

CRESCIMENTO DE MUDAS DE CAFÉ SOB DIFERENTES PREPAROS DO SOLO E IRRIGAÇÃO PARA AGRICULTURA FAMILIAR

Rhuanito Soranz Ferrarezi¹, Fábio Ponciano de Deus², Guilherme Alonso Martins³, Renan Primo⁴, Roberto Testezlaf⁵

(Recebido: 28 de março de 2014; aceito: 19 de junho de 2014)

RESUMO: A agricultura familiar é fundamental para a segurança alimentar e a economia brasileira. No entanto, esse setor possui baixa capacidade de investimento, o que resulta na baixa utilização de tecnologias de produção. Sistemas alternativos de preparo do solo e de irrigação por gotejamento devem ser testados para aplicação na agricultura familiar. Objetivou-se, neste estudo, avaliar diferentes sistemas de preparo de solo e o emprego da irrigação por gotejamento KIFNET®, no crescimento vegetativo inicial do café 'Catuaí Vermelho' em Latossolo vermelho distroférrico. Testaram-se três sistemas de preparo do solo: aração e gradagem/CONV; subsolagem a 30 cm/SS; escarificação, adubação a 60 cm e gradagem/TO) e dois tratamentos de irrigação (irrigado e não irrigado). O manejo da irrigação foi realizado para atender à demanda hídrica da cultura, monitorando-se as condições climáticas, utilizando uma estação meteorológica automática que estimava a ETo por meio de Penman-Monteith. Houve diferenças significativas entre os sistemas de preparo do solo e a irrigação ($p < 0,01$). O tratamento com preparo CONV apresentou altura de plantas, diâmetro do caule, número de ramos e largura média da copa respectivamente 13,8%, 10%, 16% e 19,2% superiores em relação aos demais sistemas de preparo ($p < 0,01$). Os tratamentos irrigados foram 12,8%, 39,7%, 34,8% e 25,8% superiores aos não irrigados para as mesmas variáveis ($p < 0,01$). Os sistemas de preparo de solo com SS e TO não apresentaram efeito na fase inicial de desenvolvimento com sistema radicular superficial. O sistema de gotejamento testado pode ser uma alternativa de baixo custo para irrigação na agricultura familiar.

Termos para indexação: *Coffea arabica* L., manejo de irrigação, irrigação localizada, sistemas de preparo do solo.

GROWTH OF COFFEE SEEDLINGS UNDER DIFFERENT SOIL CULTIVATION SYSTEMS AND FAMILY FARMING DRIP IRRIGATION

ABSTRACT: Family farming is critical for Brazilian food security and economy. However, this sector has low investment capacity, which results in low utilization of production technologies. Alternative soil cultivation systems and inexpensive drip irrigation needs to be tested for family farming. The aim of this study was to evaluate different soil cultivation systems and the use of KIFNET™ drip irrigation in the initial vegetative growth of coffee (*Coffea arabica* L.) 'Catuaí' in an Oxisol. We tested three soil cultivation systems (plowing and harrowing/CONV; subsoiling at 30 cm/SS; and scarification, fertilization at 60 cm and harrowing/TO) and two irrigation treatments (irrigated and non-irrigated). The irrigation management addressed the crop water requirements by monitoring weather conditions using an automatic weather station and calculating the ETo using the Penman-Monteith equation. There were significant differences among the soil cultivation systems and irrigation ($p < 0.01$). Treatments with CONV soil cultivation system presented higher plant height, stem diameter, number of branches and canopy width compared to the other soil cultivation systems (13.8%, 10%, 16%, and 19.2% respectively) ($p < 0.01$). Irrigated treatments were 12.8%, 39.7%, 34.8%, and 25.8% higher than non-irrigated ones for the same variables ($p < 0.01$). SS and TO soil cultivation systems presented no effect at the initial development stage because of the shallow root system. The tested drip irrigation system can be a low-cost alternative for irrigation in family farming.

Index terms: *Coffea arabica* L., irrigation management, drip irrigation, soil cultivation systems.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura familiar é fundamental para a segurança alimentar e a economia, produzindo 70% dos alimentos que chegam à mesa dos brasileiros, sendo responsável por mais de 74% da mão de obra do meio rural e por 10% do produto interno bruto (PIB) brasileiro. Aproximadamente, um terço do agronegócio atual está condicionado à agricultura familiar (GUILHOTO et al., 2007).

No entanto, esse setor possui baixa capacidade de investimento, com a produção ocorrendo em geral em pequenas propriedades e com uso de baixa tecnologia.

Um dos problemas encontrados em lavouras de café refere-se ao sistema de implantação da cultura, pois o seu caráter perene determina que o sistema de preparo do solo seja eficaz para a formação de um ambiente favorável ao crescimento do sistema radicular, ao longo dos anos.

¹University of Georgia/UGA - Department of Horticulture - 1111 Miller Plant Science Building - Zip code 30602 - Athens GA - Estados Unidos - rhuanito@terra.com.br

^{2,3,4,5}Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP - Faculdade de Engenharia Agrícola/FEAGRI - Av. Cândido Rondon 501 13083-875 - Campinas - SP - fabio.deus@feagri.unicamp.br, guilherme.martins@feagri.unicamp.br, renan.primo@feagri.unicamp.br, bob@feagri.unicamp.br

Embora predominante, o sistema convencional realiza o constante revolvimento da terra, e contribui para a redução do teor de matéria orgânica e alterações químicas e físicas no solo (OLIVEIRA et al., 2008). Alternativas para incorporar fertilizantes e corretivos em profundidade, com o propósito de estimular o crescimento radicular, ao longo do perfil do solo, estão sendo utilizadas em outras culturas perenes como a cana-de-açúcar e os citros (BARBOSA, 2011), e também devem ser testadas para aplicação na cafeicultura para a agricultura familiar.

A cafeicultura brasileira se caracteriza por empregar diferentes cultivares, sendo a 'Catuaí Vermelho' uma das mais plantadas. Essa cultivar apresenta pequeno porte, internódios curtos, ramificação secundária abundante, frutos vermelhos de maturação média e tardia, sementes de tamanho médio e produção precoce (GUERREIRO FILHO; FAZUOLI; AGUIAR, 2006).

A utilização da irrigação na produção de café tem aumentado nos últimos anos, em razão da influência direta da água e nutrientes no desenvolvimento da cultura e do incremento na produtividade. Para permitir que a agricultura familiar tivesse acesso à irrigação, as empresas de equipamentos desenvolveram um sistema por gotejamento, denominado kit familiar, que apresenta custo reduzido, facilidade de instalação e operação e funcionamento por gravidade. O gotejamento é um sistema de irrigação eficiente e que aplica baixos volumes de água, com perdas reduzidas, aumentando a produção e elevando a rentabilidade do produtor (BORSSOI et al., 2012).

A adoção destes sistemas de irrigação requer a aplicação de conhecimentos técnicos específicos com relação ao seu manejo adequado, pois a disponibilidade de água afeta diretamente a produção agrícola (OLIVEIRA et al., 2010). O atendimento das necessidades hídricas das plantas e do armazenamento de água no solo são fatores decisivos para proporcionar o máximo desenvolvimento das plantas (GOMES; LIMA; CUSTÓDIO, 2007). A realização do manejo apropriado contribui diretamente para reduzir as perdas econômicas na produção e promover a preservação ambiental, devido à maior eficiência de uso da água.

Avaliações hidráulicas de sistemas de irrigação por gotejamento são práticas comuns na pesquisa (BORSSOI et al., 2012; REIS et al., 2005), principalmente em frutíferas como meloeiro (CUNHA et al., 2008), mamoeiro (SANTOS et al., 2008), goiabeira (CARVALHO et al., 2006) e cafeeiro (SOUZA et al., 2006).

Como o uso do kit familiar é incipiente, poucos trabalhos foram realizados até o momento usando essa tecnologia (DEUS et al., 2015; NASCIMENTO et al., 2009; SOUZA; PÉREZ; BOTREL, 2006). No entanto, informações sobre o efeito do sistema no crescimento das plantas ainda são escassas, principalmente na cultura do cafeeiro.

Objetivou-se, neste estudo, avaliar diferentes sistemas de preparo de solo (convencional/ CONV, subsolagem/SS e tríplice operação/TO) e o emprego da irrigação por gotejamento tipo kit familiar KIFNET® (tratamentos irrigado e não irrigado), no crescimento vegetativo inicial do café 'Catuaí Vermelho', em um Latossolo vermelho distroférico.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) (latitude 22°48'57" S, longitude 47°03'33" O e altitude de 640 m), cujo clima é classificado, de acordo com Köppen, como sendo de transição entre os tipos Cwa e Cfa (tropical de altitude com inverno seco e verão úmido). No experimento, foram utilizadas aproximadamente 1300 mudas de café (*Coffea arabica* L. 'Catuaí Vermelho'), transplantadas nos dias 13 e 14 de dezembro de 2012, em uma área de aproximadamente 2.600 m², com solo classificado como Latossolo vermelho distroférico, de textura argilosa. As plantas foram distribuídas em um total de 11 linhas de plantio, com espaçamento de 0,7 m entre plantas e 3,0 m entrelinhas, em área total de 2.185 m². Um croqui do experimento pode ser visualizado na Figura 1.

Foram realizados três preparos do solo para o plantio: convencional/CONV: aração e gradagem niveladora a 20 cm, com aplicação de adubo no sulco de plantio; subsolagem/SS: subsolagem a 30 cm de profundidade, com aplicação de adubo no sulco de plantio; e tríplice operação/TO: escarificação, aplicação de fertilizantes a 60 cm de profundidade e gradagem. O sulco de plantio foi realizado a uma profundidade de 20 cm, ao longo da linha de plantio.

A adubação de correção foi realizada dois meses antes do plantio, de acordo com as recomendações de Raij et al. (1997). A adubação foi baseada em análises de solo, realizadas com amostras retiradas nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, cujos resultados estão disponibilizados na Tabela 1.

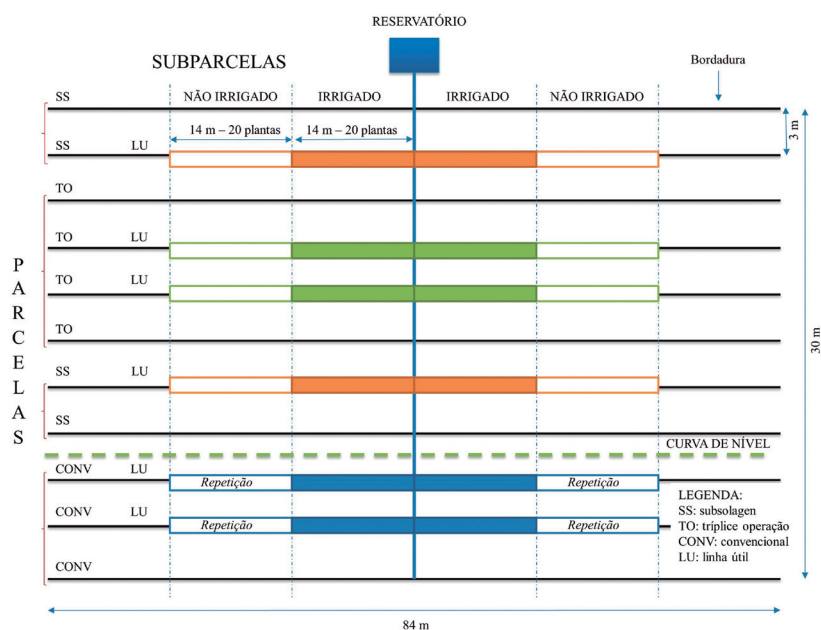


FIGURA 1 - Croqui da área experimental, indicando os tratamentos de irrigação (irrigado e não irrigado) e de preparo do solo (subsolação a 30 cm/SS, tríplice operação/TO e convencional/CONV).

TABELA 1 - Análise de solo realizada antes da implantação do experimento. Média de cinco amostragens.

Elemento	Profundidade de amostragem			
	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm	60 - 80 cm
pH (CaCl ₂)	4,6	4,7	4,8	5,0
pH (H ₂ O)	5,3	5,4	5,6	5,7
Hidrogênio + Alumínio (H + Al, cmol)	4,58	4,32	3,66	3,16
Alumínio (Al, cmol)	0,20	0,18	0,12	0,02
Fósforo Resina (P, mg dm ⁻³)	6,60	6,40	4,60	7,20
Potássio (K, mmol dm ⁻³)	2,14	1,58	0,94	0,74
Cálcio (Ca, cmol)	1,90	1,98	1,98	2,26
Magnésio (Mg, cmol)	0,60	0,58	0,50	0,58
Enxofre (S, mg dm ⁻³)	11,08	12,00	14,84	11,44
Boro (B, mg dm ⁻³)	0,22	0,28	0,30	0,18
Cobre (Cu, mg dm ⁻³)	8,62	8,84	8,74	6,80
Ferro (Fe, mg dm ⁻³)	53,40	49,50	57,26	48,00
Manganês (Mn, mg dm ⁻³)	13,10	9,90	5,96	4,14
Sódio (Na, mg dm ⁻³)	3,50	1,80	1,98	1,62
Zinco (Zn, mg dm ⁻³)	3,10	2,56	1,98	1,94
Carbono (C, g dm ⁻³)	16,00	12,80	9,00	6,00
Matéria orgânica (%)	2,76	2,22	1,54	1,02
Soma de bases (SB, cmol)	2,71	2,72	2,57	2,91
CTC (mmol dm ⁻³)	72,94	70,38	62,34	60,74
Saturação de bases (V, %)	37,15	38,84	41,93	47,92

A metodologia de coleta e análise das amostras de solo seguiu o indicado por Rajj et al. (1997). Procedeu-se à aplicação de 391,3 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo, 870 kg ha⁻¹ de fertilizante organomineral 00-18-00 com 15% de cálcio e micronutrientes (Biorin Plus, Cosmópolis, SP), 82,4 kg ha⁻¹ de nitrato de potássio, 60 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, 72,8 kg ha⁻¹ de sulfato de potássio e 10 kg ha⁻¹ de ácido bórico. Em todos os preparos do solo, foi realizada aplicação de 3,4 t ha⁻¹ de calcário dolomítico para correção do pH na camada de 0-20 cm.

Um sistema de irrigação por gotejamento KIFNET® para agricultura familiar foi implantado, seguindo-se as recomendações do fabricante (Netafim, Tel Aviv, Israel). O abastecimento do sistema foi realizado por um reservatório plástico de 1.000 L com tampa, elevado a 1,5 m e posicionado na parte superior da área experimental (Figura 2A). A distribuição da água ocorreu por ação da gravidade, com o emprego de uma tubulação com diâmetro de 2,54 cm e filtro de discos na saída do reservatório.

O reservatório foi posicionado no meio da área experimental, dividindo-se o estudo em dois setores de irrigação (Figura 1). Duas linhas principais de 30 m de comprimento foram estendidas para atender as seis linhas laterais, que apresentavam 14 m de comprimento cada uma e estavam situadas nas linhas com os diferentes tratamentos de preparo do solo (Figura 2B). Os gotejadores utilizados foram do tipo Typhoon MicroDrip (Netafim, Tel Aviv, Israel), com espaçamento de 0,3 m entre gotejadores, operando a baixas pressões e com vazão nominal de 1,7 L h⁻¹ (Figura 2C).

No entanto, no manejo da cultura utilizou-se o valor da vazão ensaiada em laboratório de 1,0 L h⁻¹, obtida na avaliação hidráulica e operacional desse sistema de irrigação realizada por Deus et al. (2015), na mesma área experimental. Os coeficientes de uniformidade de Christiansen e de distribuição desse sistema foram 90,30% e 85,79%, respectivamente, resultado da disposição dos equipamentos na área experimental (com declividade de 10%) e do entupimento de 6,79% observado após 24 eventos de irrigação (DEUS et al., 2015).

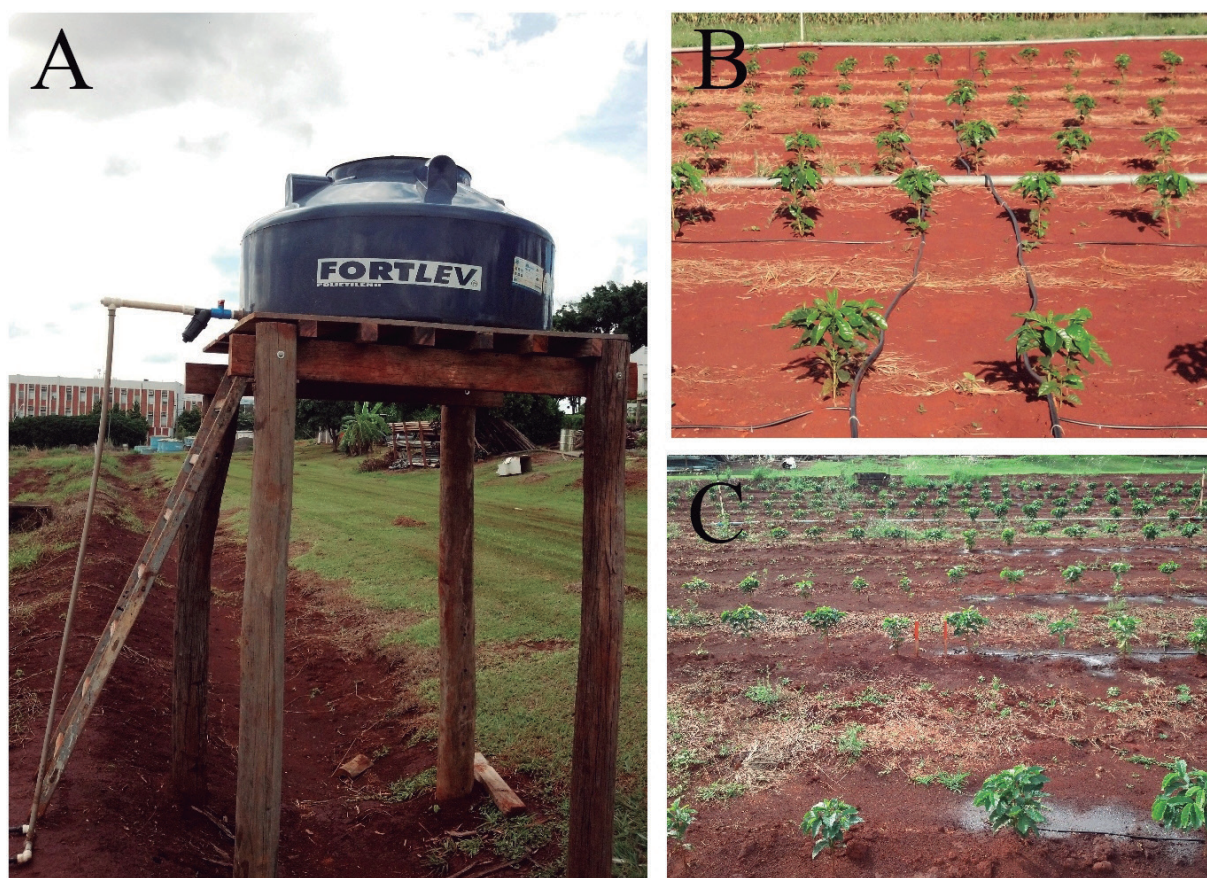


FIGURA 2 - Reservatório de 1.000 L elevado a 1,5 m e posicionado na parte superior da área experimental (A). Linhas principais e respectivas linhas laterais (B). Vista do sistema de irrigação em operação no lado direito (C).

Os dados climáticos necessários para a determinação da evapotranspiração foram coletados diariamente da estação meteorológica automática do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) da UNICAMP, localizada a 20 m do campo experimental.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada diariamente através da equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) (Equação 1), sendo que a evapotranspiração da cultura (ET_c) foi obtida diariamente pela multiplicação do coeficiente de cultura (K_c) pelo valor da ET_o. O K_c usado para esse estágio de desenvolvimento das plantas (< 1,5 anos), para um solo de textura argilosa, foi de 0,8 (SANTINATO; FERNANDES, 2012). De posse dos valores da ET_c, adotou-se um percentual de área molhada (P_w) de 0,2 (ou de 20%) e utilizou-se uma área de cobertura da planta de 0,7 × 3,0 m (2,1 m²) para o cálculo do tempo de irrigação (T_i, em horas), definido pela Equação 2.

$$ET_o = \frac{[0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \times 900 \times u_2 \times (e_s - e_a) / (T + 273)]}{[\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)]} \quad (1)$$

$$T_i = \frac{(ET_c \times P_w / 100 \times A)}{\text{Vazão do gotejador}} \quad (2)$$

sendo: ET_o = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); Δ = derivada da função de saturação de vapor d'água (kPa °C⁻¹); R_n = radiação útil recebida pela cultura de referência (MJ m⁻² dia⁻¹); G = fluxo de calor recebido pelo solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); u₂ = velocidade do vento a 2 metros de altura (m s⁻¹); e_s = tensão de saturação de vapor de água (kPa); e_a = tensão de vapor da água atual (kPa); T = temperatura média do ar (°C); P_w = percentual de área molhada em relação à cobertura da planta (%); e A = área de cobertura da planta (0,7 × 3,0 m = 2,1 m²).

Foram avaliadas as variáveis biométricas de altura da planta, diâmetro do caule, número de ramos e largura média da copa medidas nos dias 10/05/2013 (dias após o transplantio ou DAT 148), 24/05/2013 (DAT 162), 07/06/2013 (DAT 176), 20/06/2013 (DAT 189) e 03/07/2013 (DAT 202).

A altura das plantas foi medida com uma régua graduada, utilizando-se como referência a base do caule (nível do solo) até sua extremidade apical. O diâmetro do caule foi medido com um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm, a uma altura de 5 cm do solo. Para a obtenção do número de ramos foi realizada a contagem direta. Para a determinação da largura média da copa, utilizou-se uma régua graduada, obtida pela medição da largura dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos. Dez plantas foram amostradas, aleatoriamente, para cada uma das quatro repetições, em cada tratamento.

O delineamento experimental usado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, com os fatores em esquema de parcelas subdivididas (sistemas de preparo de solo na parcela e irrigação na subparcela). Cada parcela era formada por duas linhas com 14 metros de comprimento, espaçadas entre si por 3 metros e com 20 plantas por linha. Como o sistema de irrigação funcionava por gravidade, a linha principal foi derivada diretamente do reservatório. Para atender às recomendações de altura e pressão, os tratamentos de irrigação foram posicionados no centro do experimento (Figura 1). Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, à análise de variância (ANOVA) e ao teste de comparação de médias de Tukey, usando o software estatístico SAS 9.2 (SAS Institute). O modelo estatístico usado foi $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + (SR)_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + E_{ijk}$, no qual i = 1, 2, 3 sistemas de preparo de solo; j = 1, 2 níveis de irrigação; k = 1, 2, 3, 4 repetições; α_i: efeito do fator sistemas de preparo de solo (na parcela); (SR)_{ik}: efeito do erro a nível de parcelas, considerados independentes e identicamente distribuídos N(0,σ²); β_j: efeito do fator irrigação (na subparcela); (αβ)_{ij}: efeito da interação sistemas de preparo de solo x irrigação; E_{ijk}: erro experimental a nível de subparcelas, considerados independentes e identicamente distribuídos N(0,σ²).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação total ao longo do período experimental foi de 900,37 mm, correspondendo a uma média mensal de 128,62 mm (Figura 3). Durante o período de irrigação, a precipitação pluviométrica foi de 143,2 mm, e a lâmina total aplicada foi de 89,62 mm. Observa-se que a precipitação foi maior nos quatro primeiros meses do experimento (84,1%) em comparação com os três últimos meses, o que era esperado em razão do comportamento pluviométrico da região.

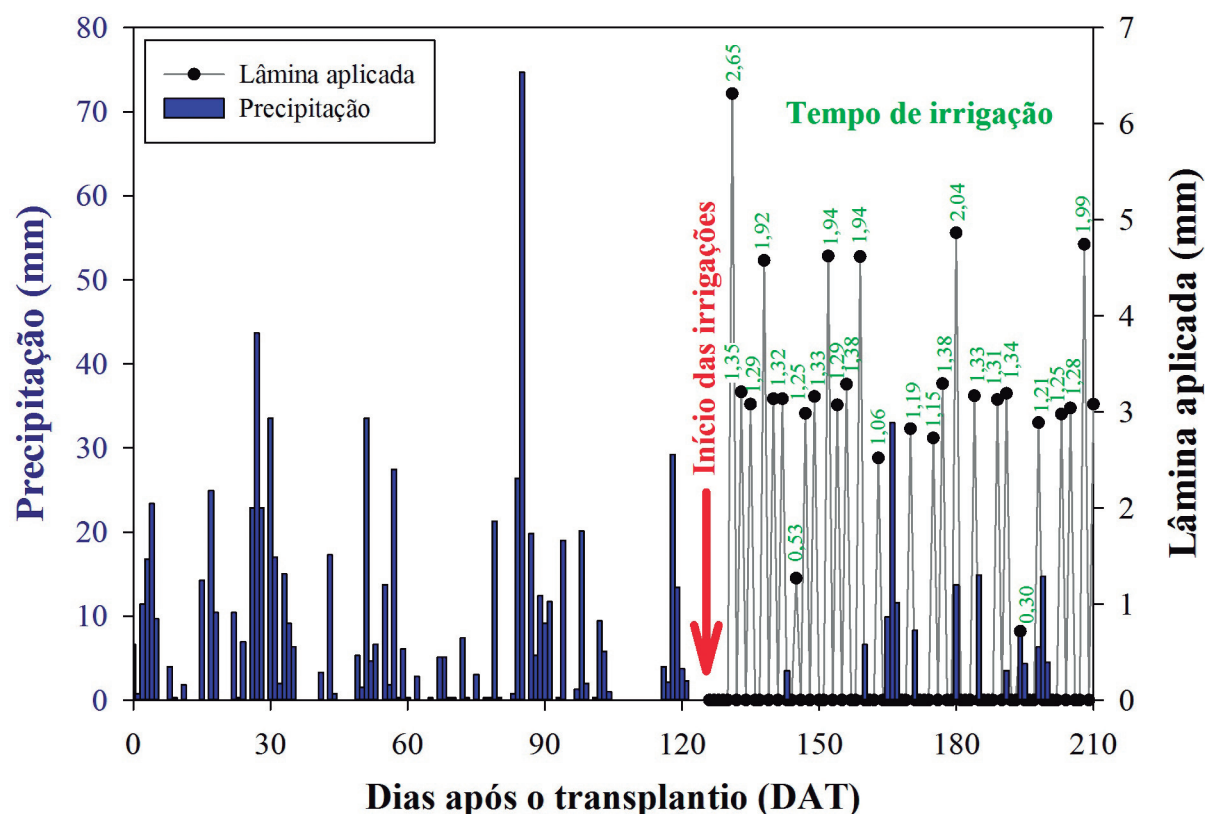


FIGURA 3 - Precipitação, lâmina aplicada e tempo de irrigação ao longo do período experimental (dezembro/2012 a julho/2013). O tempo de irrigação está indicado pelo valor numérico acima da lâmina aplicada.

As lâminas aplicadas, o tempo de cada irrigação e os dias de aplicação estão disponíveis na Figura 3. Observa-se que as irrigações foram realizadas aproximadamente a cada dois dias, considerando-se somente os períodos em que não ocorreram chuvas. Verifica-se também que as irrigações foram iniciadas em meados de abril e terminaram no começo de julho, período que corresponde, respectivamente, ao início da irrigação por gotejamento e a realização da última avaliação biométrica das plantas, respectivamente. O manejo da irrigação foi realizado adequadamente, ao longo de todo o período experimental.

As variáveis biométricas altura, diâmetro do caule, número de ramos e largura média da copa das plantas foram utilizadas, a fim de caracterizar o crescimento das plantas em diferentes tratamentos de preparo do solo e irrigação. O crescimento das plantas de cafeeiro está diretamente relacionado com a disponibilidade hídrica (SAKAI et al., 2013), sendo que Gomes, Lima e Custódio (2007) concluíram que a produtividade pode ser aumentada diretamente com o maior crescimento da parte vegetativa (copa e caule).

Os valores médios, o desvio padrão e a análise estatística das variáveis biométricas são apresentados nas Tabelas 2 a 5. Observa-se que não houve efeito significativo da interação preparo do solo (P) × irrigação (I), para as quatro variáveis biométricas avaliadas.

Houve diferença significativa entre os tratamentos para a altura das plantas em todas as datas de amostragem ($p < 0,01$, $R^2 > 0,93$, Tabela 2), com efeito dos fatores preparo do solo e irrigação (Tabela 2). Não houve efeito significativo da interação P × I. Verifica-se que as plantas do tratamento CONV apresentaram altura 13,8% superior que o tratamento TO no DAT 202 (última data de amostragem) ($p = 0,0008$, $R^2 = 0,9388$). As plantas dos tratamentos irrigados apresentaram altura 12,9% superior, em relação aos tratamentos não irrigados (Tabela 2). A mesma tendência ocorreu nas amostragens anteriores (DAT 148, 162, 176 e 189). A altura das plantas do preparo de solo por TO apresentou valores menores, em relação aos outros preparos de solo, tanto para o tratamento irrigado quanto para o não irrigado (dados não mostrados).

TABELA 2 - Altura das plantas (média \pm desvio padrão) aos 148, 162, 176, 189 e 202 dias após o transplante (DAT), dos diferentes tratamentos de preparo do solo e irrigação e níveis de significância (valor de probabilidade, p) para os fatores preparo de solo, irrigação e interação.

Fatores	Tratamentos	Altura das plantas (cm)				
		DAT 148	DAT 162	DAT 176	DAT 189	DAT 202
Preparo de solo	CONV	37,3 \pm 2,0a	38,7 \pm 2,5a	39,8 \pm 2,3 ^a	40,9 \pm 2,4a	42,1 \pm 2,5a
	SS	35,7 \pm 2,4a	36,9 \pm 2,5a	38,0 \pm 2,7 ^a	39,1 \pm 3,0a	40,3 \pm 3,1a
	TO	32,5 \pm 2,5b	33,5 \pm 2,7b	34,7 \pm 2,8b	35,9 \pm 3,0b	37,0 \pm 3,2b
Irrigação	Irrigado	36,8 \pm 2,3A	38,3 \pm 2,4A	39,5 \pm 2,4 ^a	40,9 \pm 2,4A	42,2 \pm 2,4A
	Não irrigado	33,6 \pm 2,8B	34,4 \pm 2,9B	35,5 \pm 2,9B	36,4 \pm 2,9B	37,4 \pm 3,0B
		Valor de probabilidade, p				
Modelo estatístico		0,0011*	0,0010*	0,0010*	0,0010*	0,0008*
Preparo de solo (P)		0,0001*	0,0001*	0,0002*	0,0002*	0,0002*
Irrigação (I)		0,0002*	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*
P \times I		0,2531	0,3613	0,3315	0,3114	0,2985
R ²		0,9335	0,9363	0,9357	0,9357	0,9388
C.V. (%)		3,64	3,71	3,70	3,77	3,70

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, em cada um dos fatores (minúscula para preparo de solo e maiúscula para irrigação). Sendo: * = significativo a 1% de probabilidade, CONV = preparo convencional do solo (aração e gradagem de nivelamento a 20 cm), SS = preparo do solo por subsolagem a 30 cm de profundidade, com aplicação de adubo no sulco do plantio; TO = tríplex operação (subsolagem, sulcamento e aplicação de adubo, a 60 cm de profundidade); R² = coeficiente de determinação e C.V. = coeficiente de variação (%). Preparo de solo: média \pm desvio padrão de quatro repetições e dois tratamentos de irrigação. Irrigação: média \pm desvio padrão de quatro repetições e três sistemas de preparo de solo.

Esses resultados podem estar relacionados com as diferentes profundidades de aplicação de adubo nos tratamentos, sendo que, para a TO, os adubos incorporados no solo não foram aproveitados pelas plantas devido à maior profundidade de aplicação (60 cm).

O diâmetro do caule apresentou diferença significativa entre os tratamentos em todas as datas de amostragem ($p < 0,05$, $R^2 > 0,84$, Tabela 3), com efeito do preparo do solo e da irrigação (Tabela 3). Não houve efeito significativo da interação P \times I. O diâmetro do caule do tratamento CONV foi 10% superior, em relação ao tratamento TO, no DAT 202 ($p = 0,0003$, $R^2 = 0,9500$). Com relação à irrigação, os tratamentos irrigados proporcionaram plantas com diâmetro 39,7% maior que os tratamentos não irrigados (Tabela 3). A mesma tendência ocorreu nas amostragens anteriores (DAT 148, 162, 176 e 189). Esses resultados indicaram que as plantas dos preparos de solo CONV e SS tiveram maior diâmetro do caule em relação à TO, em ambos os tratamentos de irrigação (dados não mostrados), pelo maior aproveitamento dos adubos incorporados no solo, uma vez que, nesses preparos, a aplicação

de adubo foi realizada mais próxima do sistema radicular. Na TO, o fato da aplicação de adubo ocorrer a 60 cm de profundidade fez com que as plantas apresentassem menor desenvolvimento nessa fase inicial da cultura.

O número de ramos apresentou diferença significativa para os diferentes tratamentos em todas as datas de amostragem ($p < 0,05$, $R^2 > 0,81$, Tabela 4), como efeito do preparo do solo e irrigação, não havendo interação P \times I (Tabela 4). O número de ramos do tratamento CONV foi 16% maior que o tratamento TO, no DAT 202 ($p = 0,0017$, $R^2 = 0,9270$). As plantas dos tratamentos irrigados apresentaram número de ramos 34,8% maior que os tratamentos não irrigados (Tabela 4). A mesma tendência ocorreu nas amostragens anteriores (DAT 148, 162, 176 e 189). Os resultados obtidos para essa variável também demonstraram que as plantas sofreram influência dos métodos de preparo e da irrigação, com influência da posição do adubo e da disponibilidade de nutrientes para as plantas. As plantas do preparo de solo por TO tiveram um menor número de ramos, em relação aos outros métodos de preparo.

TABELA 3 - Diâmetro do caule (média \pm desvio padrão) aos 148, 162, 176, 189 e 202 dias após o transplântio (DAT) dos diferentes tratamentos de irrigação e preparo do solo e níveis de significância (valor de probabilidade, p) para os fatores preparo de solo, irrigação e interação.

Fatores	Tratamentos	Diâmetro do caule (mm)				
		DAT 148	DAT 162	DAT 176	DAT 189	DAT 202
Preparo de solo	CONV	7,7 \pm 0,5a	8,1 \pm 0,7a	8,7 \pm 0,9a	9,2 \pm 1,2a	9,7 \pm 1,4a
	SS	7,7 \pm 0,8a	8,2 \pm 0,9a	8,7 \pm 1,2a	9,2 \pm 1,5a	9,7 \pm 1,7a
	TO	6,8 \pm 1,1b	7,3 \pm 1,2b	7,8 \pm 1,5b	8,3 \pm 1,7b	8,8 \pm 1,9b
Irrigação	Irrigado	8,0 \pm 0,5A	8,6 \pm 0,5A	9,5 \pm 0,6A	10,2 \pm 0,6A	10,9 \pm 0,6A
	Não irrigado	6,8 \pm 0,8B	7,1 \pm 0,8B	7,3 \pm 0,8B	7,5 \pm 0,8B	7,8 \pm 0,8B
		Valor de probabilidade, p				
Modelo estatístico		0,0315**	0,0136**	0,0019*	0,0008*	0,0003*
Preparo de solo (P)		0,0238**	0,0294**	0,0236**	0,0247**	0,0228**
Irrigação (I)		0,0008*	0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*
P \times I		0,0957	0,1505	0,1431	0,2372	0,2706
R ²		0,8459	0,8769	0,9250	0,9388	0,9501
C.V. (%)		7,89	7,62	6,97	6,98	6,69

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, em cada um dos fatores (minúscula para preparo de solo e maiúscula para irrigação). Sendo: * = significativo a 1% de probabilidade, ** = significativo a 5% de probabilidade, CONV = preparo convencional do solo (aração e gradagem de nivelamento a 20 cm), SS = preparo do solo por subsolagem a 30 cm de profundidade com aplicação de adubo no sulco do plantio, TO = triplice operação (subsolagem, sulcamento e aplicação de adubo a 60 cm de profundidade), R² = coeficiente de determinação e C.V. = coeficiente de variação (%). Preparo de solo: média \pm desvio padrão de quatro repetições e dois tratamentos de irrigação. Irrigação: média \pm desvio padrão de quatro repetições e três sistemas de preparo de solo.

TABELA 4 - Número de ramos (média \pm desvio padrão) aos 148, 162, 176, 189 e 202 dias após o transplântio (DAT) dos diferentes tratamentos de irrigação e preparo do solo e níveis de significância (valor de probabilidade, p) para os fatores preparo de solo, irrigação e interação.

Fatores	Tratamentos	Número de ramos				
		DAT 148	DAT 162	DAT 176	DAT 189	DAT 202
Preparo de solo	CONV	8,8 \pm 0,9a	9,4 \pm 1,4a	10,15 \pm 1,6a	10,8 \pm 1,8a	11,5 \pm 1,9a
	SS	8,3 \pm 1,2ab	9,1 \pm 1,5a	9,7 \pm 1,6a	10,4 \pm 1,8ab	11,1 \pm 1,8ab
	TO	7,1 \pm 1,1b	7,8 \pm 1,4b	8,4 \pm 1,4b	9,1 \pm 1,6b	9,9 \pm 1,7b
Irrigação	Irrigado	8,8 \pm 1,0A	9,9 \pm 1,1A	10,7 \pm 1,2A	11,6 \pm 1,2A	12,4 \pm 1,2A
	Não irrigado	7,4 \pm 1,1B	7,6 \pm 1,1B	8,1 \pm 1,0B	8,6 \pm 1,0B	9,2 \pm 0,9B
		Valor de probabilidade, p				
Modelo estatístico		0,0436**	0,0045*	0,0054*	0,0034*	< 0,0017*
Preparo de solo (P)		0,0131**	0,0054*	0,0089*	0,0119**	0,0122**
Irrigação (I)		0,0035*	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*
P \times I		0,6430	0,7885	0,9354	0,9615	0,9537
R ²		0,8122	0,9070	0,9025	0,9134	0,9270
C.V. (%)		10,91	8,98	9,30	8,85	7,92

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, em cada um dos fatores (minúscula para preparo de solo e maiúscula para irrigação). Sendo: * = significativo a 1% de probabilidade, ** = significativo a 5% de probabilidade, CONV = preparo convencional do solo (aração e gradagem de nivelamento a 20 cm), SS = preparo do solo por subsolagem a 30 cm de profundidade, com aplicação de adubo no sulco do plantio, TO = triplice operação (subsolagem, sulcamento e aplicação de adubo a 60 cm de profundidade), R² = coeficiente de determinação e C.V. = coeficiente de variação (%). Preparo de solo: média \pm desvio padrão de quatro repetições e dois tratamentos de irrigação. Irrigação: média \pm desvio padrão de quatro repetições e três sistemas de preparo de solo.

A largura média da copa apresentou diferença significativa para os tratamentos em todas as datas de amostragem ($p < 0,01$, $R^2 > 0,90$, Tabela 5), com efeito significativo dos fatores preparo do solo e irrigação. Não houve efeito significativo para a interação $P \times I$ (Tabela 5). A largura média da copa foi 19,2% superior no tratamento CONV, em relação ao tratamento TO, no DAT 202 ($p = 0,0020$, $R^2 = 0,9235$). As plantas dos tratamentos irrigados apresentaram largura média da copa 25,9% superiores aos tratamentos não irrigados (Tabela 5). A mesma tendência ocorreu nas amostragens anteriores (DAT 148, 162, 176 e 189). A variável largura média da copa apresentou resultados semelhantes para os preparos de solo CONV e SS no tratamento não irrigado (dados não mostrados), indicando, dessa forma, que a irrigação proporcionou maior largura média da copa das plantas do preparo CONV. De maneira similar aos resultados obtidos nas outras variáveis, as plantas do preparo por TO apresentaram crescimento inferior às plantas dos outros preparos do solo.

Os resultados desse experimento podem ser comparados aos obtidos por Martins et al. (2006), que indicaram maior crescimento inicial do cafeeiro sob condições de maior umidade do solo proporcionada pelo uso de irrigação. Esses autores indicaram que a aplicação de 100% da lâmina evaporada do tanque “Classe A” resultou em incremento de 382% na área foliar de café ‘Conilon’, 180 dias após o início do experimento. Nossos resultados são similares aos encontrados por Sakai et al. (2013), que testaram a irrigação em diferentes populações de plantas. Adicionalmente, Gomes, Lima e Custódio (2007) avaliaram a altura e diâmetro do caule de cafeeiro irrigado e observaram aumento do crescimento inicial com a aplicação da irrigação. Da mesma maneira, observou-se, neste experimento, que as plantas irrigadas obtiveram melhor crescimento em relação às plantas do tratamento não irrigado. Esses resultados eram esperados em função da resposta positiva do cafeeiro à irrigação (SANTINATO; FERNANDES, 2012).

TABELA 5 - Largura média da copa (média \pm desvio padrão) aos 148, 162, 176, 189 e 202 dias após o transplântio (DAT) dos diferentes tratamentos de irrigação e preparo do solo e níveis de significância (valor de probabilidade, p) para os fatores preparo de solo, irrigação e interação.

Fatores	Tratamentos	Largura média da copa (cm)				
		DAT 148	DAT 162	DAT 176	DAT 189	DAT 202
Preparo de solo	CONV	29,3 \pm 4,4a	32,1 \pm 4,5a	35,0 \pm 4,8a	38,2 \pm 4,9a	41,5 \pm 5,3a
	SS	26,3 \pm 5,2ab	30,7 \pm 4,6a	33,7 \pm 4,6a	37,1 \pm 4,5a	40,2 \pm 4,6a
	TO	23,2 \pm 5,8b	27,4 \pm 4,6b	29,8 \pm 5,2b	33,1 \pm 5,2b	36,2 \pm 5,4b
Irrigação	Irigado	30,9 \pm 3,0A	34,1 \pm 2,9A	37,0 \pm 3,0A	40,3 \pm 3,1A	43,8 \pm 3,1A
	Não irrigado	21,6 \pm 3,8B	26,0 \pm 2,9B	28,7 \pm 3,6B	31,9 \pm 3,5B	34,8 \pm 3,5B
		Valor de probabilidade, p				
Modelo estatístico		0,0034*	0,0028*	0,0047*	0,0038*	0,0020*
Preparo de solo (P)		0,0056*	0,0084*	0,0099*	0,0083*	0,0060*
Irrigação (I)		< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*
$P \times I$		0,4532	0,8760	0,5638	0,5260	0,4534
R^2		0,9134	0,9175	0,9059	0,9108	0,9235
C.V. (%)		10,50	7,76	8,16	7,20	6,42

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, em cada um dos fatores (minúscula para preparo de solo e maiúscula para irrigação). Sendo: * = significativo a 1% de probabilidade, CONV = preparo convencional do solo (aração e gradagem de nivelamento a 20 cm), SS = preparo do solo por subsolagem a 30 cm de profundidade com aplicação de adubo no sulco do plantio; TO = tríplex operação (subsolagem, sulcamento e aplicação de adubo a 60 cm de profundidade); R^2 = coeficiente de determinação e C.V. = coeficiente de variação (%). Preparo de solo: média \pm desvio padrão de quatro repetições e dois tratamentos de irrigação. Irrigação: média \pm desvio padrão de quatro repetições e três sistemas de preparo de solo.

No entanto, a literatura atual é escassa em relação à avaliação do crescimento inicial de cafeeiro submetido à irrigação por gotejamento. Resultados com efeitos ao longo de diversas safras de cultivo estão disponíveis na literatura (OLIVEIRA et al., 2010).

Na parcela não irrigada, pode-se verificar que as plantas do tratamento de solo CONV apresentaram crescimento semelhante às plantas do tratamento SS para todas variáveis analisadas, podendo ser explicado pelo fato do solo ser homogêneo e não compactado. No entanto, o melhor desempenho do sistema CONV não pode ser generalizado para todo o ciclo da cultura, uma vez que o período de avaliação limitou-se ao estabelecimento inicial da cultura.

Em relação aos sistemas de preparo do solo para a parcela irrigada, nota-se que as plantas dos tratamentos CONV e SS apresentaram maior crescimento que as do tratamento com TO, no qual houve adubação a 60 cm de profundidade. Isso, provavelmente, ocorreu pelas diferentes profundidades de incorporação dos adubos, pois no CONV, os adubos foram incorporados superficialmente (próximos ao sistema radicular), e no SS houve o revolvimento do solo até 30 cm. Esses tratamentos podem ter sido favorecidos pela maior disponibilidade de nutrientes para a fase inicial. O menor crescimento das plantas, verificado no tratamento de solo por TO, pode estar relacionado ao fato da aplicação do adubo ter sido realizada a uma profundidade de 60 cm. Possivelmente, o sistema radicular da cultura ainda não havia atingido tal profundidade. Com o crescimento das plantas, a hipótese é que o sistema radicular atinja a região de aplicação do adubo, promovendo um maior crescimento das plantas. A questão a ser respondida com estudos futuros é se essa diferença no crescimento inicial será compensada com uma maior produtividade, em razão da maior disponibilidade de adubos, em profundidade proporcionada pela TO no cafeeiro.

4 CONCLUSÕES

Considerando que o experimento ocorreu na fase inicial do crescimento do cafeeiro, crítica para estabelecimento da cultura no campo, conclui-se que as plantas do tratamento com aração e gradagem apresentaram maior crescimento em relação aos outros dois preparos do solo (subsolação a 30 cm e escarificação, adubação a 60 cm e gradagem). Em relação ao uso do gotejamento para a agricultura familiar, o tratamento irrigado

proporcionou maior crescimento das plantas em todas as variáveis biométricas avaliadas. A irrigação foi fundamental em razão do período de estabelecimento da cultura coincidir com a época de menor precipitação pluviométrica no ano. Com isso, o sistema de irrigação por gotejamento tipo kit familiar pode ser considerado adequado para o crescimento inicial na cultura de café, usando o método convencional de preparo do solo com aração e gradagem.

5 AGRADECIMENTOS

A CAPES (Ministério da Educação) pela bolsa de pós-doutorado ao primeiro autor na *University of Georgia* (BEX 2620/13-8), à Netafim, pela doação do sistema de irrigação ao grupo de pesquisa, à Diretoria da FEAGRI/UNICAMP pelo apoio, ao Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza pela participação no planejamento da pesquisa, ao supervisor do campo experimental José Ricardo de Freitas Lucarelli e aos trabalhadores do campo experimental, pelo auxílio nas atividades.

6 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 15 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- BARBOSA, R. S. **Sistema radicular e atributos físicos do solo sob diferentes preparos em citros**. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- BORSSOI, A. L. et al. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 718-726, 2012.
- CARVALHO, C. M. et al. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura da goiaba. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 36-46, 2006.
- CUNHA, F. F. et al. Manejo de micro-irrigação baseado em avaliação do sistema na cultura do meloeiro. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 147-155, 2008.
- DEUS, F. P. et al. Susceptibilidade ao entupimento de um sistema de irrigação por gotejamento para agricultura familiar. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 102-112.
- 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.

- GUERREIRO FILHO, O.; FAZUOLI, L. C.; AGUIAR, A. T. E. **Cultivares de *Coffea arabica* selecionadas pelo IAC: características botânicas, tecnológicas, agronômicas e descritores mínimos.** Campinas: FUNDAG, 2006. 255 p.
- GUILHOTO, J. J. M. et al. **PIB da agricultura familiar:** Brasil-Estados. Brasília: NEAD Estudos, 2007. 172 p.
- MARTINS, C. C. et al. Crescimento inicial do café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) sob diferentes lâminas de irrigação. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 3, p. 193-201, 2006.
- NASCIMENTO, J. M. S. et al. Avaliação da uniformidade de aplicação de água em um sistema de gotejamento para pequenas propriedades. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 1728-1733, 2009. Número especial.
- OLIVEIRA, E. L. et al. Manejo e viabilidade econômica da irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro Acaiaá considerando seis safras. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 887-896, 2010.
- OLIVEIRA, J. T. et al. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2821-2829, 2008. Número especial.
- RAIJ, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).
- REIS, E. F. et al. Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 74-81, 2005.
- SAKAI, E. et al. *Coffea arabica* (cv Catuaí) production and bean size under different population arrangements and soil water availability. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 145-156, 2013.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T. **Cultivo do cafeeiro irrigado por gotejamento.** Uberaba: [s.n.], 2012. 378 p.
- SANTOS, F. S. S. et al. Efeito de diferentes lâminas de irrigação na cultura do mamão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 673-680, 2008.
- SOUZA, L. O. C. et al. Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, utilizados na cafeicultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 541-548, 2006.
- SOUZA, R. O. R. M.; PÉREZ, G. F. E.; BOTREL, T. A. *Irrigação localizada por gravidade com microtubos.* **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 266-279, 2006.