,40	0,62	0,41	0,57	0,47	0,37
D.-padrão	0,15	0,28	0,41	0,34	0,49	0,44	0,32
Assimetria	0,75	0,81	0,61	1,01	0,81	1,28	1,30
Curtose	0,37	-0,09	-0,19	1,22	0,63	2,28	2,07
CV	38,1	48,0	45,2	37,8	40,3	34,8	27,5
L. inferior	0,03	-0,21	-0,29	0,07	0,13	0,31	0,46
L. superior	0,74	1,40	2,20	1,69	2,42	2,19	1,93

*-distribuição normal para $\alpha = 5\%$ de probabilidade / d crítico a 5%: 0,15 (Campos, 1983).

Os valores de máximo e mínimo mostram que a cultura do feijoeiro se desenvolveu adequadamente. Porém, em média, apresentou valores de IAF

abaixo do encontrado por Rezende et al. (2004) e Medeiros et al. (2000). Os valores de máximo e mínimo refletem a má qualidade física do solo, levando a média para um valor baixo de IAF. A variabilidade de valores de IAF na área é considerável, caracterizada pelo valor do coeficiente de variação das distribuições de valores, que pode ser caracterizado como de média variação, assumindo valores entre 27 e 48%.

Na Tabela 4, é possível observar que o coeficiente de variação tende a diminuir ao longo do tempo com exceção do primeiro IAF, obtido na fase de intenso crescimento vegetativo. O valor de CV do IAF 2 demonstra que nessa fase aquelas plantas que encontraram condição mais adequada se desenvolveram com grande destaque em relação às plantas que estavam em condição menos adequada, caracterizado pelo salto que o valor de CV apresenta, de 38% para 48%, para IAF 1 e IAF 2, respectivamente. A partir desse momento, do IAF 3 em diante, as plantas que primeiramente haviam se desenvolvido menos foram se igualando, uniformizando o estande, com aquelas plantas mais desenvolvidas, caracterizado pelo decrescente valor de CV para as demais distribuições de IAF, ao longo do período estudado. O valor de CV das distribuições revela a grande variabilidade do desenvolvimento das plantas visualizado durante a condução da cultura.

O coeficiente de curtose (Tabela 4) das distribuições de valores de IAF revela que até o IAF 3 as distribuições apresentaram-se com os valores bem distribuídos em torno da média. Ao longo do período, principalmente, para o IAF 6 e 7, os valores de curtose demonstram que a distribuição é ligeiramente platicútica, apresentando os valores menos concentrados em torno da média, inclusive com a presença de valores elevados, caracterizados como atípicos, os quais caracterizam certa assimetria. Apesar disto, o coeficiente de assimetria aponta para a normalidade dos dados, o que foi corroborado pela estatística d , que se apresentou significativa para todas as distribuições de valores de IAF, para o nível de 5% de probabilidade, pelo teste de K-S.

O gráfico “box-plot”, mostrado na Figura 20, revela que no período inicial da cultura, até IAF 2, a amplitude interquartílica é pequena. A partir do IAF 3 a amplitude interquartílica aumenta, caracterizando as distribuições de valores ligeiramente como platicúticas. Porém, a partir do IAF 6 e 7, a amplitude entre os quartis diminui, tornando os valores máximos muito grandes

proporcionalmente, caracterizando-os como valores candidatos a “outliers”, por causa da concentração de valores em torno da média dessas distribuições de IAF (IAF 6 e 7).

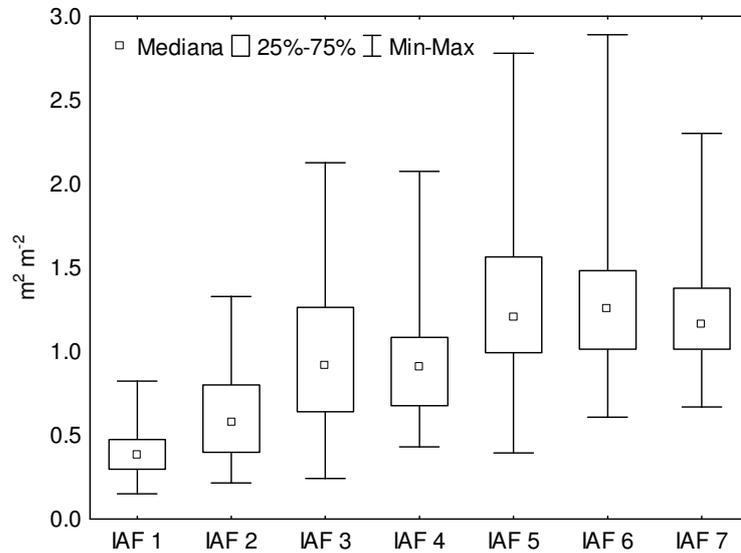


Figura 20 - Gráfico “box-plot” para os valores do índice de área foliar medidos em 7 períodos.

As retas de probabilidade (Figura 21) permitem observar o afastamento das distribuições em relação à linha reta, que caracteriza a normalidade. Este afastamento, embora não tenha sido detectado pelo teste K-S, faz com que a análise variográfica deva ser precedida de cuidadosa análise exploratória, avaliando-se inclusive a necessidade de transformação de dados e avaliação do efeito da remoção dos dados atípicos, na construção dos semivariogramas experimentais.

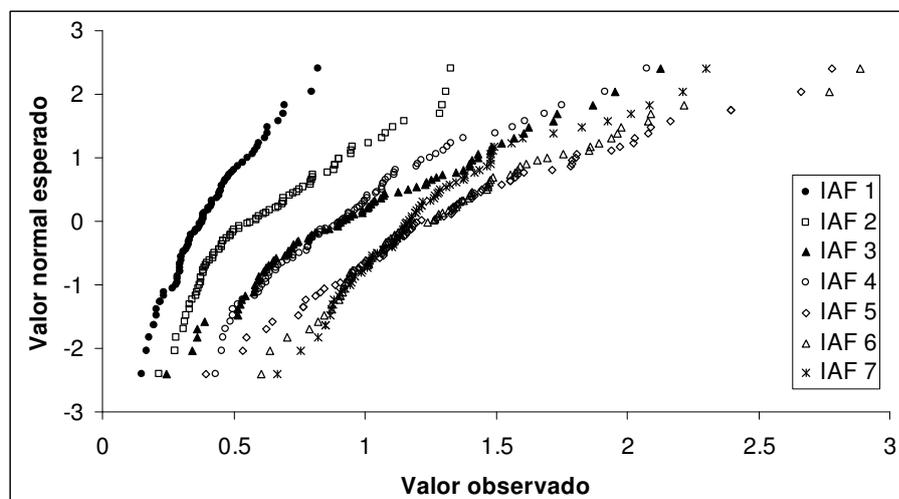


Figura 21 - Retas de probabilidade normal para os valores de índice de área foliar medidos em sete períodos.

Para buscar melhor descrição do desenvolvimento vegetal durante o ciclo da cultura, foi feita a análise da distribuição espacial dos valores de índice de área foliar, em cada uma das datas consideradas. Para isto, os valores medidos foram utilizados para a construção dos semivariogramas experimentais.

Durante a análise variográfica, procurou-se avaliar a influência da transformação logarítmica dos valores medidos sobre os semivariogramas experimentais. Avaliou-se também a influência da remoção dos valores candidatos a “outliers” de cada uma das distribuições sobre o semivariograma respectivo.

Esta análise variográfica mostrou que a transformação logarítmica dos valores medidos não alterou substancialmente os semivariogramas experimentais das distribuições, apenas promoveram maior aproximação da distribuição de valores à normalidade. A remoção de candidatos a “outliers” contribuiu pouco para a aproximação das distribuições à normalidade, e, portanto, também não promoveram mudanças significativas nos semivariogramas experimentais. Desta forma, os semivariogramas experimentais foram construídos a partir dos dados não-transformados e com as séries de valores completas.

Por meio dos semivariogramas experimentais construídos, verificou-se que apenas os valores de IAF da sétima coleta não apresentaram estrutura de dependência espacial. Com o propósito de analisar comparativamente a estrutura de dependência espacial dos IAF nas diferentes datas de amostragem e buscando utilizar um único modelo para a descrição desta estrutura, escalonaram-se os semivariogramas experimentais e ajustou-se o modelo esférico, que apresentou alcance da ordem de 12,5 m, para as seis avaliações citadas (IAF 1, IAF2, IAF3, IAF 4, IAF 5 e IAF 6), Figura 22.

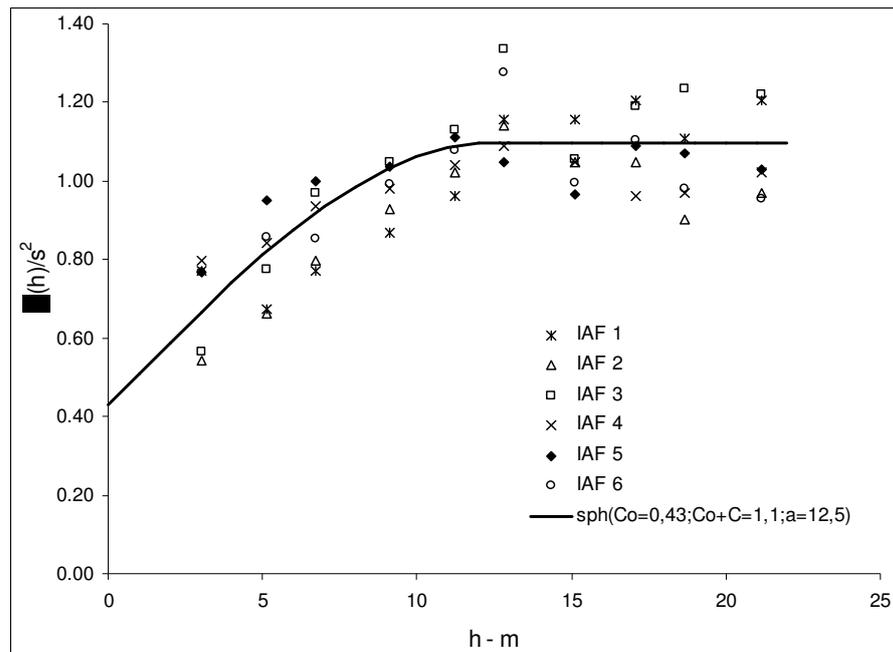
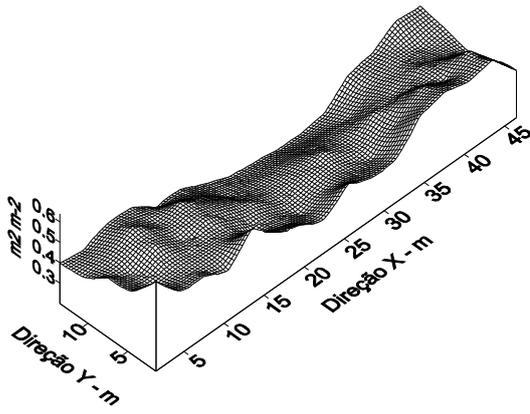


Figura 22 - Semivariogramas experimentais escalonados de IAF 1, ..., IAF6.

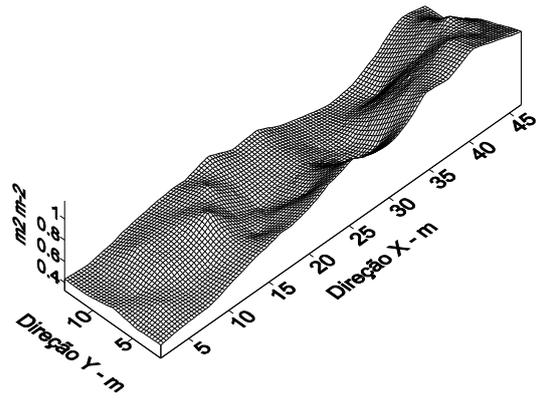
O grau de dependência espacial (GD) foi calculado para os semivariogramas experimentais escalonados por meio da equação 5. O modelo apresentou valor de GD de 39%, caracterizando o grau de dependência espacial como moderado.

A ausência de estrutura de dependência espacial para o IAF 7 pode ser relacionada com a fase em que foi feita a coleta de plantas para este período. A coleta de plantas para o último IAF foi feita durante a fase de maturação fisiológica da cultura, que ocorreu de maneira desuniforme na área, ou seja, as plantas que se desenvolveram menos iniciaram o processo de senescência primeiro, contribuindo para a aleatoriedade no processo de secamento das plantas. Portanto, a desuniformidade com que se deu o processo de maturação fisiológica está associada à ausência de estrutura de dependência espacial para este período de coleta.

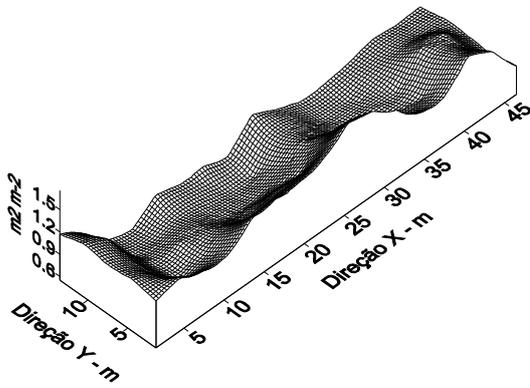
Uma vez obtidos os semivariogramas e ajustado o modelo, foi realizado o processo de interpolação por krigagem para os valores de IAF, para visualização da distribuição dos valores destas variáveis no espaço. Para tanto, utilizou-se o modelo único aos semivariogramas experimentais escalonados para as séries que apresentaram estrutura de dependência espacial (Figura 23).



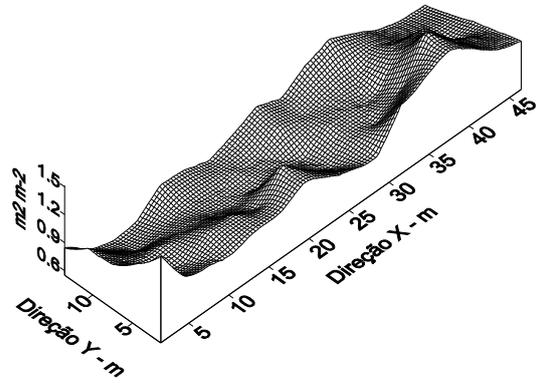
(a)



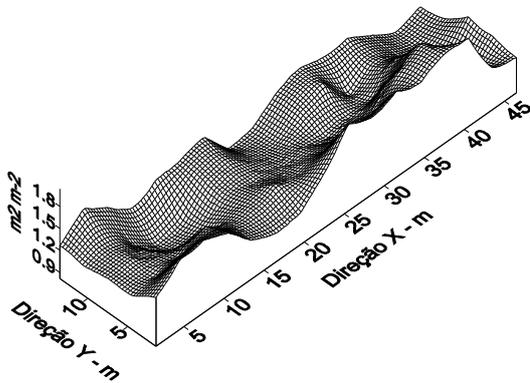
(b)



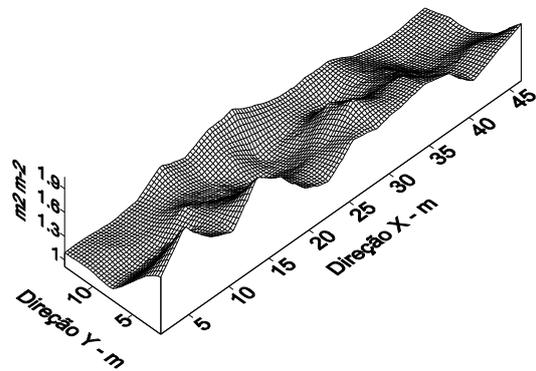
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 23 – Distribuição espacial de valores para as variáveis IAF 1 (a), IAF 2 (b), IAF 3 (c), IAF 4 (d), IAF 5 (e) e IAF 6 (f).

A distribuição espacial dos valores de IAF revela que durante o IAF 1, os menores valores concentraram-se na porção intermediária da região de valores de X entre 20 e 35 m, porém as extremidades desta região apresentaram valores altos de IAF. Ao longo do ciclo da cultura a partir do IAF 3, o padrão espacial manteve-se muito semelhante até o IAF 6. Os menores valores, entretanto, concentraram-se ao longo da direção X, na porção correspondente a valores intermediários de Y. A Figura revela a desuniformidade que a cultura apresentou no campo.

4.5 Produtividade

Para avaliação da produtividade da cultura e conseqüentemente do seu desenvolvimento no ambiente estudado, foi avaliada a produtividade relativa de cada quadrícula. A Tabela 5 mostra a estatística descritiva para os valores encontrados para esta variável.

Tabela 5 - Estatística descritiva para a variável produtividade relativa.

	Produtividade relativa
N	80
Média	0,59
Mediana	0,57
d (K-S)	0,08*
Mínimo	0,35
Máximo	1,00
Q. inferior	0,47
Q. superior	0,69
Amplitude interquartil	0,21
D.-padrão	0,13
Assimetria	0,40
Curtose	-0,04
CV	22,3
L. inferior	0,14
L. superior	1,01

*-distribuição normal para $\alpha = 5\%$ de probabilidade / d crítico a 5%: 0,15 (Campos, 1983).

As medidas de posição média e mediana apresentaram valores próximos entre si, apontando para distribuição normal. O coeficiente de assimetria assume valor próximo de zero (0,4), revelando a simetria da distribuição. O coeficiente de curtose apresenta valor muito próximo de zero, caracterizando a distribuição como mesocúrtica. A hipótese de normalidade da distribuição pode ser corroborada pelo teste K-S, para o nível de probabilidade

de 5%, pois a estatística d apresenta valor significativo. Embora o valor de CV, caracterizado como de média variação, revele a dispersão dos dados, não foram identificados valores candidatos a “outliers” para esta distribuição. Isto pode ser evidenciado ao comparar os valores de mínimo e máximo com os valores de limite inferior e superior, respectivamente.

A análise exploratória da distribuição de valores para a variável produtividade relativa comprova, por meio do gráfico “box-plot” (Figura 24a), que apesar da cauda superior ser ligeiramente mais alongada, caracterizada pelo valor de assimetria positivo, não caracteriza assimetria da distribuição. Pode-se observar também que a medida de posição, mediana, encontra-se centralizada entre o quartil inferior e superior, apontando a simetria da distribuição. A reta de probabilidade normal (Figura 24b) permite constatar que a distribuição de valores de produtividade relativa é próxima da normalidade, uma vez que a distribuição pode ser adequadamente descrita por uma linha reta.

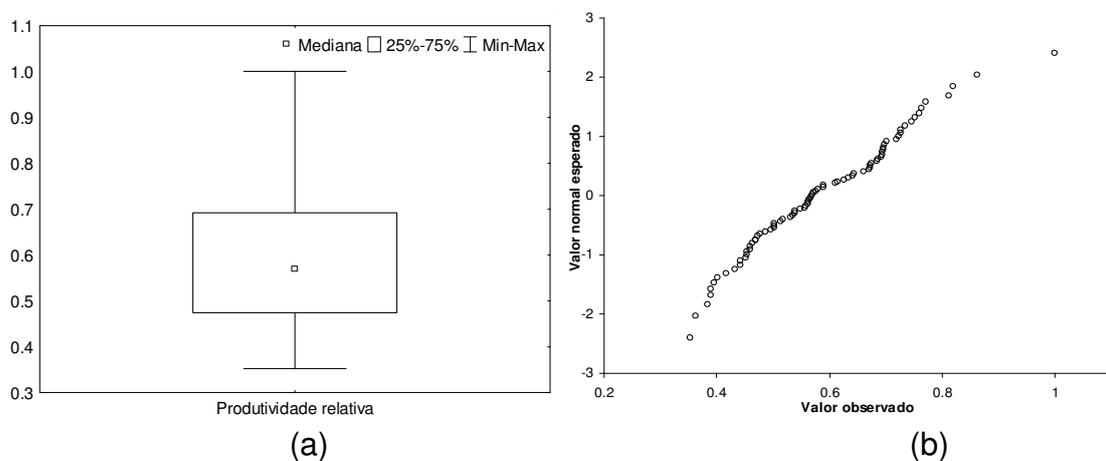


Figura 24 - Gráfico “Box-plot (a)” e reto de probabilidade normal (b) da variável produtividade relativa.

Descrita a variável em questão por meio da estatística descritiva e análise exploratória dos dados, buscou-se melhor descrição da produtividade da cultura, avaliando-se possível existência de estrutura de dependência espacial. Para isso, os valores medidos foram utilizados para a construção de um semivariograma experimental.

O semivariograma experimental, para a variável produtividade relativa, apresentou estrutura de dependência espacial, sendo o modelo esférico

ajustado ao mesmo, cujo alcance foi de 11,5 m, conforme apresentado na Figura 25. O “nugget effect” (efeito pepita), expresso como uma porcentagem do patamar apresentou valor 15,8% indicando fraca influência da componente aleatória na variabilidade espacial dos dados, Cambardela (1994).

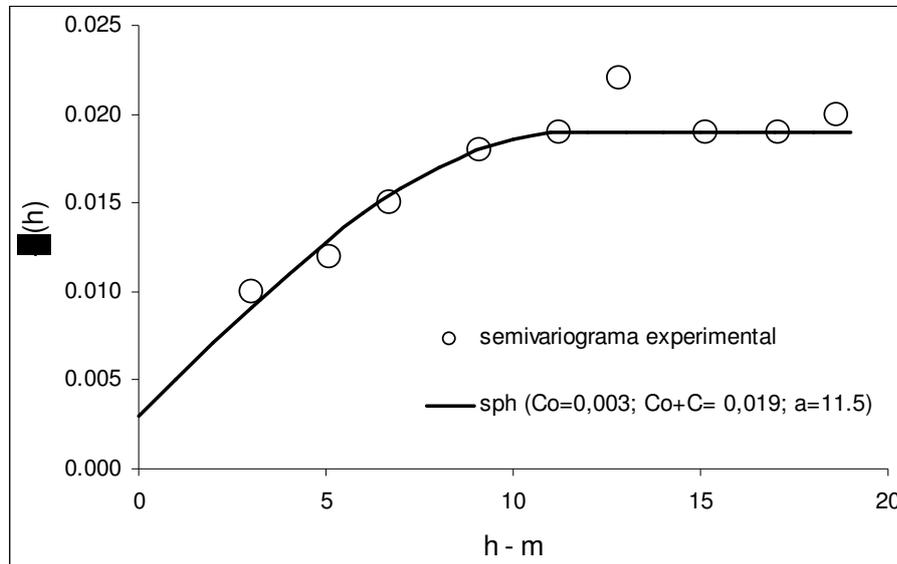


Figura 25 - Semivariograma experimental da variável produtividade relativa.

A distribuição espacial dos valores de produtividade relativa pode ser descrita procedendo-se à interpolação por krigagem, a partir de valores medidos, utilizando-se o modelo do semivariograma experimental ajustado para a série de dados. A superfície de valores da variável produtividade pode ser visualizada na Figura 26.

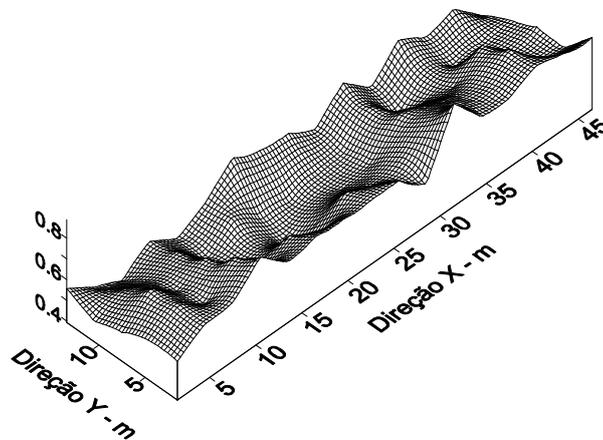


Figura 26 - Distribuição espacial dos valores de produtividade relativa.

Por meio da análise do padrão da distribuição espacial da variável produtividade relativa, pode-se observar que os menores valores de produtividade concentraram-se ao longo da direção X na porção correspondente a valores intermediários de Y, e os maiores valores concentraram-se ao longo das extremidades de Y. Este mapa de superfície, para a variável em questão, aponta para a deficiência do sistema na região dos menores valores de produtividade, sugerindo que se proceda à análise de correlações lineares e espaciais para possíveis explicações sobre a resposta de desenvolvimento da cultura nesse estudo.

4.6 Lâmina total de irrigação

O aporte de água na área experimental, via precipitação natural, foi da ordem de 40 mm, praticamente insignificante para o desenvolvimento da cultura. Assim, a água necessária ao completo desenvolvimento e produção foi fornecida via irrigação. O somatório dos valores de lâmina aplicada, em cada quadrícula, em cada irrigação, permitiu identificar o valor da lâmina total de irrigação, em cada uma das 80 quadrículas. A estatística descritiva e exploratória destes valores está mostrada na Tabela 6. Embora praticamente insignificante os valores de chuva foram também somados para obtenção dessa lâmina total.

Tabela 6 - Estatística descritiva da variável lâmina total de irrigação.

	Lâmina total
N	80
Média	275,8
Mediana	282,5
d (K-S)	0,16
Mínimo	189,4
Máximo	345,2
Q. inferior	259,7
Q. superior	298,9
Amplitude interquartil	39,17
D.-padrão	36,97
Assimetria	-0,76
Curtose	0,19
CV	13,4
L. inferior	201,0
L. superior	357,6

*-distribuição normal para $\alpha = 5\%$ de probabilidade / d crítico a 5%: 0,15 (Campos, 1983).

A distribuição de lâmina total aplicada na área (lamt) apresenta CV de média variação, que assume o valor 13,4%. O valor de assimetria revela que há ligeira concentração de valores à esquerda da distribuição, evidenciada também pela cauda inferior do gráfico “box plot” (Figura 27a) mais alongada. O coeficiente de curtose apresenta valor próximo de zero caracterizando a distribuição como mesocúrtica, apesar da estatística d do teste K-S, que testa a normalidade da distribuição, não ter sido significativa para o nível de 5% de probabilidade. Os valores de média e mediana assumem valores ligeiramente diferentes, o que também sinaliza para o afastamento da normalidade.

A reta de probabilidade normal (Figura 27b) permite enxergar a presença de seis valores candidatos a “outliers”, na parte inferior da reta, cujos valores são inferiores a 201 mm (Tabela 4). Entretanto, a distribuição dos demais valores pode ser adequadamente descrita por uma reta, o que sugere a conveniência de se avaliar o efeito da presença destes valores sobre a análise variográfica.

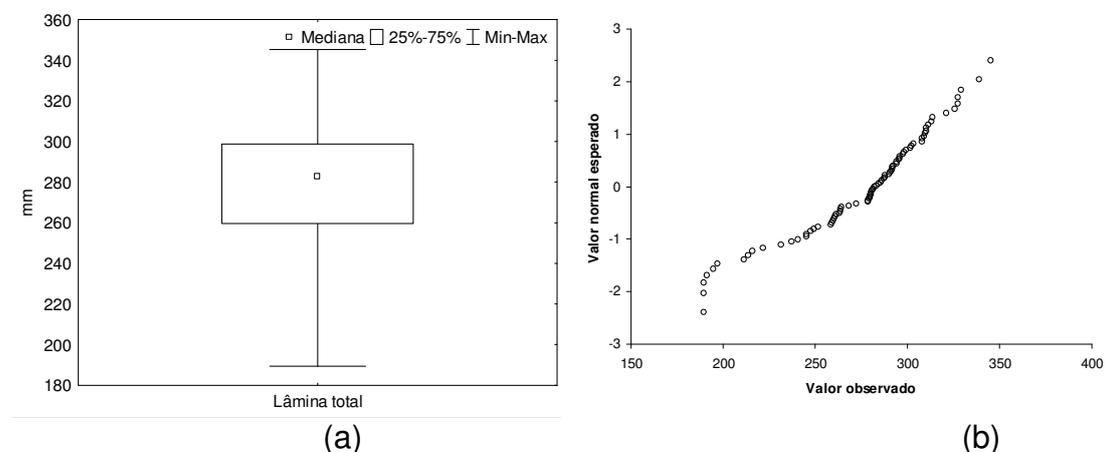


Figura 27 - Gráfico “box-plot” (a) e reta de probabilidade normal (b) para a variável lâmina total de irrigação.

Com o propósito de avaliar a distribuição dos valores de lâmina total no espaço, buscou-se descrever uma possível estrutura de dependência espacial por meio de um semivariograma experimental construído a partir dos valores medidos para esta variável. Como a distribuição desses valores apresentou valores atípicos, construiu-se um semivariograma com a presença e a ausência dos mesmos. Destaca-se que como pode ser observada, na Figura 27b, a

remoção desses pontos torna a distribuição do restante bastante simétrica. A Figura 28 mostra o semivariograma experimental construído com a distribuição completa dos dados. Esse semivariograma é coincidente com aquele obtido após a remoção dos seis valores candidatos a “outliers”, revelando que esses valores não caracterizam descontinuidades espaciais. São apenas valores extremos inferiores na distribuição de água no espaço.

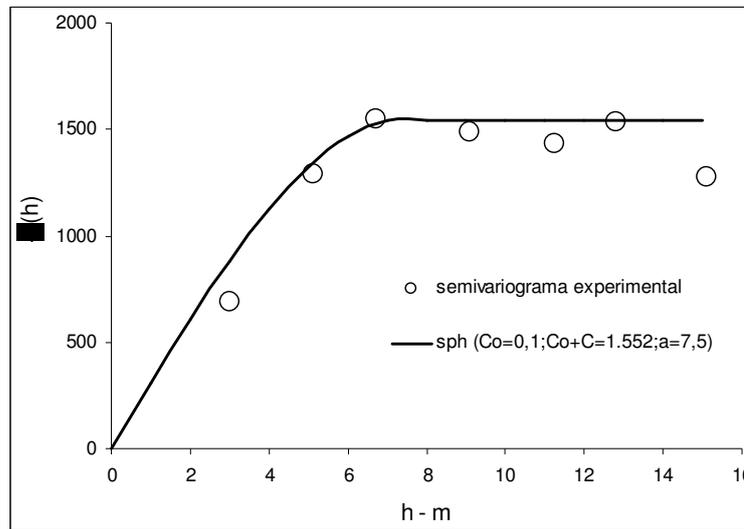


Figura 28 - Semivariograma experimental para a variável lâmina total de irrigação.

Ao semivariograma experimental foi ajustado o modelo esférico com alcance de 7,5 m conforme mostrado na Figura 28. Esse modelo foi utilizado na interpolação por krigagem dos valores de lâmina total de irrigação. Os valores obtidos foram utilizados na construção da Figura 29, que mostra a distribuição espacial dos valores de lâmina total de irrigação na área experimental.

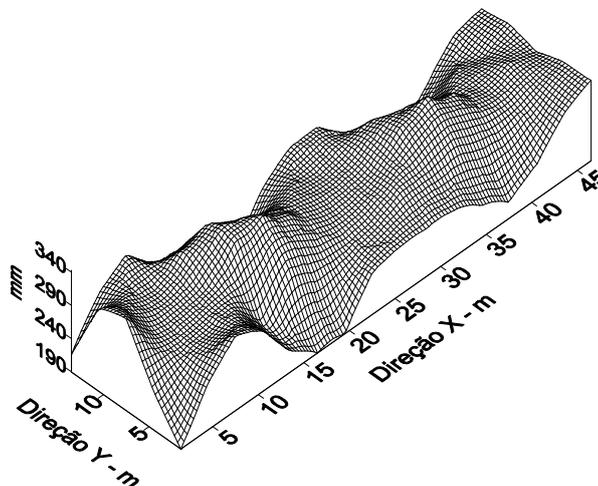


Figura 29 - Distribuição espacial dos valores de lâmina total de irrigação.

Essa distribuição espacial de valores reproduz, em maior escala, o padrão de distribuição espacial dos valores de lâmina de irrigação apresentados na Figura 18d, uma vez que, como a chuva foi praticamente desprezível, a lâmina total foi apenas uma combinação linear de alguns eventos de irrigação. A observação da Figura 29 permite constatar que os maiores valores de lâmina total aplicada ocorreram na região correspondente aos valores intermediários de Y principalmente na porção intermediária da região compreendida entre quatro aspersores.

4.7 Relações entre as variáveis

Com o propósito de se avaliar a relação entre as variáveis físico-hídricas estudadas e o desenvolvimento vegetal, expresso pelo IAF, e a produtividade da cultura, expressa por meio da produtividade relativa (Prel), foram avaliados os coeficientes de correlação linear de Pearson calculados para as correlações entre essas variáveis, os quais são mostrados na Tabela 7. Nesta tabela os valores de r significativos em nível de 5% de probabilidade são apresentados em destaque.

Tabela 7 – Correlação linear de Pearson para as variáveis armazenamento de água no solo, índice de área foliar e produtividade relativa.

	AA	AI	A 26	A 48	A 72	A 98	Lam total	Prel
IAF 1	-0.15	-0.18	<u>-0.24</u>	<u>-0.25</u>	<u>-0.24</u>	<u>-0.23</u>	-0.09	0.14
IAF 2	-0.17	-0.22	<u>-0.22</u>	<u>-0.22</u>	-0.21	<u>-0.23</u>	0.01	<u>0.37</u>
IAF 3	-0.17	<u>-0.23</u>	-0.18	-0.16	-0.17	-0.16	<u>-0.26</u>	<u>0.44</u>
IAF 4	<u>-0.24</u>	<u>-0.32</u>	<u>-0.29</u>	<u>-0.28</u>	<u>-0.26</u>	-0.22	<u>-0.33</u>	<u>0.38</u>
IAF 5	-0.14	-0.14	-0.09	-0.10	-0.11	-0.11	-0.20	<u>0.44</u>
IAF 6	-0.06	-0.18	-0.08	-0.08	-0.10	-0.09	<u>-0.26</u>	<u>0.34</u>
IAF 7	-0.13	0.08	0.15	0.14	0.09	0.04	-0.12	0.13
Prel	-0.27	-0.18	-0.17	-0.18	-0.18	-0.16	<u>-0.26</u>	

Tabela 8 - Correlação linear de Pearson para as variáveis resistência do solo à penetração, índice de área foliar e produtividade relativa.

	RPm	RP 5	RP 10	RP 15	RP 20	RP 25	RP 30
IAF 1	-0.05	0.05	0.02	-0.11	-0.10	-0.01	0.01
IAF 2	0.20	0.31	0.26	0.20	0.08	0.05	0.08
IAF 3	0.27	0.12	0.28	0.32	0.11	0.11	0.20
IAF 4	0.13	-0.07	-0.03	0.11	0.20	0.15	0.08
IAF 5	0.01	0.05	-0.05	0.02	0.07	-0.01	-0.02
IAF 6	0.05	0.10	0.06	0.10	0.00	0.00	-0.01
IAF 7	0.29	0.14	0.15	0.17	0.32	0.17	0.27
Prel	0.15	0.16	0.06	0.11	0.07	0.09	0.19

Uma observação geral dos coeficientes revela que mesmo aqueles significativos, apresentam-se com valores muito baixos, evidenciando que o desenvolvimento e a produtividade vegetal são determinados por um conjunto muito grande de fatores do solo, clima, água e planta. Assim, a correlação com cada fator isoladamente deverá apresentar, via de regra, baixo coeficiente de correlação. Pode-se destacar, no entanto, a correlação significativa entre os valores de IAF 2 a IAF 6 e a produção relativa, destacando que as condições que favoreceram melhor desenvolvimento vegetal, favoreceram, conseqüentemente, maior produção.

Os coeficientes de correlação obtidos entre armazenamento de água no solo antes da irrigação, ou seja, entre o padrão de armazenamento de água no solo que é ditado essencialmente pelo solo, e os valores de IAF revelam que o desenvolvimento vegetal ocorreu de maneira independente deste padrão. O mesmo pode ser estendido para a relação entre produção da cultura e este padrão de armazenamento, os quais se mostraram não-correlacionados. As correlações significativas entre lâmina total (Iamt) e IAF e Prel assumiram valores negativos, sinalizando para uma relação inversa entre magnitude de lâmina aplicada e desenvolvimento e produção vegetal. Jácome (2006) encontrou relação semelhante em um cultivo anterior, nessa área experimental.

Pode-se observar na Tabela 8 que os valores de resistência do solo à penetração não se correlacionaram com desenvolvimento e produção vegetal. Nenhum coeficiente entre produtividade e RP medida em qualquer profundidade foi significativo. Alguns coeficientes entre IAF e estes valores de RP apresentaram-se significativos, porém com valores positivos. Embora estatisticamente significativos, esses valores de r são muito baixos e, sobretudo, carecem de sustentação do ponto de vista físico e biológico.

Trabalhos como de Borguelt (1994) e Da Mata (1998) mostram que correlações espaciais importantes podem ser identificadas entre variáveis para as quais as ferramentas usuais da estatística clássica não descrevem correlações. Assim, serão avaliadas as correlações entre variáveis físico-hídricas, lâmina de irrigação total e as variáveis que expressam desenvolvimento e produção vegetal.

Em primeiro lugar, buscou-se avaliar as correlações entre desenvolvimento vegetal (IAF) e produtividade relativa; IAF e armazenamento de água no solo; IAF e resistência do solo à penetração.

Foram construídos semivariogramas cruzados entre os valores de IAF e armazenamento de água no solo, os quais se revelaram sem estrutura, evidenciando a inexistência de correlação espacial entre essas variáveis, corroborando a independência entre elas, mostradas na Tabela 7.

Correlação espacial inversa pôde ser identificada entre IAF 6 e RP 10. Destaca-se que o IAF 6 corresponde ao momento, no ciclo da cultura, de máximo desenvolvimento vegetal. Destaca-se também que a profundidade de 10 cm está relacionada com a grande concentração do sistema radicular das plantas. Assim, essa correlação inversa, demonstrada pelo semivariograma cruzado na Figura 30, expressa que maiores valores de RP nessa profundidade promoveram limitações ao desenvolvimento vegetal. A comparação da Figura 13b com a Figura 23f permite observar essa correlação espacial, embora a mesma seja pouco expressiva em termos visuais.

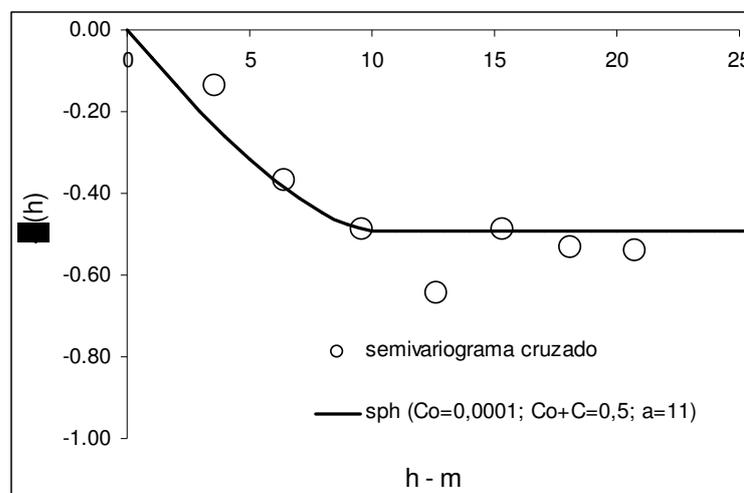


Figura 30 – Semivariograma cruzado entre as variáveis IAF 6 e RP 10.

A análise de correlação espacial entre valores de IAF e a lâmina total aplicada permitiu a identificação, por meio do semivariograma cruzado, da correlação espacial inversa entre valores de IAF 6 e lâmina total de irrigação, conforme mostrada na Figura 31. A comparação da Figura 23f e da Figura 29 permite visualizar claramente essa correlação inversa. Curiosamente, as regiões que receberam maiores lâminas de água apresentaram desenvolvimento vegetal claramente reduzido, como pôde ser observado no campo, e é reproduzido na Figura 23f. Provavelmente esta restrição ao desenvolvimento está relacionada à condição estrutural do solo, segundo a qual a macroporosidade é bastante reduzida e a microporosidade se apresenta de maneira contrária. Isso faz com que o solo seja capaz de reter grandes quantidades de água, o que potencializa as restrições referentes à aeração, quando se tem o aporte de água e a umidade atinge valores próximos à capacidade de campo.

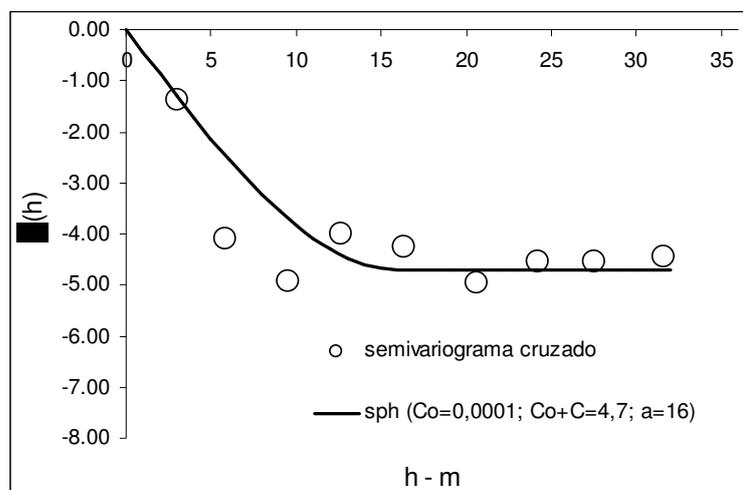


Figura 31 - Semivariograma cruzado entre as variáveis IAF 6 e lâmina total de irrigação aplicada na área.

A análise de correlação espacial, entre armazenamento de água no solo, e produtividade relativa permitiu a identificação, por meio do semivariograma cruzado, da correlação espacial inversa entre os valores de produtividade relativa e armazenamento de água no solo antes da irrigação, conforme mostrada na Figura 32. A comparação entre a Figura 18a e a Figura 26 permite visualizar esta correlação, embora esta não se mostre tão

claramente, observa-se que a região onde se obteve os menores valores de produção corresponde à região onde se concentrou as maiores lâminas de armazenamento de água no solo.

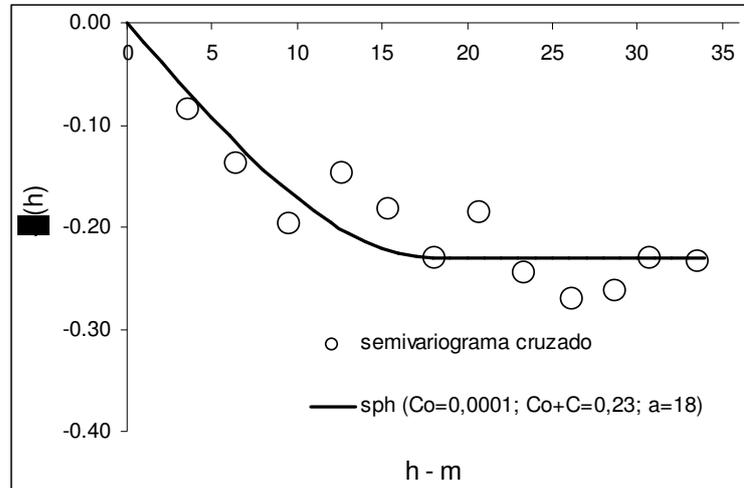


Figura 32 - Semivariograma cruzado entre as variáveis produtividade relativa e armazenamento de água antes da irrigação.

Foi construído um semivariograma cruzado correlacionando-se as variáveis produtividade relativa e lâmina de irrigação total aplicada. A análise de correlação espacial entre essas duas variáveis permitiu a identificação de uma correlação inversa (Figura 33). Por meio da comparação entre as Figuras 26 e 29, pôde-se constatar que a região onde se obteve as maiores lâminas de irrigação corresponde à região de menores valores de produtividade vegetal, ou seja, as regiões que receberam as maiores lâminas de água expressaram menores valores de produtividade. Desta forma, pode-se inferir que nos locais onde foram aplicados os maiores valores de lâmina de irrigação, o comprometimento da aeração pode ter sido o grande responsável pela restrição ao desenvolvimento das plantas, sendo ainda mais restritivo que a oferta limitada de água naqueles pontos onde a lâmina aplicada foi igual ou inferior à lâmina média de irrigação.

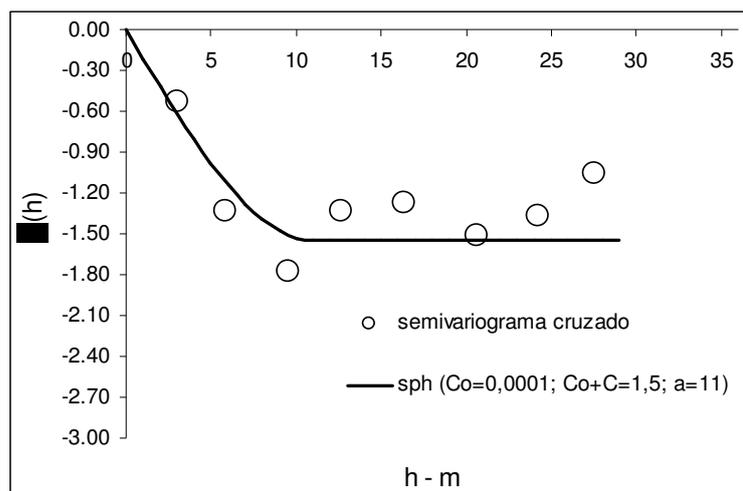


Figura 33 - Semivariograma cruzado entre as variáveis produtividade relativa e lâmina total de irrigação.

A análise de correlação espacial entre as variáveis produtividade relativa e IAF foi obtida por meio do semivariograma cruzado. Os resultados mostraram que produtividade e IAF 2, IAF 3, IAF 4, IAF 5 e IAF 6 apresentaram correlação espacial positiva entre si, como pode ser visualizado na Figura 34 onde estão apresentados os semivariogramas experimentais cruzados escalonados para essas variáveis. Foi ajustado um modelo único para esses semivariogramas que apresentou patamar de $0,025 (m^2 m^{-2})^2$, efeito pepita $0,001 (m^2 m^{-2})^2$ e alcance da ordem de 15 m.

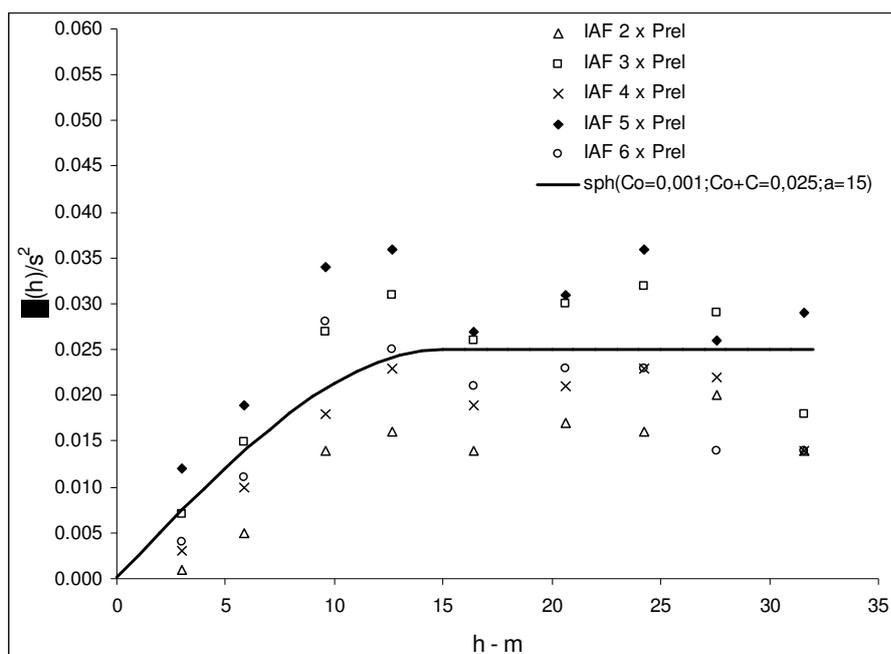


Figura 34 - Semivariogramas cruzados e escalonados para as variáveis produtividade relativa e IAF 2, ..., IAF6.

A comparação entre as Figuras 26 e 23c,...,f permite observar claramente a correlação que existe entre as duas variáveis em questão. Ao observar a distribuição de valores dessas variáveis, observa-se que o padrão espacial é muito semelhante, ou seja, as regiões de maiores valores de IAF correspondem às regiões de maiores valores de produtividade. A correlação espacial encontrada entre produtividade relativa e índice de área foliar revela que onde a planta encontrou um ambiente apropriado para o seu desenvolvimento, favoreceu a sua produtividade expressa pela produtividade relativa. Em outras palavras, esse resultado corrobora a hipótese que plantas com maior superfície fotossintética são capazes de acumular maior quantidade de matéria, resultando em maior produtividade.

É importante ressaltar que mesmo que as correlações encontradas expliquem algo sobre o desenvolvimento da cultura, no sistema estudado, um complexo conjunto de outros aspectos contribui para o desenvolvimento da cultura, devendo ser estudados com maior propriedade para melhor compreensão do sistema.

5 CONCLUSÕES

As variáveis estudadas apresentaram distribuição normal. A presença de valores atípicos não alterou de maneira expressiva a distribuição espacial dessas variáveis, revelando que estes valores não caracterizam descontinuidades espaciais.

As variáveis: densidade do solo, água disponível, resistência do solo à penetração, armazenamento de água no solo, índice de área foliar e produtividade relativa, de maneira geral, apresentaram estrutura de dependência espacial.

A distribuição espacial dos valores de resistência do solo à penetração revelou persistência em profundidade do padrão espacial desta variável. Os valores apresentados de RP sinalizam para a degradação estrutural do sistema.

A uniformidade de aplicação da lâmina de irrigação não alterou o padrão espacial de armazenamento de água no solo, evidenciando que fatores intrínsecos do mesmo definiram este padrão. O padrão espacial de armazenamento de água no solo apresentou elevada estabilidade temporal, o que está associado a fatores intrínsecos do solo.

Correlação espacial inversa foi encontrada entre as variáveis: resistência do solo à penetração e IAF 6; lâmina total aplicada e IAF 6; lâmina total aplicada e produtividade relativa; armazenamento de água no solo antes da irrigação e produtividade relativa. Produtividade relativa e índice de área foliar apresentaram correlação espacial positiva.

As regiões que receberam as maiores lâminas de água apresentaram desenvolvimento vegetal claramente reduzido, sinalizando que restrições à aeração do solo podem ter sido responsáveis pela restrição ao desenvolvimento das plantas.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ACOSTA-GALLEGOS, J.A.; ADAMS, M.W. Plant traits and yield stability of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar under drought stress. *Journal of Agricultural Science*, v.117, p.213-219, 1991.

ACOSTA-GALLEGOS, J.A.; SHIBATA, J.K. Effects of water stress on growth and yield of indeterminate dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Field Crop Research*, v.20, p.81-93, 1989.

ALVIM, R.; ALVIM, P.T. Efeito da densidade de plantio no aproveitamento da energia luminosa pelo milho (*Zea mays*) e pelo feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em culturas exclusivas e consorciadas. *Turrialba*, San Jose, v.19, p.389- 393, 1969.

ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Physical properties of a dystrophic Red Latosol (Oxisol) under crop cultivation and native forest. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, vol.28, n.2, p.337-345, mar./abr. 2004.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. *Methods for assessing soil quality*. *Soil Science Society of America*, Madison, p.123-141 (SSSA Special publication, 49), 1996.

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

BERGAMASCHI, H. *Perda de água e desenvolvimento de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob diferentes condições da disponibilidade hídrica no solo e da atmosfera*. 1984. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracacaba, 1984.

BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, v.25, p.167-177, 2001.

BLACKMAN, G.E.; WILSON, G.L. Physiological and ecological studies in the analysis of environment. *Anal. of Botany*, 15:63-84, 1951.

BLAINSKI, E.; SEGANDREDO, J.; FOLEGATTI, M.V.; PRINLE, F.B.; GONÇALVES, A.C.A.; TRINTINALHA, M.A. Capacidade de campo e condutividade hidráulica de um Nitossolo Vermelho distroférrico, em função da umidade do solo. In: XIII ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, Londrina. *Anais...* Londrina, 2004.

BORGES, A.L.; KIEHL, J.C.; SOUZA, L.S. Alteração de propriedades físicas e atividade microbiana de um latossolo amarelo álico após o cultivo com fruteiras perenes e mandioca. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, v.23, p.1019-1025, 1999.

BORGUELT, S.C.; SEARCY, S.W.; STOUT, B.A.; MULLA, D.J. Spatially variable liming rays: a method for determination. *Transactions of the ASAE*, v.37, n.5, p.1499-1507, 1994.

BOWEN, J.E. & KRATKY, B.A. Compactacion del suelo. *Agric. Américas*, v.34 p.10-14, 1985.

CALVACHE, M.; REICHARDT, K. Water deficit imposed by partial irrigation at different growth stages for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: IAEA TECDOC 888, NUCLEAR TECHNIQUES TO ASSESS IRRIGATION SCHEDULES FOR FIELD CROP. 1996, p.63-72.

CAMBARDELA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; et al. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.58, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, H. *Estatística experimental não-paramétrica*. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Matemática e Estatística, 1983. 349 p.

CANARACHE, A. Penetr-a generalized semi-emprirical model estimating soil resistance to penetration. *Soil Till. Res*, Amsterdam, 16:51-70, 1990.

COSTA NETO, P.L.O. *Estatística*. São Paulo: Edgard Blücher, 1990. 264p.

CHRISTIANSEN, J.E. The uniformity of application of water by sprinkler systems. *Agricultural Engineering*, v.22, n.3, p.737-743, 1941.

DA MATA, J.D.V.; GONÇALVES, A.C.A.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da macroporosidade do solo em área irrigada, antes do preparo e após colheita, sob dois sistemas de preparo. *Acta Scientiarum*, Maringá, 20(3):307-312, 1998.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. *Yield response to water*. Rome: FAO, 1979. 193p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solo*. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

FERNÁNDEZ, F. et al. *Etapas de desarrollo de la planta de frijol comum: guia de estudio para ser usada como complemento de la unidade tema*. Cali, Colômbia: Ciat- University of Yalle, 1982.

FOLEGATTI, M.V. *Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso*. 1996. 84f. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1996.

FORSYTHE, W.M.; LEGARDA, B.L. Soil water and aeration and red bean production: I-Mean maximum soil moisture suction. *Turrialba*, San Jose, v.28, p.81-86, 1978.

GOHRING, T.R.; WALLENDER, W.W. Economics of sprinkler irrigation systems. *Transactions of the ASAR*, St. Joseph, v.30, n.4, p. 1083-1089, 1987.

GOMES, A.A.; ARAÚJO, A.P.; ROSSIELLO, R.O.P.; PIMENTEL, C. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.35, n.10, p. 1927-1937, out. 2000.

GONÇALVES, A.C.A. Estabilidade temporal da distribuição espacial da umidade do solo em área irrigada por pivô central. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, n.1, p.155-164, 1999.

GONÇALVES, A.C.A. et al. Distribuição espacial do armazenamento de água no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. *Anais...* São Pedro, 2004.

GONÇALVES, A.C.A. *Variabilidade especial de propriedades físicas do solo para fins de manejo da irrigação*. 1997. 118f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V.; TORMENA, C.A. TRINTINALHA, M.A. Variabilidade espacial do armazenamento de água no solo, durante o ciclo da cultura do feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2006, São Pedro. *Anais...* São Pedro, 2006.

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

HAMLETT, J.M.; HORTON, R.; CRESSIE, N.A.C. Resistant and exploratory techniques for use in demivariogram analyses. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.50, p.868-875, 1986.

HOSTALACIO, S.; VALIO, I.F.M. Desenvolvimento dos frutos de feijão em diferentes regimes de irrigação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.19, n.1, p.53-57, 1984.

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

JÁCOME, A.G. *Distribuição espacial de variáveis de produção do feijoeiro e do armazenamento de água no solo*. 2006. 81f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

JONES, L.H. Adaptative responses to temperature in dwarf french beans, *Phaeolus vulgaris* L. *Ann. Bot.*, London, v.35, p.581-596, 1971.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, Ch. J. *Mining geostatistics*. London: Academic Press, 1978. 600 p.

JOURNEL, A.G.; ROSSI, M.E. When do you need a trend model in a kriging? *Mathematical Geology*, v.21, n.7, p.715-739, 1989.

KACHANOSKI, R.G.; DE JONG, E. Scale dependence and the temporal persistence of spatial patterns of soil water storage. *Water Resources Research*, Washington, DC, v.24, n.1, p.85-91, 1988.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L.; SILVA, A.P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.18, n.2, p.45-54, 1998.

KÛET, J.; MARSHALL, J.K. Assessment of leaf area and other assimilating plant surfaces. In: SESTAK, Z. *et al.* (Ed.) *Plant photosynthetic production: manual of methods*. The Hague: N. V. Publ., 1971. cap.14, p.517-555.

LAINING, D.R.; JONES, P.G; DAVIS, J.H.C. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). in: GOLDSWORTHY, P.R.; FISHER, N.M., eds. *The physiology of tropical field crop*. Chichester, John Willey & Sons, 1984. p. 305-51.

LARCHER, W. Utilização de carbono e produção de matéria seca. In: *Ecofisiologia Vegetal*. São Paulo: EPU, 1986. cap. 4, p.77-160.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. *Adv. Soil Sci.*, v.1 p.277-294, 1985.

LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A.; MORAES, S.O. et al. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.20, p.1-12, 1996.

LUCHIARI JUNIOR, A. *Determinação do coeficiente de cultura (Kc) para feijão (Phaseolus vulgaris L.) pelo método do balanço hídrico*. 1978. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1978.

MAGALHÃES, A.A; MILLAR, A.A. Efeito do déficit de água no período reprodutivo sobre a produção de feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.13, n.2, p.55-60, 1978.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. In: *Fisiologia vegetal*. Editoras EPU e EDUSP, São Paulo, 1979. v.1 p.331-350.

MANTOVANI, E.C. *Desarrollo y evaluacion de modelos para el manejo del riego: estimación de la evapotranspiracion y efectos de la uniformidad de aplicación del riego sobre a producción de los cultivos*. 1993. 183f. Tese (Doutorado) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad de Córdoba, Córdoba, 1993.

MARIOT, E.J. *Growth analysis of Cu. Porrillo Sintético (Phaseolus vulgaris, L.). A report of results from studies conducted while a trainee in bean physiology. Centro internacional de Agricultura Tropical. Cali: CIAT, 1976. 22p.*

MATA, J.D.V.; GONÇALVES, A.C.A.; VIEIRA, S.R.; FOLEGATTI, M.V. Relação entre produtividade e resistência à penetração em área irrigada. *Acta Scientiarum*, Maringá, 21(3):519-525, 1999.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. *Economic Geology*, El Paso, 58: 1246 – 1266, 1963.

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; BONI, N. R. Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.35, n.9, p. 1733-1742, set 2000.

MENEZES, D.M.; PINTO, M.M. Influência do fator hídrico no desenvolvimento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na baixada fluminense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, v.2, p.383-389, 1967.

MEROTTO, A. & MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, 23:197-202, 1999.

MILLAR A.A.; GARDNER W.R. Effect of soil and plant water potentials on the dry matter production of snap beans. *Agronomy Journal*, Madison, v.64, p.559-562, 1972.

MONTENEGRO, S.M.G.L.; MONTENEGRO, A.A.A.; MACKAY, R. Caracterização da variabilidade espacial de parâmetros hidráulicos em solos aluviais no Estado de Pernambuco. *Revis. Bras. Recursos Hídricos*, v.4, n.2, p. 5-17, 1999.

MUÑOZ, M.E.G. Efecto de combinaciones de épocas, frecuencias y duraciones de inundación sobre el rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). 1973. 120f. Tese (Mestrado) – Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, 1973.

NIELSEN, D.R.; BIGGAR, W.; ERB, K.T. Spatial variability of field-measured soil-water properties. *Hilgardia*, Oakland, v.42, n.7, p.215-259, 1973.

OLIVEIRA, F.A.; SILVA, J.J.S. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijão irrigado. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.25, n.3, p.317-322, 1990.

ORTIZ, J.L. *Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo*. 2003. 205f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; NACHTIGALL, G.R. Produtividade do arroz irrigado em sistemas de cultivo contínuo e em rotação com soja e milho. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 18., 1989, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: IRGA, 1989. p.150-160.

PAZ, A.; TABOADA, M.T.; GÓMEZ, M.J. Spatial variability i topsoil micronutrients contents in one-hectare cropland plot. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, v.27, n.3/4, p.479-503, 1996.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. *Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais*. Campinas: IAC, 1987. 33p. (IAC. Boletim Técnico, 114).

PORTES, T. de A. Ecofisiologia. In: ARAÚJO, R.S. *et al.* (Coord.). *Cultura do Feijoeiro Comum no Brasil*. Piracicaba: Potafos, 1996. p.101-137.

REEVE, M.J.; CARTER, A.D. Water release characteristic. In: SMITH, K.A. & MULLINS, C.E. (Ed.). *Soil analysis*. New York: Marcel Dekker, 1991. cap. 3, p. 111-160.

REZENDE, R. *Efeito da qualidade da irrigação em variáveis de produção e de crescimento do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.)*. 2000. 88f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

REZENDE, R. et al. Uniformidade de aplicação de água, variáveis de produção e índice de área foliar da cultivar de feijão lapar 57. *Acta Scientiarum: Agronomy*, Maringá, v. 25, n. 1, p. 19-25, 2002.

REZENDE, Roberto. FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C. FRIZZONE, J. A. Função de produção da cultura do milho e do feijão para diferentes lâminas e uniformidade de aplicação de água. *Acta Scientiarum: Agronomy*, Maringá, v.26, n.4, p. 503-511, 2004.

SANTOS, P.A.; CARVALHO, M.P.; FREDDI, O.S.; KITAMURA, A.E.; FREITAG, E.E.; VANZELA, L.S. Correlação linear e espacial entre o rendimento de grãos do feijoeiro e a resistência mecânica à penetração em um latossolo vermelho distrófico. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, 29:287-295, 2005.

SHIBLES, R.M.; WEBER, C.R. Leaf area, solar radiation interception and dry matter accumulation by soybeans. *Crop Sci.*, Madison, v.5, p.575-578, 1965.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.58 p.1775-1781, 1994.

SILVA, A.J.N. *Variabilidade espacial de atributos físicos do solo*. 1988. 105f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

SILVA, E.L. *Suscetibilidade do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.), cv. Goiano Precoce à inundações temporárias do sistema radicular em diferentes fases do seu ciclo vegetativo*. 1982. 77f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

SILVEIRA, P.M. da; STEINMETZ, S.; GUIMARAES, H.A.; AIDAR, C.L.; CARVALHO, J.R.P. de. Lâminas de água e turnos de rega na cultura do feijoeiro de inverno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.19, n.2, p.219-223, 1984.

SILVEIRA, P.M. de; STONE, L.F. Balanço de água na cultura do feijão em Latossolo Vermelho Amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.14 p.111-6, 1979.

SOLOMON, K.H. Yield related interpretations of irrigation uniformity and efficiency measures. *Irrigation Science*, Berlin, v.5, n.3, p. 161-172, 1984.

STANSELL, J.R.; SMITTLE, D.A. Effects of irrigation regimes on yield and water use of Snap Bean (*Phaseolus vulgaris L.*). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.105, n.6, p.869-873, 1980.

STAT SOFT. *Statistica for windows* [Eletronic manual index], v. 4.3 Tulsa, 1993.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A; SILVA, S.C. da. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.23, n.2, p.161-167, 1988.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea Mays L.*) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, 25:725-730, 2001.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.20, p.333-339, 1996.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, 22:573-581, 1998.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of Geoestistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, v.38, p.45-94, 1985.

TRINTINALHA, M.A. *Utilização da TDR para avaliação da distribuição espacial e estabilidade temporal do armazenamento de água em um Nitossolo Vermelho distroférico*. 2005. 139f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

UTSET, A.; CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferralsol at several soil moisture conditions. *Soil Tillage Research*, Amsterdam, v. 61, p.193-202, 2001.

VIEIRA, S.R. *Geoestatística em estudos de variabilidade espacial*. Campinas: IAC, 1998.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade especial do solo. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. *Tópicos em Ciência do Solo (Topics in Soil Science)*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, v.1, p.1-54.

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

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, Oakland, v.51, n.3, p. 1-75, 1983.

WARRICK , 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.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Advances in soil Science*, v.3, p.1-70, 1985.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. *Statistical methods in soil and land resource survey*. Oxford: Oxford University Press, 1990. 316 p.

WHITE, J.W. *Conceptos basicos de la fisiología del frijol: guia de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema*. Cali:CIAT, 1988. (Serie: 04 5B-07.01).

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)