

VINICIUS BOF BUFON

ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA CAPACIDADE DE
ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DO SOLO E SEU IMPACTO NO
GERENCIAMENTO DA IRRIGAÇÃO

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

VINICIUS BOF BUFON

ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA CAPACIDADE DE
ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DO SOLO E SEU IMPACTO NO
GERENCIAMENTO DA IRRIGAÇÃO

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

APROVADA: 12 de julho de 2005.

Prof. Daniel Marçal de Queiroz
(Conselheiro)

Prof. Rubens Alves de Oliveira

Prof. Elpídio I. Fernandes Filho

Prof. Elias Fernandes de Sousa

Prof. Everardo Chartuni Mantovani
(Orientador)

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

T

B889a
2005

Bufon, Vinicius Bof, 1978-
Análise da variabilidade espacial da capacidade de arma-
zenamento de água do solo e seu impacto no gerenciamen-
to da irrigação. / Vinicius Bof Bufon. – Viçosa: UFV,
2005.
iv, 92f : il. ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Everardo Chartuni Mantovani.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 59-71

1. Agricultura de precisão. 2. Solos – Umidade. 3. Irri-
gação – Uso eficiente da água. 4. Energia elétrica – Con-
sumo - Otimização. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDD 22.ed. 631.3

A minha mãe,
Elisabeth Bof Bufon,
exemplo de mãe e de
vida, e aos meus
irmãos Tiago e
Carlos César,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Deus amigo, razão maior e inspiração para minha existência.

À minha mãe, Elisabeth, pela confiança, incentivo e amor.

Aos meus irmãos Tiago e Carlos César, pela amizade e amor.

Ao meu orientador, Everardo Chartuni Mantovani, pela confiança, credibilidade, incentivo, encorajamento, espírito desafiante e amizade.

Aos meus conselheiros, Evandro Chartuni Mantovani, Hugo Alberto Ruiz e Daniel Marçal de Queiroz, pelo efetivo e intenso apoio, encorajamento, desafio e direcionamento.

À Universidade Federal de Viçosa, através do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), pelo ambiente privilegiado e oportunidade.

À CAPES e à EMBRAPA-Milho e Sorgo pelo apoio financeiro e logístico.

Aos colegas, companheiros e parceiros.

Aos amigos, chegados como irmãos, pelo companheirismo e incentivo.

BIOGRAFIA

VINICIUS BOF BUFON, segundo dos três filhos do técnico agrícola Carlos Roberto Bufon e da professora de magistério Elisabeth Bof Bufon, nascido aos 13 dias do mês de agosto de 1978, em Linhares-ES.

Em 1992, concluiu o ensino de primeiro grau no Colégio Polivalente II, em Linhares-ES.

Em 1994, concluiu a formação em Eletricidade Industrial pelo SENAI-Eurico de Aguiar Sales, em Linhares-ES.

Em 1995, concluiu o ensino de segundo grau no Colégio Estadual Emir de Macedo Gomes, em Linhares-ES.

Em julho de 2003, graduou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG.

Em agosto de 2003, ingressou no curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, defendendo a tese em julho de 2005.

CONTEÚDO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. Armazenamento de água no solo	13
2.1.1. Capacidade de campo, ponto de murcha permanente e capacidade de armazenamento de água do solo	13
2.2. Variabilidade espacial do solo	16
2.3. A agricultura de precisão	18
2.4. Geoestatística	19
2.4.1. Interpolação dos dados e mapeamento.....	23
2.4.2. Validação Cruzada	23
2.5. Gerenciamento de irrigação e irrigação de precisão	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1. Unidade Experimental.....	27
3.2. Análise de metodologias para estimativa da capacidade de campo.....	28
3.2.1. Métodos de determinação e estimativa da capacidade de campo	29
3.2.2. Análise comparativa dos métodos de estimativa da capacidade de campo	32
3.2.3. Análise dos potenciais matriciais de ocorrência da capacidade de campo	32
3.3. Análise da variabilidade espacial da capacidade total de armazenamento de água no solo	32
3.3.1. Análise exploratória dos dados	33
3.3.2. Análise geoestatística dos dados – variabilidade espacial	34

3.4.	Efeito da variabilidade da capacidade total de armazenamento de água do solo no gerenciamento da irrigação	35
3.4.1.	Zonas de gerenciamento	35
3.4.2.	Modelo de gerenciamento da irrigação	36
3.4.3.	Crterios de Avaliao.....	38
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1.	Análise da Estimativa da Capacidade de Campo	39
4.1.1.	Método padrão de campo	39
4.1.2.	Análise da precisão dos métodos estimadores	43
4.1.3.	Análise da acurácia dos métodos estimadores	46
4.1.4.	Análise dos potenciais matriciais de ocorrência da capacidade de campo	51
4.2.	Análise da variabilidade espacial da capacidade total de armazenamento de água do solo (CTA)	53
4.2.1.	Dados de cálculo	53
4.2.2.	Análise Estatística Descritiva.....	53
4.2.3.	Análise de Semivariância.....	55
4.2.4.	Interpolação dos dados – krigagem.....	58
4.2.5.	Validação cruzada	59
4.3.	Efeito da variabilidade da capacidade total de armazenamento de água do solo no gerenciamento da irrigação	61
4.3.1.	Zonas de gerenciamento de irrigação.....	61
4.3.2.	Gerenciamento de irrigação convencional versus gerenciamento de precisão ...	62
5.	CONCLUSÕES	67
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	69
	ANEXOS.....	83

RESUMO

BUFON, Vinicius Bof, M. S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2005. **Análise da variabilidade espacial da capacidade de armazenamento de água do solo e seu impacto no gerenciamento da irrigação.** Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Conselheiros: Daniel Marçal de Queiroz, Hugo Alberto Ruiz e Evandro Chartuni Mantovani.

Esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a acurácia e a precisão de métodos de estimativa da capacidade de campo e a variabilidade espacial da capacidade de armazenamento de água, num Latossolo Vermelho-Amarelo, e o efeito dessa variabilidade no gerenciamento de irrigação. Na análise das estimativas de capacidade de campo pelos métodos da mesa de tensão, extrator de Richards, equivalente de umidade e equivalente de umidade corrigido por equação, coletou-se amostras deformadas e indeformadas, nas profundidades 0 – 22 e 22 – 51 cm, em quatro pontos. Compararam-se as estimativas às determinações do método padrão de campo. Realizou-se a mesma amostragem num gride de 50 x 50 m, 152 pontos, incluindo as análises de densidade do solo e ponto de murcha, para análise da variabilidade espacial da capacidade de armazenamento de água. Avaliou-se o efeito dessa variabilidade no gerenciamento de irrigação, pela evapotranspiração da cultura, precipitação efetiva, demanda de irrigação, e consumo de energia elétrica ou diesel, para três anos de cultivo de milho safra e safrinha. Comparou-se o gerenciamento convencional, que utiliza capacidade de armazenamento média da área, e o gerenciamento de precisão, que considerando-se a variabilidade e dividindo-se a área em três zonas de armazenamento. Analisando-se as estimativas de capacidade de campo, as melhores precisões foram, em ordem decrescente: mesa de tensão, extrator de Richards, equivalente de umidade corrigido e equivalente de umidade, com coeficientes de variação de até 3; 5; 6,9 e 8,6%, e erro padrão de até 0,02; 0,07; 0,11; 1,59 e 1,80; respectivamente. As melhores acurácias foram, em ordem decrescente: mesa de tensão, equivalente de umidade, equivalente de umidade corrigido e extrator de Richards. Na análise da variabilidade espacial da capacidade de armazenamento, os melhores ajustes de semivariograma foram para modelos exponenciais. Encontraram-se alcances de 129 e 128m, e dependência espacial forte e moderado, para as profundidades 0 – 22 e 22 – 51 cm,

respectivamente. Os coeficientes de regressão da validação cruzada para os modelos foram baixos. Comparando-se ao gerenciamento de irrigação de precisão, o gerenciamento convencional subestimou em 9% a capacidade de armazenamento, e superestimou em até 19,3; 12,8; 21,7 e 13% a evapotranspiração, precipitação efetiva e demanda de irrigação, e consumo de energia elétrica, ou diesel, respectivamente. Em face das metodologias empregadas, pôde-se concluir que: a) a mesa de tensão apresentou melhor precisão e acurácia nas estimativas da capacidade de campo e o equivalente de umidade mostrou-se prático e de baixo custo, mas exigindo maiores repetições para melhorar a precisão; b) a capacidade de armazenamento de água apresentou dependência espacial, porém, mais estudos devem ser conduzidos para aprimorar o entendimento de sua variabilidade; e c) o gerenciamento de irrigação, considerando a variabilidade da capacidade total de armazenamento de água do solo tem potencial para melhorar as estimativas da evapotranspiração, precipitação efetiva, demanda de irrigação, gerar uso mais racional e sustentável dos recursos naturais, menores custos e maior rentabilidade na agricultura irrigada.

ABSTRACT

BUFON, Vinicius Bof, M. S., Universidade Federal de Viçosa, July 2005. **Analysis of spatial variability of soil available water and its impact on the irrigation management.** Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Committee members: Daniel Marçal de Queiroz, Hugo Alberto Ruiz and Evandro Chartuni Mantovani.

It was developed with the objective to study the accuracy and the precision of the methods for field capacity estimative and the spatial variability of soil available water at a Red-Yellow Latosol (RYL), and the effects of this variability on the irrigation management. For the analyses of the field capacity estimative using the sandbox, extractor of Richards, moisture equivalent and the adjusted moisture equivalent methods, it was collected deformed and not deformed samples at the depths of 0-22 and 22-51cm at four different points. The estimatives were compared to the field standard method determinations. The same sampling was made on a 50 x 50 m grade, on a total of 152 points, including the soil density analyses and wilting point, for analyses of spatial variability of soil available water. The effect of this variability was evaluated on the irrigation management, through the plant evapotranspiration, gross precipitation, water and energy demands, for three normal maize seasons and three late maize seasons. It was compared with the traditional management that uses the average values of soil available water in the area to the precision management method been considered the variability and dividing the area on three strips of available water. Analyzing the field capacity estimatives the better precision methods were: sandbox, extractor of Richards, moisture equivalent and adjusted moisture equivalent, with coefficient of variation until 3; 5; 6,9 e 8,6%, and standard error until 0,02; 0,07; 0,11; 1,59 e 1,80; respectively. The better accuracies were, in a decreasing sequence: sandbox, moisture equivalent, adjusted moisture equivalent and extractor of Richards. In the analyses of the spatial variability of soil available water the better adjusts of semivariogram were for exponential models. Reaches of 129 and 128m were found, and moderate to strong spatial dependence, for depths of 0 – 22 e 22 – 51 cm, respectively. The regression coefficients of the cross-validation to the models were low. Compared to the precision irrigation management, the traditional management had underestimated 9% the

available water and had overestimated until 19,3; 12,8; 21,7 e 13% the evapotranspiration, gross precipitation and irrigation demand, and electrical or diesel energy consumption, respectively. In consideration of the methods used, it was concluded: a) the sandbox method had showed the best precision and accuracy on the estimatives of field capacity and the moisture equivalent method had been presented as practical and with a low cost, but demanding more replications to obtain better precision; b) the soil available water had showed spatial dependence, but other studies should be conducted to improve the understanding of its variability; and c) the irrigation management, considering the spatial variability of the soil available water present potential to improve the estimatives of evapotranspiration, gross precipitation and irrigation demand, to offer a more rational and sustainable use of the natural resources, low costs and better profitability in the irrigated agriculture.

1. INTRODUÇÃO

O uso ineficiente da irrigação pode causar, além da escassez de água, diversos outros problemas de ordem econômica e ambiental.

Em irrigações excessivas, aumentam-se desnecessariamente o custo com água, energia elétrica, mão-de-obra e depreciação do equipamento. Também se reduz a aeração do solo, eleva-se o risco de ocorrência de doenças e pragas relacionadas ao microclima úmido e lixiviam-se nutrientes e defensivos para fora da zona de absorção radicular da cultura. Além do prejuízo econômico, esses insumos lixiviados tornam-se elementos potenciais de contaminação dos aquíferos.

Em irrigações deficitárias, submete-se a cultura a um estresse hídrico que pode reduzir a produtividade e depreciar a qualidade final da produção. A absorção dos nutrientes pela planta também pode ser comprometida. Isso pode ocorrer tanto pelo fechamento estomatal quanto pela não disponibilidade de nutrientes solubilizados no solo. Outra possível consequência desse déficit hídrico é a maior susceptibilidade ao ataque de pragas e doenças.

Para o uso eficiente da irrigação é necessário um gerenciamento. Esse gerenciamento pode basear-se nas características do clima, do solo, ou da planta.

Algumas dessas características do solo e da cultura podem apresentar certa variabilidade espacial. Por esse motivo, um novo conceito de gerenciamento de irrigação, chamado irrigação de precisão, tem se desenvolvido com intuito de adequar a irrigação a essas variabilidades.

Dentre as características físico-hídricas do solo, umas das mais cruciais é a capacidade de armazenamento de água, sobretudo em sistemas que aplicam água com

baixa frequência, pois afeta a precipitação efetiva, a quantidade de água que deve ser aplicada e também o momento ideal da irrigação.

Esta capacidade pode ser estudada sob o conceito de capacidade total de armazenamento de água (CTA), que é função da umidade correspondente à capacidade de campo e da umidade correspondente ao ponto de murcha permanente. Estas umidades representam os limites superior e inferior de armazenamento de água no solo, respectivamente.

Para viabilidade da irrigação de precisão é necessário o estudo metodologias para o mapeamento da capacidade de armazenamento de água, e principalmente para capacidade de campo.

Outro aspecto crucial é a simulação do efeito do gerenciamento de precisão, que considera a variabilidade da capacidade de armazenamento, no consumo de água, na precipitação efetiva e no consumo de energia elétrica.

Este trabalho tem como objetivo geral estudar a variabilidade espacial da capacidade de armazenamento de água no solo numa área sob pivô central e seu efeito no gerenciamento de irrigação, com objetivos específicos:

- Analisar a estimativa da capacidade de campo pelos métodos do Extrator de Placa Porosa de Richards, do Equivalente de Umidade, ambos com amostras deformadas, da Mesa de Tensão com amostras indeformadas, e compará-las com o método padrão de campo;
- Analisar a variabilidade espacial da capacidade de armazenamento de água do solo em uma área irrigada por pivô central;
- Simular o impacto da variabilidade espacial da capacidade de armazenamento de água no cálculo da precipitação efetiva, consumo de água e de energia elétrica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Armazenamento de água no solo

A água retida no solo a baixas tensões (ou elevado potencial) depende do arranjo e das dimensões dos poros e, o efeito capilar é proporcionalmente mais importante (RUIZ et al., 2003).

A retenção de água no solo, em tensões mais elevadas (ou baixos potenciais), responde fundamentalmente à adsorção. Em consequência, a retenção praticamente independe de fatores geométricos, sendo a densidade do solo e a porosidade de pouca importância. Nesses potenciais predomina o efeito de adsorção, associado à textura e superfície específica dos sólidos do solo (RUIZ et al., 2003).

2.1.1. Capacidade de campo, ponto de murcha permanente e capacidade de armazenamento de água do solo

VEIHMEYER et al (1949) começaram fazer referência à capacidade de campo como sendo a quantidade de água retida no solo após o excesso de água ter sido drenado e a sua taxa de movimento ter praticamente cessado. Isso geralmente ocorre dois ou três dias após uma chuva ou irrigação em solos permeáveis de estrutura e textura uniforme.

Para HILLEL (1970), a capacidade de campo é definida como o teor de água remanescente na zona de drenagem, depois de ter o escoamento se tornado igual a zero.

BERNARDO (1995), LIBARDI (1995), KLAR (1984), RUIZ et al. (2003), KLUTE (1986) apresentam a capacidade de campo como a máxima quantidade de água

que um solo é capaz de reter em condições normais de campo. Isso ocorre quando diminui significativamente a ação gravitacional, se igualando com o potencial matricial. Ou ainda, quando as forças de adesão e coesão se igualam, e o movimento da água no solo diminui acentuadamente.

Com os conhecimentos atuais do movimento d'água em solos saturados e não-saturados, tornou-se evidente que a capacidade de campo é um conceito arbitrário e não uma propriedade intrínseca do solo.

Uma das razões para essa conclusão é a constante e dinâmica remoção de água por drenagem, evaporação e transpiração, bem como o acréscimo por chuva, irrigação e orvalho. Isso faz com que a condição de equilíbrio entre a quantidade de água no solo e a força gravitacional seja dificilmente atingida (SOUZA & REICHARDT, 1996). A este fator, agrega-se, ainda, o fenômeno de histerese, que modifica a umidade do solo, para o mesmo potencial, quando confrontadas situações de ganho ou perda de água no perfil (TAYLOR & ASCHROFT, 1972).

Em solos de textura grossa, geralmente é bem nítida a mudança da intensidade de movimento da água a medida que a umidade do solo vai diminuindo. Por isso, a capacidade de campo é mais facilmente definida nestes tipos de solos. Em alguns solos de textura fina, não há nítida faixa de transição na redução da intensidade de movimento da água, tornando o conceito de capacidade de campo pouco preciso (BERNARDO, 1995).

Apesar das dificuldades associadas, o conceito de capacidade de campo é de indiscutível utilidade, por indicar o limite superior aproximado da quantidade de água disponível para as plantas (JONG, 2000).

Por ponto de murcha permante (PMP) entende-se o potencial em que a disponibilidade de água no solo não atende a demanda da planta. Ou ainda, o potencial que retém a água no solo sob uma força tal, que a planta não consegue extraí-la.

Em laboratório, o ponto de murcha permanente representa a umidade do solo em que a planta sofre murcha e não recupera a turgescência normal das folhas no período noturno, quando colocada em ambiente com 100% de umidade relativa. É considerada também como a água retida no solo a $-1,5\text{MPa}$ (RUIZ et al., 2003).

Do ponto de vista prático, para estimar a capacidade de campo, diversos métodos de laboratório têm sido propostos, alguns utilizando amostras com estrutura deformada e outros com estrutura indeformada (FERNANDES & SYKES, 1968; CASSEL & NIELSEN, 1986; REICHARDT, 1988).

Normalmente, estima-se a capacidade de campo e o ponto de murcha pelo método do extrator de placa porosa de Richards, que submete as amostras indeformadas e saturadas do solo à pressões correspondentes aos respectivos potenciais matriciais.

As primeiras literaturas científicas recomendavam potenciais matriciais de -0,010MPa e -0,033MPa, correspondentes à capacidade de campo para solos arenosos e argilosos, respectivamente. No entanto, essas literaturas baseiam-se em pesquisas realizadas no hemisfério norte, sobretudo nos Estados Unidos, onde os solos têm predominância de argilas de alta atividade (argilas silicatadas).

Os solos dos trópicos, como os latossolos, os potenciais matriciais equivalentes a capacidade de campo devem ser alterados para potenciais maiores (tensões menores), da ordem de -0,006 a -0,010 kPa. Essa alteração deve-se ao fato de que nos solos tropicais, a predominância é de argilas de baixa atividade (oxídicas), que apresentam comportamento distinto das argilas de alta atividade quanto ao armazenamento de água (RUIZ et al. 2003).

O equivalente de umidade (EU) é uma metodologia utilizada para estimativa da umidade relativa à capacidade de campo para os solos com predominância de argila de alta atividade. Nesse método, amostras peneiradas de solos, previamente saturadas com água, são submetidas a uma força centrífuga de mil vezes a gravidade, durante 30 minutos. Essa força, em centrífuga com rotor específico, equivale a um potencial de -0,033 MPa (CASSEL & NIELSEN, 1986). RUIZ et al. (2003) geraram uma equação (Equação 1) com o objetivo de estimar a capacidade de campo em Latossolos e Neossolos Quartzarênicos por meio da determinação do equivalente de umidade.

$$CC = 0,081 + 0,888EU \quad (R^2 = 0,91) \quad (1)$$

em que,

CC = capacidade de campo, kg.kg^{-1} ;

EU = equivalente de umidade, kg.kg^{-1} .

Essa equação foi gerada a partir de regressão entre valores de equivalente de umidade e valores de capacidade de campo estimados pelo método da coluna de solo, descrito por FERNANDES & SYKES (1968). O intercepto diferente de zero e positivo

confirma que a capacidade de campo ocorre, nesses solos, a potenciais maiores que $-0,033$ kPa, como afirmado anteriormente.

A capacidade de armazenamento de água no solo pode ser estudada sob o conceito de “capacidade total de armazenamento de água no solo” (CTA). A CTA representa a quantidade de água que um solo pode reter ou armazenar entre a capacidade de campo e o ponto de murcha, no perfil do solo que esteja ocupado pelo seu sistema radicular efetivo (BERNARDO, 1995).

Estudando a diferença de retenção de água entre amostras deformadas e indeformadas, do horizonte B de um latossolo vermelho-amarelo e de um podzólico vermelho-escuro, GOMES et al., (1994) constataram diferença estatisticamente significativa. O latossolo apresentou maiores retenções de água para amostras indeformadas. Já para o podzólico, aconteceu o inverso; maior retenção nas amostras deformadas.

2.2. Variabilidade espacial do solo

Desde o início do século XX, a variabilidade espacial do solo tem preocupado pesquisadores por proporcionar diferenças no desenvolvimento e na produtividade das culturas, alterando resultados de pesquisas, mesmo com o solo considerado homogêneo em parcelas experimentais (COELHO FILHO et al., 2001). Esses problemas ocorrem devido à falta de critérios não subjetivos para se considerar homogênea uma determinada parcela. A solução seria o conhecimento prévio da estrutura espacial das variáveis do solo.

Quando ocorre a variabilidade espacial para os atributos dos solos, a amostragem simples, ao acaso, não consegue detectá-la, e, desta forma, esconde a realidade do comportamento da variável no solo (VIEIRA, 1997).

A literatura sobre experimentação agrônômica enfatiza a necessidade de que as amostras sejam representativas de áreas homogêneas (GUIMARÃES, 2000). Segundo REICHARDT (1985) e REICHARDT et al. (1986), a grande maioria dos modelos, teorias e recomendações presumem solos homogêneos, sendo que a amostragem em solos só considera a heterogeneidade em profundidade.

Geralmente, os critérios adotados para o julgamento de homogeneidade de solos são subjetivos, considerando apenas a uniformidade quanto à textura, cor, topografia e gerenciamento.

REICHARDT et al. (1986) mostram que a técnica de amostragem sistemática pode ser vantajosa em relação à amostragem aleatória simples, pois, além de permitir estimativas realizadas pela estatística clássica, possibilita também avaliar a dependência entre observações e o estudo da estrutura da variância.

Vale ressaltar que a amostragem sistemática consiste em tomar amostras com espaçamento pré-definido, formando uma malha ou um transepto georeferenciado. Com o advento de novas tecnologias, como é o caso do GPS, a georeferenciação pode ser feita em uma malha irregular, tomada aleatoriamente, como cita ROUET (1995), e a avaliação da dependência espacial e da estrutura de variância pode ser realizada.

Existem muitas causas de variação nas características dos solos, relacionadas com os fatores de formação, com o manejo agrônômico e com a erosão (CASTRIGNANO & STELLUTI, 1999). Como resultado, a natureza da variabilidade espacial do solo estudado depende da escala de observação e da variável em questão.

Segundo TRANGMAR et al. (1985), propriedades do solo muito afetadas pelo manejo apresentam maior variabilidade que as ligadas às características morfológicas (cor e horizontes), físicas (tamanho das partículas e densidade das partículas) e químicas (pH).

OLIVEIRA (1972) e VIEIRA et al. (1988), citados em SOUSA (1999), descrevem o solo como um corpo natural complexo e dinâmico, resultante da atuação conjunta de muitos fatores de formação, como clima, organismos vivos, material de origem, relevo e tempo. Dependendo da intensidade de atuação ou da predominância de alguns desses fatores, são formados solos de diferentes características químicas e físicas. Durante a pedogênese pode haver adição, remoção, transformação e translocação de elementos químicos do material original.

OLIVEIRA (1973), estudando um latossolo roxo e um latossolo vermelho-escuro-orto, verificou que as características físicas e morfológicas do solo apresentam maior homogeneidade que as químicas e encontrou, para a água retida a $-0,033$ MPa e a $-1,5$ MPa, argila e pH, coeficientes de variação inferiores a 10%.

BROOKER & WINCHESTER (1995) utilizaram um gride de 75×75 m, estudando a água disponível na profundidade radicular efetiva, para otimizar a localização de setores de irrigação localizada em um vinhedo no sul da Austrália.

SOUSA (1999) constatou variabilidade média para as variáveis estudadas, com coeficiente de variação entre 17,43% (% argila de 0,20 - 0,40 m) e 46,48% (% areia de 0,20 - 0,40 m). Com base na amplitude interquartilica (A_i), observou-se a seguinte

ordem decrescente de variabilidade: % areia > % silte > % argila > capacidade de campo > água disponível > ponto de murcha; observou-se ainda dependência espacial, com alcances variando de 25 m (% silte de 0 - 0,20 m) a 60 m (% silte de 0,20 - 0,40 m). O mapa de isolinhas para água disponível, construído com valores estimados mediante o processo de krigagem, permitiu uma visualização do seu padrão de variabilidade, constituindo uma importante ferramenta para orientação do gerenciamento da irrigação.

CERQUEIRA (2004), estudando a variabilidade espacial e temporal do teor de água de um argissolo vermelho-amarelo, sob plantios convencional e direto de feijão irrigado encontrou alcances que variaram de 68,50 a 78,30m no plantio convencional e de 58,20 a 210,90 m no plantio direto, permitindo classificar como forte o grau de dependência espacial. Para análise granulométrica, os alcances foram de 87,60; 80,80; e 87,30 m, em argila, silte e areia, respectivamente, no plantio convencional; e 64,60; 44,40 e 227,70m, em argila, silte e areia, respectivamente, no plantio direto.

2.3. A agricultura de precisão

Segundo SWINTON & LOWENBER-DEBOER (1998), do ponto de vista técnico, a agricultura hoje praticada é embasada em valores médios, com excessiva simplificação, especialmente na escala em que os diagnósticos, recomendações e intervenções são conduzidos. Tal modelo de agricultura (pela “média”) deixa de considerar aspectos muito importantes. As lavouras, em geral, apresentam variabilidade espacial de produtividade. Por isto, acredita-se que o que se pratica na atualidade é uma simplificação estritamente de ordem prática, por falta de recursos técnicos para tratar as áreas de produção de forma mais localizada.

Com o auxílio da geostatística, e do advento do sistema de posicionamento global (GPS), do sistema de informação geográfica (SIG) e com o desenvolvimento dos sensores e controladores foi possível o aprimoramento das metodologias para estudo da variabilidade espacial das características, sobretudo para atributos do solo, que causam essa variabilidade da produtividade (ROBERT et al. 1996).

O conjunto de ferramentas para o tratamento localizado das lavouras foi definido, inicialmente, como agricultura de precisão. SWINTON & LOWENBER-DEBOER (1998) definem a agricultura de precisão como uma nova forma de gestão e gerenciamento da produção agrícola. Estes autores a definem ainda, como um elenco de tecnologias e procedimentos utilizados para que as lavouras e os sistemas de produção sejam otimizados, tendo como elemento chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores a ela relacionados.

Em razão das variáveis não serem homogêneas e por apresentarem dependência espacial, a variabilidade também pode causar problemas em experimentos de campo, especialmente nos que apresentam parcelas experimentais grandes. A caracterização da

variabilidade espacial é essencial para um entendimento melhor das inter-relações entre propriedades do solo e fatores ambientais (VIEIRA & MARIA, 1995).

2.4. Geoestatística

A geoestatística é um tópico especial da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas, aquelas que têm comportamento espacial mostrando características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente aleatórias e as totalmente determinísticas (LANDIM, 1998).

A metodologia clássica da estatística considera as variações que ocorrem entre as amostras, como casuais. Considera ainda que as variações são independentes e normalmente distribuídas. Nessa metodologia, o coeficiente de variação (CV), que mede a variabilidade em relação à média, é a estatística que resume a variabilidade do atributo, não distinguindo o número de amostras utilizada e nem sua posição espacial (ISSAKS & SRIVASTAVA, 1989).

A metodologia que estuda a variabilidade espacial (geoestatística) procura separar a variabilidade explicada pela relação existente entre as amostras e a variabilidade casual, fazendo com que as estimativas realizadas por esta metodologia sejam mais precisas em relação à estatística clássica (GOOVAERTS, 1997; CLARK & HARPER, 2000).

LANDIM (1998) atribui a origem da geoestatística à África do Sul, onde pesquisadores desenvolveram empiricamente uma técnica própria de estimação que, posteriormente, recebeu um tratamento formal levado a cabo pelo grupo liderado por Matheron, no Centre de Morphologie Mathematique, em Fontainebleau, França, sendo que os trabalhos iniciais datam de 1962 e 1963.

MATHERON (1963) concretizou os fundamentos da geoestatística, desenvolvendo a Teoria das Variáveis Regionalizadas. Este ainda definiu a variável regionalizada como sendo uma função espacial numérica que apresenta uma variação de um local para outro, com uma continuidade aparente, caracterizando certa dependência espacial. Para isso, baseou-se em conceitos de função aleatória e estacionariedade de segunda ordem.

A teoria fundamental da geoestatística é a esperança de que, na média, as amostras próximas no tempo e espaço sejam mais similares entre si do que as que estiverem distantes (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989).

Alguns métodos estimadores geoestatísticos da autocorrelação espacial são usados como ferramentas de continuidade espacial, por exemplo: o variograma ou semivariograma, o covariograma e o correlograma. Essas ferramentas são usadas para investigar a magnitude da correlação entre as amostras e sua similaridade ou não, com a distância.

Segundo GUERRA (1988), ocorrem três tipos de semivariogramas: observado ou experimental (obtido a partir das amostras colhidas no campo), verdadeiro (real, mas desconhecido) e teórico (de referência, utilizado para o ajuste do modelo).

O semivariograma experimental é construído a partir da estimativa das semivariâncias dos dados experimentais pela Equação 2:

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

em que,

$\hat{\gamma}(h)$ = valor estimado da semivariância dos dados experimentais;

$Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ = valores observados da variável regionalizada; e,

$N(h)$ = número de pares de valores medidos, separados por uma distância h .

A análise e o ajuste do semivariograma experimental a um teórico denominam-se análise estrutural.

Na análise estrutural do variograma pode-se obter o efeito pepita (C_0), o patamar ($C + C_0$) e o alcance (A) (Figura 1).

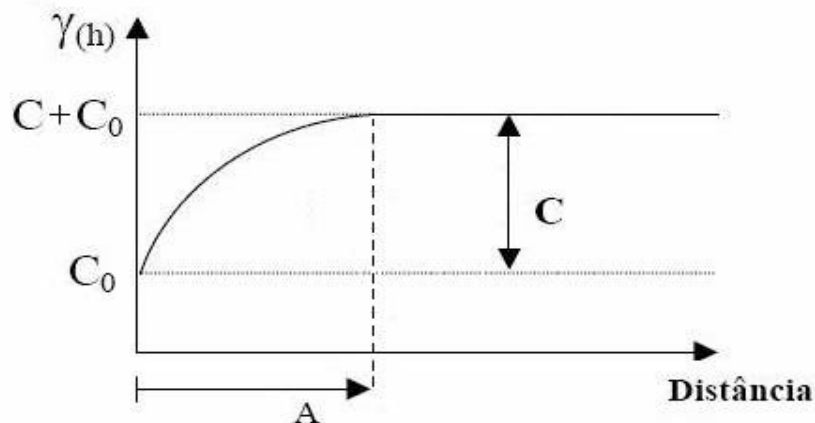


Figura 1 – Esquema mostrando os principais parâmetros de um semivariograma.

ZIMBACK (2003) descreve essas características do semivariograma como citado abaixo.

O efeito pepita (C_0) corresponde a cota do ponto onde o semivariograma corta o eixo das ordenadas. Este ponto reflete as microestruturas não captadas pela menor escala da amostragem, erros de amostragem, de análises laboratoriais, etc. (VALENTE, 1989).

O alcance (A) corresponde ao conceito da zona de influência ou de dependência espacial de uma amostra, marcando a distância a partir da qual as amostras tornam-se independentes (GUERRA, 1988).

O patamar ($C+C_0$) corresponde ao ponto onde toda semivariância da amostra é de influência aleatória, correspondendo a variância total (s^2) obtida pela estatística clássica. Quanto o efeito pepita for igual ao patamar, tem-se o efeito pepita puro, significando que a amostra não recebe influência espacial (TRANGMAR et al., 1985).

TRANGMAR et al. (1985) ainda propuseram o uso da porcentagem do efeito pepita sobre o patamar para descrever o grau de dependência espacial (Equação 3).

$$GDE_{\text{Trag}} = 100 \frac{C_0}{C_0 + C} \quad (3)$$

em que,

GDE_{Trag} = grau de dependência espacial, proposto por TRAGMAR et al (1985), em %;

C_0 = efeito pepita, em decimal; e

$C_0 + C$ = patamar, em decimal

CAMBARDELLA et al. (1994) propuseram os intervalos dessa porcentagem, que denominou índice de dependência espacial (IDE), para avaliação da porcentagem da variância do efeito pepita.

ZIMBACK (2001) propôs a utilização relação da parte da semivariância explicada pela dependência espacial (C) sobre o patamar ($C+C_0$), ao invés da parte não explicada (C_0) sobre o patamar (Equação 4). Essa inversão gera valores de IDE tão maiores quanto maior for a dependência espacial, dando uma interpretação mais direta. Ele ainda propôs a classificação da dependência espacial como fraca, para valores de $IDE \leq 25\%$, forte para $IDE \geq 75\%$, e moderada para valores de IDE entre 25 e 75%.

$$IDE_{Zimback} = 100 \frac{C}{C_0 + C} \quad (4)$$

em que,

$IDE_{Zimback}$ = Índice de dependência espacial, proposto por ZIMBACK et al (1985), em %;

C = parte da semivariância explicada pela dependência espacial, em decimal; e

$C_0 + C$ = patamar, em decimal

Tipicamente, todos os pares de amostras possíveis são examinados e agrupados dentro de classes (“Lags”) de distâncias e direções aproximadamente iguais. Para esse processo são construídos os variogramas experimentais (DEUTSCH & JOURNEL, 1998) e, posteriormente, definidos os modelos teóricos de variogramas. Os modelos teóricos de variogramas são superpostos à seqüência de pontos obtidos no variograma experimental, de modo que a curva que melhor se ajusta aos pontos do variograma, até onde a curva se estabiliza, represente a magnitude, alcance e intensidade da variabilidade espacial da variável estudada.

O programa computacional GS+ “Geostatistical for Environmental Sciences”, Versão 5.0 (ROBERTSON, 2000), é uma ferramenta para análise geoestatística. Ele disponibiliza cinco modelos de semivariograma teórico (esférico, exponencial, Gaussiano, linear e linear com patamar) para tentativa de ajuste ao semivariograma experimental. A escolha do melhor modelo teórico é feita pelo programa que opta pelo modelo que apresentar ajuste com menor soma do quadrado dos resíduos.

2.4.1. Interpolação dos dados e mapeamento

A técnica da confecção dos mapas de isolinhas, onde são geradas estimativas de dados de pontos não amostrados a partir de pontos amostrados, denomina-se interpolação de dados (ZIMBACK, 2001).

Para estimar os valores de uma variável em posições não amostradas utiliza-se as características do semivariograma teórico ajustado ao semivariograma experimental e técnicas especiais de interpolação (CLARK, 2000).

O aumento da qualidade da estimação depende da escolha dos métodos de interpolação que obtenham dados dos solos em locais não amostrados e da aplicação apropriada de métodos indicados para as características dos dados (KRAVCHENKO & BULLOCK, 1999).

Dentre os diversos métodos de interpolação destaca-se a Krigagem. Segundo ROSSI et al. (1994), três características da Krigagem a distinguem dos outros métodos de interpolação:

- A krigagem pode fornecer uma estimativa que é maior ou menor do que os valores da amostra, sendo que as técnicas tradicionais estão restritas a faixa de variação das amostras;
- Enquanto os métodos tradicionais usam distâncias Euclidianas para avaliar as amostras, a krigagem tem vantagem de usar a distância e a geometria (relação de anisotropia) entre as amostras; e
- Diferentemente dos métodos tradicionais, a krigagem leva em conta a minimização da variância do erro esperado, por meio de um modelo empírico da continuidade espacial existente ou do grau de dependência espacial com a distância ou direção, isto é, através do variograma, covariograma ou correlograma.

A krigagem e a visualização dos resultados em mapas bidimensionais e tridimensionais também pode ser efetuada por meio do programa GS+ (ROBERTSON, 2000).

2.4.2. Validação Cruzada

A validação cruzada (“cross-validation”) é empregada para avaliar os resultados obtidos. Para isso, cada valor de dado é eliminado e assim esse valor é estimado usando-se informações dos dados restantes, de acordo com o método descrito por GOOVAERTS (1997).

Ainda, segundo GOOVAERTS (1997), um fator que afeta o cálculo de precisão do método de interpolação é o número de amostragens vizinhas usadas para a estimação.

A exatidão da seleção do modelo do variograma pode ser medida por meio do erro entre os dados medidos e os valores estimados (ZHANG et al., 1995). O critério de validação cruzada empregado para selecionar o variograma foi o coeficiente de determinação entre os valores obtidos e estimados (MYERS, 1991).

O erro padrão de estimação avaliou quantitativamente o ajuste do variograma e os erros dele decorrentes na krigagem, utilizando-se os conceitos definidos por DAVIS (1987).

2.5. Gerenciamento de irrigação e irrigação de precisão

Dentre as muitas variáveis que interferem no crescimento vegetal, a água pode ser considerada a principal. Ela deve ser mantida em níveis não limitantes ao longo do ciclo produtivo da cultura, seja através de técnicas de conservação da água no solo ou pelo fornecimento de água por irrigação (HOFFMAN et al., 1990).

A disponibilidade de água no solo é afetada por sua textura e estrutura, o que afeta, conseqüentemente, a variabilidade da disponibilidade de água no solo. Poucas áreas de cultivo são uniformes – a maioria apresenta variabilidade espacial na textura do solo, topografia, taxa de infiltração, drenagem. Muitas áreas também não são cultivadas num padrão único de espaçamento entre plantas, variedades, etc. (PERRY, 2000).

Na experimentação, assim como na elaboração e gerenciamento de projetos de irrigação, é fundamental o conhecimento da disponibilidade de água no solo. A ausência de uma caracterização mais detalhada da área irrigada pode resultar em insucesso associado a uma escolha inadequada do sistema de irrigação, turno de rega, lâmina de água, entre outros. A intensa simplificação do complexo solo e, conseqüentemente, da planta, pode afetar a atividade radicular por modificações nas propriedades físico-hídricas do solo. Ao assumir que uma extensa área apresenta suposta homogeneidade, conseqüências graves podem ocorrer, relacionadas à contaminação de águas subterrâneas, salinização, degradação do solo, má utilização de recursos hídricos e de energia, além de menor retorno econômico (COELHO FILHO et al., 2001).

A variação da taxa de irrigação para cada sítio-específico da área cultivada não é possível com os atuais sistemas de irrigação (PERRY, 2000). Quaisquer alterações que sejam feitas na lâmina a ser aplicada incorrem na alteração dessa lâmina para toda a área, ou seja, não é possível aplicação à taxa variável dentro de uma mesma unidade do sistema. Em sistemas de irrigação como pivô central, que ocupam grandes áreas, a variabilidade das características que regem a demanda hídrica e as práticas de gerenciamento de irrigação é ainda mais expressiva. Isso implica que, quanto maior a área submetida a uma mesma unidade de irrigação, ou, quanto maior a variabilidade da demanda hídrica ou da disponibilidade de água no solo, maiores serão os erros entre aquilo que se deveria aplicar de água e o que efetivamente se aplica. Essas diferenças entre a água demandado e o que realmente é aplicado significa prejuízos (COELHO FILHO et al., 2001).

Já existe no mercado um controlador chamado Canlink 3000VRI (FARMSCAN, 2005) destinado a uma futura aplicação à taxa variada em sistemas de irrigação tipo pivô central. A idéia é controlar a água aplicada abrindo e fechando válvulas solenóides, segundo um mapa de irrigação previamente estabelecido. Esse mapa de aplicação levaria em conta a variabilidade sob o mesmo pivô, dos fatores que afetam o gerenciamento da irrigação com os diferentes tipos de solo, topografia, culturas, ou por motivos de sobreposição do pivô sobre estradas, outros pivôs, ou mesmo diferentes estratégias de condução da lavoura.

Existem no mercado alguns programas computacionais destinados auxiliar o gerenciamento de irrigação utilizando modelos de balanço hídrico. Um desses modelos é o IRRIGA-GESAI, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa.

O modelo do programa IRRIGA-GESAI realiza o balanço hídrico diário considerando-se as características do equipamento de irrigação, da cultura, do solo e do clima. Dentre as características da cultura incluem-se as fases fenológicas, e respectivas, duração da fase, coeficientes de cultura, profundidade radicular, área sombreada, etc. Nas características do solo, incluem-se as camadas com diferentes características físico-hídricas, como capacidade de campo, ponto de murcha permanente, densidade, granulometria, etc. Dentre as características do clima, utilizam-se dados de temperaturas máxima e mínima, umidade relativa, velocidade do vento, precipitação e radiação. E, dentre as características do equipamento de irrigação incluem-se a forma de molhamento, o tamanho das gotas, a uniformidade de aplicação, etc.

As entradas no modelo do balanço hídrico utilizado devem-se às variáveis precipitação e irrigação. As saídas devem-se à evapotranspiração, ao escoamento superficial e a percolação. Para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) utilizou-se o modelo de Penman-Monteith e, para o cálculo da evapotranspiração da cultura o modelo IRRIGA-GESAI (Equação 5).

$$ET_c = ET_o \cdot K_c \cdot K_l \cdot K_s \quad (5)$$

em que,

ET_c = evapotranspiração da cultura, mm/dia;

ET_o = evapotranspiração de referência, mm;

K_c = coeficiente de cultura, função da cultura e de seu estágio, adimensional;

K_l = coeficiente de localização; igual a 1 para irrigação que molha toda superfície do solo, como pivô central convencional; menor que 1 para irrigação mais localizada;

K_s = coeficiente de frequência de irrigação; igual a 1 para alta frequência e menor que 1 para intervalos maiores.

Utilizando-se a precipitação total, a umidade do solo no início do evento de precipitação e a capacidade de armazenamento de água do solo, o modelo calcula a precipitação efetiva. A que é a parcela da precipitação total ocorrida que fica disponível para a cultura, ou seja, é o saldo da precipitação total subtraída do escoamento superficial e da percolação. O valor de precipitação efetiva depende principalmente da umidade do solo no momento da chuva, da intensidade da precipitação, da velocidade de infiltração da água no solo e da capacidade total de armazenamento de água do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Unidade Experimental

Realizou-se o estudo numa área de 38 hectares, sob um pivô central, denominada área Pivô 3 e localizada na Embrapa Milho e Sorgo, no município de Sete Lagoas, Minas Gerais (Figura 2).

O solo dessa área é um Latossolo Vermelho-Amarelo; litologia de sedimentos de cobertura argilosos; situação e declive de terço médio de encosta; relevo suave ondulado; erosão não aparente; vegetação de cerrado; bem drenado; seu uso varia entre plantios de feijão, milho e pousio.

Pela classificação de Köppen, o clima da região é Aw - clima de savana, com temperatura média do mês mais frio acima de 18°.



Figura 2 – Mapa de localização e imagem da área de estudo.

3.2. Análise de metodologias para estimativa da capacidade de campo

Comparou-se a acurácia e a precisão das estimativas de capacidade de campo realizadas por quatro métodos laboratoriais, tomando-se como referência os valores determinados pelo método padrão de campo, descrito por BERNARDO (1995).

Para amostras com estrutura indeformada, analisou-se o método laboratorial da mesa de tensão e, para amostras com estrutura deformada, os métodos do extrator de Richards, equivalente de umidade e equivalente de umidade corrigido pela equação proposta por RUIZ et al. (2003).

Conduziu-se a análise para duas camadas distintas do solo; uma primeira camada de 0 a 22 cm de profundidade e, uma segunda, de 22 a 51 cm. Quatro pontos amostrais foram selecionados; um em cada ponto central de cada quadrante do pivô sob a área 38 ha estudada. Ou seja, analisaram-se duas profundidades em quatro pontos amostrais. Esses quatro pontos são apresentados, em verde, no esquema ilustrado na Figura 3.

Definiram-se, em cada ponto amostral, três posições num raio de 2,00 m ao redor do ponto, onde foram retiradas sub-amostras. Cada sub-amostra configurou uma repetição (Figura 3). Retirou-se sub-amostras tanto deformadas quanto indeformadas, para serem submetidas às análises laboratoriais pretendidas.

Utilizando-se trados, tipo holandês, coletaram-se as sub-amostras deformadas e, com trados tipo Uhland, as sub-amostras com estrutura indeformada, com anéis de aproximadamente 20 cm³.

Os pontos amostrais foram georreferenciados, usando um aparelho DGPS Trimble modelo Pro XRS. Realizou-se a correção diferencial pós-processada, usando o programa computacional Pathfinder Office versão 7. Fez-se essa correção utilizando-se dados coletados na estação base da Rede de Referência do SIRGAS - Rede de Densificação do IGS, localizada em Belo Horizonte, Minas Gerais.

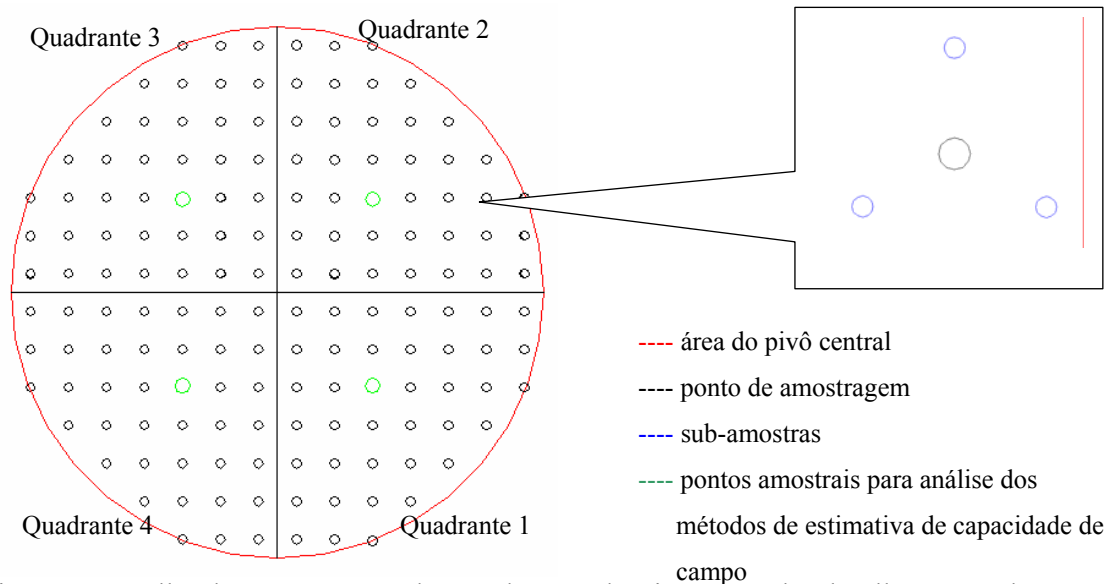


Figura 3 - Malha de amostragem dentro da área do pivô central e detalhamento do ponto de amostragem com as três posições das sub-amostras.

3.2.1. Métodos de determinação e estimativa da capacidade de campo

Método padrão de campo

Tomou-se esse método de determinação da capacidade de campo como referência para analisar a acurácia e a precisão dos métodos laboratoriais de estimativa, por ser considerado a metodologia padrão de campo, conforme descrito por BERNARDO (1995).

Essa metodologia consiste no acompanhamento do declínio da umidade do solo ao longo do tempo, ocasionado pela drenagem livre, até que se observe a redução brusca da taxa de declínio da umidade, momento esse em que cessa a drenagem livre e caracteriza-se a umidade equivalente à capacidade de campo. Para tal, é necessário que se garanta que não tenha havido perda de água por evaporação no sistema. No caso desse experimento, utilizaram-se lonas plásticas para cobrir a região de amostragem, evitando-se tal evaporação.

Em cada um dos quatro pontos amostrais fez-se uma bacia de 4 x 4 m para represamento de água e saturação do solo. Colocou-se dentro de cada bacia um volume de água suficiente para garantir a saturação do solo até 2m de profundidade.

Retiraram-se, duas vezes ao dia, durante duas semanas, quatro amostras (repetições) para determinação da umidade, para cada uma das profundidades (0 – 22 cm e 22 – 51 cm) de cada uma das quatro bacias.

Determinou-se a umidade do solo pelo método gravimétrico, submetendo-se as amostras a secagem em estufa a 105°C, por 48 horas, e utilizando-se balança com precisão de 0,01g (RICHARDS, 1966).

Utilizando-se os pares de valor umidade versus tempo, ajustaram-se equações para descrever o comportamento dessas variáveis em cada profundidade de cada bacia.

Apesar da mudança abrupta da taxa de declínio da umidade, que caracteriza a capacidade de campo, ser bastante visível nos gráficos de umidade versus tempo, a definição de uma metodologia precisa para obtenção de um único ponto equivalente a capacidade de campo, ao invés de uma região no gráfico, não é bem definida na literatura. Por isso, nesse experimento, definiu-se a umidade à capacidade de campo como sendo aquele primeiro valor de umidade (precisão de 0,1%) em que a variação da inclinação da reta tangente (primeira derivada) ao gráfico da função ajustada ($U = f(\text{tempo})$) não fosse superior a 0,001. Essa definição fundou-se no fato de que, após a mudança brusca da taxa de declínio da umidade, pelo cessar da drenagem livre, ocorre uma tendência da estabilização da umidade do solo, umidade essa, definida como capacidade de campo, segundo BERNARDO (1995).

Como foram retiradas quatro repetições para cada profundidade de cada bacia, cada par de valores umidade-tempo utilizados no ajuste da equação foi resultado da média da umidade dessas quatro repetições.

Mesa de Tensão

Para estimar a capacidade de campo pelo método da mesa de tensão, as amostras com estrutura indeformada foram saturadas com água por 48 horas, em bandeja, inundando-as até dois terços da altura do anel de amostragem. Após o período de saturação, as amostras foram drenadas por 72 horas sob tensão de - 0,01 MPa no equipamento mesa de tensão. Após, foram determinadas a umidade gravimétrica, umidade volumétrica e densidade do solo de acordo com BLAKE & HARTGE (1986), EMBRAPA (1979) e EMBRAPA (1997).

Extrator de Richards

Também conhecido como método do extrator de placa porosa de Richards, esse método laboratorial para estimativa da umidade à capacidade de campo consiste na aplicação de uma tensão à amostra de solo, que extraia uma quantidade de água equivalente àquela extraída pela drenagem livre a campo.

Para estimativa da capacidade de campo pelo método do extrator de placa porosa de Richards seguiu-se a metodologia proposta por RICHARDS (1966). No laboratório, as amostras deformadas foram secas ao ar por 72 horas, destorroadas e passadas em malha de 2,0mm de diâmetro para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Em seguida, as amostras foram saturadas por 24 horas e submetidas ao extrator com aplicação de um potencial de -0,01 MPa (capacidade de campo) por um período de 72 horas. Calculou-se então, a umidade em base gravimétrica.

Equivalente de umidade e equivalente de umidade corrigido

Amostras com estrutura deformada foram postas em uma centrífuga específica a 2450 rpm, durante trinta minutos, o que equivale submeter uma força de aproximadamente mil vezes a força da gravidade, ou seja, submeter as amostras a um potencial de -0,033MPa.

A umidade referente à quantidade de água retida no solo após aplicação desse potencial é chamada equivalente de umidade, que também dá o nome ao método equivalente de umidade. Essa umidade se aproxima da umidade na capacidade de campo em solos de regiões de clima temperado, com presença predominante de argilas de atividade alta. No entanto, nos solos característicos das regiões de clima tropical e úmido, como a deste estudo, esse critério deve ser alterado, segundo RUIZ et al. (2003). Isto se deve à diferença do potencial correspondente à capacidade de campo desses solos, da ordem de -0,010 MPa a -0,006 MPa, ao invés de de -0,033 MPa.

Dessa forma, obtéve-se o equivalente de umidade usando-se a rotação da centrífuga equivalente ao potencial de -0,033 MPa, e utilizando-se equações para converter o equivalente de umidade, na umidade correspondente à capacidade de campo do solo em estudo.

O método do equivalente de umidade corrigido pela equação proposta por RUIZ et al. (2003) foi o quarto método de estimativa da capacidade de campo testado e está descrito na Equação 1.

3.2.2. Análise comparativa dos métodos de estimativa da capacidade de campo

Analisou-se a precisão dos métodos de estimativa da capacidade de campo, observando-se o desvio padrão e o coeficiente de variação das estimativas. A acurácia foi analisada mediante comparação dos valores estimados com os determinados pelo método padrão de campo.

Através do teste de médias de Scott-Knott, estudou-se a diferença da capacidade de campo entre os quadrantes. Esse método foi escolhido, pelo bom rigor e por não atribuir mais de uma classificação para a mesma metodologia, o que é recomendável quando se tem um número maior de metodologias.

Para avaliação dos valores de capacidade de campo entre as duas profundidades, utilizou-se o teste de Duncan, por ser mais rigoroso. Apesar da possibilidade desse método atribuir mais de uma classificação para o mesmo tratamento, não há inconveniente nesse caso, por tratarem-se de apenas duas profundidades.

3.2.3. Análise dos potenciais matriciais de ocorrência da capacidade de campo

Por meio do método da mesa de tensão, obtiveram-se as umidades relativas às tensões de -0,00; -0,04; -0,06 e -0,10 MPa para os solos dos quatro pontos e duas profundidades estudados no item anterior. Ajustaram-se funções polinomiais de segundo grau para cada solo, e através dessas, utilizando os valores de capacidade de campo determinados pelo método padrão de campo, obtiveram-se os valores reais do potencial matricial em que ocorre a capacidade de campo para os solos estudados.

3.3. Análise da variabilidade espacial da capacidade total de armazenamento de água no solo

Utilizando-se um gride de 50 x 50 m, amostrou-se o solo nas duas profundidades (0 – 22 e 22 – 51 cm) dos 38 ha da área sob pivô central em estudo (Figura 2).

Obtiveram-se os valores de capacidade de campo por meio da metodologia que apresentou melhor acurácia quando comparada ao método padrão de campo (3.2.2). Valores de umidade para o ponto de murcha foram obtidos submetendo-se as amostras ao extrator de Richards sob tensão de 1,5MPa. Os valores de densidade do solo foram obtidos com as amostras indeformadas em anel volumétrico.

Efetou-se o cálculo da capacidade total de armazenamento de água no solo (CTA) para cada ponto amostral do gride por meio da Equação 6. Utilizou-se a média das três repetições (sub-amostras) dos valores de capacidade de campo, ponto de murcha e densidade do solo, para obtenção da capacidade de armazenamento de cada ponto amostral do gride, para as duas profundidades. Definiu-se como profundidade efetiva (z), a própria profundidade de amostragem, ou seja, 22 cm para a camada de 0 – 22 cm e, 29 cm para camada de 22 – 51 cm.

$$CTA = \frac{(CC - PMP) ds z}{10} \quad \text{Eq. 6}$$

em que,

CTA é a capacidade total de armazenamento de água no solo, mm;

CC é a umidade na capacidade de campo, % em peso;

PMP é o ponto de murcha permanente, % em peso;

ds é a densidade do solo, g/cm³; e,

z é a profundidade da camada de solo, cm.

3.3.1. Análise exploratória dos dados

Realizou-se a análise exploratória dos dados de capacidade de armazenamento de água do solo utilizando-se a distribuição de frequência, os histogramas, a análise descritiva. Também utilizou-se as inferências clássicas pelos parâmetros estatísticos média, variância, desvio padrão, e coeficientes de variação, de simetria e de curtose. Esses parâmetros descrevem a variável em estudo, bem como caracteriza a sua distribuição de probabilidade.

Para testar se os dados apresentavam tendência à normalidade, utilizou-se a metodologia de BEIGUELMAN (1994), citado por GONÇALVEZ (1997), que consiste na divisão do valor do coeficiente de simetria por $(6 n^{-1})^{0,5}$, e comparação do resultado com o valor de “t” tabelado, do teste de Student. Se o módulo do valor calculado é menor que “t”, a distribuição é simétrica e, caso contrário, assimétrica à direita e esquerda, para valores de coeficiente de simetria maior e menor que zero respectivamente.

Testou-se a normalidade das distribuições, analisando-se o coeficiente de curtose, também conforme BEIGUELMAN (1994). O método classifica a variável, para valores de coeficiente de curtose iguais a zero, como de distribuição mesocúrtica

(distribuição normal); se menor que zero, platicúrtica e, se maior, leptocúrtica. Para testar se o coeficiente de curtose desvia-se significativamente de zero, seu valor é dividido por $(24 n^{-1})^{0,5}$ e comparado ao mesmo valor de “t” usado para assimetria. Assim, quando o módulo desse resultado é inferior ao “t” tabelado, o desvio não é significativamente diferente de zero e a distribuição é normal, caso contrário, ela é platicúrtica e leptocúrtica para coeficientes de curtose menor e maior que zero respectivamente.

Nessas análises, assumiu-se que as observações são independentes espacialmente, isto é, as variações de um lugar para outro foram consideradas aleatórias. Seu objetivo não foi fazer qualquer tipo de inferência, mas analisar o comportamento inicial dos dados.

3.3.2. Análise geoestatística dos dados – variabilidade espacial

Fez-se a análise da variabilidade espacial por meio de recursos geoestatísticos, utilizando-se o semivariograma experimental. Para tal, utilizou-se o programa computacional GS+ (Geostatistics for Environmental Sciences), versão 7.

Aos semivariogramas experimentais foram ajustados os modelos de semivariograma teóricos (esférico, gaussiano, exponencial e linear). Para cada ajuste foram observadas as seguintes propriedades: efeito pepita, patamar, alcance, índice de dependência espacial (ZIMBACK, 2001), e soma do quadrado dos resíduos.

Para avaliação do ajuste dos modelos teóricos aos modelos experimentais realizou-se a análise de validação cruzada, que determina a correlação entre os valores conhecidos da variável em determinados pontos e os valores estimados pelo modelo teórico nos mesmos pontos.

Escolheu-se o modelo que apresentou o menor valor de soma do quadrado dos resíduos e, maior coeficiente de correlação na validação cruzada, como o melhor modelo para representar a variabilidade espacial da capacidade total de armazenamento de água do solo.

Conhecido o semivariograma da variável em estudo e havendo dependência espacial entre as amostras, obtiveram-se informações de pontos não amostrados no campo através do método de interpolação denominado de krigagem.

3.4. Efeito da variabilidade da capacidade total de armazenamento de água do solo no gerenciamento da irrigação

Foi comparado o gerenciamento tradicional da irrigação com o gerenciamento aqui chamado de gerenciamento de precisão.

No gerenciamento tradicional considerou-se que toda a área de 38 hectares possuía o mesmo valor de capacidade total de armazenamento. Obteve-se este valor calculando-se a média dos pontos analisados no gride de 50 x 50 m (item 3.2.).

No gerenciamento de precisão considerou-se a existência de variabilidade espacial da capacidade total de armazenamento de água do solo. Considerou-se, arbitrariamente, e simplesmente para efeito de simulação, que a área de 38 ha tivesse três zonas com faixas distintas de capacidade total de armazenamento de água.

3.4.1. Zonas de gerenciamento

Definiram-se as três zonas de capacidade de armazenamento de água do gerenciamento de precisão tomando-se os valores reais da área sob o pivô central. Contudo, não se utilizou o mapa de capacidade total de armazenamento de água para determinação da área correspondente a cada zona. Considerou-se que cada uma das três zonas ocupa exatamente um terço da área total de 38 ha. Essa consideração baseia-se no fato de que a localização das zonas não é tão importante, dado que se objetiva fazer análises quantitativas. Outro fato é que não existem condições padrões no campo quanto a distribuição das zonas, e cada área apresenta uma distribuição diferente das zonas de armazenamento. Outro aspecto é que quanto maior a diferença entre as capacidades de armazenamento de cada zona, mais justificável se torna o gerenciamento de precisão e, um quanto maior a subdivisão do número de zonas, menor essa diferença.

Utilizando a distribuição de frequência da capacidade total de armazenamento de água dos 161 pontos amostrados, tomaram-se os tercís dessa distribuição para determinar a faixa de valores que compreenderia cada uma das três zonas do gerenciamento de precisão. Ou seja, a primeira zona com o tercil dos menores valores, a segunda zona com o tercil dos valores medianos e a terceira zona o tercil dos maiores valores. Como todos os pontos amostrados representam uma área de 50 x 50m, cada tercil representa uma área igual a um terço dos 38 ha totais.

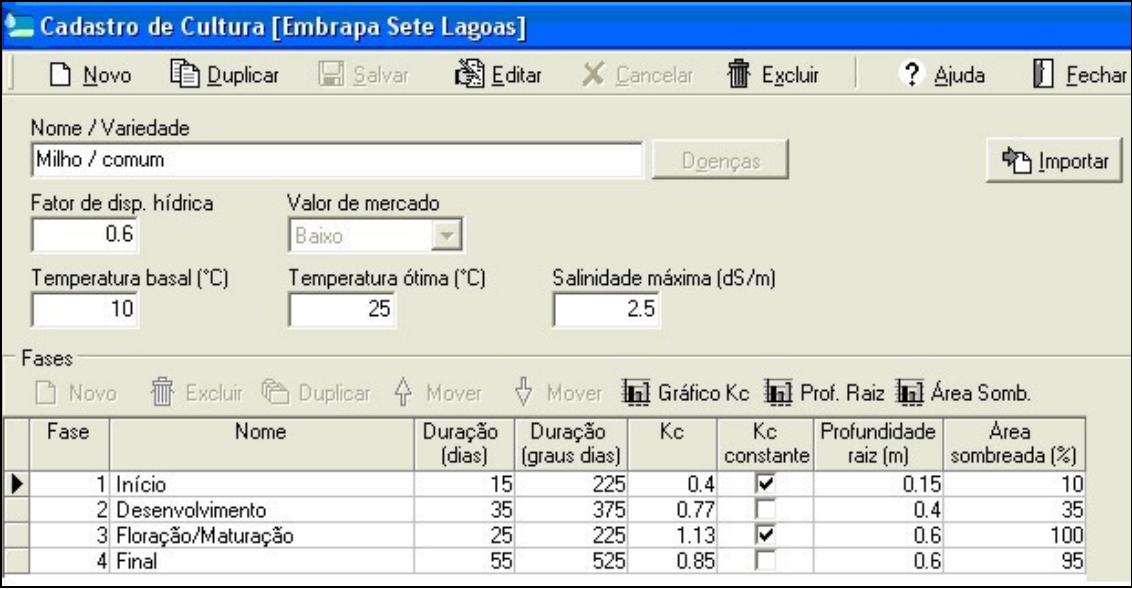
3.4.2. Modelo de gerenciamento da irrigação

O modelo utilizado para o gerenciamento da irrigação foi o do programa computacional IRRIGA-GESAI, versão 1.55, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa.

A lâmina de irrigação foi calculada como sendo aquela igual ao déficit hídrico acumulado até o final do dia anterior. E esse déficit, como sendo a lâmina necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo. O momento da irrigação foi decidido como sendo aquele em que 60% da capacidade de armazenamento de água do solo tivesse sido consumida pela evapotranspiração.

Os dados climáticos utilizados, inclusive os de precipitação, foram coletados nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002, por meio de uma estação meteorológica automática instalada no local.

As culturas simuladas foram o milho da safra de verão e o milho safrinha, com data de plantio em 15 de outubro e 15 de fevereiro, respectivamente. As simulações foram conduzidas para os anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002. Os dados da cultura utilizados para o gerenciamento estão apresentados na Figura 4.



The screenshot shows the 'Cadastro de Cultura [Embrapa Sete Lagoas]' window. It includes a menu bar with options like 'Novo', 'Duplicar', 'Salvar', 'Editar', 'Cancelar', 'Excluir', 'Ajuda', and 'Fechar'. Below the menu, there are input fields for 'Nome / Variedade' (Milho / comum), 'Fator de disp. hídrica' (0.6), 'Valor de mercado' (Baixo), 'Temperatura basal (°C)' (10), 'Temperatura ótima (°C)' (25), and 'Salinidade máxima (dS/m)' (2.5). There is also an 'Importar' button. Below these fields is a 'Fases' section with a toolbar containing 'Novo', 'Excluir', 'Duplicar', 'Mover' (up and down arrows), 'Gráfico Kc', 'Prof. Raiz', and 'Área Somb.'. A table lists the growth stages with columns for 'Fase', 'Nome', 'Duração (dias)', 'Duração (graus dias)', 'Kc', 'Kc constante', 'Profundidade raiz (m)', and 'Área sombreada (%)'.

Fase	Nome	Duração (dias)	Duração (graus dias)	Kc	Kc constante	Profundidade raiz (m)	Área sombreada (%)
1	Início	15	225	0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	0.15	10
2	Desenvolvimento	35	375	0.77	<input type="checkbox"/>	0.4	35
3	Floração/Maturação	25	225	1.13	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6	100
4	Final	55	525	0.85	<input type="checkbox"/>	0.6	95

Figura 4 – Dados da cultura utilizada na simulação do gerenciamento de irrigação

Estimou-se também o consumo e a demanda de energia elétrica através do programa IRRIGA-GESAI, versão 1.55. Mediante o número de horas demandados para aplicar a lâmina equivalente ao déficit hídrico da cultura (não suprido pela precipitação efetiva) e a potência instalada do equipamento de irrigação, o programa calculou o

consumo e a demanda de energia elétrica. O custo devido à energia elétrica foi calculado, levando-se em consideração o preço da energia elétrica para tarifa Verde A4, para uso agrícola, descrito na Resolução número 83 da Agência Nacional de Energia Elétrica, de 07 de Abril de 2004 (Quadro 1).

As características do equipamento de irrigação (um pivô central) estão descritas na Figura 05.

Quadro 1 – Valores de tarifa energética vigentes em 21 de fevereiro de 2005, para tarifação horo-sazonal verde, padrão de demanda A4.

Tarifa Horosazonal Verde	Resolução Aneel, nº 83, 07/04/2004		
	Tarifas sem ICMS	Tarifas com ICMS	ICMS
	R\$/kWh	R\$/kWh	
A4 - 2,3 KV a 25 KV	A	B	B/A
Demanda	10,51	12,82	18,0%
Ultrapassagem da demanda fora ponta	31,53	38,45	18,0%
Consumo ponta - p.seco	0,93932	1,1455	18,0%
Consumo ponta - p.úmido	0,92149	1,1238	18,0%
Consumo fora ponta - p.seco	0,10754	0,1311	18,0%
Consumo fora ponta - p.úmido	0,0954	0,1163	18,0%

Cadastro de Equipamento: Pivô Central [Empresa Sete Lagoas]

Novo Duplicar Salvar Editar Cancelar Excluir Ajuda Fechar

Nome: sete Lagoas

Modelo: Valmatic Fábrica: Valmont - Valley

Tipo: Difusor

Velocidade a 100% (m/h): 109 Tempo máx. operação diário (h): 20

Raio da última torre (m): 315 Vão em balanço/Faixa irrigada após a última torre (m): 42

Vazão (m³/h): 133 Pressão de serviço (mca): 30 Coef. unif. Christiansen (%): 85

Diâmetro do menor bocal (mm): 2.5 Diâmetro do maior bocal (mm): 4.5 Perdas na condução: Condições padrão

Nome	Modelo	Fábrica	Tipo
sete Lagoas	Valmatic	Valmont - Valley	Difusc

Registro 1 de 1 Selecionar: " Ordenar: "

Figura 5 – Características do equipamento de irrigação utilizado na simulação do gerenciamento de irrigação convencional e de precisão.

3.4.3. Critérios de Avaliação

Analisaram-se as respostas de evapotranspiração, precipitação efetiva, demanda de irrigação, e consumo de energia, elétrica ou diesel, nos dois critérios de gerenciamento, tradicional e de precisão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise da Estimativa da Capacidade de Campo

Com objetivo de identificar o método que melhor estima os valores de capacidade de campo para o solo em estudo, analisou-se a precisão e a acurácia dos métodos da mesa de tensão, do extrator de Richards, do equivalente de umidade e do equivalente de umidade corrigido pela equação proposta por RUIZ et al. (2003), comparando-os com os valores determinados pelo método padrão de campo (BERNARDO, 1995).

4.1.1. Método padrão de campo

Na determinação da capacidade de campo pelo método padrão, um modelo exponencial com quatro parâmetros (Equação 7) ajustou-se melhor aos dados de umidade em função do tempo, coletados, segundo BERNARDO (1995). As determinações foram realizadas em quatro pontos na área; cada ponto em um quadrante do pivô central.

$$u(t) = (a e^{-bt}) + (c e^{-dt}) \quad (7)$$

Os ajustes das funções exponenciais com quatro parâmetros para cada repetição (R1, R2 e R3), de cada profundidade (0 – 22 e 22 – 51 cm), de cada um dos quatro quadrantes, estão disponíveis no ANEXO A. Junto, estão os testes estatísticos para validação dos parâmetros.

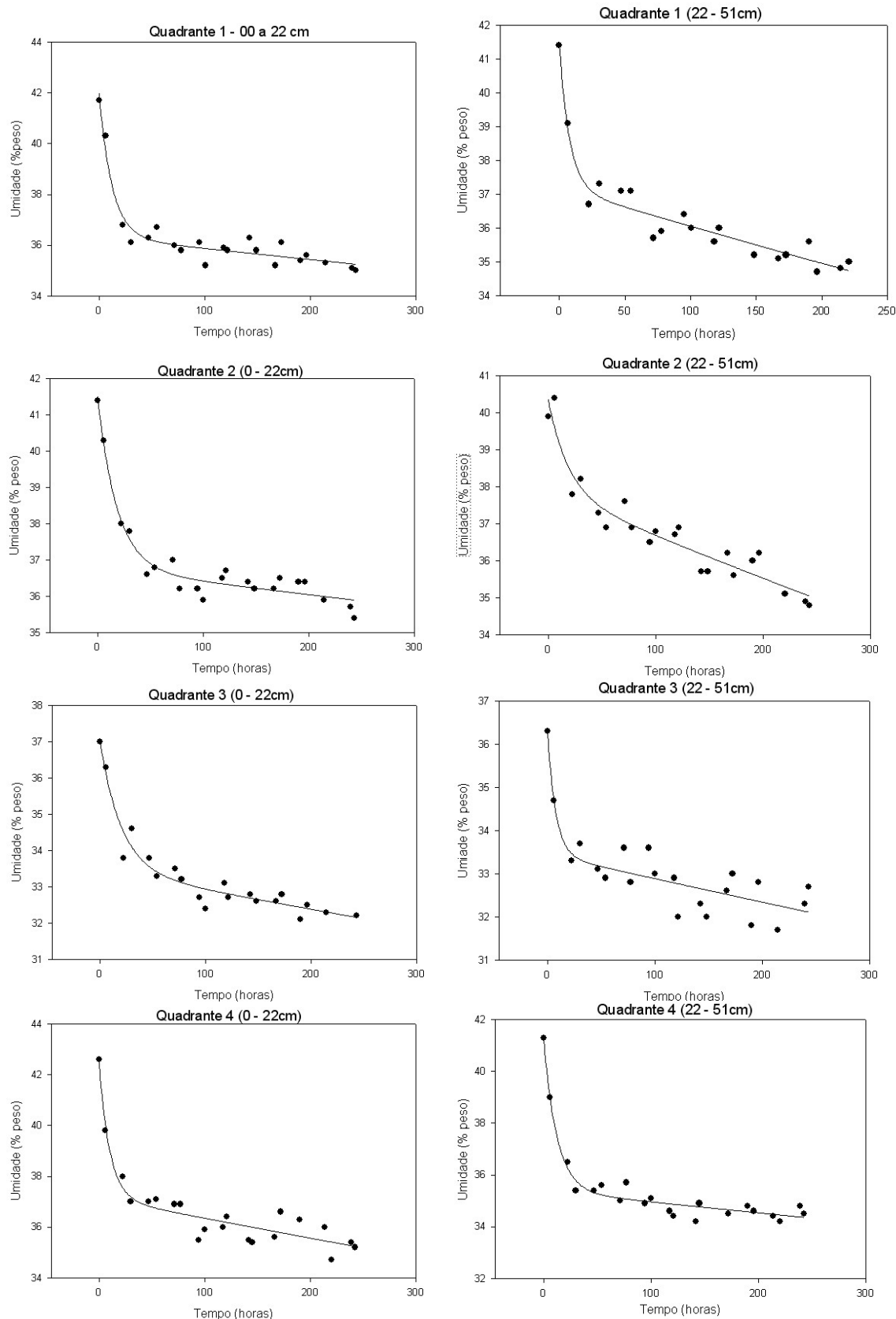


Figura 6 – Valores de Umidade do solo em função do tempo a partir da saturação do solo para as duas profundidades (0-22 e 22-51 cm) de cada um dos quatro quadrantes da área avaliada sob pivô central.

Na Figura 6 apresentam-se os gráficos das funções ajustadas para o comportamento da umidade em função do tempo. Nota-se que, apesar de alguns gráficos indicarem que ainda existia um movimento descendente da umidade do solo, a mudança brusca da taxa de declínio da umidade, descrito por BERNARDO (1995) como o fenômeno na curva que caracteriza a umidade à capacidade de campo, é bem característica.

Porém, mesmo sendo essa mudança abrupta da taxa de declínio da umidade bastante visível, não há uma metodologia bem definida na literatura para determinação de um único ponto, ao invés de uma região no gráfico.

Algumas metodologias indicam a utilização do ponto de inflexão como sendo aquele equivalente à capacidade de campo. Contudo, o ponto de inflexão é definido, matematicamente, como aquela onde a concavidade da função muda, de negativa para positiva, ou vice-versa. Esse ponto não foi observado no experimento, como já era esperado para funções que representam a umidade do solo em função do tempo. Nesse fenômeno, a umidade é sempre decrescente no tempo, uma vez que se garantiu no experimento que água nenhuma entrasse no sistema, fosse por irrigação, chuva, ou capilaridade. Assim, a concavidade foi e será sempre positiva.

Outra tentativa dos pesquisadores é utilizar um ponto de mínimo (segunda derivada) para definir a capacidade de campo, porém, os modelos que melhor se ajustaram aos dados foram os exponenciais com quatro parâmetros, que não possuem ponto de mínimo na parte da função onde há aquela mudança abrupta da taxa de declínio.

Nos modelos exponenciais, o ponto de mínimo tende a zero quando o tempo tende ao infinito (Figura 6). Para que essa metodologia funcionasse deveriam ser ajustadas funções do tipo polinomial, que depois de alcançar um determinado mínimo, descreveriam um incremento da umidade do solo com o aumento tempo, o que deixaria de descrever o comportamento real da água no solo. Assim, modelos polinomiais não descrevem bem o comportamento da umidade ao longo do tempo, não descrevendo com precisão e acurácia a capacidade de campo.

Com base na observação dos dados, definiu-se a capacidade de campo como aquele em que a variação da inclinação da reta tangente à função ajustada não fosse superior a 0,001. Essa definição desse valor baseou-se na observação de que, quando a variação da inclinação era igual ou inferior a 0,001, a variação da umidade era sempre inferior a 0,1%, que foi a precisão máxima obtida na determinação da umidade, dado a

utilização de balanças com leitura de duas casas decimais. Esse ponto coincide com o início da estabilização da umidade no solo, que caracteriza a capacidade de campo. Isso é confirmado pelo valor do quarto parâmetro das funções exponenciais ajustadas (ANEXO A).

Baseando-se nessas observações descritas, segue-se o passo-a-passo para uma metodologia adequada para determinação da umidade equivalente a capacidade de campo:

- 1°. Passo: Define-se a precisão (que chamou-se unidade de precisão) a ser utilizada para determinação da umidade do solo. Para isso, deve-se pensar nos gargalos de precisão do processo como um todo. Também se deve pensar no custo de alcançar tal precisão, versus o custo de não alcançá-la. No gerenciamento de irrigação, 0,1% da umidade em peso (0,001kg/kg), é um valor adequado.
- 2°. Passo: A partir da saturação, reduz-se a umidade de uma em uma unidade de precisão (nesse caso, 0,1% de umidade em peso); e observa-se a magnitude máxima da inclinação da reta tangente ao gráfico da função $u(t)$ que ocorre para cada incremento de unidade de precisão. Essa magnitude pode ser observada no quarto parâmetro (parâmetro d) da função exponencial ajustada (Equação 7). Nesse caso, 0,001 foi a magnitude máxima de inclinação encontrada.
- 3°. Passo: Toma-se como valor de umidade à capacidade de campo, o primeiro valor de umidade, a partir da saturação, cujo incremento de uma unidade de precisão acarretar em uma variação da reta tangente inferior à magnitude estabelecida no passo anterior.

A definição dessa metodologia permitiu grande coerência na determinação da umidade correspondente à capacidade de campo por sempre indicar valores compreendidos no intervalo entre a segunda metade da “curva abrupta” da função exponencial e o início da estabilização da mesma. Nesse intervalo, a variação da umidade nunca foi superior a 0,1%. Isso garantiu que, para qualquer ponto selecionado dentro desse intervalo, o valor de umidade tivesse sido sempre o mesmo, para uma precisão de 0,1% da umidade em peso.

4.1.2. Análise da precisão dos métodos estimadores

Realizou-se a análise de precisão dos métodos estimadores para obtenção da capacidade de campo, comparando-os aos valores determinados pelo método padrão.

Os valores determinados pelo método padrão e os valores estimados em cada método, bem como os parâmetros estatísticos para cada um deles são apresentados na Tabela 1.

Observa-se, na Tabela 1, que o método padrão de campo possibilitou a obtenção de resultados com coeficiente de variação, quase sempre inferiores a 1,1%, valores esses satisfatórios aos objetivos dos dados.

Os métodos da mesa de tensão e do extrator de Richards apresentaram valores de coeficiente de variação sempre iguais ou menores que o método padrão. Já os métodos do equivalente de umidade e do equivalente de umidade corrigido apresentaram valores de coeficiente de variação ora inferiores e ora superiores ao método padrão.

Os métodos da mesa de tensão, do extrator de Richards, do equivalente de umidade e do equivalente de umidade corrigido apresentaram valores de coeficiente de variação de até 0,3; 0,5; 8,6 e 6,9%, respectivamente.

Outro parâmetro que diz respeito à precisão dos métodos é o erro padrão. Para os métodos padrão, mesa de tensão, extrator de Richards, equivalente de umidade e equivalente de umidade corrigido, o erro padrão foi no máximo 0,02; 0,07; 0,11; 1,80 e 1,59, respectivamente (Tabela 1).

Os métodos mais precisos foram, em ordem decrescente, os métodos padrão, mesa de tensão, extrator de Richards, equivalente e umidade corrigido e equivalente de umidade.

A precisão do método padrão de campo deve-se ao zelo na condução e amostragem dos dados a campo, além da definição de uma metodológica não subjetiva, descrita anteriormente (item 4.1.1).

A elevada precisão do método padrão de campo também foi confirmada por vários autores, como REICHARDT (1988), BERNARDO (1995), SOUZA & REICHARDT (1996), FABIAM & OTONI FILHO (2000) e PAIXÃO et al. (2004).

Pode-se atribuir a precisão da mesa de tensão a possibilidade de um ajuste preciso (milimétrico) na regulagem da tensão de sucção aplicada, a não oscilação da tensão durante o tempo de exposição das amostras ao teste e a adoção do período de tempo adequado para o equilíbrio da umidade das amostras à tensão aplicada.

Tabela 1 – Valores de capacidade de campo (kg/kg) determinados pelo método padrão de campo e valores estimados pelos métodos da mesa de tensão, do extrator de Richards, do equivalente de umidade, e do equivalente de umidade corrigido, bem como respectivos parâmetros de estatística descritiva, para o ponto central de cada quadrante e nas duas profundidades estudadas da área de 38 ha sob pivô central.

Quadrante	0 - 22 cm			22 - 51 cm				
	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Método Padrão				
				Erro Padrão	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Erro Padrão
1	0,3583a	0,0017	0,4	0,0010	0,3674b	0,0016	0,4	0,0009
2	0,3709a	0,0012	0,3	0,0007	0,3739a	0,0028	0,8	0,0016
3	0,3367b	0,0036	1,1	0,0021	0,3318d	0,0018	0,5	0,0010
4	0,3691a	0,0024	0,7	0,0014	0,3532c	0,0034	1,0	0,0020
Mesa de Tensão								
1	0,3637b	0,0013	0,3	0,0007	0,3665b	0,0009	0,2	0,0005
2	0,3808a	0,0009	0,3	0,0005	0,3859a	0,0004	0,1	0,0002
3	0,3302c	0,0002	0,1	0,0001	0,3359d	0,0001	0,0	0,0001
4	0,3640b	0,0006	0,2	0,0004	0,3582c	0,0008	0,2	0,0005
Extrator de Richards								
1	0,3751c	0,0020	0,5	0,0011	0,4012a	0,0017	0,4	0,0010
2	0,4489a	0,0019	0,4	0,0011	0,3808c	0,0007	0,2	0,0004
3	0,3660d	0,0004	0,1	0,0002	0,3780d	0,0002	0,1	0,0001
4	0,4244b	0,0011	0,3	0,0006	0,3964b	0,0015	0,4	0,0009
Equivalente de Umidade								
1	0,3324a	0,0018	0,5	0,0010	0,3389a	0,0210	6,2	0,0121
2	0,3603a	0,0311	8,6	0,0180	0,3237a	0,0012	0,4	0,0007
3	0,3432a	0,0082	2,4	0,0047	0,3253a	0,0030	0,9	0,0017
4	0,3591a	0,0154	4,3	0,0089	0,3385a	0,0153	4,5	0,0088
Equivalente de Umidade Corrigido								
1	0,3760a	0,0016	0,4	0,0009	0,3819a	0,0187	4,9	0,0108
2	0,4010a	0,0276	6,9	0,0159	0,3684a	0,0011	0,3	0,0006
3	0,3858a	0,0073	1,9	0,0042	0,3699a	0,0027	0,7	0,0015
4	0,3999a	0,0137	3,4	0,0079	0,3816a	0,0136	3,6	0,0078

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si para $p < 0,05$ pelo teste de Scott-Knott.

MORAES & LIBARDI (1993b) e COELHO FILHO et al. (2001), trabalhando com terra roxa estruturada latossólica, verificaram que os coeficientes de variação para capacidade de campo, utilizando o extrator de Richards à tensões -0,01 MPa, apresentaram valores de 10 e 9,21%, respectivamente. SOUSA et al. (1999) encontraram valores da ordem de até 25,67%, trabalhando com solo aluvial.

COELHO FILHO (2001), também relata erro padrão de 0,25, para o método extrator de Richards, valor esse, portanto, superior aos encontrados no presente trabalho.

Comparando-se os resultados do presente trabalho com os dois citados anteriormente, pode-se observar:

Os valores de coeficiente de variação e erro padrão, superiores para os dois trabalhos citados anteriormente do que no presente trabalho. Esse fato pode ser explicado pelo número maior de repetições utilizadas nesse (5 ao invés de 3), implicando na diluição do erro padrão.

Outro aspecto é que no método do extrator de Richards, a precisão pode estar sendo comprometida por falhas no controle da tensão aplicada, que é ajustado por meio de manômetros. Dois aspectos são importantes quanto a esse ajuste. O primeiro é que a faixa de leitura do manômetro utilizado nesse equipamento (0 a 0,6 MPa) é muito superior à tensão de trabalho (0,01 MPa), ou seja, trabalha-se no início da escala, onde a precisão do equipamento é limitada. Segundo, a tensão é mantida por compressores, que podem oscilar a pressão de serviço durante o tempo, relativamente longo, que as amostras ficam submetidas. Seria propícia a instalação de manômetros de mercúrio paralelos aos manômetros de agulha para aumentar a precisão do ajuste à baixas pressões, como aquelas utilizadas para estimativa da capacidade de campo.

Nos métodos do equivalente de umidade e do equivalente de umidade corrigido pela equação proposta por RUIZ et al. (2003), a precisão foi inferior a dos demais métodos. No entanto, o tempo que as amostras ficam submetidas a tensão é 240 vezes menor que os demais métodos, e o custo também muito inferior ao dos demais. Portanto, mesmo aumentando-se o número de repetições para diluir o erro padrão, o método continuaria sendo bastante prático e barato. Ao contrário, no ajuste da pressão nos manômetros do extrator de Richards, o ajuste da velocidade na centrífuga do equivalente de umidade, realizado por meio de tacógrafo, é simples e preciso. Testes com um maior número de repetições deveriam ser realizados para confirmar o aumento da precisão e a viabilidade de utilizá-lo em substituição aos outros métodos. Caso seja confirmada tal possibilidade, o custo e o tempo para obtenção dos valores de capacidade de campo seriam reduzidos.

4.1.3. Análise da acurácia dos métodos estimadores

Ainda na Tabela 1, nota-se que os valores médios determinados pelo método padrão de campo variaram entre 0,3367% e 0,3709% para a profundidade de 0 – 22 cm e entre 0,3318 e 0,3739% para a profundidade de 22 – 51 cm.

Pelo método padrão a capacidade de campo do ponto amostral do quadrante 3 difere estatisticamente dos demais quadrantes, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, para a profundidade 0 – 22 cm. Para a profundidade de 22 – 51 cm, as médias dos quatro pontos são diferentes (Tabela 1). Isso indica que a variabilidade espacial da capacidade de campo não segue os mesmos padrões para as duas profundidades, ou seja, a variabilidade espacial da capacidade de campo é distinta para cada camada. Isso confirma a necessidade da estratificação do solo em camadas para estudo da variabilidade espacial.

Como se citou anteriormente, a capacidade de campo está mais associada aos fatores de forma e tamanho dos poros. Estes estão muito relacionados às atividades mecânicas executadas com os implementos durante o cultivo, que afetam mais a primeira profundidade (0 – 22cm) do que a segunda (22 – 51cm). Aqui pode residir uma explicação pelo fato da primeira profundidade apresentar maior homogeneidade para os valores de capacidade de campo do que a segunda: a homogeneização pelas operações com máquinas.

Apesar dos valores distintos de capacidade de campo entre as duas profundidades, a tendência de um valor inferior para o terceiro quadrante permanece em ambas. Uma explicação para tal fato é que esse terceiro quadrante é o mais baixo da área, localizando-se na transição entre o terço médio e o terço inferior de encosta, onde a textura é mais arenosa.

MELLO et al. (2002), na Tabela 2, apresentam valores de capacidade de campo encontrados por diversos pesquisadores em latossolos semelhantes ao estudado.

Tabela 2 – Valores de capacidade de campo determinados pelo método padrão de campo para latossolos por alguns pesquisadores.

Profundidade (cm)	Capacidade Campo (kg/kg)	Autor	Solo	Textura
0-22	0,3720	Freire (1979)	LR	Argiloso
22-56	0,3470	Freire (1979)	LR	Argiloso
30-50	0,3593	Oliveira & Pinto (1995)	LV	Argiloso
0-10	0,3466	Azevedo (1976)	PV - Litossólico	Argiloso
10-20	0,3536	Azevedo (1976)	PV – Litossólico	Argiloso
20-30	0,3580	Azevedo (1976)	PV – Litossólico	Argiloso
30-40	0,3549	Azevedo (1976)	PV – Litossólico	Argiloso
40-50	0,4050	Azevedo (1976)	PV – Litossólico	Argiloso
0-15	0,4065	Carvalho et al. (1995)	LRd	Argiloso
15-30	0,4051	Carvalho et al. (1995)	LRd	Argiloso
30-45	0,3955	Carvalho et al. (1995)	LRd	Argiloso

LV=Latossolo Vermelho-amarelo

Nota-se, na Tabela 2, que o valor encontrado para OLIVEIRA & PINTO (1995), para latossolo vermelho-amarelo é semelhante ao encontrado nesse corrente trabalho, também classificado como latossolo vermelho-amarelo.

Pode-se notar pela Tabela 2, que apesar de todos os solos estudados possuírem textura argilosa, a variação dos valores de capacidade de campo é bastante alta. Observou-se essa mesma característica na área estudada. Toda classificada como de textura argilosa, e com distintos valores de capacidade de campo.

Vários motivos justificam esses dados, como o fato de que uma mesma classe textural pode conter uma variação da participação de cada um dos elementos areia, silte, argila. Além disso, cada um desses elementos pode conter diversas granulometrias (como areia fina, média e grossa). Solos com mesmas distribuições granulométricas podem ainda ter argilas com características distintas (oxídicas ou silicatadas, por exemplo). Fora os fatores de tamanho e forma de poro e teor de matéria orgânica.

Pelo método da mesa de tensão, as estimativas oscilaram entre 0,3302 e 0,3808 kg/kg para a profundidade de 0 – 22 cm e entre 0,3359 a 0,3859 kg/kg para profundidade de 22 – 51 cm.

O método da mesa de tensão permitiu discretizar os quadrantes e seus valores de forma idêntica ao método padrão. Isso denota a acurácia do método e sua aplicabilidade para estimativa da dos valores de capacidade de campo.

Pelo método do extrator de Richards oscilaram entre 0,3660 e 0,4489 kg/kg para a profundidade de 0 – 22 cm. Para profundidade de 22 – 51 cm, a variação foi de 0,3780 a 0,4012 kg/kg, apresentando, portanto, uma variação maior na profundidade 0 – 22 cm que na profundidade 22 – 51 cm.

No método do equivalente de umidade, as estimativas oscilaram entre 0,3322 kg/kg e 0,3603 kg/kg para a profundidade de 0 – 22 cm. Para profundidade de 22 – 51 cm, a variação foi de 0,3237 a 0,3389 kg/kg. Não houve, estatisticamente, diferença significativa entre as médias estimadas pelo equivalente de umidade para cada quadrante, em nenhuma das profundidades, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Esses resultados são semelhantes aos apresentados por MELLO et al. (2002) que, estudando um latossolo vermelho distrófico, estimando a capacidade de campo pelo método do equivalente de umidade, encontraram valores de 0,3071 a 0,3870 kg/kg.

As estimativas de capacidade de campo, para o método do equivalente de umidade corrigido, oscilaram entre 0,3760 e 0,4010 kg/kg para a profundidade de 0 – 22 cm. Para profundidade de 22 – 51 cm, a variação foi de 0,3684 a 0,3819 kg/kg. Observa-se que a magnitude das variações dessas médias é idêntica a das médias estimadas pelo método equivalente de umidade - sem correção.

Para o método do equivalente de umidade corrigido, pode-se observar na Tabela 1, que não houve diferença estatística entre as médias estimadas pelo método do equivalente de umidade corrigido para os quatro quadrantes, em nenhuma das profundidades, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Na Tabela 03, apresenta-se a comparação estatística da capacidade de campo determinada e estimada pelos métodos estudados sem diferenciação de profundidades.

Tabela 03 – Comparação estatística dos métodos de estimativa e determinação da capacidade de campo (%peso) utilizando todos os valores das duas profundidades (0-22 e 22-51 cm) e dos quatro quadrantes da área avaliada sob pivô central.

Método	Médias (kg/kg)
Extrator de Richards	0,3964 A
Equivalente de Umidade Corrigido*	0,3828 B
Mesa de Tensão	0,3607 C
Padrão	0,3577 C
Equivalente de Umidade	0,3398 D

* corrigido pela equação proposta por RUIZ et al. (2003).

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si para $p < 0,05$ pelo teste de Scott-Knott.

Observa-se, pela Tabela 03, que a capacidade de campo estimada pelo método da mesa de tensão a 0,01 MPa é estatisticamente igual à capacidade de campo determinada pelo método padrão. Isso pode ser explicado pela precisão do ajuste da tensão no equipamento e pela preservação da estrutura das amostras em anel volumétrico. Contudo, esse é um método que demanda muito tempo para coleta criteriosa das amostras indeformadas. Para a coleta de um número grande de amostras, como se faz necessário em estudos de variabilidade espacial, o custo do equipamento de amostragem também torna-se elevado.

A média das estimativas feitas pelo método do equivalente de umidade foi a mais próxima da média determinada pelo método padrão, dentre os métodos que diferiram estatisticamente deste. Contudo, não apresentou a mesma habilidade do método padrão de diferir a capacidade de campo entre os quadrantes, como observado na Tabela 1.

A dificuldade de diferenciar os pontos amostrais dos quadrantes pelo método do equivalente de umidade deve-se a sua menor precisão. Mesmo que na média ele se aproxime do método padrão, a dispersão acentuada, caracterizada pelo erro padrão e coeficiente de variação, faz com que ele não distinga, com acurácia, faixas diferentes de capacidade de campo, como o método padrão. Esse fato indica a necessidade de um número maior de repetições para que o método do equivalente de umidade seja mais acurado. O mesmo comentário aplica-se ao método do equivalente de umidade corrigido, uma vez que deriva algebricamente do método do equivalente de umidade.

O número de rotações ajustadas na centrífuga (2450rpm) equivale a aplicação de uma tensão de -0,033 MPa em solos com predominância de argilas de alta atividade (RUIZ et al. 2003). Entretanto, acredita-se que, para utilização de amostras com estrutura deformada e com predominância de argilas de baixa atividade, ou oxídicas, essa rotação não esteja muito distante da ideal, em virtude da proximidade das estimativas do método aos valores determinados pelo método padrão.

O método do equivalente de umidade corrigido pela equação proposta por RUIZ et al. (2003) também apresentou resultados mais próximos dos determinados pelo método padrão do que o método do extrator de Richards. Contudo, os resultados superestimaram os valores determinados pelo método padrão. Isso, possivelmente, deve-se ao fato de que a equação proposta por RUIZ et al. (2003) ter sido obtida através da correlação entre valores de equivalente de umidade e valores de capacidade de campo estimados pelo método da coluna, ao invés de dados determinados pelo método padrão. Tal possibilidade é um indício de que o método da coluna, de onde derivou a equação, superestima a capacidade de campo.

Ainda na Tabela 03, observa-se que as médias estimadas de capacidade de campo pelo método do extrator de Richards à tensão de -0,01 MPa foram as que mais se distanciaram dos valores determinados pelo método padrão. Esse fato justifica-se pela baixa precisão no ajuste da tensão aplicada, comentada anteriormente. É importante citar que esse método do extrator de Richards é um dos mais utilizados para estimativa da capacidade de campo.

Contudo, como o extrator de Richards apresentou boa precisão, se comprovado um erro sistemático no método, a questão da acurácia pode ser resolvida por meio de com um modelo de ajuste.

Na Tabela 04 é apresentada a análise estatística, comparando as médias estimadas e determinadas entre as duas profundidades (0 – 22 cm e 22 – 51 cm), para os pontos no centro de cada um dos quatro quadrantes da área estudada, sem diferenciar o efeito do método. Nota-se que há diferença significativa para os valores de capacidade de campo entre as duas profundidades, apresentando a camada de 0 – 22 cm valor de capacidade de campo superior a camada 22 – 51 cm. Essa diferença pode estar associada a maior deposição de matéria orgânica na primeira camada, oriunda da prática do plantio direto por vários anos. Também pode estar associada a texturas diferentes nas camadas e ao tamanho e forma dos poros.

Tabela 04 – Comparação estatística dos valores de capacidade de campo (%peso) estimados e determinados para as duas profundidades (0-22 cm e 22-51 cm), utilizando todos os valores dos cinco métodos e dos quatro quadrantes da área avaliada sob pivô central.

Profundidade	Médias
0 - 22 cm	37,13 A
22 - 51 cm	36,22 B

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si $p < 0,05$ pelo teste de Duncan

4.1.4. Análise dos potenciais matriciais de ocorrência da capacidade de campo

Para tal análise, utilizou-se o método da mesa de tensão por ter apresentado melhor precisão e acurácia dentre os métodos avaliados para estimativa da capacidade de campo.

Com a mesa de tensão, obtiveram-se as umidades relativas às tensões de 0,000; -0,004; -0,006 e -0,010 MPa para os solos dos quatro pontos e duas profundidades, que estão apresentadas na Tabela 05. Ajustaram-se funções polinomiais de segundo grau para os pares de valor umidade versus tensão de cada solo. Com essas funções e com os valores de capacidade de campo determinados pelo método padrão de campo, obtiveram-se os valores reais do potencial matricial em que ocorre a capacidade de campo para os solos estudados.

Os valores médios de tensão encontrados para cada quadrante e cada profundidade são apresentados na Tabela 6.

Observa-se que, apesar dos valores distintos de umidade à capacidade de campo para cada solo, os valores de potencial matricial em que ocorreram foram aproximadamente os mesmos, em torno de -0,010MPa (Tabela 6). Esse fato corrobora para indicação de necessidade de adequação dos valores de potencial de ocorrência da capacidade de campo para latossolos para valores entre -0,006 e -0,010MPa, sugeridos por RUIZ et al. (2003) e diversos outros pesquisadores. Tal observação colabora para o entendimento de que a umidade relativa à capacidade de campo em solos com predominância de argilas de baixa atividade, como os latossolos, não acontece nos potenciais de -0,033MPa, mas em potenciais inferiores.

Tabela 5 – Valores de umidade do solo (%peso), para diferentes tensões, obtidos pelo método da mesa de tensão e valores de capacidade de campo (%peso), determinados pelo método padrão de campo, para o ponto central dos quatro quadrantes e duas profundidades estudadas da área de 38 ha sob pivô central.

Quadrante	Prof.	Repetição	Método	Curva de Tensão (Método da Mesa de Tensão)			
			Padrão	0,0 MPa	-0,004 Mpa	-0,006 Mpa	-0,010 Mpa
			kg/kg	Umidade (kg/kg)			
Q1	0 - 22 cm	R1	0,3639	0,6920	0,4614	0,4330	0,3818
Q1	0 - 22 cm	R2	0,3659	0,5468	0,4756	0,4324	0,3794
Q1	0 - 22 cm	R3	0,3651	0,6570	0,4768	0,4331	0,3813
Q1	22 - 51 cm	R1	0,3657	0,5755	0,4424	0,4154	0,3656
Q1	22 - 51 cm	R2	0,3677	0,5591	0,4439	0,4184	0,3672
Q1	22 - 51 cm	R3	0,3689	0,5641	0,4414	0,4102	0,3668
Q2	0 - 22 cm	R1	0,3723	0,6498	0,4606	0,4204	0,3643
Q2	0 - 22 cm	R2	0,3705	0,6622	0,4565	0,4146	0,3648
Q2	0 - 22 cm	R3	0,3699	0,6564	0,4587	0,4178	0,3630
Q2	22 - 51 cm	R1	0,3721	0,6336	0,4617	0,4295	0,3856
Q2	22 - 51 cm	R2	0,3772	0,6594	0,4580	0,4254	0,3856
Q2	22 - 51 cm	R3	0,3725	0,6254	0,4643	0,4290	0,3863
Q3	0 - 22 cm	R1	0,3389	0,6109	0,4111	0,3732	0,3303
Q3	0 - 22 cm	R2	0,3325	0,5971	0,3989	0,3616	0,3299
Q3	0 - 22 cm	R3	0,3386	0,5937	0,4106	0,3735	0,3303
Q3	22 - 51 cm	R1	0,3299	0,5864	0,4204	0,3847	0,3358
Q3	22 - 51 cm	R2	0,3322	0,6034	0,4117	0,3763	0,3360
Q3	22 - 51 cm	R3	0,3334	0,6047	0,4125	0,3728	0,3358
Q4	0 - 22 cm	R1	0,3715	0,6446	0,4466	0,4063	0,3636
Q4	0 - 22 cm	R2	0,3667	0,6576	0,4526	0,4078	0,3644
Q4	0 - 22 cm	R3	0,3692	0,6248	0,4561	0,4119	0,3632
Q4	22 - 51 cm	R1	0,3495	0,6344	0,4436	0,4082	0,3578
Q4	22 - 51 cm	R2	0,3562	0,6434	0,4550	0,4092	0,3592
Q4	22 - 51 cm	R3	0,3539	0,6594	0,4445	0,4049	0,3576

Tabela 6 – Potencial matricial de ocorrência da capacidade de campo, para o ponto central dos quatro quadrantes e para as duas profundidades estudadas.

Potencial Matricial à Capacidade de Campo (MPa)				
Profundidade	Quadrante			
	1	2	3	4
0 - 22 cm	-0,010	-0,009	-0,009	-0,009
22 - 51 cm	-0,010	-0,012	-0,010	-0,011

4.2. Análise da variabilidade espacial da capacidade total de armazenamento de água do solo (CTA)

4.2.1. Dados utilizados nos cálculos da CTA

Os valores de capacidade de campo, ponto de murcha e densidade, para cada ponto amostrado de cada uma das duas profundidades estudadas podem ser vistos no ANEXO B.

Utilizaram-se os valores de capacidade de campo estimados pelo método da mesa de tensão por não diferirem estatisticamente dos valores determinados pelo método padrão, como mencionado no item 4.1.

4.2.2. Análise Estatística Descritiva

Os resultados referentes à análise estatística descritiva para a capacidade total de armazenamento de água são apresentados na Tabela 7. Na Figura 7, apresenta-se os histogramas da capacidade total de armazenamento de água, mm, para as profundidades de 0 – 22 cm e 22 – 51 cm, da área de 38 ha sob pivô central.

Tabela 7 – Parâmetros da estatística descritiva para capacidade total de armazenamento de água (mm) para as duas profundidades.

Parâmetros Estatísticos	0 - 22 cm				22 - 51 cm			
	CC	PMP	Ds	CTA	CC	PMP	Ds	CTA
Número amostral	124	119	126	119	123	117	123	117
Média	36,96	25,91	1,08	27,30	37,53	25,98	1,05	35,35
Variância	6,03	1,05	0,003	29,44	6,28	1,19	0,003	50,78
Desvio Padrão	2,49	1,02	0,058	5,43	2,51	1,09	0,057	7,13
CV (%)	6,74	3,94	0,28	19,90	6,69	4,20	5,43	20,20
Valor Mínimo	32,72	23,52	0,93	16,6	33,32	23,09	0,93	20,40
Valor Máximo	43,64	28,33	1,23	44,67	45,79	28,15	1,21	54,30
Cs (erro padrão)	0,35	0,04	0,21	0,35	0,36	-0,26	0,36	0,34
Cc (erro padrão)	-0,26	-0,25	0,04	0,03	0,16	-0,15	-0,13	-0,48
t Cs	1,59	0,18	0,96	1,40	1,63	-1,15	1,63	1,36
t Cc	1,18	1,11	-0,18	0,20	-0,72	0,66	0,59	1,92
t tabelado	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67

Cs = Coeficiente de simetria CC = Capacidade de campo Ds = Densidade do solo
Cc = Coeficiente de curtose PMP = Ponto de Murcha CTA = Capacidade Total de Armazenamento de água

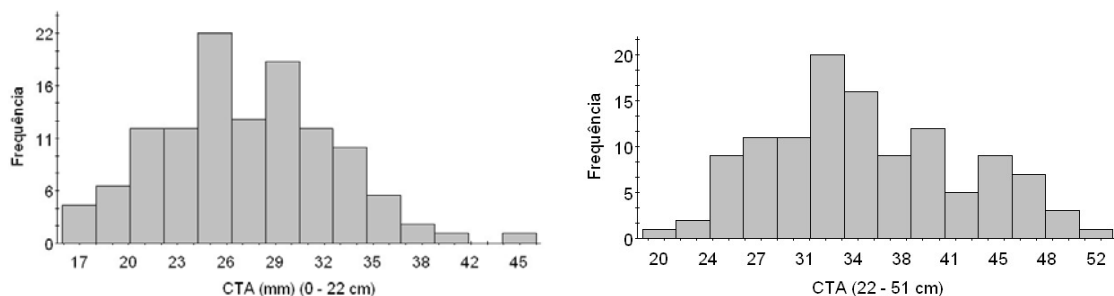


Figura 7 – Histogramas da capacidade total de armazenamento de água, mm, para as profundidades de 0 – 22 cm e 22 – 51 cm, da área de 38 ha sob pivô central.

Um motivo para menor capacidade total de armazenamento da camada 0 – 22 cm do que na camada 22 – 51 cm é a própria diferença da profundidade efetiva da camada, 22 cm para a primeira e 29 cm para segunda. Outro motivo é a maior densidade na primeira camada, que diminuindo a porosidade, afeta o armazenamento de água relacionado ao tamanho e forma dos poros.

Nota-se, na Tabela 7, que todas as características apresentaram menor coeficiente de variação na camada mais superficial, 0 – 22 cm, do que na camada de 22 – 51 cm. Esse fato também foi detectado por SALVIANO (1996), que justifica o fato na maior homogeneização das camadas mais superficiais do solo, devido ao manejo mais intenso.

Por meio da metodologia de BEIGUELMAN (1994), citado por GONÇALVEZ (1997), nota-se que para a profundidade de 0 – 22 cm, a distribuição de freqüência da capacidade total de armazenamento é simétrica e normal, uma vez que o valor de “t Cs” e “t Cc” foram inferiores ao valor de “t” tabelado de Student. Pela mesma metodologia, observou-se que, para profundidade de 22 – 51 cm, a distribuição da capacidade total de armazenamento é simétrica dado que o valor de “t Cs” (1,36) foi inferior ao “t” tabelado de Student (1,67). Como o valor de “t Cc” (1,92) foi superior ao “t” tabelado e o valor do coeficiente de curtose foi menor que zero (-0,48), a distribuição classificou-se como platicúrtica.

Para que a distribuição de freqüência da capacidade total de armazenamento de água no solo fosse classificada como normal, deveria passar pelos dois critérios, simetria e curtose. O fato de não ter passado pelo teste de curtose, indicando a não normalidade, implica que, para essa propriedade do solo, nessa profundidade, algumas análises estatísticas clássicas não podem ser aplicadas com eficiência.

4.2.3. Análise de Semivariância

Conforme procedimento descrito por ISAACS & SRIVASTAVA (1989), efetuou-se a análise da variabilidade espacial através da análise de semivariogramas, utilizando o programa GS+, versão 7.

A capacidade total de armazenamento de água apresentou estrutura de dependência espacial, tanto para camada 0 – 22 cm quanto para camada 22 – 51 cm, conforme os semivariogramas experimentais e seus respectivos modelos teóricos ajustados (Figura 8 e Tabela 8).

O alcance de dependência espacial é um dos parâmetros importantes do semivariograma e define a distância máxima até onde o valor de uma variável possui relação de dependência com o seu próximo (GUERRA, 1988). A capacidade total de armazenamento de água da camada 0 – 22 cm apresentou dependência espacial, ajustando-se ao modelo exponencial, com alcance de 129 m. Para camada 22 – 51 cm, também ajustou-se ao modelo exponencial, com alcance de 128m.

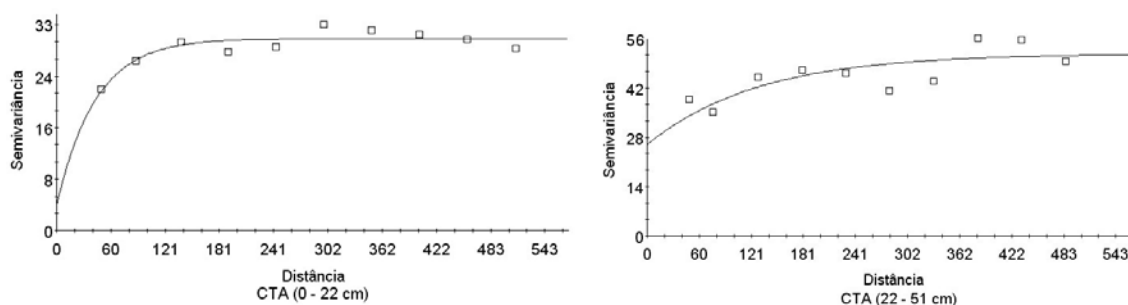


Figura 8 – Semivariograma experimental e modelo de semivariograma teórico ajustado para capacidade total de armazenamento de água para as duas profundidades (0 – 22 cm e 22 – 51 cm) da área de 38 ha sob pivô central estudada.

BATISTA (2002), estudando um latossolo vermelho-amarelo de textura média, sob uma estufa de 5,0 x 20,0m, e um gride amostral de 0,5 x 1,0m, obteve alcance do semivariograma de 3,30m, indicando estrutura de dependência espacial de curta distância para capacidade total de armazenamento de água. BROOKER & WINCHESTER (1995), encontraram alcance de 98m, estudando a capacidade de armazenamento um vinhedo no sul da Austrália sob latossolo. CERQUEIRA (2004), estudando a variabilidade espacial da umidade do solo em um argissolo vermelho-amarelo, com variabilidade intrínseca superior aos latossolos estudado no corrente

trabalho, encontrou alcances do semivariograma da ordem de 68,50 a 78,30m no plantio convencional e de 58,20 a 210,90 m no plantio direto.

Nota-se, pelo índice de dependência espacial (IDE) definido por ZIMBACK (1989), na Tabela 8, que pode-se classificar o grau de dependência espacial da capacidade total de armazenamento de água como forte, para camada 0 – 20 cm. Na camada 22 – 51 cm, o grau de dependência espacial pode ser classificado simplesmente como moderado, segundo ZIMBACH (1989).

BATISTA (2002) encontrou forte grau de IDE (79,6%) para o semivariograma já citado. Para os semivariogramas ajustados por CERQUEIRA (2004), o grau de dependência espacial foi forte.

No presente trabalho, nota-se que, apesar da coerência, com relação aos trabalhos anteriormente citados, na escolha da distância amostral (50 x 50 m), houve problemas para detecção do alcance de um modelo que representasse bem a variabilidade da segunda camada (22 – 51 cm). O efeito pepita acentuado para essa segunda camada (Figura 8 e Tabela 8) e a distância à origem do gráfico relativamente grande dos primeiros dados do semivariograma, para as duas camadas, evidenciam que a densidade do gride amostral pode ter sido subestimada.

Contudo, pela distribuição dos valores no semivariograma, e pelo IDE apresentado na Tabela 8, pode-se notar que a capacidade total de armazenamento de água do solo apresenta características de dependência espacial.

As discrepâncias entre os alcances da dependência espacial da literatura citada e os aqui obtidos, podem ser indícios de que a estrutura de dependência espacial para capacidade total de armazenamento de água possui um caráter tanto de curta como de longa distância, o que exigiria um modelo de semivariograma mais complexo para descrever tal fenômeno.

Analisando-se as discrepâncias entre os dados apresentados pela literatura nota-se dificuldades de comparação e interpretação dos dados aqui encontrados. Essas dificuldades provêm da falta de uniformização e/ou coerência metodológica na execução da análise de dependência espacial.

Um primeiro problema é o uso de áreas muito reduzidas para análise, menores, muitas vezes, que o próprio alcance de dependência encontrado nos cálculos. Áreas de pesquisa que possuam extensões maiores que o alcance de dependência espacial são importantes, pois permitem validar tal dependência através da remoção proposital de amostras com distâncias inferiores a essa dependência. Dentre os trabalhos citados

anteriormente, com exceção do que apresentou dependência de curta distância, todos os demais foram realizados em áreas com dimensões menores que as distâncias de dependência espacial encontradas.

Outras dificuldades que afetam a análise dos resultados são a precisão e a magnitude dos valores trabalhados. Quanto menor a precisão dos valores, maiores deverão ser as áreas analisadas para se detectar algum tipo de dependência espacial.

Análises espaciais de características que, intrinsecamente, apresentem pequena faixa de variação também ficam dificultadas.

A definição da densidade do gride amostral constitui-se um dos maiores problemas na análise de dependência espacial. Mesmo antes de se conhecer se há ou não dependência espacial e/ou qual sua magnitude, já se tem que optar por uma distância entre amostras inferior àquela que apresente dependência para se obter êxito na análise.

Os resultados encontrados na análise de semivariância da capacidade de retenção indicam dois aspectos importantes. O primeiro é a confirmação da necessidade de se utilizar uma área, como a utilizada nesse trabalho, com dimensões bem superiores aos alcances de dependência esperados. O segundo é a demanda de um gride amostral mais denso para estudar a variabilidade de curta distância.

O uso de modelos de semivariograma que descrevam o duplo comportamento, também seria útil para o melhor comportamento da variável.

Tabela 8 - Modelos de semivariograma teóricos e estimativa de seus parâmetros de ajuste ao semivariograma experimental, para capacidade total de armazenamento de água.

	Modelo Ajustado	Efeito Pepita (Co)	Patamar (Co+C)	Alcance (Ao)	R ²	SQR	IDE (%) C/(Co+C)
0 - 22 cm	exponencial	3,88	30,47	129	0,81	14,80	87
22 - 51 cm	exponencial	25,98	51,97	128	0,56	191,0	50

4.2.4. Interpolação dos dados – krigagem

Considerando o exposto por VIEIRA et al. (1983) e BROOKER & WINCHESTER (1995) que mencionaram a krigagem como um bom interpolador, confeccionaram-se os mapas interpolados por krigagem da área estudada.

Realizou-se a interpolação dos dados utilizando-se a krigagem simples pontual, com os 16 pontos vizinhos mais próximos. Utilizou-se também, para o cálculo da krigagem, os parâmetros obtidos pela análise espacial, ou seja, o alcance, efeito pepita e patamar, uma vez que a krigagem é um método geoestatístico de interpolação, sendo necessário detectar a distância espacial entre as amostras, para o atributo em estudo.

Na Figura 09 pode-se observar os mapas gerados com a krigagem 2D para as duas profundidades, camada 0 – 22 cm e camada 22 – 51 cm.

Na Figura 10 observa-se a distribuição dos dados amostrais de capacidade de retenção para as duas profundidades, antes da interpolação, camada 0 – 22 cm e camada 22 – 51 cm.

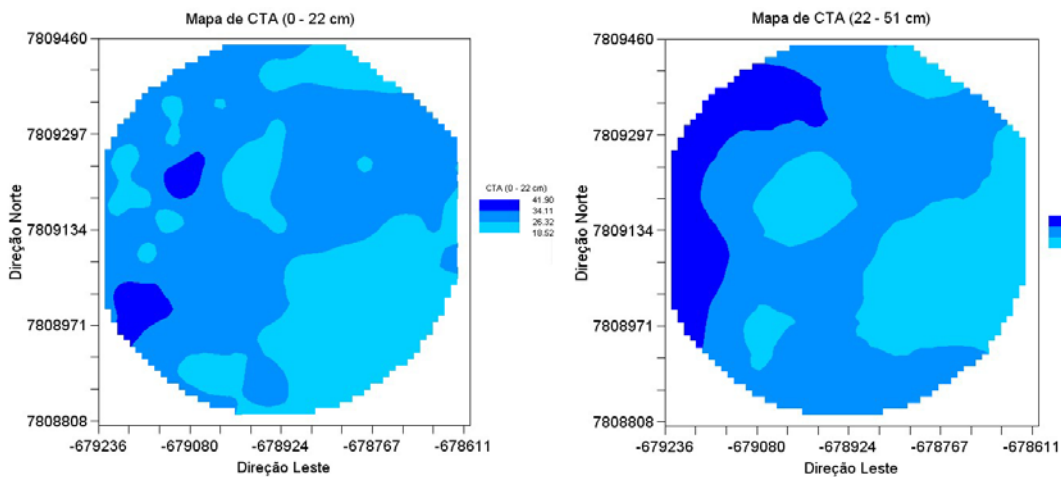


Figura 9 – Mapas de capacidade total de armazenamento de água do solo, mm, obtido por krigagem simples para as duas profundidades (0 – 22 e 22 – 51 cm) para a área de 38 ha sob pivô central estudada..

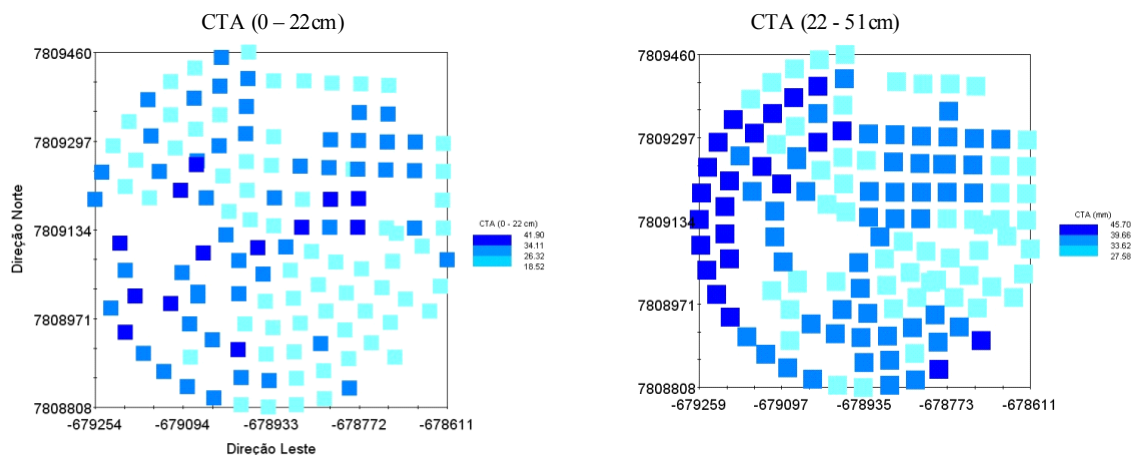


Figura 10 – Mapas de localização dos dados reais de capacidade total de armazenamento de água do solo, mm, para as duas profundidades (0 – 22 e 22 – 51 cm) para a área de 38 ha sob pivô central estudada.

4.2.5. Validação cruzada

Segundo DAVIS (1987), a validação cruzada é um método adequado para definir a exatidão da krigagem como interpolador. Na Figura 11 são mostrados os gráficos da validação cruzada realizada com os dados interpolados para as duas profundidades.

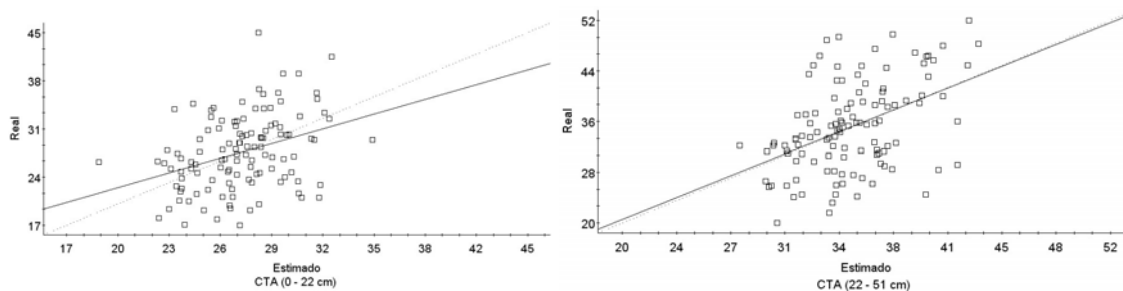


Figura 11 - Gráficos de validação cruzada entre os dados reais e estimados para capacidade total de armazenamento de água, mm, para as duas profundidades (0 – 22 e 22 – 51 cm) para a área de 38 ha sob pivô central estudada

Na Tabela 9, podem-se observar os valores de r^2 para as duas profundidades e os coeficientes de regressão da reta ajustada a nuvem de dados. Percebem-se os valores muito baixos de r^2 . Esses resultados sugerem que a variável apresenta dependência espacial em modelo mais complexo que o ajustado, e que o interpolador utilizado produziu resultados pouco confiáveis.

Tabela 9 – Valores de coeficiente de determinação e regressão para validação cruzada da capacidade total de armazenamento de água para as duas profundidades da área estudada.

	CTA (0 – 22 cm)	CTA (22 – 51cm)
Coef. Regressão	0,686	0,973
R^2	0,125	0,202

Contudo, ressalta-se também uma outra faceta evidenciada na análise da variabilidade espacial da capacidade de retenção: a visual semelhança entre o zoneamento mapeado pela krigagem (Figura 9) e o mapa da distribuição dos dados coletados no campo, antes da interpolação (Figura 10), apesar da validação cruzada indicar a não representatividade do mapa gerado pela krigagem.

Entende-se assim, que a validação cruzada, sozinha, não permite concluir que as zonas de capacidade de armazenamento de água geradas pela interpolação não estejam coerentes.

Uma justificativa para esse fenômeno é que os desvios gerados pela interpolação de cada ponto podem não ter sido suficientes para enquadrá-los em zonas diferentes das

que realmente estão. Ou seja, mesmo que a interpolação não estime com exatidão uma determinada variável, se o valor do desvio da estimativa for pequeno o suficiente para não classificar esse variável como pertencente a outra zona (ou faixa) de valores, o zoneamento poderá não estar significativamente distorcido. Obviamente, quanto maior o número de zonas que se deseje discretizar, menor será a amplitude de valores de cada zona, e maior importância terá a validação cruzada.

4.3. Efeito da variabilidade da capacidade total de armazenamento de água do solo no gerenciamento da irrigação

Comparou-se o gerenciamento tradicional da irrigação com o gerenciamento aqui chamado de gerenciamento de precisão, no qual considerou-se a variabilidade espacial da capacidade total de armazenamento de água do solo.

4.3.1. Zonas de gerenciamento de irrigação

Gerenciamento convencional

Para a definição da zona de gerenciamento de irrigação utilizando o gerenciamento tradicional, considerou-se que toda a área de 38 ha possuía o mesmo valor de capacidade total de armazenamento de água. Obteve-se, através dos valores medianos de capacidade de campo (estimados pelo método da mesa de tensão), de ponto de murcha e de densidade do solo, valores de 27,18mm e 35,39mm de capacidade total de armazenamento de água no solo para as camadas 0 – 22 cm e 22 – 51 cm, respectivamente.

Gerenciamento de precisão

Para o gerenciamento de precisão, considerou-se que a área seria dividida em três diferentes zonas de gerenciamento, devido à variabilidade espacial da capacidade total de armazenamento de água. As três zonas foram definidas dividindo-se a frequência de distribuição dos valores de capacidade de retenção encontrados no tópico anterior (4.2) em tercís. Como valor da capacidade de retenção de cada uma das zonas, utilizou-se a capacidade mediana de cada tercís (Tabela 10).

Tabela 10 – Zoneamento para o gerenciamento de precisão da irrigação, baseado na variabilidade espacial da capacidade de armazenamento de água do solo (CTA), em mm, para as duas profundidades da área de 38 ha sob pivô central estudada.

Zonas de Gerenciamento de Irrigação - CTA (mm)			
	Zona 1	Zona 2	Zona 2
0 - 22 cm	24,66	28,16	34,37
22 - 51 cm	32,15	36,60	50,17

Utilizando-se o valor médio da capacidade de armazenamento de cada uma das duas camadas do solo para o gerenciamento convencional, obteve-se uma capacidade de armazenamento de 23.777m³ de água.

Considerando-se o gerenciamento de precisão, conforme zoneamento descrito na Tabela 10, o solo é capaz de armazenar, nos 38 ha da área em estudo, um volume de 26.114 m³ de água.

Portanto, há uma subestimativa de 9% da capacidade de armazenamento, quando utilizada a média da capacidade total de armazenamento (gerenciamento convencional) ao invés da sua variabilidade (gerenciamento de precisão).

4.3.2. Gerenciamento de irrigação convencional versus gerenciamento de precisão

Com o programa IRRIGA, versão 1.55, simulou-se o crescimento e desenvolvimento da cultura do milho safra e milho safrinha, para os anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002. Acompanhou-se o balanço hídrico durante todo o ciclo da cultura, calculando-se os valores de evapotranspiração, déficit hídrico, precipitação total, precipitação efetiva e lâmina de irrigação demandada.

Evapotranspiração, precipitação efetiva e demanda de irrigação

Vários fatores influenciam na porção efetiva da precipitação total, os quais podem atuar isoladamente ou interagindo com outros. Qualquer fator que afete a infiltração, o escoamento superficial ou a evapotranspiração tem influência no valor da precipitação efetiva (SAMPAIO et al. 2000).

São apresentados, na Tabela 11, os valores de precipitação total, dias chuvosos, intensidade média das precipitações, evapotranspiração, precipitação efetiva e demanda

de irrigação, utilizando os gerenciamentos de irrigação convencional e de precisão para três ciclos de cultivo do milho safra e três ciclos de cultivo do milho safrinha.

Observa-se, na Tabela 11, que as evapotranspirações calculadas pelo gerenciamento convencional foram superestimadas em relação aos cálculos do gerenciamento de irrigação de precisão para os cultivos do milho safra.

Esse fato ocorreu em virtude da estimativa menor da capacidade total de armazenamento de água no gerenciamento convencional. Assim, mediante maior volume e frequência de chuvas, o modelo interpretou que o solo permanecia com maior umidade na superfície, e por mais tempo, do que o real. Isso levou o modelo de balanço hídrico do programa IRRIGA, atribuir um peso maior à evaporação (efeito do fator K_s – coeficiente para cálculo da evapotranspiração em função do teor de umidade do solo), o que, conseqüentemente, gerou a superestimativa da evapotranspiração.

Ainda na Tabela 11, percebe-se que para o cultivo do milho safrinha, como o volume e a frequência das precipitações foram menores, ocorreu uma subestimativa da evapotranspiração no gerenciamento convencional. Nessa circunstância, a estimativa de uma capacidade de armazenamento menor pelo gerenciamento convencional conduziu a uma subestimativa da precipitação efetiva, reduzindo a evaporação (efeito do coeficiente K_s).

No gerenciamento convencional, para o período do cultivo do milho safra, mais chuvoso, houve superestimativa da precipitação efetiva, gerada pela obtenção de valores de evapotranspiração maiores que os reais comentada anteriormente. No período do cultivo do milho safrinha, menos chuvoso, prevaleceu o efeito da subestimativa da capacidade de armazenamento na obtenção de menores valores de precipitação efetiva.

No cultivo do milho safra, o incremento errôneo da estimativa de evapotranspiração pelo gerenciamento convencional ocasionou aumento da demanda de irrigação em proporções semelhantes àquelas geradas para precipitação efetiva. Para o período de cultivo do milho safrinha, o gerenciamento convencional gerou uma ligeira redução da demanda de irrigação, em proporções também semelhantes às de redução da precipitação efetiva.

Tabela 11 – Precipitação total, dias chuvosos, intensidade média das precipitações, evapotranspiração, precipitação efetiva e demanda de irrigação para três ciclos de cultivo do milho safra e três ciclos de cultivo do milho safrinha, utilizando o gerenciamento de irrigação convencional e o gerenciamento de irrigação de precisão.

MILHO SAFRA												
Ano	Precipitação	Dias	Ipm	-----ETc (mm)-----			---Precipitação Efetiva (mm)----			--Demanda de Irrigação (mm)---		
Agrícola	Total (mm)	Chuvosos	mm/chuva	GP	GC	GC/GP (%)	GP	GC	GC/GP (%)	GP	GC	GC/GP (%)
1999/2000	1155	64	18,0	507	545	7,4	165,5	179,3	8,3	342	366	7,0
2000/2001	654	54	11,9	479	572	19,3	128,6	145,1	12,8	351	427	21,7
2001/2002	1200	68	17,7	511	546	6,9	164,7	179,9	9,3	346	366	5,7

MILHO SAFRINHA												
Ano	Precipitação	Dias	Ipm	-----ETc (mm)-----			---Precipitação Efetiva (mm)----			Demanda de Irrigação (mm)----		
Agrícola	Total (mm)	Chuvosos	mm/chuva	GP	GC	GC/GP (%)	GP	GC	GC/GP (%)	GP	GC	GC/GP (%)
1999/2000	208	30	6,9	168	162	-3,2	44,6	43,0	-3,5	208	198	-4,7
2000/2001	218	21	10,4	205	200	-2,7	23,2	22,8	-1,4	245	236	-4,0
2001/2002	248	28	8,9	186	181	-2,9	77,8	73,6	-5,4	226	216	-4,3

Ipm = Intensidade de precipitação média, mm/ chuva, ou mm/ evento.

GP = Gerenciamento de irrigação de precisão

GC = Gerenciamento de irrigação convencional.

O gerenciamento convencional, ao não considerar a variabilidade da capacidade de retenção, estimou valores de precipitação efetiva entre -5,4 e 12,8% do valor encontrado com o gerenciamento de precisão, o que corresponde a uma redução de 1597 m³ e um incremento de 6255 m³, respectivamente. Quanto a demanda de irrigação, esses valores oscilaram entre -4,7 a 21,7%, que correspondem a um déficit de 3715 m³ e um excesso de irrigação de 28943 m³.

Levando em consideração os efeitos da superestimativa da quantidade de irrigação necessária, BERNARDO (1995) afirma que as conseqüências são sistemas super dimensionados, o que aumenta o custo de irrigação por unidade de área, e leva à aplicação excessiva de água.

Consumo de energia elétrica

Como o consumo de energia elétrica está relacionado à demanda de irrigação, suas variações, em termos percentuais, são semelhantes às encontradas para demanda de irrigação.

Calcularam-se os custos relativos ao consumo de energia elétrica, ou óleo diesel, para realização das irrigações, considerando-se as demandas de irrigação indicadas no item anterior e os preços vigentes de energia elétrica e óleo diesel.

Na Tabela 12 são apresentados os custos com energia elétrica e óleo diesel, para os cultivos do milho safra e safrinha, utilizando-se o gerenciamento convencional e o gerenciamento de precisão.

Considerando somente o custo do consumo de energia elétrica, ou óleo diesel (Tabela 12), nota-se, que no caso estudado, pode-se chegar a economias de até 13%, utilizando o gerenciamento de irrigação de precisão, que considera a variabilidade espacial da capacidade total de armazenamento.

Os custos relativos ao custo de demanda de energia elétrica não variaram entre os dois modelos de gerenciamento. Isso ocorre porque a tarifação da demanda é computada através da potência instalada. Assim, o custo de demanda torna-se um custo fixo.

Desta forma, na composição dos custos com energia elétrica, a diferenciação dos custos está relacionada estritamente ao consumo. Este, por sua vez, é proporcional ao tempo de funcionamento da carga instalada, ou seja, ao número de horas de funcionamento do sistema de irrigação, que é função da demanda hídrica, ou da demanda de irrigação, como denominada anteriormente.

Tabela 12 – Custo com energia elétrica e óleo diesel nos ciclos de cultivos do milho safra e safrinha, considerando-se os gerenciamentos de irrigação convencional e de precisão.

-----Custo da Energia Elétrica (R\$)---						Custo do Diesel (R\$)		
Milho Safra								
-----GP-----			-----GC-----			---GP---	--GC---	
Demanda	Consumo	Total	Demanda	Consumo	Total	Total	Total	
1999/2000	3.537,51	5.416,26	8.953,77	3.537,51	5.796,35	9.333,86	17.977,10	18.740,23
2000/2001	3.537,51	5.478,85	9.016,36	3.537,51	6.665,15	10.202,66	19.670,91	22.259,06
2001/2002	3.537,51	5.431,04	8.968,55	3.537,51	5.744,97	9.282,48	17.923,64	18.551,03
Milho Safrinha								
-----GP-----			-----GC-----			---GP---	--GC---	
Demanda	Consumo	Total	Demanda	Consumo	Total	Total	Total	
1999/2000	3.537,51	3.015,11	6.552,62	3.537,51	2.869,28	6.406,79	13.0156,15	12.863,36
2000/2001	3.537,51	3.551,36	7.088,87	3.537,51	3.414,96	6.952,47	15.465,72	15.168,14
2001/2002	2.830,01	3.276,00	6.106,01	2.830,01	3.132,63	5.962,64	12.202,85	11.916,34

GP = Gerenciamento de irrigação de precisão

GC = Gerenciamento de irrigação convencional.

Observa-se também, na Tabela 12, que o custo da irrigação utilizando conjuntos moto-bomba movidos a motores diesel, é bem superior àquele que utiliza a energia elétrica. O incremento foi de aproximadamente duas vezes o custo com energia elétrica. Assim, quando se utilizou o óleo diesel, a relação percentual de economia entre o gerenciamento de precisão e o gerenciamento convencional foi semelhante. Contudo, o montante da economia foi aproximadamente duas vezes maior ao obtido no caso do uso de energia elétrica.

5. CONCLUSÕES

Em face às condições e metodologias aqui aplicadas para estudo da capacidade de campo, da variabilidade espacial da capacidade de armazenamento de água do solo e de seu efeito no gerenciamento da irrigação, pôde-se concluir que:

- O método da mesa de tensão, utilizando amostras com estrutura indeformada, foi o que apresentou melhor precisão e acurácia na estimativa da capacidade de campo, quando comparado ao método padrão de campo;

- Dentre os métodos que utilizaram amostra deformada, o método do equivalente de umidade apresentou a melhor acurácia, contudo, sua precisão foi a menor dentre os métodos analisados, sugerindo o uso de um número maior de repetições para redução do erro padrão;

- Dentre os métodos estudados, o extrator de Richards, utilizando amostras como estrutura deformada, foi o que apresentou menor acurácia, apesar da boa precisão;

- O método do equivalente de umidade corrigido pela equação proposta por RUIZ et al. (2003), apresentou acurácia inferior ao método do equivalente de umidade sem a correção, apesar de apresentarem precisões semelhantes;

- As determinações da capacidade de campo pelo método padrão, em conjunto com as curvas de umidade versus tensão, determinadas pela mesa de tensão com amostras indeformadas, indicaram um potencial matricial equivalente a capacidade de campo de $-0,01$ MPa;

- O método geoestatístico utilizado permitiu identificação de dependência espacial de grau forte e moderado para capacidade de armazenamento de água do solo nas profundidades de $0 - 22$ cm e $22 - 51$ cm, respectivamente;

- Os resultados de validação cruzada para capacidade total de armazenamento de água do solo indicam que a variável apresenta dependência espacial em modelo mais

complexo que o ajustado, e que o interpolador utilizado produziu resultados pouco confiáveis;

- É possível visualizar semelhanças entre os mapas de capacidade de retenção gerados pela krigagem e gerados pela simples distribuição dos dados amostrais. Isso mostra que a validação cruzada, por si só, não é suficiente para qualificar o mapa de zoneamento da capacidade de retenção de água do solo;

- O gride amostral com espaçamento entre pontos de 50m ainda não foi suficiente para identificação de um modelo de semivariograma com boa validação cruzada. Menores espaçamentos deverão ser testados para obtenção de tal modelo de semivariograma;

- A não consideração da variabilidade espacial da capacidade de armazenamento de água do solo implicou numa superestimativa de 9% do seu valor total na área;

- A evapotranspiração e a precipitação efetiva, para o cultivo do milho foram superestimadas em até 19,3 e 12,8%, respectivamente, quando se desconsiderou a variabilidade espacial da capacidade de armazenamento de água do solo;

- A consideração da variabilidade espacial da capacidade total de armazenamento de água do solo implicou na obtenção de valores de demanda de irrigação até 21,7% inferiores aos obtidos quando se desconsiderou essa variabilidade;

- O consumo de energia elétrica, ou óleo diesel, foi até 13% inferior, quando se considerou a variabilidade espacial da capacidade de armazenamento de água do solo no gerenciamento da irrigação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUFIRASSI, M.; MARINO, M.A. Kriging of water levels in the Souss Aquifer, Morocco. **Math. Geol.**, 15: 537-50, 1983.

ADANCHUK, V. I.; FERGUSON, R. B. Fiction and reality of on-the-go soil mapping. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO Piracicaba. **Anais Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Universidade de São Paulo, pp.88-93, 2004.

AGRAWAL, O.P.; RAO, K.V.G.K.; CHAUHAN, H.S.; KHANDELWAL, M.K. Geostatistical analysis of soil salinity improvement with subsurface drainage system. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, 38: 1427-1433, 1995.

ALLI, M.M.; NOWATZKI, E.A.; MYERS, D.E. Probabilistic analysis of collapsing soil by indicator kriging. **Math. Geol.** .22: 15-38, 1990.

AZEVEDO, J. A. **Relações físico-hídricas em solo de terraço e de meia encosta de Viçosa, MG.** Viçosa, MG, 1976. 136 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1976.

BARNES, E.M.; JUNIOR PINTER, P.J.; KIMBALL, B.A.; HUNSAKER, D.J.; WALL, G.W.; LAMORTE, R.L. Precision irrigation management using modeling and remote sensing approaches. In: PROCEEDINGS OF THE 4TH DECENNIAL NATIONAL IRRIGATION SYMPOSIUM, 2000. Phoenix, **Proceedings...** Phoenix, American Society of Agricultural Engineers, pp. 332-337. 2000.

BATISTA, I. V. **Variabilidade espacial da umidade do solo em irrigação por gotejamento sob cultivo protegido.** Botucatu, São Paulo, 2002, 126p. Tese de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual Paulista, 2002.

BATISTA, S.; CEREJEIRA, M.J.; SILVA, E.; VIANA, P. e SERÔDIO, L. Contaminação de águas subterrâneas no Ribatejo e Oeste e no Centro Litoral com pesticidas e nitratos, In: 5º CONGRESSO DA ÁGUA - A ÁGUA E O

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: DESAFIOS PARA O NOVO SÉCULO, 2000, Lisboa, **Anais...** APRH, pp. 12, 2000.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6.ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 657p.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk Density. In: Klute, A. Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods. 2 ed. Madison, **Am. Soc. Agron.**, 1986. p.363-375.

BORDOVSKY, J.P.; NESMITH, D.; MUSTIAN, J.; ONTAI, S. Yield Comparison of Subsurface Drip to Center Pivot Irrigated Cotton. **Excerpt from the Helms Farm Research Report**, 2002. [<http://lubbock.tamu.edu/cotton/helms/2002annualreport/compareirrig.html>]. Acessado em 5 de fevereiro de 2005.

BORDOVSKY, J.P., JACKSON, S.; MUSTIAN, J.; LASCANO, R.; SEGARRA, E. Variable Rate Irrigation System Development and Evaluation (Field 5d). **Excerpt from the Helms Farm Research Report**, 2001. [<http://lubbock.tamu.edu/irrigate/research/%20PDF/2001HelmsVariIrrig.pdf>]. Acessado em 10 de Janeiro de 2005.

BORDOVSKY, J.P., JACKSON, S.; OFFICER, S.J.; LASCANO, R.J. Variable Rate Irrigation of Cotton with LEPA (Field 5B). **Excerpt from the Helms Farm Research Report**, 2002. [<http://lubbock.tamu.edu/cotton/helms/2003annualreport/variableratecot14.pdf>]. Acessado em 10 de Janeiro de 2005.

BORGELT, S.C.; SEARCY, S.W.; STOUT, B.A.; MULLA, D.J. Spatially variable liming rates: a method for determination. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, 37: 1499-1507, 1994.

BOYER, D.G.; WRIGHT, R.J.; FELDHAKE, C.M.; BLIGH, D.P. Soil spatial variability relationships in a steeply sloping acid soil environment. **Soil Sci.**, 161: 278-287, 1996.

BRESLER, E.; DAGAN, G.; WAGENET, R.J.; LAUFER, A. Statistical analysis of salinity and texture effects on spatial variability of soil hydraulic conductivity. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 48: 16-25, 1984.

BROOKER, P.I. Irrigation equipment selection to match spatial variability of soils. **Math. Comp. Modell.**, 33: 619-23, 2001.

BROOKER, P.I.; WINCHESTER, J.P. A geostatistical study of soil data from an irrigated vineyard near Waikerie. **South Australia. Environ. Int.**, 21: 699-704, 1995.

BURDEN, D.S.; SELIM, H.M. Correlation of spatially variable soil water retention for a surface soil. **Soil Sci.**, 148: 436-47, 1989.

BURGESS, T.M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties, 1. The semi-variogram and punctual kriging. **J. Soil Sci.**, 31: 315-331, 1980.

BURROUGH, P.A. Soil variability: a late 20th century view. **Soil Fertil.**, 56: 529-562, 1993.

- CAHN, M.D.; HUMMEL, J.W.; BROUER, B.H. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 58: 1240-1248, 1994.
- CAI, X.; ROSEGRANT, M.W. **Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement**. Colombo, International Water Management Institute, Sri Lanka, 2003. 368p.
- CAMBARDELA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEM, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 58: 1501-1511, 1994.
- CARVALHO, L. G.; SAMPAIO, S. C.; SILVA, A. M. Determinação da umidade na capacidade de campo "in situ" de um Latossolo Roxo distrófico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV/SBCS, p.32-34. 1995.
- CARVALHO, O.S.; GASCÓ, J.M.; LOPÉZ, F.G.; REQUEJO, A.S. Variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 22: 497-503, 1998.
- CASSEL, D.K.; NIELSEN, D.R. Field capacity and available water capacity. In: KLUTTE, A. **Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy and Soil Science Society of Agronomy, 1986. pp.901-926.
- CASSEL, D.K.; WENDROTH, O.; NIELSEN, D.R. Assessing spatial variability in an agricultural experiment station field: opportunities arising from spatial dependence. **Agron. J.**, 92: 706-714, 2000.
- CASTRIGNANO, A.; STELLUTI, M. Fractal geometry and geostatistics for describing the field variability of soil aggregation. **Journal of Agric. Eng. Res.**, 73: 13-18, 1999.
- CAVALCANTE, E.G.S. **Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes condições de uso e manejo, em Selvíria (MS)**. Ilha Solteira, São Paulo, 1999. 199p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-Universidade Estadual Paulista. 1999.
- CHIEN, Y.J.; LEE, D.Y.; GUO, H.Y.; HOUNG, K.H. Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils. **Soil Sci.**, 162: 291-298, 1997.
- CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **ITEM.**, 49: 8-13, 2001.
- CIOLLARO, G.; ROMANO, N. Spatial variability of the hydraulic properties of a volcanic soil. **Geoderma**, 65: 263-282, 1995.
- CLARK, I.; HARPER, W.V. **Practical Geostatistics 2000**. Ecosse North America Llc, Columbus, 2000, 442p.
- COELHO FILHO, M. A.; COELHO, R. D.; GONÇALVES A.C.A.. Variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas do solo em um pomar de lima ácida Tahiti, irrigado por microaspersão. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, 5: 239-246, 2001.

- CORA, J.E. The **potential for site-specific management of soil and corn yield variability induced by tillage**. Michigan, 1997. 104p. Dissertation (Doctor of Philosophy) - Michigan State University, 1997.
- CREMERS, N.H.D.T.; VAN DIJK, P.M.; ROO, A.P.J.; VERZANDVOORT, M.A. Spatial and temporal variability of soil surface roughness and the application in hydrological and soil erosion modelling. **Hydrol. Processes**, 10: 1035-1047, 1996.
- CURI, N.; LARACH, J.O.I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A.C.; FONTES, L.E.F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 89p.
- DAVIS, B.M. Uses and abuses of cross-validation in geostatistics. **Math. Geol.**, 19: 241-248, 1987.
- DAVIS, J.G.; HOSSNER, L.R.; WILDING, L.P.; MANU, A. Variability of soil chemical properties in two sandy dunal soils of niger. **Soil Sci.**, 159: 321-330, 1995.
- DEUTSCH, C.V.; JOURNEL, A.G. **GSLIB. Geostatistical software library**. New York: Oxford Univ. Press, 1998. 213p.
- BYNUM, E.D.; OFFICER, S.J.; BOOKER, J.D.; BORDOVSKY, J.P.; SEGARRA, E., LASCANO, R.J.; WILSON, L.T. The Effect of Variable Rate Irrigation on Banks Grass Mite, *Oligonychus pratensis* (Banks), and Southwestern Corn Borer, *Diatrea grandiosella* (Dyar) Populations in Corn (Fields 5D and 5E). **Excerpt from the Helms Farm Research Report**, 2002. [http://lubbock.tamu.edu/cotton/helms/2002annualreport/effectofvrrirrig.html] Acessado em 12 de fevereiro de 2005.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 1979. 282p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de método de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- ENGLUND, E. J., SPARKS, A. Geo-EAS. **Users's guide**. Las Vegas, USEMS, 1988. sp.
- EVANS, G.W. BUCHLEITER, E.J. SADLER, B.A. KING, AND G.B. HARTING. 2000. Controls for Precision Irrigation with Self-Propelled Systems. In: 4TH DECENNIAL NATIONAL IRRIGATION SYMPOSIUM. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. 2000. St Joseph **Proceedings...** St Joseph Evans, R.G., B.L. Benham, and T.P. Trooien. pp. 322-332. 2000.
- EVANS, G.W.; HARTING G.B. Precision irrigation with center pivot systems on potatoes. INTERNATIONAL WATER RESOURCES ENGINEERING CONFERENCE. 1999, Seattle. In: **Proceedings...** Seattle, WA: ASCE, 1999.
- FARMSCAN. **Precision farming**. [www.farmscan.net/ProductDetails.aspx?id=3000VRI]. Acessado em 07 de Fevereiro de 2005.

FEINERMAN, E.; VOET, H. Site-specific management of agricultural inputs: an illustration for variable-rate irrigation. **European Review of Agriculture Economics**, 27: 17-37, 2000.

FERNANDES, B. & SYKES, D.J. Capacidade de campo e retenção de água em três solos de Minas Gerais. **R. Ceres**, 15: 1-39, 1968.

FERREIRA, P. A. **Drenagem de terras agrícolas**. Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 211p.

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

FORSYTHE, W. **Física de suelos. Manual de laboratorio**. San José, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1975. 212p.

FREIRE, J. C. Condutividade hidráulica e capacidade de campo de Latossolo Roxo distrófico não saturado. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 3: 73-77, 1979.

FREITAS, V.A. **Análise de dados espaciais por meio de variogramas**. Uberlândia, MG, 2000. 32p. Tese (Matemática) – Faculdade de Matemática, Universidade Federal de Uberlândia. 2000.

GOMES, T.C.A.; DE MUNER, L.H. & RUIZ, H.A. Retenção de água até -100 kPa em amostras indeformadas e deformadas do horizonte B de um LV e de um PV. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., 1994, Florianópolis. **Resumos**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.320-321.

GOOVAERTS, P. Geostatistics in soil science: state of art and perspectives. **Geoderma**, 89: 1-45, 1999.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for Natural Resources Evaluation**. New York, Oxford University Press, 1997. 483 p.

GOTO, R. Plasticultura nos trópicos: uma avaliação técnico-econômica. **Hortic. Bras.**, 15: 163-165, 1997.

GUERRA, P.A.G. **Geoestatística operacional**. Brasília, Ministério das Minas e Energia/Departamento Nacional de Pesquisa Mineral, 1988. 145p.

GUIMARÃES, E. C. Estabilidade temporal da umidade de um Latossolo Roxo. In: XIII CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1996, Águas de Lindoia. **Resumos expandidos**. Águas de Lindoia, SP: SBCS/ESALQ-USP, 1996. CD-ROOM. T01-023

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo em um Latossolo Roxo**. Campinas, SP, 1993. 135 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola - Área de concentração: Água e Solo) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 1993.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de um latossolo vermelho escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional.** Campinas, SP, 2000. 89p. Tese (Doutorado) FEAGRI/UNICAMP. 2000.

GUIMARÃES, E. C.; AQUINO, L. H. de; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial do pH em água e da argila dispersa em água. **Revista Ciência e Prática.** 19: 12-17, 1992.

GUPTA, R.P.; AGGARWAL, P.; CHAUHAN, A.S. Spatial variability analysis of bulk density as a guide for tillage. **J. Indian Soc. Soil Sci.**, 43: 549-57, 1995.

HILLEL, D. **Applications of Soils Physecs.** New York, Academic Press, 1980. 288p.

HOFFMAN, G.J.; HOWELL, T.A.; SOLOMON, K.H. **Management of Farm irrigation systems.** St. Joseph, ASAE, 1990. 1040p.

HORN, R., TAUBNER, H., WUTTKE, M., BAUMGARTL, T. Soil physical properties related to soil structure. **Soil Tillage. Reser.**, 30: 187-216, 1994.

ISAAKS, E.H., SRIVASTAVA, M. **An introduction to applied geostatistics.** New York, Oxford University Press, 1989. 600p.

JACKSON, R. D.; PINTER Jr., P. J.; REGINATO, R. J., IDSO, S. B. Detection and evaluation of plant stresses for crop management decisions. **IEEE Trans. on GeoSci. and Remote Sensing GE.** 24: 99-106. 1986.

JONG van Lier, Q. Índices da disponibilidade de água para as plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R., **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.95-106.

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

KIJNE, J. W.; BARKER, R.; MOLDEN, D. **Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement.** Colombo, Sri Lanka, CAB International 2003. 95p.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera.** São Paulo, Nobel, 1984. ??p.

KLAR, A.E. O sistema solo-água. In: KLAR, A.E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera.** São Paulo, Nobel, 1984. p.57-81.

KLUTE, A., **Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods.** 2.ed. Madison, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, 1986. 1188p. (Agronomy Series, 9).

KRAVCHENKO, A.N.; BULLOCK, D.G. A comparative study of interpretation methods for mapping properties. **Agron. J.**, 91: 393-400, 1999.

LAL K. ALMAS; STEPHEN H. AMOSSON; THOMAS H. MAREK. Economic Feasibility Assessment of Variable Rate Applications (VRA) for the Northern Texas High Plains. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 27: 479-503, 1996.

- LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo, UNESP, 1998. 226p.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, O autor, 1995. 497p.
- MALLANTS, D.; MOHANTY, B.P.; JACQUES, D.; FEYEN, J. Spatial variability of hydraulic properties in a multi-layered soil profile. **Soil Sci.**, 161: 167-81, 1996.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Econ. Geol.**, 58: 1246-1266, 1963.
- MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications**. Paris, Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleu, 1971. 211p.
- McBRATNEY, A.B., WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties. **Soil Sci.**, 135: 177-183, 1983.
- McKEAGUE, J.A. **Manual on soil sampling and methods of analysis**. 2.ed. Ottawa, Canadian Society of Soil Science, 1978. 212p.
- MELLO, C.M. **Variabilidade espacial de atributos de um nitossolo vermelho distrófico de Botucatu/SP**. Botucatu, SP, 2001. 56p. Tese (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. 2001
- MOLDEN, D. J. **Accounting for water use and productivity**. Colombo, Sri Lanka, International Irrigation Management Institute, 1997. 26p. [<http://www.iwmi.cgiar.org/pubs/SWIM/SWIM01.PDF>]. Acessado em 18 fevereiro de 2005.
- MOLDEN, D.J.; Sakthivadivel R.; Habib, Z. **Basin-level use and productivity of water: Examples from South-Asia**. Research Report 49, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka. 2001. [<http://www.iwmi.cgiar.org/pubs/pub049/Report49.pdf>]. Acessado em 10 de janeiro de 2005.
- MOLIN, Jose Paulo. Tendências da agricultura de precisão no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. **Anais Piracicaba: ESALQ/USP**, 1-10, 2004.
- MOOLMAN, J.H.; HUYSSTEEN, L.V. A geostatistical analysis of the penetrometer soil strength of a deep ploughed soil. **Soil Tillage Res.**, 15: 11-24, 1989.
- MORAES, S.O.; LIBARDI, P.L. Variabilidade da água disponível de uma Terra Roxa Estruturada Latossólica. **Scientia Agricola**, 50: 404-412, 1993b.
- MORAES, S.O.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K. Heterogeneidade dos pontos experimentais de curva de retenção da água no solo. **Scientia Agricola**, 50: 393-403, 1993.
- MORAES, S.O.; LIBARDI, P.L. Problemas metodológicos na obtenção da curva de retenção da água pelo solo. **Scientia Agricola**, 50: 383-392, 1993.
- MORAN, M. S. Irrigation management in Arizona using satellites and airplanes. **Irrig. Sci.** 15: 35-44. 1994.

- MORAN, M.S.; T.R. Clarke; Y. Inoue; A. Vidal. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index." **Remote Sensing Environ.** 49: 246-263. 1994.
- MYERS, D.E. Interpolation and estimation with spatially located data. **Intell. Lab. Syst.**, 11, 209-28, 1991.
- MYERS, J.C. **Geostatistical error management: qualifying uncertainty for environmental sampling and mapping.** New York, Van Nostrand Reinhold, 1997. 571p.
- NESPAL. **Variable rate irrigation.** [<http://nepal.cpes.peachnet.edu/vri/home>]. Acessado em 10 fevereiro de 2005.
- PERRY, C. 2000. **Precision irrigation.** [<http://nepal.cpes.peachnet.edu.fsa>]. University of Georgia. Acessado em 10 November 2000.
- PERRY, C.; POCKNEE, S. **Enhancing Irrigation Efficiencies.** [<http://www.nepal.org/irreff/print.html>]. 02.01.2005]. Acessado 25 de Janeiro de 2005.
- PERRY, C.; POCKNEE, S.; HANSEN, O.; KVIEN, C.; VELLEDIS, G.; HART, E.; 2002, **Development and testing of a variable-rate pivot irrigation control system.** ASAE-CIGR Meeting Paper No. 022290. St. Joseph, MI: ASAE
- NETTO, A.M.; PIERITZ, R.A.; GAUDET, J.P. Field study on the local variability of soil water content and solute concentration. **J. Hidrol.**, 215: 23-37, 1999.
- NICOULLAUD, B.; BOURENNANE, H.; COUTURIER, A.; KING, D.; Effects of soil types and variable rate irrigation on mayze yield variability. 2002, Thailand, 17TH WCSS, SYMPOSIUM. 48, **paper.** 1230, Thailand, 2002.
- NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W.; ERH, K.T. Spatial variability of field-measured soil-water properties. **Hilgardia**, 42: 215-60, 1973.
- NIELSEN, D.R.; TILLOTSON, P.M.; VIEIRA, S.R. Analyzing field-measured soil-water properties. **Agric. Water Manag.**, 6: 93-109, 1983.
- OLIVEIRA, J.B. **Variação de características morfológicas, físicas e mineralógicas em duas áreas de oxossolo.** Piracicaba, 1973. 199p.. (Tese Doutorado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 1973.
- OLIVEIRA, J.J.; CHAVES, L.H.G.; QUEIROZ, J.E.; LUNA, J.G. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 23, 783-789, 1999.
- OLIVEIRA, L. F. C.; PINTO, J. P. Determinação da capacidade de campo e da condutividade hidráulica em função da umidade, pelo método do perfil instantâneo em colunas de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa, SBEA/UFV, 1995. p. 266.
- PAZ, A.; TABOADA, M.T.; GÓMEZ, M.J. Spatial variability in topsoil micronutrient contents in a one-hectare croplandplot. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 27: 479-503, 1996.

- PERRY, C.; POCKNEE, S.; HANSEN, O. Variable-rate irrigation. **Resource**, 10: 11-12. 2003.
- PERRY, C.; POCKNEE, S.; HANSEN, O.; KVIEN, C.; VELLEDIS, G.; HART, E.; 2002, Development and Testing of a Variable-Rate Pivot Irrigation Control System. ASAE-CIGR Meeting Paper No. 022290. St. Joseph, MI: ASAE
- PINTER JR., P. J. AND REGINATO, R. J. 1982. A thermal infrared technique for monitoring cotton water stress and scheduling irrigations. **Trans. ASAE** 25: 1651-1655.
- PUENTES, R.; WILDING, L.P.; DREES, L.R. Microspatial variability and sampling concepts in soil porosity studies of Vertisols. **Geoderma**, 53: 373-385, 1992.
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 12: 211-216, 1988.
- REICHARDT, K. O solo como um reservatório de água. In: **A água em sistemas agrícolas**. Piracicaba, Manole, 1990. p.27-69.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo planta atmosfera**. 4ª ed. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 473p.
- REICHARDT, K.; VIEIRA, SR.; LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 10: 1-6, 1986.
- RIBEIRO JÚNIOR, P.J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. Piracicaba, 1995. 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 1995.
- RICHARDS, L. Physical conditions of water in soil, water retentivity of soil at specific volume of matrix suction. In: BLACK, C. ; ESMINGER, L. E. Methods of soil analysis. Madison, **Am. Soc. Agron.**, 98: 131-137. 1966.
- RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils**. United States Salinity Laboratory Staff. Handbook n. 60. U. S. Dept. Agr. 1954.
- ROBERT, P.C.; RUST, R.H.; LARSON, W.E. (ed.). 1996, Third International Conference on Precision Agriculture, 1994. Bloomington / Minneapolis Proceedings Bloomington / Minneapolis, MN. March 27-30, 1994. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
- ROBERTSON, G. P., GS+: Geostatistics for the environment sciences. GS+ User's Guide Version 5: Plainwell, Gamma design software, 2000, 200p.
- ROSSI, R. E.; DUNGAN, J. L.; BECK, L. R. Kriging in the shadows: geostatistical interpolation for remote sensing. **Remote Sens. Environ**, 49: 32-40, 1994.
- ROUET, P. **Les données dans les systèmes d'information géographique**. Paris, Éditions Hermès, 1995. 288 p.
- RUIZ, H. A. Física dos Solos: Métodos de Análise. Notas de Aula. Universidade Federal de Viçosa. 2003.

RUIZ, H.A.; FERREIRA, G.; PEREIRA, J.B. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 27: 389-393, 2003.

SADLER, E.J., R.G. EVANS, G.W. BUCHLEITER, B.A. KING, AND C.R. CAMP. 2000. Design Considerations for Site Specific Irrigation. In EVANS, R.G., B.L. BENHAM, AND T.P. TROOIJEN. 2000. 4TH DECENIAL NATIONAL IRRIGATION SYMPOSIUM. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. St Joseph, **Proceedings...** St Joseph, MI, November 14-16. 2000, pp.304-315.

SADLER, J; EVANS, R.; BUCHLEITER, G.; KING, B.; CAMP, C.; Site-Specific, Variable-Rate Precision Irrigation: *Irrigation Journal*, 51: 20-24. 2001.

SADLER, J; EVANS, R.; BUCHLEITER, G.; KING, B.; CAMP, C.; Venturing into precision agriculture. **Irrigation Journal**. 50:15-17, 2000.

SALES, L.E.O. **Variabilidade espacial da velocidade de infiltração básica associada a propriedades físicas das camadas superficial e subsuperficial de dois solos da Região de Lavras (MG)**. Lavras, 1992. 104p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras. 1992.

OFFICER, S.J.; BOOKER, J.D.; BORDOVSKY, J.P.; SEGARRA, E., BYNUM, E.D.; LASCANO, R.J. Variable Rate Irrigation of Corn (Fields 5D and 5E). **Excerpt from the Helms Farm Research Report**, 2002. [<http://lubbock.tamu.edu/cotton/helms/2002annualreport/vr irrigationcorn.html>]. Acessado em 10 janeiro de 2005.

SALVIANO, A.A.C. **Variabilidade de atributos de solo e de Crotalaria juncea em solo degradado do Município de Piracicaba, SP**. Piracicaba, 1996. 91 p. (Tese Doutorado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 1996.

SANCHEZ, R.B. **Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de latossolos em diferentes superfícies geomórficas sob cultivo de café, em Patrocínio, MG**. Jaboticabal, 1999. 79p. Dissertação (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. 1999.

SILVA, A. P. da. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. Piracicaba, SP, 1988, 98 p. Tese (Doutorado em Solos) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1988.

SISSON, J.B.; WIERENGA, J. Spatial variability of steady-state infiltration rates as a stochastic process. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 45, 699-704, 1981.

SOUSA, J.R. **Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido paraibano**. Campina Grande, 1998. 65p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba. 1998.

SOUSA, J.R.; QUEIROZ, J.E.; GHEYI, H. Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial do semi-árido paraibano. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb**, 2: 140-144, 1999.

SOUSA, V.; PEREIRA, L.S. Regional analysis of irrigation water requirements using kriging application to potato crop (*Solanum tuberosum* L.) at Trás-os-Montes. **Agric. Water Manag.**,40: 221-33, 1999.

SOUZA, C.C.; OLIVEIRA, F.A.; SILVA, I.F.; AMORIM NETO, M.S. Avaliação o de métodos de determinação de água disponível em solo cultivado com algodão. **Pesq. Agropec. Bras.**, 37: 337-341, 2002

SOUZA, L.D.; REICHARDT, K. Estimativas de capacidade de campo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 20: 183-189, 1996.

SOUZA, L.S.; COGO, N.P.; VIEIRA, S.R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 21: 367-72, 1997.

SPIEGEL, M.R. **Estatística**. 2. ed. São Paulo, McGraw-Hill, 1985. 454p.

STEPHEN MAAS AND ROBERT J. LASCANO. On-pivot Remote Sensing System for Site Specific Cotton Management (Field 5). **Excerpt from the Helms Farm Research Report**, 2002. [<http://lubbock.tamu.edu/cotton/helms/2002annualreport/onpivotremote.html>]. Acessado em 10 de Janeiro de 2005.

SWINTON, S. M., LOWENBERG-DEBOER, J. Evaluating the profitability of site-specific farming. **Journal of Production Agriculture**, 11: 439-446, 1998.

TABOR, J.A.; WARRICK, A.W.; PENNINGTON, D.A.; MYERS, D.E. Spatial variability of nitrate in irrigated cotton: I. Petioles. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 48: 602-607, 1984.

TAKEDA, E.Y. **Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de uma associação de solos sob a videira (*Vitis vinífera*, L.) em Vitória** Ilha Solteira, SP. 2000. 102p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista. 2000.

TAYLOR, S.A; ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology. The physics of irrigated and nonirrigated soils**. San Francisco, W. H. Freeman, 1972. 533p.

TORRE NETO, A. Sistema de Irrigação de Precisão para Citricultura. **Comunicado Técnico**, São Carlos, SP, 45, EMBRAPA. 4p. Outubro. 2001.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Adv. Agron.**, 38: 45-94, 1985.

UTSET, A.; CASTELLANOS, A. Drainage effects on spatial variability of soil electrical conductivity in a vertisol. **Agric. Water Manag.**, 38: 213-22, 1999.

VACHAUD, G.; PASSERAT, DE Silans; BALABANIS, P.; VAUCLIN, M. Temporal Stability of Spatially measured soil water probability density function. **Soil Science Society America Journal**. 49: 822-828, 1985.

VALENTE, J.M.G.P. **Geomatemática: Lições de geoestatística**. Ouro Preto, Fundação Gorceix, v.8. 1989. 2210p.

VETTORI, L. Métodos de análise de solo. **Boletim Técnico**, Rio de Janeiro, 7, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo do Ministério da Agricultura, 24p. 1969.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). **Bragantia**. 56: 1-17, 1997.

VIEIRA, S. R.; GUIMARÃES, E. C.; DECHEN, S. C. F.; DE MARIA, I. C.; ROCHETE, P.; TOPP, G. C.; ZEBCHUK, W. Analisando simultaneamente variabilidade espacial e temporal usando variogramas tridimensionais. In: **XIII Congresso latino-americano de ciência do solo** -1996, Águas de Lindoia, **Resumos expandidos** em. Águas de Lindoia, SP: SBCS/ESALQ-USP, 1996. CD-ROOM. T01-053

VIEIRA, S.R. Curso de atualização em conservação do solo: uso de geoestatística. Campinas: Seção de Conservação do Solo, Instituto Agrônômico de Campinas, 1995. 2v. 71p. Apostila.

VIEIRA, S.R., CASTRO, O.M., TOPP, G.C. Spatial variability of soil physical properties in three soils of São Paulo, Brazil. **Rev. Pesqui. Agropecu. Bras.**,27: 333-341, 1992.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, 51: 1-75, 1983.

VIEIRA, S.R., TILLOTSON, P.M., BIGGAR, J.W., NIELSEN, D.R. Scaling of semivariograms and the kriging estimation of field-measured properties. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 21: 525-33, 1997

VIEIRA, S.R.; MARIA, I.C. de. Delineamento experimental e análise estatística na pesquisa de conservação do solo. IN: REUNIÓN SOBRE METODOLOGIA PARA INVESTIGACIÓN EN MANEJO DE SUELOS, Montevideo, **Resumos..** Montevideo IICA, p.3-11, 1995.

VOLTZ, M.; GOULARD, M. Spatial interpolation of soil moisture retention curves. **Geoderma**, 62: 109-23, 1994.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soilphysical properties in the field. In: **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, 385p. 1980.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. **Adv. Soil Sci.**, 3: 1-70, 1985.

WEBSTER, R.; OLIVER, A. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. **J. Soil Sci.**, 43: 177-92, 1992.

WHITNEY, M., MEANS, T. H. An electrical method of determining the soluble salt content of soils. U. S. Dept. Agr., Div.soils Bul. 8, 30 pp.,. 1897.

YOST, R.S.; UEHARA, G.; FOX, R.L. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas. II. Kriging. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 46: 1033-1037, 1982.

ZHANG, R.; RAHMAN, S.; VANCE, G.F.; MUNN, L.C. Geostatistical analyses of trace elements in soils and plants. **Soil Sci.**, 159: 383-390, 1995.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. Botucatu, 2001. 114p. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. 2001.

ZIMMERMAN, D.L. Another look at anisotropy in geostatistics. **Math. Geol.**, 25, 453-70, 1993. TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, 38: 45-94, 1985.

ANEXOS

ANEXO A

Quadrante 1 (0 – 22 cm)

Nonlinear Regression

```
[Variables]
x = col(1)
y = col(2)
reciprocal_y=1/abs(y)
reciprocal_ysquare=1/y^2
'Automatic Initial Parameter Estimate Functions
xnear0(q)=max(abs(q))-abs(q)
yatxnear0(q;r)=xatymax(q;xnear0(r))
[Parameters]
a = yatxnear0(y;x)/2 "Auto {{previous: 5.64962}}
b = -ln(.5)/(0.5*(x50(x;y)-min(x))) "Auto {{previous: 0.0726458}}
c = yatxnear0(y;x)/2 "Auto {{previous: 35.8536}}
d = -ln(.5)/(1.5*(x50(x;y)-min(x))) "Auto {{previous: 6.59054e-005}}
[Equation]
f=a*exp(-b*x)+c*exp(-d*x)
fit f to y
"fit f to y with weight reciprocal_y
"fit f to y with weight reciprocal_ysquare
[Constraints]
b>0
d>0
[Options]
tolerance=1e-6
stepsize=0.1
iterations=100
```

R = 0.93456339 Rsqr = 0.87340874 Adj Rsqr = 0.84967287

Standard Error of Estimate = 0.6482

	Coefficient	Std. Error	t	P
a	5.6496	0.7167	7.8823	<0.0001
b	0.0726	0.0245	2.9675	0.0091
c	35.8536	0.4769	75.1769	<0.0001
d	0.0001	0.0001	0.8012	0.4348

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	46.3850	15.4617	36.7970	<0.0001
Residual	16	6.7230	0.4202		
Total	19	53.1080	2.7952		

PRESS = 39.4685

Durbin-Watson Statistic = 1.7683

Normality Test: Passed (P = 0.8228)

Constant Variance Test: Passed (P = 0.0633)

Power of performed test with alpha = 0.0500: 1.0000

Regression Diagnostics:

Row	Predicted	Residual	Std. Res.	Stud. Res.	Stud. Del. Res.
1	41.5033	-0.6033	-0.9306	-2.7182	-3.5876
2	39.4057	1.2943	1.9967	2.7408	3.6435
3	36.8861	-0.5861	-0.9041	-1.1745	-1.1897
4	36.4050	-1.1050	-1.7047	-1.9640	-2.1829
5	35.9259	0.2741	0.4228	0.4574	0.4458
6	35.8324	0.5676	0.8757	0.9494	0.9463
7	35.7159	0.0841	0.1298	0.1410	0.1366
8	35.6908	0.2092	0.3228	0.3497	0.3399
9	35.6360	-0.1360	-0.2097	-0.2240	-0.2172
11	35.5767	-0.5767	-0.8896	-0.9317	-0.9276
12	35.5677	-0.7677	-1.1843	-1.2374	-1.2599
13	35.5184	0.3816	0.5887	0.6101	0.5977
14	35.5039	0.6961	1.0738	1.1120	1.1208
15	35.4611	0.7389	1.1398	1.1835	1.1996
16	35.4475	0.4525	0.6980	0.7265	0.7153
17	35.4064	0.0936	0.1444	0.1520	0.1473
18	35.3921	-0.1921	-0.2964	-0.3140	-0.3050
19	35.3502	-0.2502	-0.3859	-0.4181	-0.4071
21	35.2919	-0.0919	-0.1417	-0.1609	-0.1559
22	35.2832	-0.4832	-0.7454	-0.8535	-0.8459

Influence Diagnostics:

Row	Cook'sDist	Leverage	DFBETS
1	13.9121	0.8828	-9.8456
2	1.6607	0.4693	3.4263
3	0.2372	0.4075	-0.9866
4	0.3158	0.2467	-1.2491
5	0.0089	0.1454	0.1839
6	0.0395	0.1492	0.3963
7	0.0009	0.1533	0.0582
8	0.0053	0.1483	0.1419
9	0.0018	0.1233	-0.0815
11	0.0210	0.0883	-0.2887
12	0.0351	0.0840	-0.3814
13	0.0069	0.0688	0.1624
14	0.0224	0.0675	0.3014
15	0.0273	0.0724	0.3352
16	0.0110	0.0768	0.2063
17	0.0006	0.0984	0.0487
18	0.0030	0.1088	-0.1065
19	0.0076	0.1480	-0.1697
21	0.0019	0.2239	-0.0837
22	0.0567	0.2374	-0.4719

95% Confidence:

Row	Predicted	Regr. 5%	Regr. 95%	Pop. 5%	Pop. 95%
1	41.5033	40.2121	42.7944	39.6177	43.3888
2	39.4057	38.4644	40.3471	37.7400	41.0714
3	36.8861	36.0089	37.7632	35.2558	38.5163
4	36.4050	35.7225	37.0875	34.8707	37.9393
5	35.9259	35.4020	36.4499	34.4553	37.3966
6	35.8324	35.3015	36.3632	34.3592	37.3055
7	35.7159	35.1778	36.2540	34.2401	37.1916
8	35.6908	35.1615	36.2200	34.2182	37.1633
9	35.6360	35.1534	36.1185	34.1795	37.0924
11	35.5767	35.1684	35.9850	34.1431	37.0102
12	35.5677	35.1696	35.9659	34.1370	36.9984
13	35.5184	35.1580	35.8787	34.0978	36.9390
14	35.5039	35.1470	35.8608	34.0842	36.9237
15	35.4611	35.0913	35.8310	34.0381	36.8842
16	35.4475	35.0667	35.8284	34.0216	36.8735
17	35.4064	34.9754	35.8374	33.9663	36.8466
18	35.3921	34.9389	35.8454	33.9452	36.8391
19	35.3502	34.8215	35.8788	33.8778	36.8225
21	35.2919	34.6417	35.9421	33.7716	36.8121
22	35.2832	34.6136	35.9527	33.7546	36.8117

Quadrante 1 (22 – 51 cm)

Nonlinear Regression

[Variables]

x = col(1)

y = col(2)

reciprocal_y=1/abs(y)

reciprocal_ysquare=1/y^2

'Automatic Initial Parameter Estimate Functions

xnear0(q)=max(abs(q))-abs(q)

yatxnear0(q,r)=xatymax(q,xnear0(r))

[Parameters]

a = yatxnear0(y,x)/2 "Auto {{previous: 4.24129}}

b = -ln(.5)/(0.5*(x50(x,y)-min(x))) "Auto {{previous: 0.127489}}

c = yatxnear0(y,x)/2 "Auto {{previous: 37.185}}

d = -ln(.5)/(1.5*(x50(x,y)-min(x))) "Auto {{previous: 0.000309079}}

[Equation]

f=a*exp(-b*x)+c*exp(-d*x)

fit f to y

"fit f to y with weight reciprocal_y

"fit f to y with weight reciprocal_ysquare

[Constraints]

b>0

d>0

[Options]

tolerance=1e-6

stepsize=0.1

iterations=100

R = 0.97659480 Rsqr = 0.95373741 Adj Rsqr = 0.94448490

Standard Error of Estimate = 0.3861

	Coefficient	Std. Error	t	P
a	4.2413	0.4347	9.7562	<0.0001
b	0.1275	0.0360	3.5384	0.0030
c	37.1850	0.2350	158.2140	<0.0001
d	0.0003	0.0000	6.7894	<0.0001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	46.1017	15.3672	103.0787	<0.0001
Residual	15	2.2362	0.1491		
Total	18	48.3379	2.6854		

PRESS = 6.1387

Durbin-Watson Statistic = 2.1793

Normality Test: Passed (P = 0.8055)

Constant Variance Test: Passed (P = 0.4307)

Power of performed test with alpha = 0.0500: 1.0000

Regression Diagnostics:

Row	Predicted	Residual	Std. Res.	Stud. Res.	Stud. Del. Res.
1	41.4263	-0.0263	-0.0682	-0.5396	-0.5264
2	39.0048	0.0952	0.2466	0.6343	0.6212
3	37.1598	-0.4598	-1.1909	-1.3563	-1.3989
4	36.9264	0.3736	0.9677	1.0610	1.0658
5	36.6572	0.4428	1.1468	1.2531	1.2795
6	36.5674	0.5326	1.3794	1.4973	1.5685
7	36.3714	-0.6714	-1.7389	-1.8509	-2.0357
8	36.3038	-0.4038	-1.0457	-1.1062	-1.1151
9	36.1108	0.2892	0.7491	0.7815	0.7709
10	36.0470	-0.0470	-0.1216	-0.1265	-0.1223
11	35.8519	-0.2519	-0.6525	-0.6746	-0.6618
12	35.8109	0.1891	0.4899	0.5062	0.4932
14	35.5139	-0.3139	-0.8130	-0.8439	-0.8353
15	35.3140	-0.2140	-0.5544	-0.5816	-0.5683
16	35.2506	-0.0506	-0.1310	-0.1381	-0.1335
17	35.0593	0.5407	1.4003	1.5037	1.5764
18	34.9931	-0.2931	-0.7591	-0.8217	-0.8123
19	34.7988	0.0012	0.0030	0.0033	0.0032
20	34.7323	0.2677	0.6932	0.7809	0.7703

Influence Diagnostics:

Row	Cook'sDist	Leverage	DFFITs
1	4.4855	0.9840	-4.1325
2	0.5649	0.8489	1.4721
3	0.1366	0.2290	-0.7623
4	0.0570	0.1683	0.4795
5	0.0762	0.1625	0.5636
6	0.0999	0.1513	0.6622
7	0.1139	0.1174	-0.7425
8	0.0364	0.1064	-0.3847
9	0.0135	0.0812	0.2291
10	0.0003	0.0752	-0.0349
11	0.0078	0.0643	-0.1735
12	0.0043	0.0634	0.1284
14	0.0138	0.0717	-0.2322
15	0.0085	0.0915	-0.1804
16	0.0005	0.1001	-0.0445
17	0.0866	0.1329	0.6170
18	0.0290	0.1465	-0.3366
19	0.0000	0.1935	0.0016
20	0.0410	0.2119	0.3994

95% Confidence:

Row	Predicted	Regr. 5%	Regr. 95%	Pop. 5%	Pop. 95%
1	41.4263	40.6099	42.2427	40.2671	42.5855
2	39.0048	38.2466	39.7630	37.8858	40.1238
3	37.1598	36.7660	37.5536	36.2475	38.0722
4	36.9264	36.5888	37.2640	36.0368	37.8159
5	36.6572	36.3255	36.9889	35.7699	37.5445
6	36.5674	36.2473	36.8875	35.6844	37.4504
7	36.3714	36.0894	36.6534	35.5014	37.2414
8	36.3038	36.0354	36.5722	35.4381	37.1694
9	36.1108	35.8763	36.3452	35.2550	36.9665
10	36.0470	35.8213	36.2726	35.1936	36.9003
11	35.8519	35.6432	36.0607	35.0029	36.7010
12	35.8109	35.6036	36.0182	34.9622	36.6595
14	35.5139	35.2935	35.7343	34.6619	36.3659
15	35.3140	35.0651	35.5630	34.4542	36.1739
16	35.2506	34.9902	35.5110	34.3874	36.1138
17	35.0593	34.7594	35.3593	34.1834	35.9353
18	34.9931	34.6781	35.3081	34.1119	35.8743
19	34.7988	34.4368	35.1609	33.8998	35.6979
20	34.7323	34.3535	35.1112	33.8263	35.6383

Quadrante 2 (0 – 22 cm)

Nonlinear Regression

[Variables]

x = col(1)

y = col(2)

reciprocal_y=1/abs(y)

reciprocal_ysquare=1/y^2

'Automatic Initial Parameter Estimate Functions

xnear0(q)=max(abs(q))-abs(q)

yatxnear0(q,r)=xatymax(q,xnear0(r))

[Parameters]

a = yatxnear0(y,x)/2 "Auto {{previous: 4.7503}}

b = -ln(.5)/(0.5*(x50(x,y)-min(x))) "Auto {{previous: 0.0538205}}

c = yatxnear0(y,x)/2 "Auto {{previous: 36.7561}}

d = -ln(.5)/(1.5*(x50(x,y)-min(x))) "Auto {{previous: 9.75473e-005}}

[Equation]

f=a*exp(-b*x)+c*exp(-d*x)

fit f to y

"fit f to y with weight reciprocal_y

"fit f to y with weight reciprocal_ysquare

[Constraints]

b>0

d>0

[Options]

tolerance=1e-6

stepsize=0.1

iterations=100

R = 0.98026701 Rsqr = 0.96092342 Adj Rsqr = 0.95402755

Standard Error of Estimate = 0.3133

	Coefficient	Std. Error	t	P
a	4.7503	0.3541	13.4160	<0.0001
b	0.0538	0.0099	5.4347	<0.0001
c	36.7561	0.2683	136.9887	<0.0001
d	0.0001	0.0000	2.2167	0.0406

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	41.0241	13.6747	139.3477	<0.0001
Residual	17	1.6683	0.0981		
Total	20	42.6924	2.1346		

PRESS = 2.6488

Durbin-Watson Statistic = 1.4872

Normality Test: Passed (P = 0.4840)

Constant Variance Test: Passed (P = 0.5201)

Power of performed test with alpha = 0.0500: 1.0000

Regression Diagnostics:

Row	Predicted	Residual	Std. Res.	Stud. Res.	Stud. Del. Res.
1	41.5064	-0.1064	-0.3397	-0.7725	-0.7629
2	40.1364	0.1636	0.5221	0.6536	0.6422
3	38.0812	-0.0812	-0.2591	-0.3347	-0.3258
4	37.5820	0.2180	0.6960	0.8315	0.8236
5	36.9642	-0.3642	-1.1625	-1.2587	-1.2823
6	36.8155	-0.0155	-0.0493	-0.0529	-0.0513
7	36.6010	0.3990	1.2736	1.3675	1.4063
8	36.5520	-0.3520	-1.1237	-1.2078	-1.2255
9	36.4471	-0.2471	-0.7888	-0.8442	-0.8367
10	36.4194	-0.5194	-1.6580	-1.7683	-1.8990
11	36.3437	0.1563	0.4990	0.5255	0.5140
12	36.3293	0.3707	1.1832	1.2428	1.2645
13	36.2510	0.1490	0.4758	0.4944	0.4831
14	36.2283	-0.0283	-0.0903	-0.0937	-0.0909
15	36.1632	0.0368	0.1176	0.1221	0.1185
16	36.1427	0.3573	1.1405	1.1865	1.2019
17	36.0803	0.3197	1.0206	1.0745	1.0797
18	36.0588	0.3412	1.0891	1.1536	1.1657
19	35.9954	-0.0954	-0.3044	-0.3307	-0.3219
21	35.9077	-0.2077	-0.6629	-0.7605	-0.7507
22	35.8946	-0.4946	-1.5788	-1.8304	-1.9817

Influence Diagnostics:

Row	Cook'sDist	Leverage	DFFITs
1	0.6221	0.8066	-1.5579
2	0.0606	0.3619	0.4836
3	0.0187	0.4006	-0.2663
4	0.0738	0.2993	0.5383
5	0.0682	0.1469	-0.5321
6	0.0001	0.1301	-0.0198
7	0.0715	0.1326	0.5499
8	0.0566	0.1344	-0.4828
9	0.0259	0.1269	-0.3189
10	0.1075	0.1209	-0.7043
11	0.0075	0.0982	0.1696
12	0.0399	0.0936	0.4064
13	0.0049	0.0737	0.1362
14	0.0002	0.0708	-0.0251
15	0.0003	0.0722	0.0331
16	0.0289	0.0760	0.3446
17	0.0313	0.0977	0.3553
18	0.0406	0.1088	0.4073
19	0.0049	0.1526	-0.1366
21	0.0457	0.2402	-0.4221
22	0.2881	0.2560	-1.1623

95% Confidence:

Row	Predicted	Regr. 5%	Regr. 95%	Pop. 5%	Pop. 95%
1	41.5064	40.9129	42.1000	40.6181	42.3948
2	40.1364	39.7389	40.5340	39.3651	40.9077
3	38.0812	37.6629	38.4995	37.2990	38.8634
4	37.5820	37.2204	37.9436	36.8286	38.3353
5	36.9642	36.7108	37.2175	36.2564	37.6720
6	36.8155	36.5771	37.0538	36.1128	37.5181
7	36.6010	36.3603	36.8417	35.8976	37.3044
8	36.5520	36.3098	36.7943	35.8481	37.2560
9	36.4471	36.2117	36.6825	35.7455	37.1487
10	36.4194	36.1895	36.6492	35.7196	37.1191
11	36.3437	36.1365	36.5508	35.6511	37.0363
12	36.3293	36.1271	36.5316	35.6382	37.0205
13	36.2510	36.0715	36.4304	35.5661	36.9358
14	36.2283	36.0525	36.4041	35.5444	36.9122
15	36.1632	35.9855	36.3408	35.4788	36.8475
16	36.1427	35.9605	36.3249	35.4571	36.8283
17	36.0803	35.8737	36.2869	35.3878	36.7727
18	36.0588	35.8408	36.2769	35.3629	36.7548
19	35.9954	35.7371	36.2536	35.2858	36.7049
21	35.9077	35.5837	36.2316	35.1716	36.6437
22	35.8946	35.5602	36.2290	35.1539	36.6353

Quadrante 2 (22 – 51 cm)

Nonlinear Regression

```
[Variables]
x = col(1)
y = col(2)
reciprocal_y=1/abs(y)
reciprocal_ysquare=1/y^2
'Automatic Initial Parameter Estimate Functions
xnear0(q)=max(abs(q))-abs(q)
yatxnear0(q,r)=xatymax(q,xnear0(r))
[Parameters]
a = yatxnear0(y,x)/2 "Auto {{previous: 2.4911}}
b = -ln(.5)/(0.5*(x50(x,y)-min(x))) "Auto {{previous: 0.0532995}}
c = yatxnear0(y,x)/2 "Auto {{previous: 37.8563}}
d = -ln(.5)/(1.5*(x50(x,y)-min(x))) "Auto {{previous: 0.000317616}}
[Equation]
f=a*exp(-b*x)+c*exp(-d*x)
fit f to y
"fit f to y with weight reciprocal_y
"fit f to y with weight reciprocal_ysquare
[Constraints]
b>0
d>0
[Options]
tolerance=1e-6
stepsize=0.1
iterations=100
```

R = 0.96001850 Rsqr = 0.92163551 Adj Rsqr = 0.90780648

Standard Error of Estimate = 0.4413

	Coefficient	Std. Error	t	P
a	2.4911	0.5059	4.9242	0.0001
b	0.0533	0.0264	2.0208	0.0593
c	37.8563	0.3912	96.7631	<0.0001
d	0.0003	0.0001	5.0931	<0.0001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	38.9360	12.9787	66.6450	<0.0001
Residual	17	3.3106	0.1947		
Total	20	42.2467	2.1123		

PRESS = 10.4059

Durbin-Watson Statistic = 2.6167

Normality Test: Failed (P = 0.0301)

Constant Variance Test: Passed (P = 0.2711)

Power of performed test with alpha = 0.0500: 1.0000

Regression Diagnostics:

Row	Predicted	Residual	Std. Res.	Stud. Res.	Stud. Del. Res.
1	40.3474	-0.4474	-1.0139	-2.2883	-2.6687
2	39.5719	0.8281	1.8764	2.3448	2.7656
3	38.3314	-0.5314	-1.2042	-1.5530	-1.6264
4	37.9923	0.2077	0.4707	0.5628	0.5511
5	37.4966	-0.1966	-0.4455	-0.4827	-0.4716
6	37.3446	-0.4446	-1.0075	-1.0807	-1.0865
7	37.0600	0.5400	1.2237	1.3142	1.3451
8	36.9748	-0.0748	-0.1695	-0.1822	-0.1769
9	36.7504	-0.2504	-0.5674	-0.6074	-0.5958
10	36.6802	0.1198	0.2714	0.2896	0.2816
11	36.4682	0.2318	0.5253	0.5534	0.5418
12	36.4253	0.4747	1.0756	1.1302	1.1401
13	36.1824	-0.4824	-1.0931	-1.1361	-1.1465
14	36.1105	-0.4105	-0.9302	-0.9652	-0.9632
15	35.9022	0.2978	0.6749	0.7008	0.6899
16	35.8366	-0.2366	-0.5361	-0.5577	-0.5461
17	35.6361	0.3639	0.8247	0.8679	0.8613
18	35.5673	0.6327	1.4337	1.5179	1.5839
20	35.2950	-0.1950	-0.4419	-0.4845	-0.4733
21	35.0843	-0.1843	-0.4177	-0.4770	-0.4659
22	35.0428	-0.2428	-0.5502	-0.6345	-0.6230

Influence Diagnostics:

Row	Cook'sDist	Leverage	DFBETS
1	5.3592	0.8037	-5.3997
2	0.7720	0.3596	2.0725
3	0.3998	0.3987	-1.3244
4	0.0340	0.3005	0.3613
5	0.0102	0.1485	-0.1969
6	0.0440	0.1309	-0.4217
7	0.0662	0.1329	0.5266
8	0.0013	0.1347	-0.0698
9	0.0135	0.1275	-0.2278
10	0.0029	0.1216	0.1048
11	0.0084	0.0989	0.1795
12	0.0332	0.0943	0.3678
13	0.0258	0.0742	-0.3245
14	0.0179	0.0712	-0.2667
15	0.0096	0.0724	0.1928
16	0.0064	0.0761	-0.1567
17	0.0203	0.0972	0.2825
18	0.0697	0.1079	0.5508
20	0.0118	0.1679	-0.2126
21	0.0173	0.2333	-0.2570
22	0.0332	0.2481	-0.3578

95% Confidence:

Row	Predicted	Regr. 5%	Regr. 95%	Pop. 5%	Pop. 95%
1	40.3474	39.5127	41.1821	39.0970	41.5978
2	39.5719	39.0136	40.1303	38.4863	40.6576
3	38.3314	37.7435	38.9193	37.2303	39.4325
4	37.9923	37.4819	38.5027	36.9305	39.0541
5	37.4966	37.1378	37.8553	36.4988	38.4944
6	37.3446	37.0077	37.6815	36.3545	38.3347
7	37.0600	36.7206	37.3994	36.0690	38.0510
8	36.9748	36.6331	37.3165	35.9830	37.9666
9	36.7504	36.4179	37.0828	35.7618	37.7390
10	36.6802	36.3556	37.0049	35.6942	37.6663
11	36.4682	36.1754	36.7610	35.4921	37.4442
12	36.4253	36.1395	36.7112	35.4514	37.3993
13	36.1824	35.9288	36.4360	35.2174	37.1474
14	36.1105	35.8621	36.3590	35.1469	37.0741
15	35.9022	35.6516	36.1528	34.9380	36.8664
16	35.8366	35.5798	36.0934	34.8707	36.8024
17	35.6361	35.3459	35.9263	34.6608	36.6113
18	35.5673	35.2615	35.8731	34.5873	36.5473
20	35.2950	34.9135	35.6765	34.2889	36.3012
21	35.0843	34.6347	35.5340	34.0504	36.1183
22	35.0428	34.5791	35.5065	34.0026	36.0829

Quadrante 3 (0 – 22 cm)

Nonlinear Regression

```
[Variables]
x = col(1)
y = col(2)
reciprocal_y=1/abs(y)
reciprocal_ysquare=1/y^2
'Automatic Initial Parameter Estimate Functions
xnear0(q)=max(abs(q))-abs(q)
yatxnear0(q,r)=xatymax(q,xnear0(r))
[Parameters]
a = yatxnear0(y,x)/2 "Auto {{previous: 3.59959}}
b = -ln(.5)/(0.5*(x50(x,y)-min(x))) "Auto {{previous: 0.0492338}}
c = yatxnear0(y,x)/2 "Auto {{previous: 33.453}}
d = -ln(.5)/(1.5*(x50(x,y)-min(x))) "Auto {{previous: 0.000162642}}
[Equation]
f=a*exp(-b*x)+c*exp(-d*x)
fit f to y
"fit f to y with weight reciprocal_y
"fit f to y with weight reciprocal_ysquare
[Constraints]
b>0
d>0
[Options]
tolerance=1e-6
stepsize=0.1
iterations=100
```

R = 0.97381835 Rsqr = 0.94832217 Adj Rsqr = 0.93863258

Standard Error of Estimate = 0.3228

	Coefficient	Std. Error	t	P
a	3.5996	0.3865	9.3128	<0.0001
b	0.0492	0.0127	3.8870	0.0013
c	33.4530	0.3190	104.8727	<0.0001
d	0.0002	0.0001	2.7559	0.0141

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	30.5981	10.1994	97.8702	<0.0001
Residual	16	1.6674	0.1042		
Total	19	32.2655	1.6982		

PRESS = 3.1913

Durbin-Watson Statistic = 2.7380

Normality Test: Passed (P = 0.2071)

Constant Variance Test: Passed (P = 0.0932)

Power of performed test with alpha = 0.0500: 1.0000

Regression Diagnostics:

Row	Predicted	Residual	Std. Res.	Stud. Res.	Stud. Del. Res.
1	37.0526	-0.0526	-0.1629	-0.3507	-0.3408
2	36.0883	0.2117	0.6556	0.8128	0.8037
3	34.5230	-0.7230	-2.2395	-2.8661	-3.9783
4	34.1038	0.4962	1.5370	1.8456	2.0143
5	33.5541	0.2459	0.7616	0.8293	0.8208
6	33.4059	-0.1059	-0.3281	-0.3527	-0.3429
7	33.1733	0.3267	1.0120	1.0877	1.0945
8	33.1133	0.0867	0.2687	0.2892	0.2808
9	32.9762	-0.2762	-0.8556	-0.9187	-0.9139
10	32.9380	-0.5380	-1.6665	-1.7839	-1.9298
11	32.8284	0.2716	0.8414	0.8891	0.8830
12	32.8077	-0.1077	-0.3336	-0.3516	-0.3418
13	32.6905	0.1095	0.3390	0.3534	0.3435
14	32.6567	-0.0567	-0.1758	-0.1830	-0.1774
15	32.5588	0.0412	0.1276	0.1333	0.1291
16	32.5284	0.2716	0.8415	0.8821	0.8757
17	32.4344	-0.3344	-1.0359	-1.1064	-1.1147
18	32.4024	0.0976	0.3022	0.3258	0.3165
19	32.3074	-0.0074	-0.0228	-0.0256	-0.0248
22	32.1567	0.0433	0.1341	0.1661	0.1609

Influence Diagnostics:

Row	Cook'sDist	Leverage	DFBETS
1	0.1116	0.7841	-0.6495
2	0.0886	0.3493	0.5888
3	1.3100	0.3895	-3.1774
4	0.3763	0.3065	1.3389
5	0.0319	0.1566	0.3537
6	0.0049	0.1351	-0.1355
7	0.0459	0.1344	0.4312
8	0.0033	0.1370	0.1119
9	0.0323	0.1326	-0.3574
10	0.1160	0.1273	-0.7370
11	0.0231	0.1045	0.3016
12	0.0034	0.0998	-0.1138
13	0.0027	0.0796	0.1010
14	0.0007	0.0774	-0.0514
15	0.0004	0.0837	0.0390
16	0.0192	0.0900	0.2754
17	0.0430	0.1233	-0.4180
18	0.0043	0.1395	0.1274
19	0.0000	0.2025	-0.0125
22	0.0037	0.3476	0.1175

95% Confidence:

Row	Predicted	Regr. 5%	Regr. 95%	Pop. 5%	Pop. 95%
1	37.0526	36.4466	37.6586	36.1385	37.9667
2	36.0883	35.6839	36.4928	35.2934	36.8833
3	34.5230	34.0959	34.9500	33.7163	35.3296
4	34.1038	33.7250	34.4827	33.3216	34.8860
5	33.5541	33.2833	33.8250	32.8182	34.2901
6	33.4059	33.1544	33.6574	32.6768	34.1350
7	33.1733	32.9224	33.4242	32.4444	33.9022
8	33.1133	32.8599	33.3666	32.3835	33.8430
9	32.9762	32.7270	33.2254	32.2479	33.7045
10	32.9380	32.6938	33.1821	32.2114	33.6646
11	32.8284	32.6072	33.0496	32.1092	33.5476
12	32.8077	32.5915	33.0239	32.0900	33.5254
13	32.6905	32.4975	32.8836	31.9795	33.4016
14	32.6567	32.4664	32.8471	31.9464	33.3671
15	32.5588	32.3608	32.7568	31.8464	33.2712
16	32.5284	32.3231	32.7337	31.8139	33.2428
17	32.4344	32.1941	32.6747	31.7091	33.1597
18	32.4024	32.1469	32.6580	31.6719	33.1330
19	32.3074	31.9994	32.6153	31.5569	33.0578
22	32.1567	31.7532	32.5602	31.3623	32.9511

Quadrante 3 (22 - 51 cm)

Nonlinear Regression

```
[Variables]
x = col(1)
y = col(2)
reciprocal_y=1/abs(y)
reciprocal_ysquare=1/y^2
'Automatic Initial Parameter Estimate Functions
xnear0(q)=max(abs(q))-abs(q)
yatxnear0(q,r)=xatymax(q,xnear0(r))
[Parameters]
a = yatxnear0(y,x)/2 "Auto {{previous: 2.85668}}
b = -ln(.5)/(0.5*(x50(x,y)-min(x))) "Auto {{previous: 0.130436}}
c = yatxnear0(y,x)/2 "Auto {{previous: 33.4413}}
d = -ln(.5)/(1.5*(x50(x,y)-min(x))) "Auto {{previous: 0.000167004}}
[Equation]
f=a*exp(-b*x)+c*exp(-d*x)
fit f to y
"fit f to y with weight reciprocal_y
"fit f to y with weight reciprocal_ysquare
[Constraints]
b>0
d>0
[Options]
tolerance=1e-6
stepsize=0.1
iterations=100
```

R = 0.91043595 Rsqr = 0.82889362 Adj Rsqr = 0.79869838

Standard Error of Estimate = 0.4657

	Coefficient	Std. Error	t	P
a	2.8567	0.5150	5.5465	<0.0001
b	0.1304	0.0653	1.9968	0.0621
c	33.4413	0.2622	127.5463	<0.0001
d	0.0002	0.0001	3.1634	0.0057

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	17.8623	5.9541	27.4511	<0.0001
Residual	17	3.6873	0.2169		
Total	20	21.5495	1.0775		

PRESS = 4.6328

Durbin-Watson Statistic = 2.3318

Normality Test: Passed (P = 0.7779)

Constant Variance Test: Failed (P = 0.0334)

Power of performed test with alpha = 0.0500: 1.0000

Regression Diagnostics:

Row	Predicted	Residual	Std. Res.	Stud. Res.	Stud. Del. Res.
1	36.2979	0.0021	0.0044	0.0342	0.0332
2	34.6999	0.0001	0.0003	0.0008	0.0008
3	33.4689	-0.1689	-0.3627	-0.4114	-0.4011
4	33.3289	0.3711	0.7969	0.8678	0.8611
5	33.1860	-0.0860	-0.1847	-0.2003	-0.1946
6	33.1413	-0.2413	-0.5181	-0.5589	-0.5473
7	33.0448	0.5552	1.1920	1.2645	1.2889
8	33.0113	-0.2113	-0.4538	-0.4787	-0.4676
9	32.9169	0.6831	1.4667	1.5277	1.5957
10	32.8861	0.1139	0.2445	0.2538	0.2467
11	32.7891	0.1109	0.2381	0.2455	0.2386
12	32.7697	-0.7697	-1.6527	-1.7031	-1.8143
13	32.6555	-0.3555	-0.7634	-0.7860	-0.7767
14	32.6217	-0.6217	-1.3350	-1.3758	-1.4158
15	32.5227	0.0773	0.1659	0.1720	0.1670
16	32.4917	0.5083	1.0914	1.1348	1.1452
17	32.3958	-0.5958	-1.2793	-1.3465	-1.3820
18	32.3631	0.4369	0.9381	0.9925	0.9920
19	32.2658	-0.5658	-1.2148	-1.3102	-1.3405
21	32.1313	0.1687	0.3623	0.4052	0.3950
22	32.1113	0.5887	1.2640	1.4230	1.4709

Influence Diagnostics:

Row	Cook'sDist	Leverage	DFBETS
1	0.0171	0.9832	0.2539
2	0.0000	0.8494	0.0019
3	0.0121	0.2227	-0.2147
4	0.0350	0.1567	0.3712
5	0.0018	0.1501	-0.0818
6	0.0128	0.1407	-0.2214
7	0.0501	0.1114	0.4563
8	0.0065	0.1015	-0.1571
9	0.0496	0.0783	0.4651
10	0.0013	0.0725	0.0690
11	0.0010	0.0598	0.0602
12	0.0449	0.0583	-0.4515
13	0.0093	0.0566	-0.1903
14	0.0294	0.0584	-0.3528
15	0.0006	0.0697	0.0457
16	0.0261	0.0751	0.3263
17	0.0488	0.0972	-0.4535
18	0.0294	0.1066	0.3427
19	0.0700	0.1403	-0.5416
21	0.0103	0.2006	0.1979
22	0.1353	0.2109	0.7604

95% Confidence:

Row	Predicted	Regr. 5%	Regr. 95%	Pop. 5%	Pop. 95%
1	36.2979	35.3236	37.2722	34.9142	37.6817
2	34.6999	33.7943	35.6054	33.3636	36.0361
3	33.4689	33.0052	33.9326	32.3824	34.5554
4	33.3289	32.9399	33.7178	32.2721	34.3856
5	33.1860	32.8053	33.5667	32.1322	34.2398
6	33.1413	32.7728	33.5098	32.0919	34.1907
7	33.0448	32.7169	33.3727	32.0090	34.0807
8	33.0113	32.6983	33.3243	31.9801	34.0426
9	32.9169	32.6420	33.1919	31.8966	33.9373
10	32.8861	32.6217	33.1506	31.8686	33.9037
11	32.7891	32.5489	33.0294	31.7776	33.8007
12	32.7697	32.5324	33.0070	31.7589	33.7805
13	32.6555	32.4217	32.8894	31.6455	33.6656
14	32.6217	32.3842	32.8593	31.6108	33.6326
15	32.5227	32.2632	32.7822	31.5064	33.5390
16	32.4917	32.2224	32.7610	31.4729	33.5105
17	32.3958	32.0895	32.7022	31.3666	33.4251
18	32.3631	32.0423	32.6839	31.3295	33.3968
19	32.2658	31.8977	32.6338	31.2165	33.3150
21	32.1313	31.6912	32.5714	31.0546	33.2079
22	32.1113	31.6601	32.5626	31.0301	33.1926

Quadrante 4 (0 – 22 cm)

Nonlinear Regression

```
[Variables]
x = col(1)
y = col(2)
reciprocal_y=1/abs(y)
reciprocal_ysquare=1/y^2
'Automatic Initial Parameter Estimate Functions
xnear0(q)=max(abs(q))-abs(q)
yatxnear0(q,r)=xatymax(q,xnear0(r))
[Parameters]
a = yatxnear0(y,x)/2 "Auto {{previous: 5.32372}}
b = -ln(.5)/(0.5*(x50(x,y)-min(x))) "Auto {{previous: 0.0986757}}
c = yatxnear0(y,x)/2 "Auto {{previous: 37.1508}}
d = -ln(.5)/(1.5*(x50(x,y)-min(x))) "Auto {{previous: 0.000217871}}
[Equation]
f=a*exp(-b*x)+c*exp(-d*x)
fit f to y
"fit f to y with weight reciprocal_y
"fit f to y with weight reciprocal_ysquare
[Constraints]
b>0
d>0
[Options]
tolerance=1e-6
stepsize=0.1
iterations=100
```

R = 0.96387935 Rsqr = 0.92906340 Adj Rsqr = 0.91654517

Standard Error of Estimate = 0.5090

	Coefficient	Std. Error	t	P
a	5.3237	0.5528	9.6299	<0.0001
b	0.0987	0.0288	3.4307	0.0032
c	37.1508	0.3142	118.2505	<0.0001
d	0.0002	0.0001	3.9541	0.0010

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	57.6869	19.2290	74.2169	<0.0001
Residual	17	4.4046	0.2591		
Total	20	62.0914	3.1046		

PRESS = 9.9698

Durbin-Watson Statistic = 1.6840

Normality Test: Passed (P = 0.4448)

Constant Variance Test: Passed (P = 0.3084)

Power of performed test with alpha = 0.0500: 1.0000

Regression Diagnostics:

Row	Predicted	Residual	Std. Res.	Stud. Res.	Stud. Del. Res.
1	42.4745	0.1255	0.2466	0.9700	0.9682
2	40.0985	-0.2985	-0.5864	-0.9754	-0.9739
3	37.5703	0.4297	0.8441	1.0431	1.0459
4	37.1863	-0.1863	-0.3660	-0.4055	-0.3953
5	36.8264	0.1736	0.3410	0.3688	0.3593
6	36.7408	0.3592	0.7057	0.7635	0.7538
7	36.5841	0.3159	0.6207	0.6647	0.6534
8	36.5335	0.3665	0.7200	0.7668	0.7572
9	36.3952	-0.8952	-1.7587	-1.8457	-2.0024
10	36.3516	-0.4516	-0.8872	-0.9274	-0.9234
11	36.2108	-0.2108	-0.4142	-0.4288	-0.4183
12	36.1832	0.2168	0.4259	0.4405	0.4298
13	36.0184	-0.5184	-1.0184	-1.0498	-1.0532
14	35.9945	-0.5945	-1.1679	-1.2040	-1.2213
15	35.8305	-0.2305	-0.4529	-0.4692	-0.4582
16	35.7828	0.8172	1.6055	1.6678	1.7693
17	35.6452	0.6548	1.2864	1.3517	1.3880
19	35.4588	0.5412	1.0633	1.1446	1.1558
20	35.4115	-0.7115	-1.3977	-1.5164	-1.5821
21	35.2656	0.1344	0.2640	0.2949	0.2868
22	35.2374	-0.0374	-0.0734	-0.0825	-0.0801

Influence Diagnostics:

Row	Cook'sDist	Leverage	DFFITs
1	3.4055	0.9354	3.6840
2	0.4203	0.6386	-1.2946
3	0.1433	0.3450	0.7592
4	0.0093	0.1853	-0.1885
5	0.0058	0.1454	0.1482
6	0.0249	0.1458	0.3114
7	0.0162	0.1280	0.2503
8	0.0197	0.1184	0.2775
9	0.0863	0.0920	-0.6375
10	0.0199	0.0848	-0.2811
11	0.0033	0.0673	-0.1124
12	0.0034	0.0650	0.1133
13	0.0173	0.0589	-0.2635
14	0.0228	0.0592	-0.3062
15	0.0040	0.0683	-0.1240
16	0.0551	0.0734	0.4979
17	0.0475	0.0943	0.4478
19	0.0520	0.1370	0.4605
20	0.1018	0.1505	-0.6658
21	0.0054	0.1985	0.1427
22	0.0004	0.2089	-0.0412

95% Confidence:

Row	Predicted	Regr. 5%	Regr. 95%	Pop. 5%	Pop. 95%
1	42.4745	41.4358	43.5131	40.9805	43.9685
2	40.0985	39.2403	40.9567	38.7238	41.4732
3	37.5703	36.9395	38.2011	36.3248	38.8158
4	37.1863	36.7241	37.6485	36.0171	38.3555
5	36.8264	36.4170	37.2359	35.6771	37.9758
6	36.7408	36.3307	37.1509	35.5913	37.8904
7	36.5841	36.1998	36.9683	35.4435	37.7247
8	36.5335	36.1640	36.9030	35.3978	37.6692
9	36.3952	36.0694	36.7210	35.2730	37.5175
10	36.3516	36.0388	36.6644	35.2330	37.4701
11	36.2108	35.9321	36.4895	35.1013	37.3203
12	36.1832	35.9094	36.4570	35.0749	37.2915
13	36.0184	35.7577	36.2791	34.9133	37.1235
14	35.9945	35.7333	36.2557	34.8892	37.0997
15	35.8305	35.5499	36.1111	34.7206	36.9405
16	35.7828	35.4919	36.0737	34.6702	36.8954
17	35.6452	35.3155	35.9750	34.5218	36.7686
19	35.4588	35.0613	35.8563	34.3137	36.6039
20	35.4115	34.9949	35.8280	34.2596	36.5633
21	35.2656	34.7872	35.7441	34.0900	36.4413
22	35.2374	34.7465	35.7283	34.0566	36.4182

Quadrante 4 (22 - 51 cm)

Nonlinear Regression

```
[Variables]
x = col(1)
y = col(2)
reciprocal_y=1/abs(y)
reciprocal_ysquare=1/y^2
'Automatic Initial Parameter Estimate Functions
xnear0(q)=max(abs(q))-abs(q)
yatxnear0(q,r)=xatymax(q,xnear0(r))
[Parameters]
a = yatxnear0(y,x)/2 "Auto {{previous: 5.8949}}
b = -ln(.5)/(0.5*(x50(x,y)-min(x))) "Auto {{previous: 0.0803192}}
c = yatxnear0(y,x)/2 "Auto {{previous: 35.3835}}
d = -ln(.5)/(1.5*(x50(x,y)-min(x))) "Auto {{previous: 0.000121179}}
[Equation]
f=a*exp(-b*x)+c*exp(-d*x)
fit f to y
"fit f to y with weight reciprocal_y
"fit f to y with weight reciprocal_ysquare
[Constraints]
b>0
d>0
[Options]
tolerance=1e-6
stepsize=0.1
iterations=100
```

R = 0.98461098 Rsqr = 0.96945878 Adj Rsqr = 0.96406915

Standard Error of Estimate = 0.3238

	Coefficient	Std. Error	t	P
a	5.8949	0.3489	16.8959	<0.0001
b	0.0803	0.0130	6.2015	<0.0001
c	35.3835	0.2156	164.1476	<0.0001
d	0.0001	0.0000	3.1797	0.0055

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	56.5702	18.8567	179.8749	<0.0001
Residual	17	1.7822	0.1048		
Total	20	58.3524	2.9176		

PRESS = 2.4594

Durbin-Watson Statistic = 2.0439

Normality Test: Passed (P = 0.8410)

Constant Variance Test: Passed (P = 0.4519)

Power of performed test with alpha = 0.0500: 1.0000

Regression Diagnostics:

Row	Predicted	Residual	Std. Res.	Stud. Res.	Stud. Del. Res.
1	41.2784	0.0216	0.0669	0.1991	0.1934
2	39.0492	-0.0492	-0.1520	-0.2148	-0.2087
3	36.2836	0.2164	0.6682	0.8701	0.8636
4	35.7871	-0.3871	-1.1955	-1.3634	-1.4015
5	35.3208	0.0792	0.2447	0.2635	0.2562
6	35.2285	0.3715	1.1474	1.2376	1.2587
7	35.0991	-0.0991	-0.3062	-0.3297	-0.3209
8	35.0658	0.6342	1.9588	2.1015	2.3696
9	34.9841	-0.0841	-0.2599	-0.2749	-0.2673
10	34.9598	0.1402	0.4329	0.4560	0.4451
11	34.8831	-0.2831	-0.8745	-0.9102	-0.9054
12	34.8682	-0.4682	-1.4461	-1.5026	-1.5654
13	34.7795	-0.5795	-1.7899	-1.8485	-2.0063
14	34.7667	0.1333	0.4118	0.4252	0.4147
16	34.6528	-0.1528	-0.4718	-0.4896	-0.4784
17	34.5786	0.2214	0.6838	0.7170	0.7064
18	34.5532	0.0468	0.1446	0.1524	0.1480
19	34.4779	-0.0779	-0.2406	-0.2583	-0.2511
20	34.4523	-0.2523	-0.7792	-0.8434	-0.8359
21	34.3733	0.4267	1.3179	1.4703	1.5267
22	34.3580	0.1420	0.4386	0.4928	0.4815

Influence Diagnostics:

Row	Cook'sDist	Leverage	DFBETS
1	0.0780	0.8872	0.5424
2	0.0115	0.4994	-0.2084
3	0.1316	0.4101	0.7201
4	0.1397	0.2311	-0.7683
5	0.0028	0.1376	0.1023
6	0.0625	0.1404	0.5087
7	0.0043	0.1377	-0.1282
8	0.1667	0.1312	0.9208
9	0.0023	0.1067	-0.0924
10	0.0057	0.0987	0.1473
11	0.0173	0.0770	-0.2616
12	0.0450	0.0738	-0.4419
13	0.0569	0.0624	-0.5176
14	0.0030	0.0620	0.1066
16	0.0046	0.0713	-0.1326
17	0.0128	0.0905	0.2228
18	0.0006	0.0994	0.0492
19	0.0026	0.1328	-0.0983
20	0.0305	0.1466	-0.3464
21	0.1322	0.1965	0.7551
22	0.0159	0.2076	0.2464

95% Confidence:

Row	Predicted	Regr. 5%	Regr. 95%	Pop. 5%	Pop. 95%
1	41.2784	40.6349	41.9218	40.3399	42.2168
2	39.0492	38.5665	39.5320	38.2127	39.8857
3	36.2836	35.8462	36.7211	35.4724	37.0948
4	35.7871	35.4587	36.1155	35.0291	36.5450
5	35.3208	35.0674	35.5741	34.5922	36.0494
6	35.2285	34.9725	35.4844	34.4990	35.9580
7	35.0991	34.8457	35.3526	34.3705	35.8277
8	35.0658	34.8184	35.3132	34.3392	35.7923
9	34.9841	34.7610	35.2073	34.2655	35.7028
10	34.9598	34.7452	35.1745	34.2438	35.6759
11	34.8831	34.6935	35.0727	34.1742	35.5921
12	34.8682	34.6827	35.0538	34.1604	35.5761
13	34.7795	34.6089	34.9502	34.0754	35.4836
14	34.7667	34.5966	34.9367	34.0627	35.4706
16	34.6528	34.4703	34.8352	33.9457	35.3598
17	34.5786	34.3731	34.7841	33.8653	35.2919
18	34.5532	34.3378	34.7685	33.8369	35.2694
19	34.4779	34.2289	34.7268	33.7508	35.2049
20	34.4523	34.1908	34.7138	33.7208	35.1837
21	34.3733	34.0705	34.6761	33.6261	35.1205
22	34.3580	34.0468	34.6692	33.6073	35.1086

ANEXO B

Quadro 2 – Valores de capacidade de campo (método da mesa de tensão), ponto de murcha e densidade do solo, e respectivas coordenadas, do gride amostral de 50 x 50 metros, nos 38 hectares da área sob pivô central, para 0 – 22cm.

Dir_Leste	Dir_Norte	CC	PMP	Ds	CTA
		%peso	%peso	g/cm ³	mm
-679065,85	7809018,77	36,62	24,96	1,04	26,58
-678782,62	7809244,77	36,64	26,56	1,04	23,01
-678927,50	7809141,49	34,77	25,56	1,05	21,29
-678926,13	7809192,07	36,36	23,59	1,09	30,50
-678931,66	7809252,74	37,22	26,45	1,06	25,05
-678928,14	7809304,83	37,15	27,25	1,11	24,08
-678928,45	7809407,90	35,03	25,17	1,05	22,82
-678876,44	7809138,62	38,69	24,64	1,12	34,62
-678879,36	7809250,37	38,37	24,99	1,06	31,16
-678872,10	7809407,52	37,29	26,49	0,95	22,70
-678825,12	7809138,42	37,12	25,46	1,16	29,74
-678824,63	7809189,83	37,86	24,22	1,16	34,70
-678826,94	7809247,44	38,84	25,44	1,07	31,41
-678820,67	7809402,78	35,18	25,87	0,93	19,09
-678773,96	7809138,94	39,29	25,33	1,12	34,30
-678772,67	7809298,02	38,04	26,43	1,15	29,40
-678771,09	7809349,30	35,95	25,46	1,21	27,91
-678768,44	7809401,99	34,98	26,09	1,11	21,80
-678722,35	7809137,04	34,80	26,32	1,13	21,18
-678723,00	7809243,81	38,06	25,95	1,10	29,31
-678720,96	7809295,75	37,07	25,79	1,18	29,32
-678719,01	7809346,12	37,36	26,11	1,10	27,23
-678717,03	7809398,70	35,20	26,26	1,11	21,90
-678670,59	7809137,23	34,98	24,14	1,14	27,27
-678670,67	7809242,45	35,66	24,66	1,16	28,07
-678669,32	7809294,73	36,13	25,00	1,14	27,96
-678618,48	7809136,40	36,24	26,93	1,20	24,65
-678618,71	7809188,16	33,69	23,77	1,19	26,05
-678618,51	7809240,92	34,43	24,54	1,19	25,99
-678617,66	7809292,94	35,25	24,86	1,14	26,03
-678957,57	7809101,47	41,45	26,22	1,09	36,43
-678905,67	7809102,70	36,49	24,63	1,10	28,61
-678976,02	7809206,27	33,46	26,45	1,08	16,60
-679015,58	7809124,18	39,84	26,15	1,03	31,01
-678992,20	7809077,92	40,03	25,69	1,02	32,15
-678947,24	7809052,84	41,04	25,93	1,01	33,63
-678896,78	7809059,48	34,44	26,04	1,02	18,81
-678977,18	7809259,11	35,02	26,81	1,08	19,48
-678846,70	7809033,70	34,12	25,75	1,10	20,20
-678814,48	7809074,40	35,24	25,93	1,07	21,95
-679020,35	7809232,99	37,20	26,62	1,08	25,11
-679057,16	7809091,71	41,96	26,16	1,03	35,88
-678991,71	7809016,35	38,87	24,97	1,01	30,87
-678891,87	7809008,67	35,74	24,79	1,09	26,30
-678979,15	7809310,96	37,23	24,73	1,16	31,87
-678833,02	7808984,24	34,76	25,67	1,08	21,52
-678794,99	7809018,17	32,72	26,39	1,20	16,65

-679027,06	7809288,90	39,46	25,81	1,12	33,66
-679068,44	7809253,72	43,64	27,00	1,06	38,69
-679097,84	7809206,78	46,27	26,79	1,04	44,67
-679094,61	7809054,64	38,32	25,47	1,04	29,27
-679065,83	7809012,50	39,86	26,95	1,06	30,02
-678929,39	7808954,23	34,86	24,95	1,12	24,40
-679116,05	7808998,13	43,33	27,50	1,03	35,87
-679081,52	7808960,88	38,62	25,50	1,04	29,88
-679039,55	7808932,07	38,13	26,30	1,06	27,65
-678759,82	7808984,77	33,26	26,02	1,11	17,66
-679026,47	7809345,38	34,21	24,73	1,19	24,85
-678710,89	7809075,81	33,05	25,43	1,13	18,93
-678703,12	7809127,05	33,24	25,00	1,23	22,26
-679107,51	7809283,85	37,56	27,56	1,02	22,48
-679136,39	7809240,94	41,48	26,92	1,05	33,69
-679154,60	7809192,49	38,11	27,82	1,04	23,63
-678974,35	7809412,15	36,74	25,35	1,08	26,93
-679199,03	7809059,96	41,50	27,14	1,04	33,00
-679181,08	7809012,24	45,08	26,78	1,02	41,15
-679080,69	7808899,71	35,89	25,36	1,01	23,31
-678936,61	7808857,09	37,51	23,78	1,11	33,54
-678886,10	7808861,06	33,77	24,60	1,03	20,71
-678837,01	7808874,43	34,89	24,34	1,07	24,85
-679025,84	7809398,05	37,26	25,43	1,10	28,63
-678790,77	7808896,61	35,96	25,42	1,07	24,83
-678749,83	7808926,41	36,88	26,63	1,04	23,46
-678714,62	7808963,27	38,36	26,67	1,01	25,88
-678686,69	7809006,01	35,07	25,92	1,00	20,07
-679073,22	7809375,93	39,32	27,60	1,07	27,71
-679115,71	7809345,33	37,68	27,75	1,11	24,27
-679151,45	7809305,91	41,67	27,89	1,07	32,42
-679179,34	7809261,73	36,20	26,91	1,12	22,95
-679199,26	7809212,97	38,56	27,69	1,10	26,24
-679208,70	7809109,72	41,67	26,49	1,07	35,71
-679224,78	7808989,97	39,85	26,85	1,01	29,04
-679198,50	7808946,23	42,25	25,96	1,08	38,71
-679165,86	7808907,03	38,66	26,95	1,13	29,05
-679127,87	7808873,39	37,97	26,85	1,10	26,89
-679084,96	7808846,22	37,89	25,56	1,09	29,61
-679037,08	7808825,28	39,11	24,90	1,07	33,37
-678987,60	7808812,83	35,10	25,47	1,13	23,93
-678937,20	7808808,32	33,45	24,63	1,07	20,73
-678886,61	7808812,81	34,22	23,10	1,05	25,65
-678835,73	7808823,23	33,57	25,44	1,05	18,83
-678789,41	7808843,23	35,68	24,38	1,09	27,07
-678706,78	7808900,10	35,67	25,19	1,05	24,27
-678642,95	7808985,15	36,25	25,49	1,03	24,37
-678623,66	7809030,32	35,84	25,96	1,07	23,20
-678611,02	7809079,17	38,65	25,45	1,00	29,16

Quadro 3 – Valores de capacidade de campo (método da mesa de tensão), ponto de murcha e densidade do solo, e respectivas coordenadas, do gride amostral de 50 x 50 metros, nos 38 hectares da área sob pivô central, para 22-51cm.

Dir_Leste	Dir_Norte	CC	PMP	Ds	CTA
		%peso	%peso	g/cm ³	mm
-679065,85	7809018,77	38,61	26,62	1,08	37,51
-678805,84	7809014,43	33,54	25,70	1,15	26,16
-678782,62	7809244,77	35,83	26,33	1,03	28,24
-678927,50	7809141,49	36,75	23,60	0,93	35,55
-678926,13	7809192,07	35,45	23,88	1,02	34,36
-678928,14	7809304,83	38,97	25,74	1,06	40,50
-678876,44	7809138,62	35,37	24,90	1,13	34,36
-678876,26	7809302,83	39,08	25,68	0,99	38,47
-678872,10	7809407,52	37,80	26,77	0,98	31,50
-678824,63	7809189,83	37,63	25,31	1,11	39,54
-678826,94	7809247,44	36,99	25,00	1,04	36,11
-678822,94	7809350,78	43,19	25,37	1,19	61,50
-678820,67	7809402,78	35,71	26,28	0,97	26,42
-678773,96	7809138,94	37,43	27,09	1,08	32,32
-678773,53	7809190,49	37,72	26,98	1,08	33,60
-678774,77	7809245,65	37,48	26,28	1,10	35,82
-678772,67	7809298,02	37,44	25,12	1,03	36,69
-678771,09	7809349,30	36,54	25,77	1,13	35,29
-678768,44	7809401,99	35,82	26,03	1,00	28,43
-678722,35	7809137,04	35,28	27,25	1,05	24,37
-678722,11	7809188,44	36,69	24,75	1,07	37,01
-678723,00	7809243,81	37,35	25,43	1,03	35,75
-678717,03	7809398,70	36,10	26,67	1,01	27,76
-678670,59	7809137,23	35,50	24,42	1,04	33,34
-678670,34	7809189,24	35,95	24,51	1,01	33,52
-678670,67	7809242,45	36,98	25,45	1,07	35,67
-678669,32	7809294,73	35,83	25,76	1,10	32,17
-678618,48	7809136,40	37,24	26,39	1,17	36,91
-678618,71	7809188,16	35,19	24,15	1,01	32,39
-678618,51	7809240,92	33,32	25,89	1,02	21,98
-678617,66	7809292,94	34,91	25,28	1,07	29,89
-678905,67	7809102,70	40,78	25,75	1,06	46,10
-678976,02	7809206,27	35,02	26,19	0,97	24,74
-679008,97	7809167,55	35,26	26,55	1,07	26,99
-678947,24	7809052,84	42,14	25,94	1,04	49,01
-678896,78	7809059,48	34,63	25,40	1,02	27,35
-678859,21	7809094,03	35,20	27,02	1,05	24,80
-678977,18	7809259,11	35,65	27,73	1,06	24,45
-678846,70	7809033,70	35,39	25,54	1,10	31,51
-678814,48	7809074,40	37,05	26,91	1,07	31,42
-679020,35	7809232,99	35,08	27,04	1,01	23,48
-678991,71	7809016,35	37,04	25,79	0,97	31,62
-678943,08	7809002,61	36,72	25,13	1,06	35,78
-678979,15	7809310,96	38,45	24,25	1,14	47,16
-678833,02	7808984,24	35,70	25,21	1,06	32,25
-678794,99	7809018,17	34,77	26,17	1,08	26,85
-678767,25	7809061,48	35,41	25,33	1,11	32,30
-679068,44	7809253,72	43,80	27,51	1,03	48,53

Quadro 3 - Continuação

-679097,84	7809206,78	45,79	27,87	1,04	54,32
-679065,83	7809012,50	37,34	26,91	1,06	31,91
-678878,96	7808962,33	36,66	26,08	1,00	30,76
-679116,05	7808998,13	39,26	27,98	0,95	31,08
-679081,52	7808960,88	37,25	27,92	1,03	27,88
-679039,55	7808932,07	37,45	25,10	1,04	37,27
-678891,15	7808909,62	35,41	24,81	1,13	34,79
-678842,03	7808924,64	37,05	25,80	1,02	33,44
-678759,82	7808984,77	36,16	26,20	1,08	31,13
-679026,47	7809345,38	36,54	24,58	1,15	39,89
-678710,89	7809075,81	34,42	25,24	0,97	25,96
-679107,51	7809283,85	37,79	27,80	1,01	29,39
-679136,39	7809240,94	41,48	27,19	1,07	44,20
-679154,60	7809192,49	38,48	28,15	0,96	28,61
-678974,35	7809412,15	37,71	25,83	1,12	38,51
-679199,03	7809059,96	43,40	26,74	0,99	47,94
-679080,69	7808899,71	36,79	27,50	0,98	26,41
-678936,61	7808857,09	35,93	23,99	1,12	38,83
-678886,10	7808861,06	35,76	24,16	1,06	35,48
-678837,01	7808874,43	33,94	24,82	1,12	29,54
-679025,84	7809398,05	42,46	25,20	0,99	49,41
-678790,77	7808896,61	38,25	25,92	1,06	37,90
-678749,83	7808926,41	38,82	26,77	0,99	34,66
-678714,62	7808963,27	37,11	26,25	0,98	31,03
-678686,69	7809006,01	35,20	25,93	0,97	26,18
-679073,22	7809375,93	41,77	26,89	1,05	45,38
-679115,71	7809345,33	41,77	26,34	1,03	46,07
-679151,45	7809305,91	42,22	27,55	1,06	44,97
-679179,34	7809261,73	39,49	27,98	1,08	35,95
-679199,26	7809212,97	43,41	27,13	0,99	46,56
-679208,70	7809109,72	43,19	26,73	1,08	51,54
-678973,76	7809460,21	35,46	25,24	0,98	29,15
-679224,78	7808989,97	42,65	27,71	1,03	44,62
-679198,50	7808946,23	41,19	26,03	1,05	46,04
-679165,86	7808907,03	38,21	26,43	1,13	38,80
-679127,87	7808873,39	39,06	26,20	1,12	41,84
-679084,96	7808846,22	37,95	25,60	1,00	35,71
-679037,08	7808825,28	39,77	26,04	1,06	42,29
-678987,60	7808812,83	35,37	25,98	1,13	30,87
-679024,00	7809449,93	35,22	26,57	0,99	24,78
-678937,20	7808808,32	33,92	24,78	1,18	31,36
-678886,61	7808812,81	36,00	23,09	1,15	43,21
-678835,73	7808823,23	35,68	23,55	1,09	38,26
-678789,41	7808843,23	38,37	23,86	1,06	44,56
-678706,78	7808900,10	39,65	25,59	1,10	44,67
-678642,95	7808985,15	34,63	25,30	1,11	29,93
-678623,66	7809030,32	36,12	25,63	1,09	33,13
-678611,02	7809079,17	36,97	26,11	1,07	33,75