

Distribuição do sistema radicular de cafeeiro conilon irrigado e não irrigado

André Monzoli Covre⁽¹⁾, Fábio Luiz Partelli⁽¹⁾, Ivoney Gontijo⁽¹⁾ e Moises Zucoloto⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, Rodovia BR 101 Norte, Km 60, Bairro Litorâneo, CEP 29932-540 São Mateus, ES, Brasil. E-mail: andre-covre@hotmail.com, partelli@yahoo.com.br, ivoney.gontijo@ufes.br, moises.zucoloto@ufes.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição do sistema radicular do cafeeiro conilon (*Coffea canephora*) irrigado e não irrigado. Utilizaram-se plantas de conilon da variedade clonal Emcapa 8111, genótipo 02, com cinco anos de idade. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em parcela subsubdividida, com cinco repetições. Os tratamentos consistiram de: presença e ausência de irrigação (parcelas), 13 distâncias do tronco (dez no sentido da entrelinha e três no sentido da linha de plantio) e seis camadas de solo (0–60 cm) nas subparcelas. As raízes foram coletadas, lavadas, digitalizadas e processadas pelo programa Safira, para quantificar área superficial, comprimento, volume e diâmetro. As plantas de conilon não irrigadas apresentaram maiores área superficial, comprimento e volume de raízes por volume de solo, bem como distribuição de raízes menos discrepante na superfície do solo e em profundidade, em comparação às plantas irrigadas. O sistema de irrigação por gotejamento promove maior distribuição de raízes nas plantas irrigadas, na zona compreendida pelo bulbo úmido da irrigação.

Termos para indexação: *Coffea canephora*, deficit hídrico, irrigação por gotejamento, programa Safira.

Root system distribution of irrigated and nonirrigated conilon coffee

Abstract – The objective of this work was to evaluate the distribution of the root system of irrigated and nonirrigated conilon coffee (*Coffea canephora*). Conilon plants of the clonal variety Emcapa 8111, genotype 02, with five years of age, were used. The design was completely randomized in split-split plots with five replicates. The treatments consisted of: presence and absence of irrigation (plots), 13 distances from the stem (ten in the direction between rows and three of the planting row) and six soil layers (0–60 cm) in the split-plots. Roots were collected, washed, scanned, and processed by the Safira software to quantify surface area, length, volume, and diameter. Nonirrigated conilon plants showed greater root surface area, length, and volume per soil volume, as well as less discrepant distribution of roots in the soil surface and in depth, in comparison to irrigated plants. The drip irrigation system promotes higher root distribution in irrigated plants, in the area covered by the wet-bulb irrigation.

Index terms: *Coffea canephora*, water deficit, trickle irrigation, Safira software.

Introdução

O cultivo do cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) tem-se expandido para áreas onde a deficiência hídrica é o principal fator limitante ao crescimento e à produção (Silva et al., 2010; Araujo et al., 2011; Partelli et al., 2013), o que torna necessário realizá-lo predominantemente sob irrigação. Segundo DaMatta & Ramalho (2006), em diversos países produtores de café, o deficit hídrico é considerado o principal estresse ambiental capaz de afetar o desenvolvimento e a produção do cafeeiro. Os principais mecanismos fisiológicos de tolerância ao deficit hídrico em genótipos de *C. canephora* são

a eficiência na retirada de água do solo, o controle estomático e a redução da área foliar para manutenção da transpiração (Pinheiro et al., 2004; Marraccini et al., 2012; Silva et al., 2013). Genótipos com produção relativamente elevada, submetidos ao deficit hídrico, são capazes de manter potenciais hídricos foliares adequados, por meio da combinação entre o aprofundamento do sistema radicular e o aumento do controle estomático (Silva et al., 2010).

O sistema radicular do cafeeiro varia de acordo com espécie, genótipo, idade da planta, estação do ano, clima, densidade da cultura, estresses bióticos, textura e estrutura do solo (Partelli et al., 2014; Ronchi et al., 2015). Conforme Rena & Guimarães (2000), o sistema

radicular do cafeeiro é pseudopivotante, pois, na maioria dos casos, apresenta raízes pivotantes curtas, grossas e que terminam abruptamente, e raramente estende-se mais que 45 cm abaixo da superfície do solo. Segundo Barreto et al. (2006), o aprofundamento radicular é uma característica fenotípica importante para o cafeeiro e pode proporcionar maior resistência ao déficit hídrico. É importante salientar que a irrigação afeta o padrão de crescimento radicular do cafeeiro, com redução na profundidade de penetração das raízes, o que estimula o desenvolvimento de raízes primárias e secundárias nas camadas mais superficiais do solo (Belan et al., 2011). Ronchi et al. (2015) afirmam que a maior parte do sistema radicular está distribuída na camada superficial do solo e Silva et al. (2009) relatam que as raízes existentes nessa camada são as mais importantes na extração de água em plantas de café.

Diversas tecnologias têm contribuído para a obtenção de produtividades superiores a 9,0 mil kg ha⁻¹ de café beneficiado em lavouras de cafeeiro conilon, com destaque para o uso correto de calagem, fertilizantes, sistema de poda, adensamento, controle fitossanitário e irrigação. Dessa forma, o conhecimento da distribuição do sistema radicular do cafeeiro é de grande importância para o manejo da lavoura, já que raízes bem desenvolvidas podem promover melhor absorção e aproveitamento de água, nutrientes, fungicidas e inseticidas, o que pode influenciar diretamente a produtividade da planta e a tolerância ao déficit hídrico (Carvalho et al., 2008; Partelli et al., 2014). Além disso, esse conhecimento pode ser usado para estimar a necessidade de água do cafeeiro (Silva et al., 2009) e para definir o melhor sistema de irrigação (Barreto et al., 2006).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição do sistema radicular do cafeeiro conilon (*Coffea canephora*) irrigado e não irrigado.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no município de Itabela, no Sul do estado da Bahia (16°42'13"S, 39°25'28"W, a 108 m de altitude). De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw, tropical, com estação seca no inverno e chuvosa no verão. O solo é classificado como Latossolo Amarelo originalmente distrófico (Santos et al., 2013), cujas características químicas e físicas estão descritas na Tabela 1.

As mudas de cafeeiro conilon foram obtidas a partir de estacas de brotos ortotrópicos do genótipo 02 da variedade clonal Emcapa 8111 (Bragança et al., 2001) e foram plantadas quando apresentavam cinco pares de folhas, em março de 2008, no espaçamento de 3,5x1,0 m. Durante a implantação da lavoura, foram aplicados 10 L de palha de café, 5,0 L de esterco bovino e 50 g de P₂O₅ por metro de sulco, além de 1,0 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico espalhado no sulco de plantio.

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em arranjo de parcela subsubdividida, com cinco repetições. Os tratamentos consistiram de: irrigação e não irrigação dos cafeeiros nas parcelas, 13 distâncias de coleta do tronco do cafeeiro (17, 33, 50, 67, 83, 100, 117, 133, 150 e 167 cm no sentido da entrelinha e 17, 33 e 50 cm no sentido da linha de plantio) e seis camadas de solo (0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50 e 50–60 cm) nas subparcelas. Para a avaliação do sistema radicular aos 66 meses após o plantio, foram selecionadas plantas com diâmetro de copa igual ou superior a 2,5 m, vigorosas e sem sintomas de doenças e deficiência nutricional. Portanto, as raízes foram coletadas no final de setembro de 2013, período de grande crescimento vegetativo do cafeeiro na região.

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento superficial, com uma linha de emissores espaçados em 0,5 m e vazão de 2,0 L h⁻¹. A linha de emissores localizava-se a 5,0 cm do tronco do cafeeiro, no sentido da entrelinha de plantio. No tratamento irrigado, o manejo de irrigação adotado foi por balanço hídrico diário, com base na evapotranspiração da cultura, na precipitação pluvial medida no local e nas características de armazenamento de água do solo. Já no tratamento não irrigado, a água de irrigação foi suspensa quando as plantas tinham 36 meses, com cultivo em condições de sequeiro por 30 meses (entre março de 2011 e outubro de 2013), para melhor aclimação às condições de déficit hídrico.

Os tratamentos culturais da lavoura consistiram basicamente em controle de plantas daninhas com herbicidas e roçadeira, manejo fitossanitário preventivo, calagem, adubação e irrigação (somente na parcela irrigada). As adubações de produção foram realizadas com a aplicação de 500 kg ha⁻¹ por ano de N, 100 kg ha⁻¹ por ano de P₂O₅, 400 kg ha⁻¹ por ano de K₂O e 1,0 Mg ha⁻¹ por ano de calcário dolomítico. Nas plantas irrigadas, a aplicação destes nutrientes foi realizada semanalmente, por meio de

fertirrigação. Nas plantas não irrigadas, as adubações foram realizadas a lanço, na projeção da copa a aproximadamente 1,0 m do tronco, e parceladas em cinco aplicações por ano, em setembro, novembro, janeiro, março e junho. A lavoura foi conduzida no sistema de poda programada de ciclo, com quatro hastes ortotrópicas conforme Verdin Filho et al. (2014); contudo, a lavoura foi avaliada antes de atingir a fase de poda.

Após a definição do local, monólitos de solo com raízes com volume de 27 cm³ foram coletados em cada

camada de solo, com trado tipo sonda. As amostras coletadas foram armazenadas cuidadosamente em sacos de plástico e mantidas em câmara fria, a aproximadamente -10°C, até a lavagem, sob água corrente, em peneira de 30 mesh, para separação das raízes. As raízes foram digitalizadas com câmera digital Sony de 18.2 Megapixels e, posteriormente, analisadas pelo programa Safira (Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP). Assim, quantificou-se a área superficial (mm² cm⁻³), o comprimento (mm cm⁻³), o volume

Tabela 1. Características químicas e granulométricas de seis profundidades do solo (Latosolo Amarelo) em área cultivada com cafeeiro conilon (*Coffea canephora*) irrigado e não irrigado, no Estado da Bahia.

Atributos químicos	Camada de solo (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
	Irrigado					
P (mg dm ⁻³)	19	6	3	1	1	1
K (mg dm ⁻³)	49	55	47	45	37	32
S (mg dm ⁻³)	5	6	9	17	23	36
Ca (cmol _c dm ⁻³)	2,6	1,8	1,5	0,7	0,5	0,4
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,0	0,8	0,6	0,3	0,2	0,1
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,0	0,0	0,4	0,7	0,8
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	1,3	1,2	1,6	2,9	3,6	4,7
pH	6,8	6,1	6,1	5,1	4,8	4,7
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹)	2,4	1,7	1,2	0,9	0,7	0,5
Fe (mg dm ⁻³)	279	340	341	417	347	274
Zn (mg dm ⁻³)	2,7	1,0	0,5	0,3	0,2	0,2
Cu (mg dm ⁻³)	1,3	0,7	0,4	0,3	0,2	0,2
Mn (mg dm ⁻³)	19	4	2	2	2	1
B (mg dm ⁻³)	0,61	0,71	0,65	0,61	0,49	0,43
Na (mg dm ⁻³)	25	24	23	22	18	15
	Não irrigado					
P (mg dm ⁻³)	18	14	12	8	5	2
K (mg dm ⁻³)	50	56	52	49	46	44
S (mg dm ⁻³)	11	9	6	13	30	14
Ca (cmol _c dm ⁻³)	2,1	1,8	1,3	1,0	0,9	0,8
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,4
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	1,6	1,6	1,7	2,2	2,2	2,6
pH	6,0	6,1	5,8	5,3	5,3	5,1
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹)	3,1	1,9	1,6	1,2	0,9	0,7
Fe (mg dm ⁻³)	107	174	301	341	398	362
Zn (mg dm ⁻³)	2,7	2,0	1,6	1,1	0,8	0,5
Cu (mg dm ⁻³)	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,1
Mn (mg dm ⁻³)	10	7	3	2	2	1
B (mg dm ⁻³)	0,73	0,81	0,87	0,56	0,53	0,49
Na (mg dm ⁻³)	29	27	24	22	20	19
Frações granulométricas						
Areia total (g kg ⁻¹)	732	728	632	528	510	478
Silte (g kg ⁻¹)	108	112	128	132	150	102
Argila (g kg ⁻¹)	160	160	240	340	340	420

(mm³ cm⁻³), por volume de solo, e o diâmetro das raízes (mm).

Os dados de área superficial, comprimento, volume e diâmetro das raízes, por não apresentarem distribuição normal, foram transformados pela função $y = \text{Log}(x + 11)$, antes da análise de variância e da comparação de médias. Entretanto, os dados foram apresentados na forma original. Os dados obtidos após a transformação Box-Cox foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, com o auxílio do programa Assistat, versão 7.7 beta (Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB). Para visualizar a distribuição espacial do sistema radicular no perfil do solo em duas dimensões e nas diferentes distâncias e profundidades, foram confeccionados gráficos de isolinhas com o programa GS+, versão 7.0 (Gamma Design Software, Plainwell, MI, EUA).

Resultados e Discussão

Houve interação significativa entre as características área superficial, comprimento, volume e diâmetro das raízes por volume de solo para os tratamentos: irrigação e não irrigação e distâncias do tronco do cafeeiro (Tabela 2); irrigação e não irrigação e camadas

de solo (Tabela 3); e distâncias do tronco do cafeeiro e camadas de solo (Tabela 4). No entanto, não houve interação entre os tratamentos irrigação e não irrigação e distâncias do tronco do cafeeiro e camadas de solo, simultaneamente.

As plantas de cafeeiro conilon não irrigadas apresentaram área superficial, comprimento e volume de raízes superiores aos das plantas irrigadas, principalmente nas distâncias de 17 e 33 cm do tronco do cafeeiro, no sentido da linha de plantio, e na de 50 cm do tronco do cafeeiro, no sentido da entrelinha (Tabela 2). Quanto às camadas de solo, observou-se que as plantas não irrigadas apresentaram maiores área superficial e comprimento de raízes na camada de 0–10 cm, além de maior volume de raízes nas camadas de 0–10 e 10–20 cm de profundidade, em comparação às plantas irrigadas (Tabela 3).

Verificaram-se maiores área superficial, comprimento, volume e diâmetro de raízes nas distâncias horizontais mais próximas do tronco do cafeeiro, tanto no sentido da linha de plantio quanto da entrelinha, e nas primeiras camadas do solo (Tabela 4). Houve redução na área superficial, no comprimento e no volume de raízes com o aumento da distância do tronco do cafeeiro, principalmente na região da entrelinha de plantio do cafeeiro e com o aumento

Tabela 2. Desdobramento da interação significativa entre os tratamentos irrigado e não irrigado e distâncias do tronco do cafeeiro, quanto às variáveis área superficial, comprimento e volume de raízes, em plantas de cafeeiro conilon (*Coffea canephora*)⁽¹⁾.

Distância (cm)	Área superficial (mm ² cm ⁻³)		Comprimento (mm cm ⁻³)		Volume (mm ³ cm ⁻³)	
	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não irrigado
Sentido da linha de plantio						
17	404Bab	962Aab	137Bab	283Aab	117Babc	329Aab
33	474Bab	1315Aa	147Bab	407Aa	153Babc	402Aa
50	542Aab	802Abc	165Aab	250Ab	180Aab	241Abc
Sentido da entrelinha de plantio						
17	759Aa	828Abc	233Aa	287Aab	244Aa	207Abcd
33	358Aab	458Acd	114Aab	152Abc	104Aabc	123Acde
50	192Bb	517Abcd	66Bb	177Abc	49Bbc	143Acde
67	207Ab	473Acd	69Ab	151Abc	56Abc	140Acde
83	191Ab	252Ad	63Ab	84Ac	52Abc	67Ade
100	158Ab	251Ad	52Ab	85Ac	44Abc	65Ade
117	188Ab	197Ad	61Ab	84Ac	55Abc	54Ae
133	93Ab	202Ad	28Ab	66Ac	33Ac	58Ae
150	125Ab	163Ad	43Ab	49Ac	33Ac	46Ae
167	130Ab	280Ad	43Ab	94Ac	38Abc	75Ade
CV geral (%)	49,1		44,2		45,4	

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

da profundidade das camadas de solo (Tabelas 2, 3 e 4). Essas tendências também foram observadas na distribuição espacial das raízes nas camadas de solo (Figuras 1, 2 e 3). Resultados semelhantes foram obtidos por Ronchi et al. (2015), que constataram maiores área superficial, comprimento, volume e matéria seca de raízes em cafeeiro arábica, em franco crescimento, nas posições mais próximas do tronco da planta, o que está de acordo com os resultados do presente trabalho. Contudo, Partelli et al. (2014) relataram maiores área superficial, comprimento e volume de raízes na região da entrelinha de plantio, em *C. Canephora*, aos 146 meses de idade, cultivado em sistema adensado.

Maiores área superficial, comprimento e volume de raízes das plantas irrigadas foram observados na região do bulbo de irrigação (bulbo úmido), que compreende toda a região do sentido da linha e os primeiros centímetros da entrelinha de plantio (Tabela 2 e Figuras 1, 2 e 3). Como as plantas irrigadas foram adubadas por meio da fertirrigação, pode-se inferir que as raízes tendem a se concentrar na região mais próxima à linha de emissores. Sakai et al. (2015) também encontraram maior massa de matéria seca de raízes (em g dm⁻³) na região próxima aos emissores, em cafeeiro arábica irrigado, quando comparado ao sistema de sequeiro. Ronchi et al. (2015) atribuíram maiores área superficial, comprimento, volume e massa de matéria

seca de raízes de cafeeiro arábica fertirrigado, nessa mesma camada, à distribuição de fertilizantes de modo concentrado, via fertirrigação.

Maiores área superficial, comprimento e volume de raízes em plantas irrigadas podem ter ocorrido como resposta fisiológica do sistema radicular, que apresentou maior desenvolvimento em locais de melhor fertilidade e disponibilidade hídrica (Lynch, 1995; Partelli et al., 2014). De acordo com Sakai et al. (2015), a disponibilidade de água e nutrientes na região do bulbo úmido aumenta o desenvolvimento de raízes e a formação de pelos radiculares, o que foi confirmado pela distribuição espacial das raízes no perfil do solo avaliado (Figuras 1, 2 e 3). Portanto, considera-se que a profundidade efetiva do sistema radicular se altera com a adoção da fertirrigação, bem como com o posicionamento e o espaçamento entre os emissores (Barreto et al., 2006).

As plantas não irrigadas apresentaram distribuição de raízes menos discrepante em relação às plantas irrigadas e maior aprofundamento do sistema radicular no perfil do solo, especialmente no sentido da linha de plantio (Figuras 1, 2 e 3). Conforme Santos & Carlesso (1998), o déficit hídrico estimula a expansão do sistema radicular para zonas mais profundas e úmidas do solo, em razão da maior evapotranspiração na camada superficial do solo (Hoogenboom et al., 1987). Já Sakai et al. (2015) constataram maior enraizamento no

Tabela 3. Desdobramento da interação significativa entre os tratamentos irrigado e não irrigado e camadas de solo, quanto as variáveis área superficial, comprimento e volume de raízes, em plantas de cafeeiro conilon (*Coffea canephora*)⁽¹⁾.

Camada de solo (cm)	Área superficial (mm ² cm ⁻³)		Comprimento (mm cm ⁻³)		Volume (mm ³ cm ⁻³)	
	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não irrigado
Valores absolutos						
0-10	625b	1.286a	206b	439a	179b	330a
10-20	214a	388a	69a	120a	62b	124a
20-30	280a	397a	86a	129a	98a	127a
30-40	278a	436a	84a	133a	90a	138a
40-50	240a	372a	76a	113a	71a	116a
50-60	129a	214a	44a	67a	34a	63a
Valores percentuais (%)						
0-10	35	42	36	44	34	37
10-20	12	13	12	12	12	14
20-30	16	13	15	13	18	14
30-40	16	14	15	13	17	15
40-50	14	12	13	11	13	13
50-60	7	7	8	7	6	7
CV geral (%)	49,1		44,2		45,4	

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

perfil do solo em plantas de café arábica irrigadas, em comparação às não irrigadas. O diâmetro das raízes não diferiu entre as plantas irrigadas e não irrigadas, tendo-se observado raízes com maiores diâmetros, próximo ao tronco do cafeeiro e em menor profundidade do solo (Tabela 4 e Figura 4).

O crescimento radicular do cafeeiro tende a ser menor em condições em que o solo se mantém, na maior parte do tempo, na capacidade de campo e não em condições de estresse moderado, uma vez que, sob déficit hídrico, a planta produz mais ácido abscísico, o que reduz o efeito do etileno, inibidor do crescimento radicular em comprimento (Rena & Guimarães, 2000). Além disso, a condição de alto teor de água no bulbo úmido interfere na aeração do solo, já que a água prontamente disponível dificulta a passagem do

etileno pelos poros do solo e permite que se concentre em níveis suficientes para retardar o desenvolvimento radicular (Rena & Guimarães, 2000; Barreto et al., 2006).

Nas plantas irrigadas, maiores área superficial, comprimento e volume de raízes não ultrapassaram 20 cm no sentido da entrelinha (>800 mm² cm⁻³, >280 mm cm⁻³ e >240 mm³ cm⁻³, respectivamente), e, nas plantas não irrigadas, as raízes se concentraram até aproximadamente 70 cm de distância do tronco do cafeeiro (Figuras 1, 2 e 3). Em ambos os casos, a maior concentração de raízes ficou abaixo da projeção da copa do cafeeiro, que apresentava 1,25 m de raio limítrofe. De acordo com o manejo empregado na região, a adubação de cobertura é realizada a lanço e o fertilizante é distribuído sob a projeção da copa

Tabela 4. Desdobramento da interação significativa entre os tratamentos distâncias do tronco do cafeeiro e camadas de solo, quanto às variáveis área superficial, comprimento, volume e diâmetro de raízes, em plantas de cafeeiro conilon (*Coffea canephora*)⁽¹⁾.

Camada de solo (cm)	Distâncias no sentido da linha de plantio (cm)									Distâncias no sentido da entrelinha de plantio (cm)			CV geral (%)	
	17	33	50	67	83	100	117	133	150	167	17	33		50
Área superficial (mm ² cm ⁻³)														
0-10	1.606ab	747cd	868cd	739cd	752cd	636d	468d	463d	516d	507d	1.294bc	2.115a	1.709ab	49,1
10-20	548a	156a	231a	217a	114a	166a	170a	58a	160a	321a	670a	564a	539a	
20-30	818a	243abc	260abc	318abc	239abc	144bc	97c	64c	92c	226abc	562abc	767ab	567abc	
30-40	747ab	450abcd	191bcd	256bcd	88cd	123bcd	212bcd	128bcd	98cd	61d	910a	652abcd	721abc	
40-50	645ab	516abc	425abc	303abc	108bc	109bc	122bc	136bc	0c	117bc	467abc	787a	243abc	
50-60	398a	336a	151a	208a	26a	48a	87a	36 ^a	0a	0a	196a	487a	254a	
Comprimento (mm cm ⁻³)														
0-10	554ab	270cd	302cd	253cd	267cd	214d	153d	144d	171d	173d	430bc	680a	576ab	44,2
10-20	181a	53a	79a	57a	36a	56a	53a	21 ^a	53a	106a	189a	179a	165a	
20-30	248a	67ab	109ab	96ab	73ab	50ab	88ab	22b	15b	75ab	176ab	217ab	163ab	
30-40	234ab	142abc	60abc	86abc	28bc	44abc	74abc	39bc	35bc	21c	254a	203abc	186abc	
40-50	200ab	155ab	133ab	99ab	31ab	36ab	40ab	44ab	0b	35ab	144ab	231a	80ab	
50-60	144a	112a	45a	69a	9a	12a	27a	13a	0a	0a	66a	152a	75a	
Volume (mm ³ cm ⁻³)														
0-10	406abc	182de	218cde	187de	181de	169de	137e	151de	138e	134e	349bcd	594a	461ab	45,4
10-20	159ab	40b	60ab	94ab	34b	43b	50b	14b	43b	86ab	251a	167ab	171ab	
20-30	272ab	87abcd	67cd	99abcd	73bcd	36cd	30cd	16d	31cd	63cd	220abc	280abcd	189abcd	
30-40	228abc	123bcd	55cd	67cd	24d	30cd	52cd	42cd	24d	16d	325a	204abcd	294ab	
40-50	194ab	159ab	124ab	82ab	37b	30cd	34b	38b	1b	37b	140ab	272a	67b	
50-60	94a	89a	51a	55a	8a	18a	25a	10a	1a	1a	51a	146a	79a	
Diâmetro (mm)														
0-10	0,75a	0,72a	0,75a	0,78a	0,76a	0,77a	0,75a	0,77a	0,78a	0,68a	0,79a	0,80a	0,71a	1,51
10-20	0,74a	0,59a	0,59a	0,67a	0,45a	0,44a	0,52a	0,38a	0,36a	0,61a	0,77a	0,78a	0,77a	
20-30	0,77a	0,54abcd	0,76a	0,68ab	0,46abcd	0,29bcd	0,39abcd	0,16d	0,23cd	0,69ab	0,68ab	0,71ab	0,62ab	
30-40	0,76a	0,78a	0,45abc	0,44abc	0,38abc	0,44abc	0,45abc	0,23c	0,29bc	0,23c	0,70ab	0,71ab	0,77a	
40-50	0,77a	0,70ab	0,53ab	0,61ab	0,39abc	0,31bc	0,30bc	0,30bc	0,00c	0,30bc	0,71ab	0,71ab	0,52ab	
50-60	0,66a	0,54abc	0,43abcd	0,39abcde	0,13cde	0,07de	0,22bcde	0,08de	0,00e	0,00e	0,47abcd	0,61ab	0,37abcde	

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

do cafeeiro, a, aproximadamente, 1,0 m do tronco. Contudo, os resultados obtidos no presente trabalho são indicativos de que as aplicações de fertilizantes em cobertura poderiam ser realizadas na região compreendida pela linha de plantio do cafeeiro, que apresenta maior concentração de raízes, isto é, entre 10 e 50 cm do tronco do cafeeiro, distância que pode chegar a 70 cm em lavouras não irrigadas.

Na camada de 0–10 cm, observaram-se 35, 36 e 34% de área superficial, comprimento e volume de raízes, respectivamente, nas plantas irrigadas (Tabela 3). Nessa mesma camada, verificaram-se 42, 44 e 37% de área superficial, comprimento e volume de raízes, respectivamente, nas plantas não irrigadas (Tabela 3). Já na camada de 50 a 60 cm de profundidade, a percentagem de raízes encontradas não passou de 8%, para as características avaliadas. Foram constatados valores percentuais próximos,

entre 11 e 18%, para área superficial, comprimento e volume de raízes, nas camadas de 10–20, 20–30, 30–40 e 40–50 cm (Tabela 3). Partelli et al. (2014) observaram percentual superior a 55% de raízes na camada de 0 a 20 cm do solo, ao avaliar área superficial, comprimento e volume de raízes. Resultados semelhantes foram relatados por Motta et al. (2006), que encontraram maior comprimento (cm dm⁻³ de solo) de raízes de cafeeiro arábica em até 20 cm de profundidade, e por Rodrigues et al. (2001), que verificaram menor área superficial e comprimento de raízes com o aumento da profundidade em cafeeiros cultivados sob diferentes concentrações de alumínio. O maior volume do sistema radicular nas camadas superiores do solo pode ser explicado pela ausência de uma raiz pivotante proeminente e pelas adubações realizadas na superfície do solo (Rena & Guimarães, 2000).

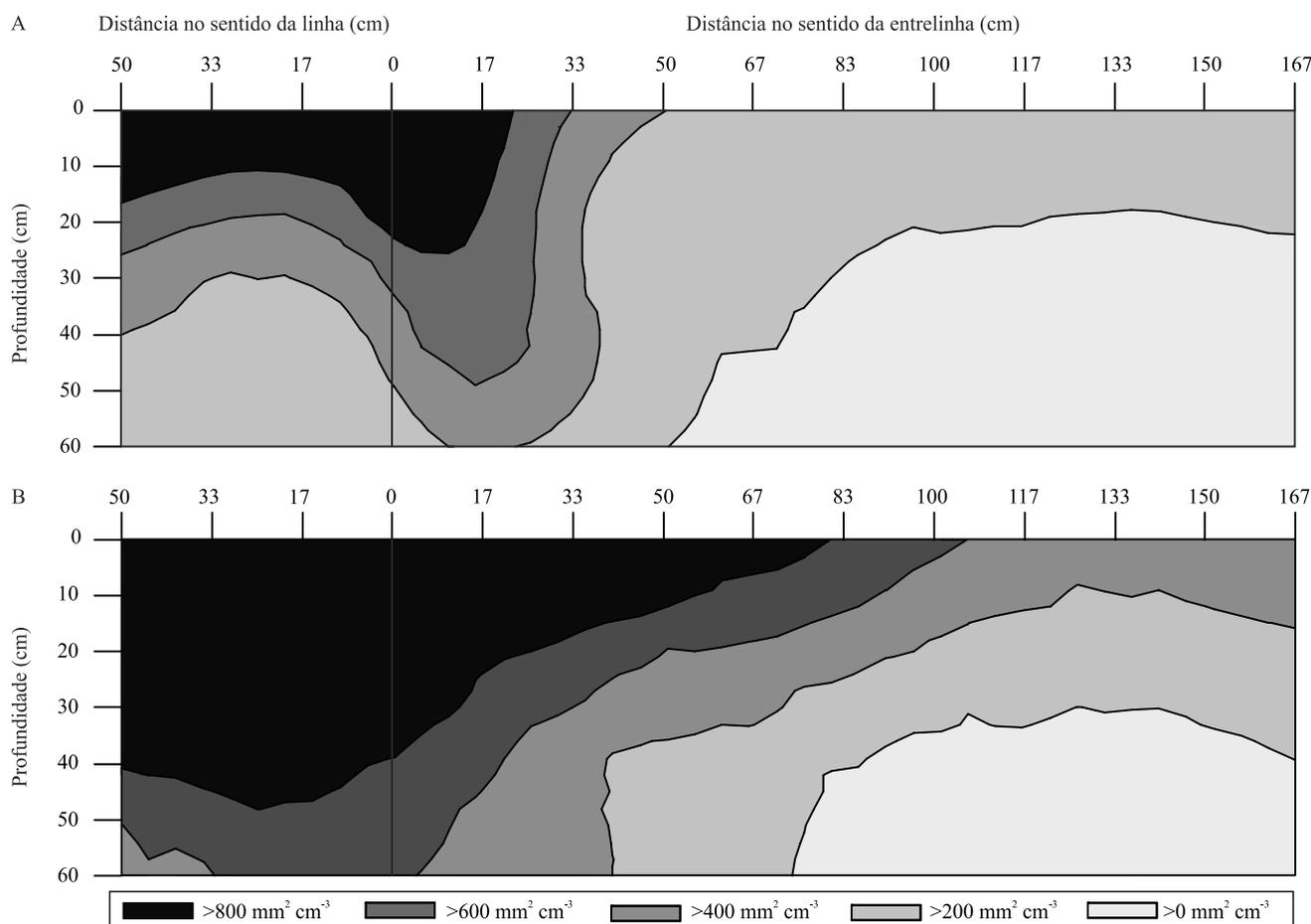


Figura 1. Distribuição espacial da área superficial das raízes de cafeeiro conilon (*Coffea canephora*) irrigado (A) e não irrigado (B), em diferentes distâncias e profundidades. O ponto zero refere-se à localização da planta.

Menores área superficial, comprimento e volume de raízes foram observados a partir de 50 cm de profundidade, o que coincidiu com: a menor concentração de nutrientes (fósforo, cálcio, magnésio, zinco, cobre e manganês) e matéria orgânica; a presença de alumínio; o aumento da acidez potencial do solo (H+Al); a redução do pH; e o aumento do teor de argila (Tabela 1), que pode estar associado ao aumento da densidade do solo. Partelli et al. (2014) e Ronchi et al. (2015), ao avaliar o sistema radicular de plantas de *C. canephora* adultas e de cafeeiro arábica em franco crescimento, respectivamente, também constataram que, na área superficial, o comprimento e o volume de raízes reduziu com a profundidade no perfil do solo, assim como o diâmetro médio de raízes, com o empobrecimento da fertilidade do solo. Embora o sistema radicular do cafeeiro apresente características

de desenvolvimento ligadas, principalmente, à genética da planta, outros fatores podem modificar sua distribuição espacial, como tipo de propagação, formação das mudas e, sobretudo, quantidade de água no solo (Franco & Inforzato, 1946; Partelli et al., 2014). A baixa fertilidade nas camadas mais profundas do solo pode ser um fator limitante para o desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro nos solos brasileiros (Rena & Guimarães, 2000), em especial nos tabuleiros costeiros.

Ronchi et al. (2015) observaram, em lavoura jovem (27 a 39 meses após o transplântio) irrigada, que o sistema radicular nas camadas mais profundas (40 cm) estava em pleno crescimento. Isso também foi verificado no presente trabalho, uma vez que a lavoura ainda não tinha sido submetida à poda de ramos ortotrópicos.

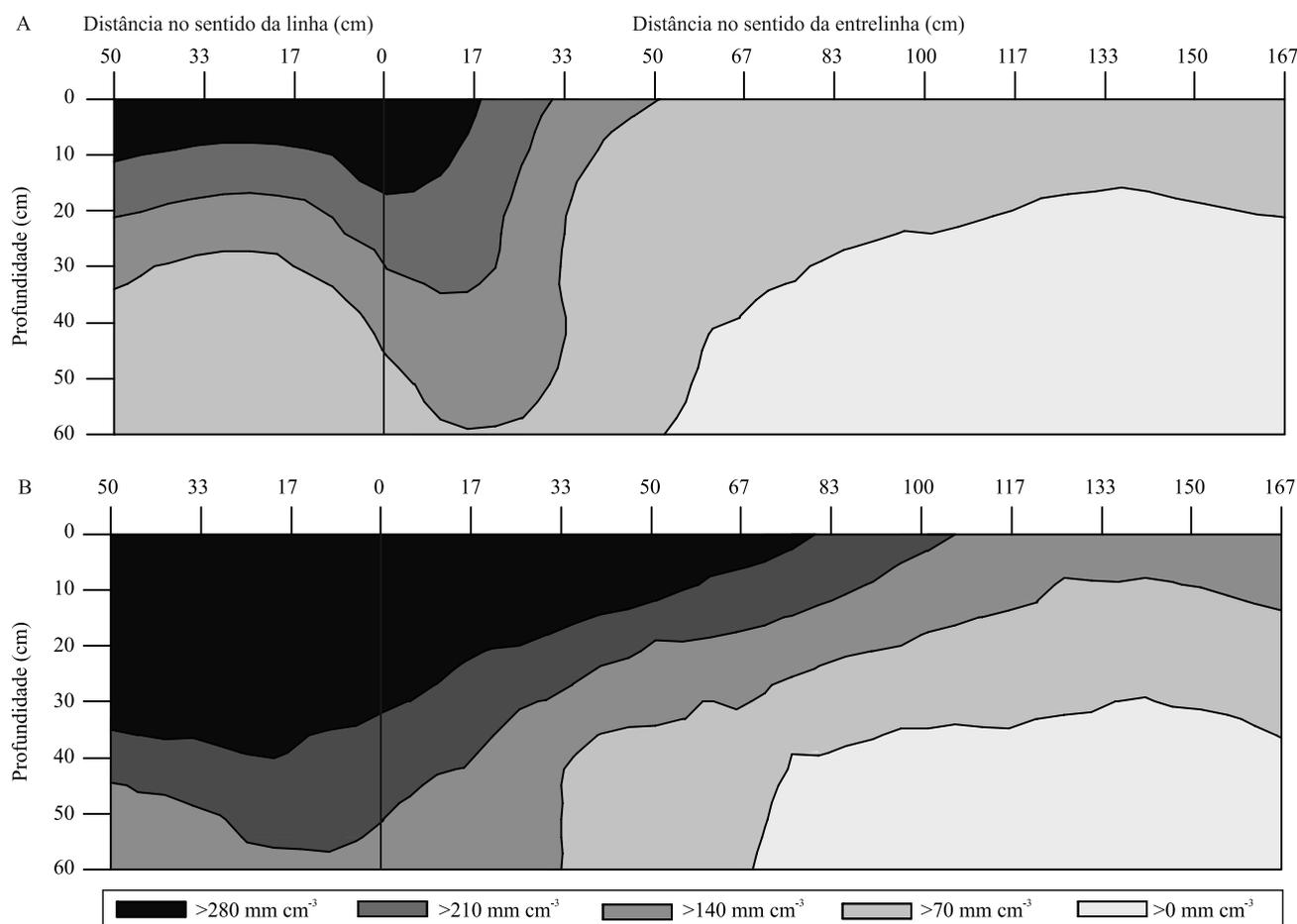


Figura 2. Distribuição espacial do comprimento das raízes de cafeeiro conilon (*Coffea canephora*) irrigado (A) e não irrigado (B), em diferentes distâncias e profundidades. O ponto zero refere-se à localização da planta.

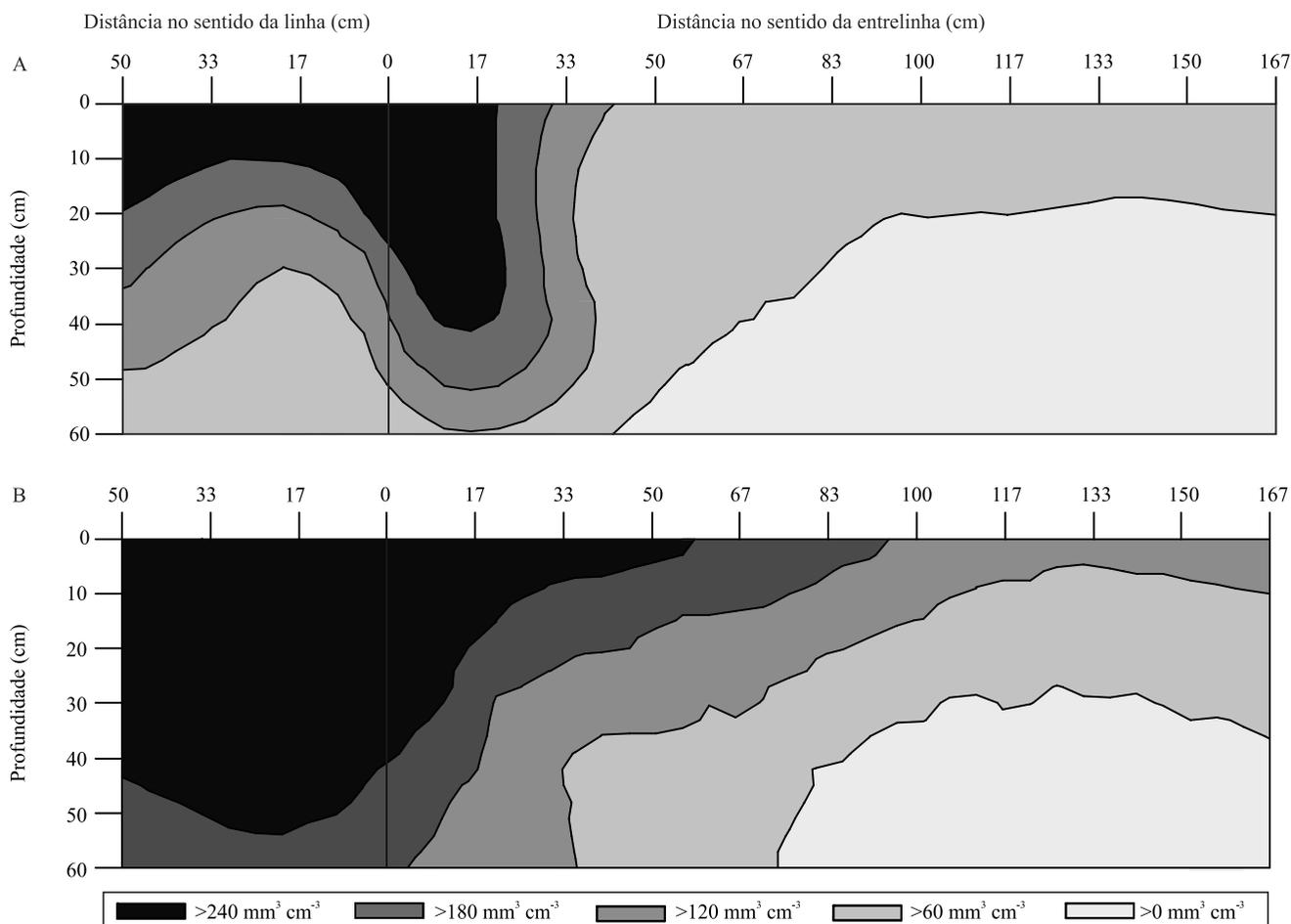


Figura 3. Distribuição espacial do volume das raízes de cafeeiro conilon (*Coffea canephora*) irrigado (A) e não irrigado (B), em diferentes distâncias e profundidades. O ponto zero refere-se à localização da planta.

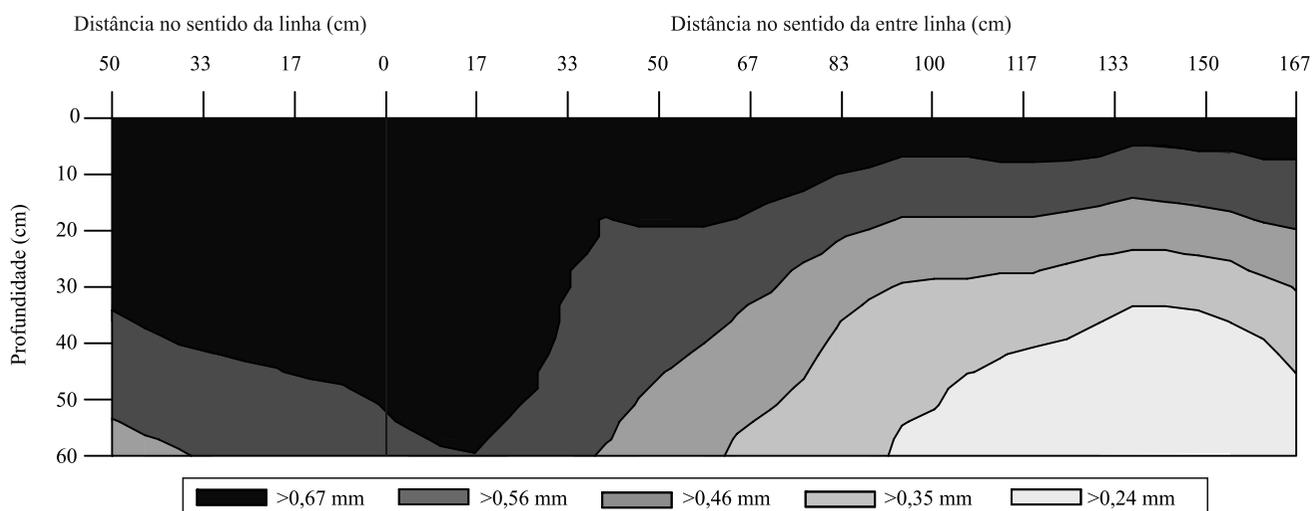


Figura 4. Distribuição espacial do diâmetro das raízes de cafeeiro conilon (*Coffea canephora*) irrigado e não irrigado, em diferentes distâncias e profundidades. O ponto zero refere-se à localização da planta.

Conclusões

1. As plantas de café conilon (*Coffea canephora*) não irrigadas apresentam maiores área superficial, comprimento e volume de raízes por volume de solo na camada superior, bem como distribuição menos discrepante de raízes na superfície do solo e em profundidade, em comparação às plantas irrigadas.

2. O sistema de irrigação por gotejamento promove maior quantidade de raízes nas plantas irrigadas, na zona compreendida pelo bulbo úmido da irrigação.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro e aos produtores Ademir Trevizani, Daniel Trevizani e Luiz Antônio Covre, pelo apoio na consecução do trabalho.

Referências

- ARAUJO, G.L.; REIS, E.F. dos; MORAES, W.B.; GARCIA, G. de O.; NAZÁRIO, A.A. Influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial de duas cultivares de café conilon. **Irriga**, v.16, p.115-124, 2011. DOI: 10.15809/irriga.2011v16n2p115.
- BARRETO, C.V.G.; SAKAI, E.; ARRUDA, F.B.; SILVA, E.A. da; PIRES, R.C. de M. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro fertirrigado por gotejamento em Campinas. **Bragantia**, v.65, p.641-647, 2006. DOI: 10.1590/S0006-87052006000400015.
- BELAN, L.L.; SILVA, K.G.; TOMAZ, M.A.; JESUS JUNIOR, W.C.; AMARAL, J.A.T. do; AMARAL, J.F.T. do. Aspectos fisiológicos do cafeeiro conilon: uma abordagem sistemática. **Nucleus**, v.8, p.225-240, 2011. DOI: 10.3738/1982.2278.551.
- BRAGANÇA, S.M.; CARVALHO, C.H.S. de; FONSECA, A.F.A. da; FERRÃO, R.G. Variedades clonais de café conilon para o Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.765-770, 2001. DOI: 10.1590/S0100-204X2001000500006.
- CARVALHO, M.; JESUS, A.M.S.; CARVALHO, S.P. de; GOMES, C.N.; SOARES, A.M. Comportamento em condições de campo de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) propagados vegetativamente e por semeadura. **Coffee Science**, v.3, p.108-114, 2008.
- DAMATTA, F.M.; RAMALHO, J.D.C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, p.55-81, 2006. DOI: 10.1590/S1677-04202006000100006.
- FRANCO, C.M.; INFORZATO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solo do estado de São Paulo. **Bragantia**, v.6, p.443-478, 1946. DOI: 10.1590/S0006-87051946000900001.
- HOOGENBOOM, G.; HUCK, M.G.; PETERSON, C.M. Root growth rate of soybean as affected by drought stress. **Agronomy Journal**, v.79, p.607-614, 1987. DOI: 10.2134/agronj1987.00021962007900040004x.
- LYNCH, J. Root architecture and plant productivity. **Plant Physiology**, v.109, p.7-13, 1995. DOI: 10.1104/pp.109.1.7.
- MARRACCINI, P.; VINECKY, F.; ALVES, G.S.C.; RAMOS, H.J.O.; ELBELT, S.; VIEIRA, N.G.; CARNEIRO, F.A.; SUJII, P.S.; ALEKCEVETCH, J.C.; SILVA, V.A.; DAMATTA, F.M.; FERRÃO, M.A.G.; LEROY, T.; POT, D.; VIEIRA, L.G.E.; SILVA, F.R. da; ANDRADE, A.C. Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea canephora*. **Journal of Experimental Botany**, v.63, p.4191-4212, 2012. DOI: 10.1093/jxb/ers103.
- MOTTA, A.C.V.; NICK, J.A.; YORINORI, G.T.; SERRAT, B.M. Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, p.455-463, 2006. DOI: 10.4025/actasciagron.v28i4.758.
- PARTELLI, F.L.; COVRE, A.M.; OLIVEIRA, M.G.; ALEXANDRE, R.S.; VITÓRIA, E.L. da; SILVA, M.B. da. Root system distribution and yield of 'Conilon' coffee propagated by seeds or cuttings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.349-355, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000500004.
- PARTELLI, F.L.; MARRÉ, W.B.; FALQUETO, A.R.; VIEIRA, H.D.; CAVATTI, P.C. Seasonal vegetative growth in genotypes of *Coffea canephora*, as related to climatic factors. **Journal of Agricultural Science**, v.5, p.108-116, 2013. DOI: 10.5539/jas.v5n8p108.
- PINHEIRO, H.A.; DAMATTA, F.M.; CHAVES, A.R.M.; FONTES, E.P.B.; LOUREIRO, M.E. Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. **Plant Science**, v.167, p.1307-1314, 2004. DOI: 10.1016/j.plantsci.2004.06.027.
- RENA, A.B.; GUIMARÃES, P.T.G. **Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam**. Belo Horizonte: Epamig, 2000. 80p. (Epamig. Documentos, 37).
- RODRIGUES, L.A.; MARTINEZ, H.E.P.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; MENDONÇA, S.M. Growth response of coffee tree shoots and roots to subsurface liming. **Plant and Soil**, v.234, p.207-214, 2001. DOI: 10.1023/A:1017999318532.
- RONCHI, C.P.; SOUSA JÚNIOR, J.M. de; AMEIDA, W.L. de; SOUZA, D.S.; SILVA, N.O.; OLIVEIRA, L.B. de; GUERRA, A.M.N. de M.; FERREIRA, P.A. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, p.187-195, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000300001.
- SAKAI, E.; BARBOSA, E.A.A.; SILVEIRA, J.M. de C.; PIRES, R.C. de M. Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with and without drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v.148, p.16-23, 2015. DOI: 10.1016/j.agwat.2014.08.020.
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.287-294, 1998.

SILVA, A.L. da; BRUNO, I.P.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; DOURADO-NETO, D.; FAVARIN, J.L.; COSTA, F.M.P. da; TIMM, L.C. Soil water extraction by roots and Kc for the coffee crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.257-261, 2009. DOI: 10.1590/S1415-43662009000300006.

SILVA, P.E.M.; CAVATTE, P.C.; MORAIS, L.E.; MEDINA, E.F.; DAMATTA, F.M. The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: implications for breeding aimed at improving drought tolerance. **Environmental and**

Experimental Botany, v.87, p.49-57, 2013. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2012.09.005.

SILVA, V.A.; ANTUNES, W.C.; GUIMARÃES, B.L.S.; PAIVA, R.M.C.; SILVA, V. de F.; FERRÃO, M.A.G.; DAMATTA, F.M.; LOUREIRO, M.E. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.457-464, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010000500004.

VERDIN FILHO, A.C.; TOMAZ, M.A.; FERRÃO, R.G.; FERRÃO, M.A.G.; FONSECA, A.F.A. da; RODRIGUES, W.N. Conilon coffee yield using the programmed pruning cycle and different cultivation densities. **Coffee Science**, v.9, p.489-494, 2014.

Recebido em 30 de junho de 2015 e aprovado em 16 de setembro de 2015