

# VARIABILIDADE ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM ÁREA COM CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.) ADUBADO VIA FERTIRRIGAÇÃO E SISTEMA TRADICIONAL

Fátima Conceição Rezende<sup>1\*</sup>, Victor Barbiere Ribeiro<sup>2</sup>, Leo Fernandes Ávila<sup>3</sup>,  
Manoel Alves de Faria<sup>4</sup>, Carlos Rogério de Mello<sup>5</sup>,

(Recebido: 02 de setembro de 2010; aceito: 26 de outubro de 2010)

**RESUMO:** Objetivou-se, no presente trabalho, avaliar a condutividade elétrica (CE) no perfil do solo em função da adubação química aplicada via fertirrigação e, manualmente sob a copa da planta. A cultura foi irrigada por gotejamento e a irrigação é realizada quando a tensão média observada em sensores “Watermark” instalados a 0,10 m de profundidade atingia 21 kPa. A lâmina aplicada foi calculada com base na média de leitura do potencial de água no solo observada nos sensores instalados a 0,10 e 0,30 m de profundidade e na curva de retenção de água do solo. Sob a copa das plantas, na região do bulbo molhado, foram instalados 25 extratores de solução do solo a 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 e 0,50 m de profundidade e distantes da planta de 0,10; 0,20; 0,30, 0,40 e 0,50 m. A amostragem foi realizada em plantas irrigadas e não irrigadas no período de adubação (outubro a março), durante dois anos (2008/2009 e 2009/2010). As avaliações da CE foram realizadas 24 horas após a adubação e entre as adubações. Os resultados indicaram que, para as plantas irrigadas e não irrigadas, a CE do solo apresentou dependência espacial. A aplicação de adubo via água de irrigação reduz a CE do solo quando comparado com a aplicação manual. As doses e fontes de fertilizantes utilizadas não promoverão a salinização do solo.

Palavra-chave: Gotejamento, irrigação, salinidade.

## SPATIAL VARIABILITY OF SOIL ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN AN AREA WITH COFFEE (*Coffea arabica* L.) FERTILIZED VIA FERTIRRIGATION AND TRADITIONAL SYSTEM

**ABSTRACT:** The aim of the present study was to evaluate the electrical conductivity (EC) soil profile in function of chemical fertilizer applied through fertigation and manual methods under the canopy. The crop was drip irrigated and irrigation was performed when the average voltage observed in “Watermark” sensors installed at 0.10 m depth reached 21 kPa. The irrigation depth was calculated using the average reading of soil water potential observed on the sensors installed at 0.10 and 0.30 m deep and the soil water retention curve. Under the tree canopy, in the drip bulb region, we installed 25 soil solution extractors at 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 and 0.50 m deep and distant plant of 0, 10, 0.20, 0.30, 0.40 and 0.50 m. Sampling was conducted in irrigated and non irrigated plants during fertilization (October-March), for two years (2008/2009 and 2009/2010). The EC evaluations were performed 24 hours after fertilization, and between fertilizations. The results indicated that for irrigated and not irrigated plants, the EC of the soil showed spatial dependence. The application of fertilizer through water irrigation reduces EC of soil when compared to manual application. Doses and sources of fertilizer used do not promote soil salinization.

Index terms: drip, irrigation, salinity.

## 1 INTRODUÇÃO

O café (*Coffea arabica* L.) é uma das principais “commodities” de exportação do Brasil e o estado de Minas Gerais é o maior produtor, contribuindo com 23,58 milhões de sacas (60 kg) na safra 2008/2009 (AGRIANUAL, 2010). Dessa forma, o café é uma das principais fontes de renda

para o Estado e exerce importante função social, além de gerar riquezas que possibilitam o desenvolvimento sustentável de várias regiões.

As mudanças climáticas exigem reformulação do sistema produtivo e a irrigação já é uma prática bastante difundida entre os produtores de várias regiões de Minas Gerais, contribuindo para aumentar a produtividade das lavouras. Os resultados dos

<sup>1</sup>Projeto financiado pela FAPEMIG

<sup>2</sup>Eng. Agric. DS Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia/UFLA, frezende@deg.ufla.br, Caixa Postal 3037, Campus Universitário, Lavras/MG

<sup>\*</sup>Autor para correspondência

<sup>3</sup>Aluno Curso de Eng. Agrícola da UFLA, vbarbieri1@hotmail.com

<sup>4</sup>Aluno de doutorado do Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Departamento de Engenharia da UFLA.

<sup>5</sup>Prof. DS em Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia da UFLA, mafaria@deg.ufla.br

<sup>6</sup>Prof. DS em Ciência do solo, Departamento de Engenharia da UFLA, crmello@deg.ufla.br

trabalhos de pesquisa justificam a prática da irrigação devido aos aumentos proporcionados na produtividade das lavouras (GOMES; LIMA; CUSTÓDIO, 2007; LIMA; CUSTÓDIO; GOMES, 2008; MELO et al., 2005; REZENDE et al., 2006; SILVA et al., 2003). Entretanto, a agricultura irrigada tem sido considerada como a principal responsável pelo desperdício de água e pela contaminação dos solos e dos ecossistemas aquáticos (RODRIGUES; IRIAS, 2004).

Dentre os métodos de irrigação, os sistemas localizados, em particular o gotejamento, são os mais utilizados na cafeicultura pelo potencial de aumentar a produção e simultaneamente conservar o solo, os recursos hídricos e o meio ambiente. Possibilita, também, a aplicação de nutrientes via água de irrigação melhorando a eficiência de uso da água e nutrientes uma vez que os mesmos são colocados diretamente na zona radicular na forma e quantidade requeridas. O manejo inadequado da irrigação e a aplicação de fertilizantes em altas dosagens podem promover a salinização dos solos, prejudicando o rendimento da cultura. Na fertirrigação, a salinização poderá ser acelerada pelo uso de fertilizantes com maior índice salino, normalmente de menor custo e mais atrativo ao agricultor. Devido ao padrão de distribuição de água em torno do emissor, obtém-se uma distribuição de sais no bulbo úmido seguindo uma tendência de dentro para fora.

O efeito da salinidade em algumas fases de desenvolvimento do cafeeiro foi avaliado por Faria et al. (2009), Figueiredo, Faria e Silva (2006) e Karasawa et al. (2003). Os autores verificaram que a cultura é susceptível à salinidade principalmente quando se usa água de irrigação excessivamente salina. Trabalhando com cafeeiro irrigado por gotejamento, Matiello, Paiva e Araújo (2000) verificaram que os cafeeiros, principalmente quando adultos, suportam bem a salinidade, desde que a condutividade elétrica da água seja de até  $2,0 \text{ dS m}^{-1}$  e que as chuvas normais na região reduzem, por lixiviação, periodicamente, a salinidade do solo. Além desse aspecto, Costa (2005), trabalhando com fertirrigação nitrogenada por gotejamento em cafezal concluiu que as doses de nitrogênio alteraram os valores de saturação de bases, condutividade elétrica, pH e as formas de nitrogênio na região do bulbo úmido.

A geoestatística é considerada uma ferramenta promissora a qual permite caracterizar os padrões

especiais dos atributos do solo (BROCCA et al., 2007; ZHU; SHAO, 2008), possibilitando o mapeamento desses atributos com relativo grau de precisão, permitindo o estudo e inferências ao comportamento dessas variáveis. Nesse sentido, o mapeamento dos atributos do solo, tais como a condutividade elétrica da solução do solo ou do extrato saturado, permite identificar áreas com problemas provocados por salinidade, subsidiando assim, um manejo diferenciado que promove o aumento de produtividade do café.

Objetivou-se, neste trabalho, determinar a variabilidade espacial e o efeito da aplicação de fertilizantes na condutividade elétrica da solução do solo em área de cultivo de cafeeiro, irrigada e adubada via água de irrigação e, manualmente sob, a copa de planta.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em área experimental do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Minas Gerais, localizada a  $21^{\circ} 45' \text{ S}$  de latitude,  $45^{\circ} 00' \text{ W}$  de longitude a uma altitude média de 918 m e ocupando uma área de aproximadamente 0,24 ha. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro distrófico. O clima da área é do tipo Cwa, de acordo com a classificação de Köppen. A temperatura média do mês mais quente é de  $22,8^{\circ} \text{ C}$ , a do mês mais frio é de  $17,1^{\circ} \text{ C}$ , e a média anual de  $20,4^{\circ} \text{ C}$  (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

Para a condução do experimento foi utilizada uma lavoura de café (*Coffea arabica* L.) implantada em março de 1997, que passou por um processo de recepa sem pulmão em outubro de 2004. A cultivar utilizada foi "Acaia Cerrado" (MG-1474), com um espaçamento entre linha de 3,0 m e entre plantas de 0,6 m (semiadensado). Todas as plantas foram irrigadas a partir do plantio, com exceção da testemunha e das bordaduras.

O sistema de irrigação utilizado na área é por gotejamento, utilizando-se um sistema de irrigação de acionamento manual, em que a água foi distribuída às plantas através de gotejadores autocompensantes com vazão nominal de  $4 \text{ L h}^{-1}$  e pressão de serviço de 300 kPa. O espaçamento entre gotejadores foi de 0,40 m, formando uma faixa molhada contínua ao longo da linha de plantio.

O momento de irrigar e a quantidade de água a ser repostas para as plantas do cafeeiro foram estabelecidos a partir da curva característica de retenção de água do solo, para as camadas de 0-0,2 m e de 0,2-0,4 m. Como determinante do momento de irrigação foi considerada a média das leituras do potencial de água do solo nos sensores “Watermark” instalados a 0,1 m de profundidade. No caso da planta estudada, a irrigação foi realizada quando a média do potencial matricial de água no solo atingiu o valor de 21 kPa.

A quantidade de água a ser repostas no tratamento teve como base as médias das leituras do potencial de água do solo nos sensores posicionados a 0,1 e a 0,3 m de profundidade, representando, respectivamente, as camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m. Por meio dessas leituras foram calculadas as lâminas de reposição de água, com seus respectivos volumes e tempos de irrigação.

Na área irrigada, o cafeeiro foi adubado via água de irrigação utilizando bomba para injetar a solução na linha de irrigação e, na área não irrigada, o cafeeiro foi adubado manualmente, sob a copa da planta, entre os meses de outubro e março totalizando quatro parcelamentos. As doses e fontes de fertilizantes aplicados e o parcelamento foram iguais para o tratamento irrigado e não irrigado, sendo a quantidade determinada por meio de análise de fertilidade do solo e previsão de safra futura. As doses e fontes de fertilizantes utilizadas no primeiro ciclo de adubação (2008/2009) foram 260 kg há<sup>-1</sup> de nitrato de potássio, 350 kg há<sup>-1</sup> de N e 20 kg há<sup>-1</sup> de MAP e no segundo ciclo de adubação (2009/2010) foram 175 kg há<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 50 kg há<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e 350 kg há<sup>-1</sup> de N. O MAP foi aplicado apenas no último parcelamento, na dose total recomendada.

Por ocasião da instalação do experimento, foram coletadas, na área experimental, amostras de solo nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 e 0,50 m, para caracterização química e física do solo.

A análise das características químicas e físicas do solo foi realizada no Laboratório de Análise do Solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A CE da solução do solo e a condutividade hidráulica do solo saturado (K<sub>sat</sub>) foram determinadas no Laboratório de Relação Água-Solo-Planta do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, conforme metodologia

proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (1997). A curva característica de água no solo foi determinada utilizando amostras deformadas, submetidas a tensões crescentes (0,02; 0,04; 0,06; 0,1; 0,33; 1; 5 atm), medindo-se a umidade relacionada a cada tensão aplicada. Com os dados obtidos foram construídas as curvas de retenção de água no solo, ajustando o modelo de van Genuchten, utilizando-se o software “Soil Water Retention Curve” desenvolvido por Dourado Neto et al. (2000). Os dados da caracterização física do solo constam da Tabela 1.

O experimento foi instalado em duas plantas de cafeeiro, sendo selecionada uma planta em uma parcelada irrigada e, na mesma linha, porém em uma parcela não irrigada, foi selecionada outra planta. Em cada planta foram instalados extratores de solução do solo formando um “grid” de amostragem no bulbo molhado, sob a copa das plantas, nas camadas de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 e 0,50 m na vertical e horizontal, sob a copa da planta, totalizando 25 pontos de amostragem em cada planta. O monitoramento da CE da solução do solo foi realizado no ciclo de adubação 1 (2008/2009) e no ciclo de adubação 2 (2009/2010). Nos ciclos de adubação 1 e 2, as amostras foram coletadas 24 horas após a adubação e fora dos ciclos do adubação as amostras foram coletadas no intervalo entre as adubações. Fora do primeiro ciclo de adubação, foram realizadas 12 amostragens entre os 4 parcelamentos e fora do segundo ciclo de adubação foram realizadas 15 coletas entre os 4 parcelamentos de adubação.

Durante a aplicação do adubo via água de irrigação foi coletada amostra da água no início da aplicação (antes de injetar o fertilizante), no início, no meio e no final da injeção do fertilizante e no final da irrigação (após o término da injeção do fertilizante) para medir a CE.

A CE foi determinada usando um condutímetro AK modelo 151. Na planta não irrigada, quando não era possível extrair a solução, devido ao baixo teor de umidade do solo, foram coletadas amostras de solo, em planta não irrigada e pontos semelhantes ao da planta monitorada, determinando-se a CE a partir do extrato obtido na pasta de saturação (EMBRAPA, 1997).

Com os dados de CE obtidos em cada um dos quatro parcelamentos de adubação para os 25 pontos do “grid” de amostragem foi calculada a média dos

dados obtidos 24 horas após a adubação. O mesmo procedimento foi realizado para os dados de CE obtidos no intervalo entre a aplicação de adubo.

De posse desses dados, foi realizada uma análise exploratória com intuito de observar o comportamento da distribuição dos dados. Essa etapa consistiu na verificação de tendência dos dados e sua remoção quando constatada por meio de gráficos de tendência, na identificação e eliminação de dados discrepantes (“outliers”) através de gráficos “Box plot” e, na avaliação da normalidade da diferença entre pares de pontos, por meio de histogramas de frequências (AVILA; MELLO; SILVA, 2010; MELLO, 2004).

Posteriormente, foi testado o ajuste dos modelos de semivariograma exponencial e esférico, pelo método dos Mínimos Quadrados Ponderados (MQP) e Máxima Verossimilhança (MV), visando selecionar o que produziu melhor ajuste e, portanto, melhor caracterização da continuidade espacial. O critério para selecionar o melhor modelo e método ajustado, foi o que apresentasse o maior grau de dependência espacial (GD). Nas situações em que os modelos apresentaram GD idênticos ou muito próximos, a escolha do melhor modelo foi determinada pelo erro médio reduzido (ER) e desvio padrão do erro reduzido (SER), sendo selecionado aquele em o ER fosse mais próximo de zero e SER mais próximo de um e a validação cruzada, ambos segundo Mello et al. (2005).

Em toda a análise exploratória dos dados foi utilizado o software R, com o pacote R (RIBEIRO JÚNIOR; DIGGLE, 2001). Na etapa de geração dos mapas de CE, trabalhou-se com uma extensão do ArcMap, do software ArcGIS 9.2 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI, 2004), adotando os modelos dos semivariogramas que apresentaram melhor ajuste.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se que os dados de condutividade hidráulica do solo em todas as camadas indicam um bom fluxo de solutos no solo, contribuindo para uma boa drenagem interna (Tabela 2). De acordo com Souza e Alves (2003), o Latossolo Vermelho Escuro Distrófico apresenta alta condutividade hidráulica devido às suas características estruturais, notadamente, estrutura granular, e que valores

superiores a  $0,01 \text{ cm min}^{-1}$  indicam uma boa condição para lixiviação de solutos.

A condutividade elétrica da solução do solo apresenta maiores valores na camada de 0–0,20 m e diminui com o aumento de profundidade devido, provavelmente, ao histórico de adubação da área tendo em vista que essa lavoura foi implantada em 1997 e que vem sendo adubada anualmente. Esses valores indicam um solo não salino uma vez que o limite entre solo salino e não salino estabelecido pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos é de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  e o limite proposto por Bohn, McNeal e O'Connor (1985) é de  $2 \text{ dS m}^{-1}$ .

A qualidade da água de irrigação é essencial para uma boa condição de manejo do sistema água-solo-planta. Na Tabela 3, estão relacionados os dados relativos à condutividade elétrica (CE em  $\text{dS m}^{-1}$ ) da água de irrigação e da solução antes, durante e após a injeção do fertilizante na água, coletado em um gotejador próximo à planta monitorada, durante o processo de fertirrigação. Observa-se, que os valores de CE variam de 0,29 a  $0,32 \text{ dS m}^{-1}$ . De acordo com Bohn, McNeal e O'Connor (1985), esse intervalo indica uma água com baixa salinidade e que não apresenta risco de salinização do solo. A partir do momento em que se inicia a injeção do fertilizante na água ocorre um aumento expressivo da condutividade elétrica, chegando ao pico de  $4,66 \text{ dS m}^{-1}$  no primeiro ciclo de adubação e  $4,41 \text{ dS m}^{-1}$  no segundo ciclo. Tal aumento é devido à presença do fertilizante na água de irrigação.

Após o final da aplicação do fertilizante, é possível verificar que ainda há presença do mesmo na linha de irrigação, pois a condutividade elétrica da água coletada no gotejador é maior do que o valor observado antes de se iniciar a injeção de fertilizante.

Os dados de condutividade elétrica da solução do solo no ciclo de adubação 1 e 2 (amostras coletadas 24 horas após a adubação) e fora dos mesmos (amostras coletadas no período entre adubações) foram analisados e na Tabela 4 estão apresentados os resultados do grau de dependência espacial, validação cruzada e os parâmetros dos semivariogramas que apresentaram melhores ajustes.

Analisando o ajuste dos semivariogramas experimentais, verifica-se que o melhor desempenho foi do modelo esférico em 88% dos casos, indicando maior eficiência em relação ao modelo exponencial

**Tabela 1** – Densidade de partículas solo (Dr), densidade do solo (Ds), porosidade total (P), capacidade de campo (Cc) para o Latossolo Vermelho Distrófico da área experimental.

Prof. (m)	Dr (g cm <sup>-3</sup> )	Da (g cm <sup>-3</sup> )	P (%)	Cc (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
0,0 – 0,10	2,88	1,24	56,91	0,3830
0,10 - 0,20	2,90	1,39	52,08	0,3908
0,20 - 0,30	2,93	1,22	58,25	0,3805
0,30 - 0,40	2,95	1,24	57,98	0,3740
0,40 - 0,50	2,94	1,22	58,50	0,4019

**Tabela 2** – Condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat) e condutividade elétrica da solução (CE), para o Latossolo Vermelho Distrófico da área experimental.

Atributos do solo	Camadas no perfil do solo (m)				
	0,00 – 0,10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,30	0,30 – 0,40	0,40 -0,50
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,405	0,496	0,283	0,224	0,25
Ksat (cm min <sup>-1</sup> )	0,0378	0,0794	0,0358	0,0142	0,0254

**Tabela 3** – Dados médios da condutividade elétrica da água de irrigação antes, durante e após o término da fertirrigação no primeiro e segundo ciclo de adubação do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Lavras, MG, 2010.

Ciclos de adubação	Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )				
	Água pura	Início da fertirrigação	Meio da fertirrigação	Final da fertirrigação	Água após fertirrigação.
primeiro ciclo	0,32	4,16	4,66	4,22	0,90
segundo ciclo	0,29	4,41	4,26	4,18	1,27

**Tabela 4** – Parâmetros dos modelos de semivariograma (EP = efeito pepita, PAT = patamar, ALC = alcance em cm), GD = grau de dependência, ER = erro médio reduzido e SER = desvio padrão do erro reduzido, ajustado para dados de condutividade elétrica da solução do solo. UFLA, Lavras/MG, 2010

Tratamento	Modelo	Método-	Parâmetros			GD	ER	SER	
			EP	PAT	ALC				
Adub.	Irrig.								
A	I	ESF	MV	0,00	5,61	76,98	100	-0,0007	0,4967
	NI	ESF	MV	0,00	5,60	77,32	100	-0,0034	0,4596
B	I	ESF	MV	0,00	0,05	98,70	100	-0,0041	0,3995
	NI	ESF	MV	0,00	0,18	77,22	100	0,0069	0,3988
C	I	EXP	MV	0,00	5,77	78,42	100	0,0022	0,4685
	NI	ESF	MV	0,00	8,88	77,71	100	0,0052	0,4681
D	I	ESF	MV	0,00	0,05	76,75	100	-0,0097	0,4205
	NI	ESF	MV	0,00	0,28	75,37	100	0,0076	0,4281

A= 1º ciclo de adubação; B= Fora do 1º ciclo de adubação; C= 2º ciclo de adubação e D= Fora do 2º ciclo de adubação. I= irrigado e NI= não irrigado

para o estudo da continuidade espacial da condutividade elétrica da solução do solo. Carvalho et al. (2001) avaliaram a variabilidade espacial da CE em solos de Cerrado cultivado com café, sob diferentes condições de manejo de ervas daninhas e o ajuste dos dados foi obtido com o modelo esférico. Pode-se verificar que o método de ajuste que apresentou os melhores resultados foi o da máxima verossimilhança (MV) para todas as situações.

O grau de dependência médio foi de 100% em todas as situações, o que confere um forte grau da estrutura de dependência espacial significando que a aplicação do interpolador geoestatístico poderá produzir resultados de boa qualidade, resultando em mapas representativos e sem tendência da distribuição espacial da condutividade elétrica.

O efeito pepita para todos os eventos foi nulo, indicando que os erros decorrentes de medição e/ou da própria variabilidade natural do fenômeno apresentam valores praticamente nulos. O alcance teórico médio encontrado variou entre 75,37 cm, observado fora do segundo ciclo de adubação no tratamento não irrigado, e 98,7 cm obtido fora do primeiro ciclo de adubação no tratamento irrigado.

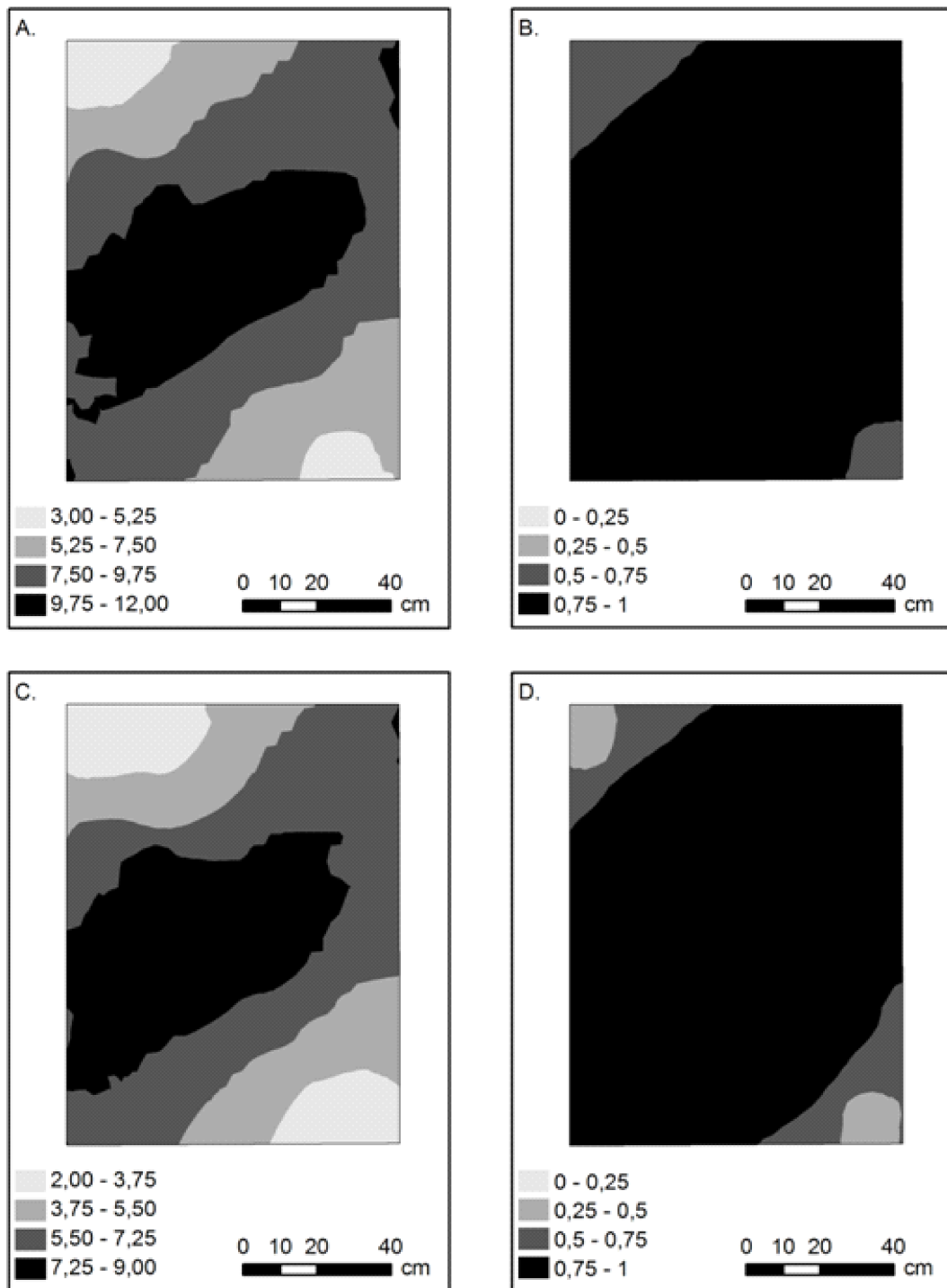
Os mapas de distribuição de condutividade elétrica (CE) média, observada na camada de solo de 0-0,50 m, na planta em que o adubo foi aplicado via água de irrigação está representada na Figura 1. Verifica-se que nas proximidades da planta (localizada na região central dos mapas), tanto no 1º ciclo de adubação (Figura 1A) como no 2º ciclo de adubação (Figura 1C), os valores de condutividade elétrica é maior, atingindo valores entre 9,75 e 12,0 dS m<sup>-1</sup> e entre 7,25 e 9,0 dS m<sup>-1</sup> no 1º e 2º ciclo de adubação, respectivamente. No primeiro ciclo de adubação, o valor de CE foi maior do que no segundo ciclo o que pode ser devido à dose de nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) uma vez que a quantidade aplicada no primeiro ciclo de adubação foi maior do que no segundo ciclo. À medida que se afasta da planta, o valor de CE reduz e a área em que a CE é maior (7,25 – 12,0 dS m<sup>-1</sup>) tende a concentrar no lado inferior da linha de plantio, seguindo a declividade natural do terreno.

Nas determinações realizadas fora do ciclo de adubação (Figura 1B e 1D), o valor de condutividade elétrica diminui atingindo valores entre de 0,75 e 1,0 dS m<sup>-1</sup>, próximo à planta, registrado no período entre as adubações do primeiro e segundo ciclos,

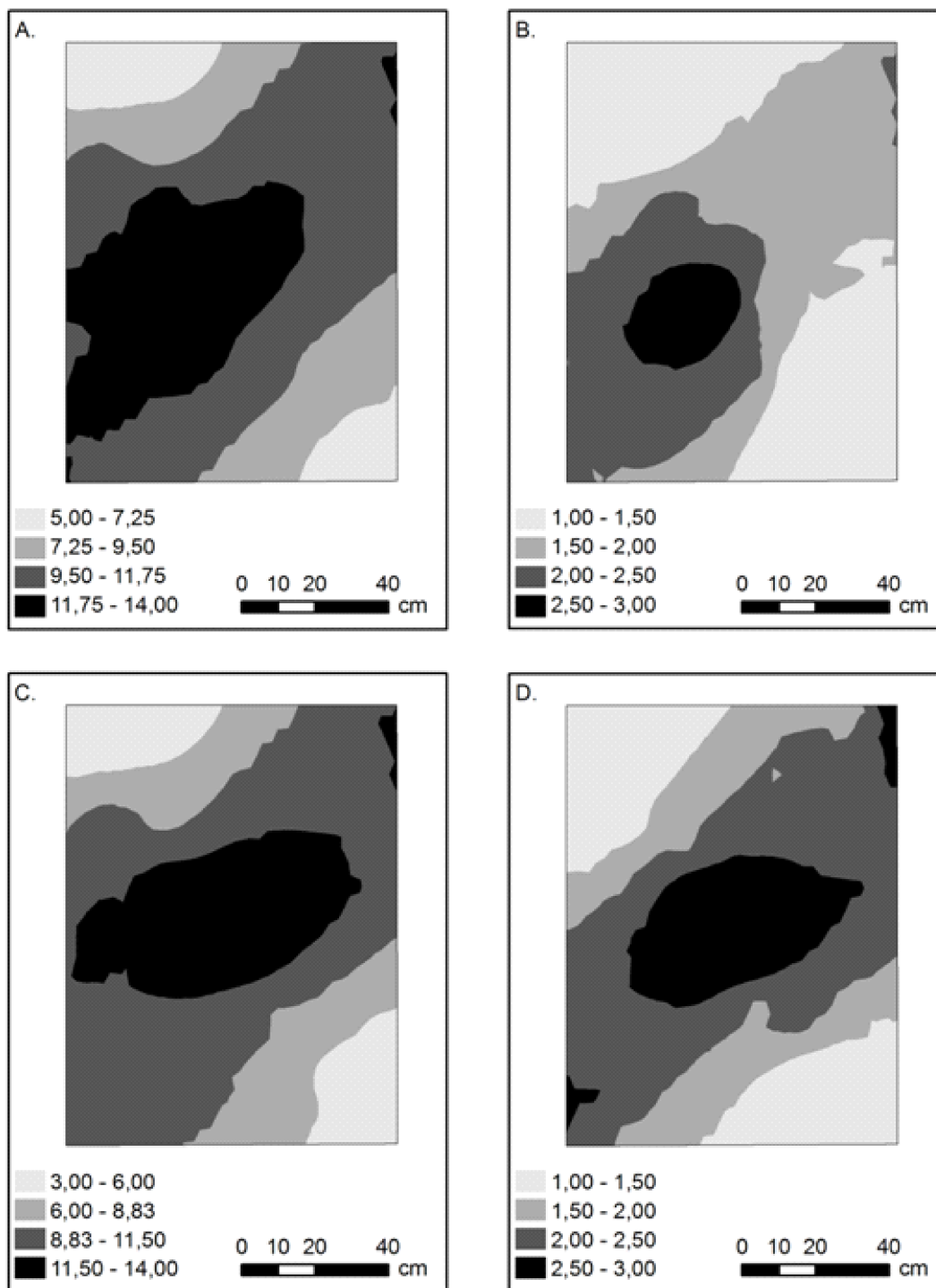
respectivamente. Fora do ciclo de adubação 1, a área em que a CE apresentou valores entre 0,75 e 1,0 dS m<sup>-1</sup> foi maior do que fora do ciclo de adubação 2. Para as condições analisadas, a CE apresenta uma tendência oblíqua à linha de irrigação, e, portanto, ao ponto de aplicação do fertilizante. O valor de CE médio observado entre os períodos de adubação indica que o manejo de adubação e as fontes de adubo utilizadas, no período em que o estudo foi realizado, não causariam salinização do solo.

Os mapas da distribuição de condutividade elétrica (CE) média observada na camada de solo de 0-0,50 m na planta não irrigada, em que o adubo foi aplicado manualmente sob a copa da planta, estão apresentados na Figura 2. Da mesma forma anterior, a planta está localizada no centro da área do mapa. Nas avaliações realizadas após a adubação, verifica-se que a CE da solução do solo é superior a 11,5 dS m<sup>-1</sup> nas proximidades da planta, nos dois ciclos de adubação (Figura 2A e 2C). Observa-se também que no 1º ciclo de adubação (Figura 2A), à medida que se afasta da planta, o valor de CE é maior do que no 2º ciclo (Figura 2C). Provavelmente pode ser devido à aplicação de nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) uma vez que a dose aplicada foi maior no 1º ciclo de adubação. No primeiro ciclo de adubação (Figura 2A), a área com maior CE tende a se concentrar na parte inferior da linha de plantio, no sentido da declividade do terreno; já no segundo ciclo de adubação (Figura 2C) essa área tende a se concentrar no sentido da linha de plantio. Essas situações podem estar associadas à forma de aplicação do adubo, uma vez que não há uma padronização exata em termos do lançamento dos adubos.

Os dados de CE observados fora dos ciclos de adubação foram menores do que aqueles obtidos durante o ciclo de adubação com valores máximos médios variando entre 2,50 e 3,0 dS m<sup>-1</sup> para o período fora do 1º (Figura 2B) e do 2º ciclo de adubação (Figura 2D). Fora do 1º ciclo de adubação, a área em que foi observado valor de CE entre 2,50 e 3,0 dS m<sup>-1</sup> é menor do que fora do 2º ciclo e, essa situação pode ser explicada pela ocorrência de precipitação pluvial que no período em que foram realizadas as avaliações no primeiro ano (2008/2009) foi de 1531,9 mm e no período relativo ao segundo ciclo de adubação (2009/2010) foi de 945,2 mm. Verifica-se também que fora do 1º ciclo de adubação, a área



**Figura 1** – Mapas de distribuição espacial da condutividade elétrica média no 1º ciclo (A), no 2º ciclo (B), fora do 1º ciclo (C) e fora do 2º ciclo (D) de adubação da planta de café (*Coffea arabica* L.) irrigada.



**Figura 2** – Mapas de distribuição espacial da condutividade elétrica média no 1<sup>o</sup> ciclo (A), no 2<sup>o</sup> ciclo (B), fora do 1<sup>o</sup> ciclo (C) e fora do 2<sup>o</sup> ciclo (D) de adubação da planta de café (*Coffea arabica* L.) não irrigada



com maior valor de CE está concentrada na parte inferior da linha de plantio, acompanhando o declive do terreno e, fora do 2º ciclo de adubação tende a se concentrar na direção da linha de plantio.

Comparando os dados obtidos nos dois anos de avaliação nas plantas irrigadas (Figura 1) e não irrigadas (Figura 2), nos ciclos e fora dos ciclos de adubação, pode-se verificar que os valores de CE da solução do solo foram maiores nas plantas não irrigadas. Fora dos ciclos de adubação, os valores de CE reduzem sensivelmente, mas há pontos com CE superior a  $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ . De acordo com Matiello, Paiva e Araújo (2000), o cafeeiro, principalmente plantas adultas, resistem bem mesmo a índices de salinidade até cerca de  $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ . Como na região do experimento a precipitação média anual é de 1460 mm (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007), provavelmente na área não irrigada, periodicamente, haja lixiviação dos sais contribuindo para evitar e/ou minimizar os problemas de salinização do solo. Carvalho et al. (2001), avaliaram a salinidade em cafeeiros não irrigados com 13 anos de idade e verificaram que não houve problema de salinização na região da saia do cafeeiro.

Observa-se que o uso de mapas de condutividade elétrica propicia uma análise da distribuição espacial da salinidade, permitindo que sejam identificadas áreas que seriam tratadas como não importantes em termos de salinidade se apenas valores médios fossem analisados. Dessa forma, observa-se a importância da aplicação de técnicas geoestatísticas para promoção de uma análise mais precisa, sendo um importante elemento em termos de uma irrigação de precisão, fundamental nas condições atuais de manejo sustentável.

#### 4 CONCLUSÕES

Nas plantas irrigadas e não irrigadas, a condutividade elétrica do solo apresentou dependência espacial tendo sido possível o desenvolvimento de mapas da distribuição espacial da salinidade.

A aplicação de fertilizante via água de irrigação reduz a CE do solo em relação à aplicação manual.

As doses e fontes de fertilizantes utilizadas, aplicadas via fertirrigação ou manual, sob a copa do cafeeiro provavelmente não promovem a salinização do solo.

#### 5 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão de recursos para a condução do experimento.

#### 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria em Comércio, 2010.

AVILA, L. F.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo numa bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 2010. No prelo.

BOHN, H. L.; MCNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A. **Soil chemistry**. New York: J. Wiley, 1985. 341 p.

BROCCA, L. et al. Soil moisture spatial variability in experimental areas of central Italy. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 333, n. 1, p. 356-373, 2007.

CARVALHO, G. M. B. et al. Variabilidade espacial da condutividade elétrica em solos sob cerrado em diferentes manejos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos Expandidos...** Brasília: Embrapa Café, 2001. p. 1653-2658.

COSTA, E. L. **Fertirrigação nitrogenada por gotejamento em cafezal e sua influencia nas características químicas do solo**. 2005. 100 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DOURADO NETO, D. et al. Software to model soil water retention curves: SWRC, version 3.00. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.

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

**Coffee Science, Lavras, v. 6, n. 1, p. 55-64, jan./abr. 2011**

- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS 9: getting started with ArcGIS**. Redlands, 2004. 265 p.
- FARIA, F. H. de S. et al. Efeito de parcelamento da fertirrigação com N e K e salinidade do solo no crescimento inicial de cultivares de cafeeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 2, p. 145-157, 2009.
- FIGUEIREDO, V. B.; FARIA, M. A. de; SILVA, E. L. da. Crescimento inicial do cafeeiro irrigado com água salina e salinização do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 50-57, 2006.
- GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. de P. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 564-570, 2007.
- KARASAWA, S. et al. Desenvolvimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigadas com água salina. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 14, p. 1-12, 2003.
- LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. de P.; GOMES, N. M. Produtividade e rendimento do cafeeiro nas cinco primeiras safras irrigado por pivô central em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1832-1842, nov./dez. 2008.
- MATIELLO, J. B.; PAIVA, A. R.; ARAÚJO, J. L. Evolução da salinidade e comportamento do cafeeiro em área irrigada por gotejamento em Brejões, BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEIEIRA, 26.; ENCONTRO DE CAFEICULTORES DE MARÍLIA, 6., 2000, Marília. **Anais...** Rio de Janeiro: Procafé, 2000. p. 298-299.
- MELO, B. et al. Avaliação de cultivares de cafeeiro com irrigação, em diferentes espaçamentos na linha de plantio. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 52, n. 300, p. 245-253, 2005.
- MELLO, J. M. de. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. 110 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2004.
- MELLO, J. M. de et al. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 1, n. 69, p. 25-37, 2005.
- REZENDE, F. C. et al. Características produtivas do cafeeiro (*Coffea Arabica* L. cv. Topázio MG-1190) recepado e irrigado por gotejamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 103-110, 2006.
- RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. P. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R-News**, Rockester, v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.
- RODRIGUES, G. S.; IRIAS, L. J. M. **Considerações sobre os impactos ambientais da agricultura irrigada**. Brasília: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 7 p. (Circular técnica, 7).
- SILVA, A. M. da et al. Produtividade, rendimento de grãos e comportamento hídrico foliar em função da época, parcelamento e do método de adubação do cafeeiro Catuaí. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 434-440, 2003.
- SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 133-139, 2003.
- ZHU, Y.; SHAO, M. Variability and pattern of surface moisture on a small-scale hillslope in Liudaogou catchment on the northern Loess Plateau of China. **Geoderma**, London, v. 147, p. 185-191, 2008.