



GLEICE APARECIDA DE ASSIS

**IRRIGAÇÃO PARA CAFEEIROS EM
DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO**

**LAVRAS – MG
2010**

GLEICE APARECIDA DE ASSIS

**IRRIGAÇÃO PARA CAFEIROS EM DIFERENTES DENSIDADES DE
PLANTIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de "Mestre".

Orientador
Prof. Dr. Rubens José Guimarães

**LAVRAS - MG
2010**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Assis, Gleice Aparecida de.

Irrigação para cafeeiros em diferentes densidades de plantio /
Gleice Aparecida de Assis. – Lavras : UFLA, 2010.
97 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.
Orientador: Rubens José Guimarães.
Bibliografia.

1. Cafeicultura irrigada. 2. Produtividade. 3. Adensamento. 4.
Café. 5. Crescimento. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.7387

GLEICE APARECIDA DE ASSIS

**IRRIGAÇÃO PARA CAFEEIROS EM DIFERENTES DENSIDADES DE
PLANTIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 20 de maio de 2010.

Dr. Manoel Alves de Faria	UFLA
Dra. Myriane Stella Scalco	UFLA
Dr. Virgílio Anastácio da Silva	UFLA

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
Orientador

LAVRAS - MG

2010

A Deus, pelo dom da vida.

A minha avó, exemplo de bondade e ternura.

Aos meus pais, Washington e Cristina, por todo amor e carinho. Sem vocês ao meu lado, nada seria possível.

Às minhas irmãs, Cíntia e Franscinely, por toda amizade e apoio.

OFEREÇO

Ao meu namorado, Rodrigo, pelo amor, paciência
e compreensão nos momentos de ausência.

À minha família, pelo apoio.

A minha amiga Myriane, pela amizade e carinho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida, por iluminar minha mente e o meu caminho, permitindo a realização deste sonho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade de ampliar os meus conhecimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Rubens José Guimarães, pela orientação, ensinamentos, dedicação e amizade, sendo um grande exemplo de pessoa e profissional.

A minha amiga e coorientadora Myriane Stella Scalco, pela amizade, apoio em todos os momentos e pelos ensinamentos transmitidos durante todos esses anos.

Ao Prof. Dr. Jair Campos Moraes, Augusto Ramalho de Moraes e Alberto Colombo, pela dedicação, amizade e ajuda no experimento. Aos professores Virgílio Anastácio da Silva e Manoel Alves de Faria, pela participação na banca examinadora.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Agricultura da UFLA, pelos ensinamentos transmitidos.

A todos os amigos da cafeicultura irrigada, pela disponibilidade e auxílio na condução de todos os experimentos.

Aos grandes amigos, Luís Fidélis, Andiará, Cristiane, Aline, Alessandra, Thiago, Cibele e Genáina, pelos conselhos e pela lealdade.

Aos amigos da pós-graduação e do NECAF, pela convivência, amizade e ajuda durante o curso.

Em especial, à Luluzinha, Tuffy, Joãozinho, Nina, Chiquinho e Belinha, pelo amor e carinho.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A irrigação associada ao adensamento da lavoura cafeeira tem sido prática de destaque na cafeicultura nacional. O experimento foi conduzido no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no período de 2001 a 2009. O objetivo foi avaliar a influência de diferentes critérios de irrigação e densidades de plantio sobre o crescimento vegetativo e a produtividade de cafeeiros, antes e após a poda por esqueletamento acompanhada de decote. Os tratamentos constaram de três critérios de irrigação (irrigado três vezes por semana, com lâmina calculada por meio do balanço hídrico climatológico, efetuado pelo software Irriplus; irrigações quando a tensão da água no solo atingiu valores próximos a 20 kPa e 60 kPa) além de uma testemunha não irrigada, os quais foram distribuídos aleatoriamente em cinco densidades de plantio (2.500; 3.333; 5.000; 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹). Foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados com quatro repetições, em esquema de parcela subdividida, sendo as parcelas compostas pelas densidades de plantio e as subparcelas pelos critérios de irrigação. As avaliações de crescimento foram realizadas trimestralmente, analisando-se as seguintes características: altura de planta (cm), diâmetro de caule (cm), diâmetro de copa (cm) e número de ramos plagiotrópicos por planta. Avaliou-se ainda a produtividade média de café beneficiado (sacas ha⁻¹) em cinco colheitas (2003-2007), antes da poda. Verificou-se que a irrigação promoveu maior crescimento das plantas de cafeeiros, tanto antes quanto após a poda. Além disso, o efeito da irrigação no aumento da produtividade do cafeeiro variou em função da densidade de plantas por área. Para as densidades de 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹, independente do critério utilizado para manejo da irrigação (20 kPa, 60 kPa e balanço hídrico climatológico), podem ser obtidos aumentos médios de produtividade acima de 49,6% em relação ao cultivo não irrigado.

Palavras-chave: Cafeicultura irrigada. Adensamento. Crescimento. Produtividade.

ABSTRACT

Irrigation associated to the plant densification of coffee farming has been a prominent practice in national coffee growing. The experiment was conducted in the Coffee Growing Sector of the Agriculture Department of the Federal University of Lavras (UFLA) in the period from 2001 to 2009. The objective was to evaluate the influence of different irrigation criteria and planting densities on the vegetative growth and productivity of coffee plants, before and after pruning. The treatments consisted of three irrigation criteria (irrigated three times a week, with the water depth calculated through the climatic water balance, made by the Irriplus software; irrigations when the soil water tension reached values close to 20 kPa and 60 kPa) besides a non-irrigated control, which were randomly distributed in five planting densities (2,500; 3,333; 5,000; 10,000 and 20,000 plants ha⁻¹). The random block experimental design was used with four replications, in a split plot design with plots being composed by planting densities and the subplots by the irrigation criteria. The growth evaluations were conducted quarterly, analyzing the following characteristics: plant height (cm), stem diameter (cm), crown diameter (cm) and number of plagiotropic branches per plant. The average productivity of processed coffee (sacks ha⁻¹) in five harvests (2003-2007), before pruning was also evaluated. It was verified the irrigation promoted higher coffee plant growth, before as well as after the pruning. Furthermore, the effect of irrigation on the coffee plant productivity increase varied in function of the density of plants. For the densities of 10,000 and 20,000 plants ha⁻¹, independent on the criterion used for the irrigation management (20 kPa, 60 kPa and climatic water balance), average productivity increases above 49.6% can be obtained in relation to the non-irrigated cultivation.

Keywords: Irrigated coffee crop. Densification. Growth. Productivity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resultado da análise física do solo da área experimental. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	28
Tabela 2	Equação da curva característica de retenção da água no solo, segundo o modelo de Genuchten (1980), para as camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. UFLA, Lavras, MG, 2010	28
Tabela 3	Resultado da análise química do solo em que foi conduzido o ensaio. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	29
Tabela 4	Critérios de irrigação e densidades de plantio utilizados no experimento. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	31
Tabela 5	Épocas de avaliação de crescimento das plantas antes e após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	36
Tabela 6	Lâminas de água (mm) aplicadas anualmente em cafeeiros irrigados sob diferentes critérios, em cada densidade de plantio, no período de 2001 a 2009. UFLA, Lavras, MG, 2010 .	40
Tabela 7	Lâminas de água (mm) aplicadas entre safras em cafeeiros irrigados sob diferentes critérios, em cada densidade de plantio, no período de 2001 a 2009. UFLA, Lavras, MG, 2010 .	41
Tabela 8	Resumo da análise de variância contendo os quadrados médios para altura de planta (ALT), diâmetro de caule (DCA), diâmetro de copa (DCO) e número de ramos plagiotrópicos (NRP) das plantas de cafeeiro submetidas a critérios de irrigação e densidades de plantio antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	43
Tabela 9	Resumo da análise de variância para altura de planta (ALT), diâmetro de copa (DCO) e número de ramos plagiotrópicos (NRP) das plantas de cafeeiro submetidas a critérios de irrigação e densidades de plantio após a poda. UFLA, Lavras, MG	44

Tabela 10	Resumo da análise de variância para a produtividade média de cafeeiros submetidos a critérios de irrigação e densidades de plantio, em cinco colheitas antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	67
Tabela 11	Produtividade média em cinco colheitas (2003-2007), em sacas por hectare de café beneficiado, em função dos critérios de irrigação e densidades de plantio. UFLA, Lavras, MG, 2010	68
Tabela 12	Correlação entre as características altura da planta, diâmetro de caule (DCA), número de ramos plagiotrópicos (NRP) e produção de café, em litros planta ⁻¹ , no ano de alta produção (ano agrícola 2002/03). UFLA, Lavras, MG, 2010	72
Tabela 13	Correlação entre as características altura da planta, diâmetro de caule (DCA), número de ramos plagiotrópicos (NRP) e produção de café, em litros planta ⁻¹ , no ano de baixa produção (ano agrícola 2003/04). UFLA, Lavras, MG, 2010	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Precipitação média mensal nos anos de 2001 (a), 2002 (b), 2003 (c), 2004 (d), 2005 (e), 2006 (f), 2007 (g), 2008 (h), 2009 (i) e precipitação total em cada ano (j). UFLA, Lavras, MG, 2010.....	34
Figura 2	Altura de plantas de cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada densidade de plantio antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	46
Figura 3	Altura de plantas de cafeeiros, em função dos critérios de irrigação antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	48
Figura 4	Altura de plantas de cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada densidade de plantio após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	49
Figura 5	Altura de plantas de cafeeiros, em função dos critérios de irrigação após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	50
Figura 6	Diâmetro de caule dos cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada densidade de plantio antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	52
Figura 7	Diâmetro de caule dos cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada critério de irrigação antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	53
Figura 8	Diâmetro de copa dos cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada critério de irrigação e densidade de plantio antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	56
Figura 9	Diâmetro de copa dos cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada densidade de plantio após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	59
Figura 10	Diâmetro de copa dos cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada critério de irrigação após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	61

Figura 11	Número de ramos plagiotrópicos dos cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada densidade de plantio antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	63
Figura 12	Número de ramos plagiotrópicos dos cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada critério de irrigação antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	64
Figura 13	Número de ramos plagiotrópicos dos cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada densidade de plantio após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	66

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	A cultura do café e sua importância para o Brasil	17
2.2	Irrigação do cafeeiro	18
2.3	Manejo da irrigação em lavouras cafeeiras	19
2.4	Densidades de plantio de cafeeiros	21
2.5	Efeito da irrigação no crescimento e produtividade do cafeeiro	23
2.6	Poda de cafeeiros	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1	Caracterização da área experimental	27
3.2	Instalação e condução do experimento	29
3.3	Tratamentos e delineamento experimental	31
3.4	Sistema e manejo de irrigação	32
3.5	Características avaliadas	35
3.5.1	Crescimento das plantas antes da poda	35
3.5.2	Produtividade média em cinco colheitas antes da poda	37
3.5.3	Crescimento das plantas após a poda	37
3.6	Análises estatísticas	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	Dotação hídrica	39
4.2	Crescimento das plantas submetidas a critérios de irrigação e densidades de plantio, antes e após a poda	42
4.2.1	Altura das plantas	45
4.2.2	Diâmetro de caule	51
4.2.3	Diâmetro de copa	54

4.2.4	Número de ramos plagiotrópicos.....	62
4.3	Produtividade média de cafeeiros submetidos a critérios de irrigação e densidades de plantio, em cinco colheitas antes da poda.....	67
4.4	Correlações entre altura, número de ramos plagiotrópicos primários, diâmetro de caule e a produção do cafeeiro.....	71
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
6	CONCLUSÕES.....	76
	REFERÊNCIAS.....	77
	APÊNDICE.....	83

1 INTRODUÇÃO

O cafeeiro é uma cultura de grande importância para o Brasil, tanto do ponto de vista social, gerando milhões de empregos diretos e indiretos, como econômico, aumentando a renda e o produto interno bruto do país. A região sul de Minas Gerais se caracteriza pela posição de destaque na cafeicultura nacional, sendo responsável por 24,7% da produção brasileira que, em 2009, foi de 39,47 milhões de sacas beneficiadas (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2010).

Com a atual crise da cafeicultura, torna-se necessária a adoção de tecnologias que aumentem a produtividade da lavoura e, conseqüentemente, o lucro, para que o cafeicultor tenha condições de se manter no mercado.

A irrigação destaca-se como uma técnica promissora, possibilitando acréscimos na produtividade e a expansão da cafeicultura para áreas consideradas inaptas quanto ao déficit hídrico. No Brasil, cerca de 233 mil hectares de cafeeiros são irrigados e cujo potencial produtivo é de 7 a 9 milhões de sacas beneficiadas, o que corresponde de 20% a 25% da produção nacional (SANTINATO; FERNANDES; FERNANDES, 2008).

O uso da irrigação no sul de Minas Gerais tem crescido consideravelmente nos últimos anos. Embora seja uma região que apresenta precipitação pluviométrica ideal para o cultivo do cafeeiro (1.200 a 1.800 mm anuais), a ocorrência de estiagens prolongadas em fases fenológicas críticas da cultura tem comprometido significativamente a produção das lavouras.

Para o sucesso dessa tecnologia, é necessário o manejo correto da irrigação, por meio do fornecimento da água no momento e na quantidade ideal para a planta. Porém, na maior parte das lavouras cafeeiras, este manejo é feito de forma empírica, não considerando as condições edafo-climáticas da região e

as características da planta, resultando em déficit ou desperdício da água aplicada.

Outra técnica de manejo que vem sendo utilizada nas lavouras cafeeiras com o objetivo de aumentar a produtividade é a redução do espaçamento de plantio. No sistema adensado, a utilização da água, dos minerais e da radiação solar é mais eficiente e existe um melhor controle natural das plantas daninhas. Entretanto, devido ao rápido fechamento da lavoura, tornam-se necessárias intervenções mediante podas, as quais oneram expressivamente o custo de produção.

Em razão da carência de informações científicas sobre o controle adequado da irrigação em lavouras cafeeiras, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a influência de diferentes critérios de irrigação e densidades de plantio sobre o crescimento vegetativo e a produtividade de cafeeiros, antes e após a poda por esqueletamento acompanhada de decote.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do café e sua importância para o Brasil

O cafeeiro é uma planta originária do continente africano, das regiões altas da Etiópia (Cafa e Enária). É uma planta perene, de porte arbustivo, pertencente à família Rubiaceae. As duas espécies exploradas comercialmente no Brasil, dentre as inúmeras existentes, são a *Coffea arabica* L. e a *Coffea canephora* Pierre, representando, respectivamente, 70% e 30% da produção nacional (GUIMARÃES; MENDES; SOUZA, 2002).

A cultura do café tem grande importância econômica e social para o país, que é o maior produtor e exportador mundial. Atualmente, 15 estados brasileiros produzem café em uma área de 2,124 milhões de hectares (CONAB, 2010). Além disso, 370 mil cafeicultores estão envolvidos no agronegócio café, gerando cerca de oito milhões de empregos diretos e indiretos.

Em 2009, a produção brasileira foi de 39,47 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado, sendo 73,1% dessa produção (o equivalente a 28,86 milhões de sacas) proveniente da espécie arábica. A estimativa para a próxima safra (2010/11) indica que o país deverá colher entre 45,89 e 48,66 milhões de sacas de café, representando um acréscimo entre 16,3% e 23,3% em relação à produção obtida na safra anterior. Tal crescimento justifica-se pelo ano de bionalidade positiva, aliado às condições climáticas favoráveis no período da floração (CONAB, 2010).

Os principais estados produtores de café do Brasil são Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Paraná, Rondônia e Rio de Janeiro, que detêm 98,2% da produção nacional. A região Sul de Minas Gerais se destaca por ser a maior produtora do estado e ser responsável por 24,7% da produção brasileira (CONAB, 2010).

2.2 Irrigação do cafeeiro

A expansão da cafeicultura brasileira para áreas consideradas inaptas quanto à deficiência hídrica, onde a precipitação pluviométrica é insuficiente ou mal distribuída no decorrer do ano, tornou a irrigação uma prática necessária para a obtenção de altas produtividades (SILVA; TEODORO; MELO, 2008).

A utilização da irrigação em lavouras cafeeiras é importante, principalmente em períodos críticos ao desenvolvimento da cultura, como a floração e a granação dos frutos. No Brasil, a cafeicultura irrigada representa 10% da área total cultivada com café e em torno de 20% a 25% de sua produção anual. Desses 10%, de 4,5% a 5% concentram-se em Minas Gerais; de 3,0% a 3,5% no Espírito Santo, de 1,0% a 1,5% na Bahia e de 0,5% a 1,0% em Goiás. A expectativa, para os próximos 10 a 15 anos, é o aumento de 270 mil hectares na área irrigada, o que gerará mais de 1,5 milhão de empregos diretos e indiretos, além de 9 a 12 milhões de sacas beneficiadas por ano, por meio da ocupação de áreas cafeeiras existentes que requeiram irrigação e de novas fronteiras (SANTINATO; FERNANDES; FERNANDES, 2008).

Com relação aos métodos de irrigação, a escolha deve ser baseada nas características da propriedade, levando-se em consideração a topografia, o tipo de solo, a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos, além da disponibilidade de energia, mão-de-obra e recursos econômicos. Na cafeicultura, os métodos mais indicados são os de irrigação por aspersão e localizada (JORDÃO; OLIVEIRA JÚNIOR; MENDONÇA, 1996).

Dentre os sistemas, os mais utilizados na irrigação do cafeeiro são os tubos perfurados a laser (tripa), o gotejamento, o pivô central com emissores localizados (LEPA) e o pivô central convencional, em que a irrigação é realizada em área total (SANTINATO; FERNANDES; FERNANDES, 2008). Porém, aspectos relacionados a manejo, consumo de energia e problemas de

disponibilidade hídrica impulsionaram a adoção do sistema de irrigação por gotejamento, o qual vem apresentando ampla expansão na cafeicultura (MANTOVANI, 2000).

A irrigação por gotejamento é realizada diretamente sobre o solo, na área de concentração da zona radicular do cafeeiro, com alta intensidade e alta frequência, objetivando manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo (SANTINATO; FERNANDES; FERNANDES, 2008). A principal vantagem desse sistema é a economia de água e energia, além da possibilidade de aplicação de adubos e outros insumos via água de irrigação (quimigação). Como desvantagens citam-se o risco de entupimento dos emissores e o maior investimento inicial em relação aos demais sistemas.

Independentemente do método e do sistema de irrigação adotado, é necessário que a aplicação da água seja feita no momento e na quantidade ideal para a planta, evitando o excesso da água aplicada, a qual acarretará a lixiviação dos nutrientes, assim como o déficit de água, o qual pode comprometer significativamente a produtividade do cafeeiro.

2.3 Manejo da irrigação em lavouras cafeeiras

O manejo racional da água de irrigação em lavouras cafeeiras pode ser realizado tendo como indicadores a planta, o solo, o clima ou pela combinação desses componentes (MARTINS et al., 2007). Existem vários modelos para quantificar a água para irrigação, os quais podem se basear: na determinação do teor de água no solo; no estado hídrico da planta, por meio de métodos que avaliam a temperatura foliar, o grau de turgescência das plantas e o potencial de água nas folhas; na tensão da água no solo medida pelos tensiômetros e no modelo climatológico, que utiliza o balanço hídrico para calcular a necessidade de água da cultura (SANTINATO; FERNANDES; FERNANDES, 2008).

Dentre os métodos de controle de irrigação existentes, os tensiômetros vêm sendo amplamente utilizados pela facilidade de utilização e custo relativamente baixo, porém, requer manutenção adequada e frequente. Além disso, deve-se escolher cuidadosamente o local de instalação desses instrumentos, visto que esses aparelhos refletem medidas pontuais (PIRES et al., 2001). A localização dos sensores de tensão, dos pontos de emissores e da planta é de extrema importância para o manejo adequado da irrigação.

Existem poucas referências, na literatura, indicando o valor de tensão ideal para irrigar o cafeeiro. Em grande parte das lavouras de café, esse manejo é feito de forma empírica, em função da deficiência de embasamento científico que comprove o melhor momento de irrigar o café com base na tensão da água no solo. Santana, Oliveira e Quadros (2004), avaliando o crescimento das cultivares de café IAPAR-59 e Obatã na região do Distrito Federal, submetidas a diferentes critérios para início das irrigações (irrigação quando a tensão da água no solo atingiu valores de 20 kPa, 40 kPa e 60 kPa; irrigação pelo programa Irrigas e a testemunha não irrigada), verificaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados no crescimento vegetativo do cafeeiro no primeiro ano de formação da lavoura. Esse resultado foi um indicativo de que o manejo da irrigação a 60 kPa foi o critério mais viável em função da economia de água e de mão-de-obra que este apresentou em relação aos demais critérios.

Já na fase produtiva da lavoura, Faria e Siqueira (2005), avaliando o efeito de regimes hídricos (irrigações de setembro a março quando a tensão da água no solo atingiu 40 kPa e 70 kPa), verificaram que o menor consumo de água associado à melhor produtividade da cultivar Catuaí Vermelho foi obtido nos cafeeiros irrigados quando a tensão da água no solo atingiu valores próximos a 70 kPa.

Outro método de manejo de irrigação disponível para a cafeicultura é o balanço hídrico climatológico. Devido à disponibilidade de estações meteorológicas, que podem ser instaladas na própria área da lavoura, e de programas de manejo de irrigação acessíveis para os produtores, esse método vem se mostrando uma alternativa viável para o cafeicultor.

A eficiência de cada método deve ser analisada de forma a fornecer ao cafeicultor irrigante resultados que proporcionem maior desenvolvimento e, conseqüentemente, maior produtividade das lavouras cafeeiras (CARVALHO, 2004).

2.4 Densidades de plantio de cafeeiros

Atualmente, a redução do espaçamento de plantio da maioria das culturas, principalmente as lenhosas perenes, vem sendo amplamente utilizada para melhor aproveitamento da área de plantio e obtenção de maiores produtividades. No caso específico da cafeicultura, o adensamento apresenta uma série de vantagens, dentre elas maior ganho de produtividade com menor custo de produção, pela utilização mais eficiente da radiação solar, da água e dos minerais, além de melhor controle natural de plantas daninhas e de algumas pragas, como o bicho-mineiro do cafeeiro (ANDROCIOLI FILHO, 1994; RENA; NACIF; GUIMARÃES, 2003). Outra vantagem do adensamento é promover a estabilização da produção na propriedade, em função do menor esgotamento individual das plantas, além da maior proteção do solo, refletindo positivamente nas suas qualidades físicas e químicas (BARROS; MAESTRI; RENA, 1995).

Porém, a grande desvantagem dos plantios adensados é o maior custo de implantação da lavoura. É imprescindível considerar a necessidade de intervenções por meio de podas ou da eliminação de fileiras de plantio, devido

ao fechamento da lavoura, de modo a proporcionar a manutenção de uma produtividade adequada (RENA et al., 1998).

O adensamento provoca alterações no ambiente da lavoura, ocasionando modificações fisiológicas, morfológicas e produtivas. Pereira (2004), avaliando as conseqüências da redução de espaçamentos entre as linhas (2,0; 2,5; 3,0 e 3,5 m) e entre as plantas na linha de plantio (0,5; 0,75 e 1,0 m) no crescimento e na produção de cafeeiros cultivar Catuaí Vermelho IAC-44, aos nove anos de idade, verificou que a redução do espaçamento, tanto entre as linhas quanto entre plantas, ocasionou maior altura do ramo ortotrópico e menor produção de café beneficiado por planta. No entanto, a produtividade aumentou em função do incremento do número de plantas na área.

Para estudar o comportamento da cultivar Iapar 59, Braccini et al. (2005) utilizaram densidades populacionais de 3.333, 5.000, 6.666, 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹. Estes autores observaram que as populações próximas de 14.000 plantas ha⁻¹ apresentaram os melhores resultados para altura de plantas, diâmetro de caule e de copa e número de ramos plagiotrópicos, aos 18 e 30 meses após o plantio. Já para a produtividade, a densidade mais adequada foi de 20.000 e de 15.000 plantas ha⁻¹, para o primeiro e segundo ano de produção da lavoura, respectivamente.

Avaliando diferentes densidades de plantio (2.500, 5.000, 7.519 e 10.000 plantas ha⁻¹) no crescimento e na produção das cultivares Catuaí Amarelo IAC 47 e Obatã IAC 1669-20, na região de Adamantina, Paulo, Furlani Júnior e Fazuoli (2005) verificaram que o adensamento influenciou positivamente a altura e negativamente o diâmetro do caule e da copa dos cafeeiros, aos cinco anos de idade, acarretando menor produção de café beneficiado por planta. Entretanto, a produtividade foi compensada pelo maior número de plantas por área no sistema adensado.

Com relação ao efeito do adensamento na produtividade de cafeeiros, Augusto et al. (2006) conduziram um ensaio na região da Zona da Mata de Minas Gerais, onde avaliaram o efeito de espaçamentos adensados entre as linhas de plantio (1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 m) com espaçamento entre plantas de 0,75 m sobre as cultivares IAC 44, IAC 99, Rubi MG 1192, Catipó, Oeiras MG 6851 e Catimor UFV 3880. Até a segunda colheita, independentemente da cultivar utilizada, as maiores produtividades foram obtidas no espaçamento 1,0 x 0,75 m, correspondente a 13.333 plantas ha⁻¹, visto que, até esse período, não havia competição entre as plantas pelos recursos do meio, que pudesse reduzir a produtividade da lavoura.

2.5 Efeito da irrigação no crescimento e produtividade do cafeeiro

A resposta do cafeeiro à irrigação vem sendo pesquisada nos últimos anos, em diferentes regiões do Brasil, tanto em locais considerados aptos ao déficit hídrico, como é o caso do Sul de Minas Gerais, quanto em regiões consideradas marginais para o cultivo do cafeeiro. Gomes, Lima e Custódio (2007), avaliaram o efeito de diversas lâminas de irrigação (60%, 80%, 100%, 120% e 140% da evaporação do Tanque Classe A - ECA, além de uma testemunha não irrigada) na produtividade de cafeeiros cultivar Rubi MG-1192, ao longo de cinco safras, e verificaram que as plantas irrigadas por pivô central com a lâmina de 60% da ECA apresentaram produtividade média 119% superior à das plantas não irrigadas. Além disso, a menor lâmina utilizada nesse experimento (60% da ECA) já foi suficiente para suprir as necessidades hídricas do cafeeiro na região de Lavras.

Comparando tratamentos irrigados por gotejamento e não irrigados aplicados à lavoura de café da cultivar Mundo Novo, na região de Selvíria, MS, Santos (2005) constatou acréscimos de 25,4% no diâmetro de caule; de 18% no

comprimento dos ramos plagiotrópicos e de 13% na altura das plantas dos cafeeiros irrigados, quando comparados aos não irrigados. Já Nazareno et al. (2003), avaliando o crescimento inicial da cultivar Rubi MG-1192 na região do cerrado sob dois regimes hídricos (irrigado quando a tensão da água no solo atingiu 50 kPa e não irrigado), verificaram incrementos de 16% no número de ramos plagiotrópicos e de 79% no número de nós com gemas das plantas irrigadas, quando comparadas com as não irrigadas.

Com relação à produtividade, Silva, Teodoro e Melo (2008), avaliando o efeito de seis lâminas de irrigação, variando de 30% a 210% da evaporação do Tanque Classe A (ECA), em cafeeiros da cultivar Rubi MG-1192 na cidade de Uberlândia, MG, constataram que a produtividade máxima alcançada durante as quatro safras analisadas foi de 115 sacas ha^{-1} , obtida com a lâmina de 164,1% da ECA. Além disso, esses autores verificaram que a irrigação não amenizou a bienalidade da produção do cafeeiro, quando comparado às plantas cultivadas sem o uso da irrigação.

Os resultados relatados na literatura comprovam que a irrigação propicia aumentos significativos na produtividade e no crescimento vegetativo do cafeeiro nas diferentes regiões do país, possibilitando a expansão da cultura para áreas consideradas inaptas para cultivo.

2.6 Poda de cafeeiros

As podas sempre foram utilizadas pelos cafeicultores para facilitar a colheita, corrigir a arquitetura das plantas e eliminar partes afetadas por fenômenos climáticos adversos, como geadas e chuvas de granizo. Com o aumento dos plantios adensados no Brasil, as podas tornaram-se uma das mais importantes práticas de manejo dos cafezais, visto que, nesse sistema de plantio,

ocorre o rápido fechamento da lavoura, comprometendo significativamente a produtividade (GUIMARÃES; MENDES, 1998).

A definição do tipo de poda a ser realizada vai depender do grau de fechamento e de depauperamento da lavoura e da perda de ramos plagiotrópicos inferiores apresentados pelo cafeeiro.

Em lavouras adensadas, as podas mais utilizadas são do tipo esqueletamento, acompanhada de decote e da recepa de talhões ou de ruas alternadas da propriedade cafeeira.

O esqueletamento é indicado para lavouras velhas que se encontram em vias de fechamento, com ramos plagiotrópicos longos e pouco produtivos. Nesse tipo de poda, é realizado o corte dos ramos laterais, a uma distância de 20 a 30 cm do ramo ortotrópico, possibilitando a recuperação total da planta em um ano (MENDES et al., 1995; MIGUEL; MATIELLO; ALMEIDA, 1986). Geralmente, o decote do cafeeiro é realizado logo após o esqueletamento, e a altura do corte do ramo ortotrópico pode variar desde 1,6 até 2,0 m, dependendo do tipo de condução da lavoura (THOMAZIELLO et al., 2000).

Vários resultados de pesquisas comprovam o efeito positivo da irrigação na recuperação das plantas após a poda. Rezende et al. (2006), avaliando a influência de diversas lâminas de irrigação (40%, 80% e 120% do balanço entre evaporação do Tanque Classe A e precipitação (ECA-P) e uma testemunha não irrigada) na produtividade de cafeeiros recepados da cultivar Topázio MG-1190, verificaram, na primeira colheita após a poda, que os tratamentos que receberam maior quantidade de água apresentaram maior produção e diferiram significativamente do tratamento não irrigado. Os tratamentos de 80% e 120% da ECA-P apresentaram acréscimos na produtividade de 39,6% e 181% em relação aos tratamentos de 40% da ECA-P e não irrigado, respectivamente. Com relação ao crescimento vegetativo, Arantes, Faria e Rezende (2009) verificaram que o crescimento do cafeeiro recepado foi acelerado pelo aumento na

disponibilidade de água no solo e que a lâmina de 80% da ECA foi considerada a mais adequada na recuperação do cafeeiro após a poda, promovendo incrementos na ordem de 22,5%, 34% e 14%, respectivamente para a altura da planta, diâmetro do ramo ortotrópico e diâmetro da copa, em relação ao tratamento não irrigado.

Com relação ao adensamento, Pereira et al. (2007), avaliando as consequências da redução do espaçamento entre linhas e entre plantas sobre o crescimento vegetativo e produção de cafeeiros recepados, verificaram que os espaçamentos adotados não influenciaram o crescimento de nenhum dos componentes vegetativos no período avaliado. Tal fato possivelmente ocorreu devido ao fato de as avaliações de crescimento serem realizadas dois anos após a recepa, época em que as plantas se encontravam com porte reduzido e, portanto, não havia um autossombreamento que pudesse afetar o crescimento dessas plantas. Já a produtividade da primeira colheita após a poda foi influenciada positivamente pelo adensamento do plantio.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em uma área localizada no campo experimental do Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, MG. As coordenadas geográficas do município são 21°14'06'' latitude sul e 45°00'00'' longitude oeste, à altitude média de 910 m. O clima da região é classificado como Cwa, segundo a classificação de Köppen (mesotérmico com verões brandos e suaves e estiagem de inverno). A precipitação, a temperatura média e a umidade relativa anual são de 1.529,7 mm, 19,4°C e 76,2%, respectivamente (BRASIL, 1992).

O solo da área experimental, classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1999) foi analisado quanto às características físico-hídricas e químicas nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 1 Resultado da análise física do solo da área experimental. UFLA, Lavras, MG, 2010. ⁽¹⁾

Camada (cm)	Análise textural			DS g cm ⁻³	MAC (%)	MIC
	Areia	Silte (%)	Argila			
0-20	27,0	20,0	53,0	1,2	7,5	44,7
20-40	23,0	9,0	68,0	1,1	17,5	39,1
40-60	23,0	9,0	68,0	0,9	31,3	33,6

⁽¹⁾DS = densidade do solo, MAC = macroporosidade, MIC = microporosidade.

Tabela 2 Equação da curva característica de retenção da água no solo, segundo o modelo de Genuchten (1980), para as camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. UFLA, Lavras, MG, 2010. ⁽¹⁾

Camada de solo (cm)	Equação da curva característica	R ²
0-20	$\theta = 0,232 + \frac{0,449}{\left[1 + (0,044752 \cdot \psi_m)^{1,583143}\right]^{0,368345}}$	0,993
20-40	$\theta = 0,232 + \frac{0,498}{\left[1 + (0,065647 \cdot \psi_m)^{1,561641}\right]^{0,359648}}$	0,991
40-60	$\theta = 0,206 + \frac{0,446}{\left[1 + (0,135556 \cdot \psi_m)^{1,506160}\right]^{0,336060}}$	0,988

⁽¹⁾ θ = umidade volumétrica (cm³ cm⁻³); ψ_m = potencial matricial (kPa)

Tabela 3 Resultado da análise química do solo em que foi conduzido o ensaio. UFLA, Lavras, MG, 2010. ⁽¹⁾

Característica	Unidade	Camada (cm)		
		0-20	20-40	40-60
pH em água	-	5,8	5,2	4,9
P	mg dm ⁻³	41,0	33,0	5,0
K	mg dm ⁻³	62,0	42,0	33,0
Ca	cmolc dm ⁻³	4,9	2,3	1,5
Mg	cmolc dm ⁻³	2,1	1,1	0,7
Al	cmolc dm ⁻³	0,0	0,3	0,6
H + Al	cmolc dm ⁻³	4,0	6,3	6,3
S-sulfato	mg dm ⁻³	97,3	161,8	201,0
Boro	mg dm ⁻³	0,4	0,4	0,3
Zinco	mg dm ⁻³	1,3	0,7	0,3
Cobre	mg dm ⁻³	2,7	2,0	2,2
Mn	mg dm ⁻³	2,2	1,5	1,0
Ferro	mg dm ⁻³	36,9	35,3	20,8
SB	cmolc dm ⁻³	7,2	3,5	2,3
t	cmolc dm ⁻³	7,2	3,8	2,9
T	cmolc dm ⁻³	11,2	9,8	8,6
m	%	0,0	7,9	20,8
V	%	64,2	35,5	26,6
M. O.	dag kg ⁻¹	3,5	2,7	2,2

⁽¹⁾ Análise realizada no laboratório do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. SB = soma de bases, t = CTC efetiva, T = CTC a pH 7, m = saturação por alumínio, V = saturação por bases, MO = matéria orgânica (TOMÉ JÚNIOR, 1997).

3.2 Instalação e condução do experimento

O plantio da lavoura foi realizado em janeiro de 2001, nas diversas densidades de plantio estudadas, com uma planta por cova, utilizando-se a

cultivar Rubi MG-1192. A calagem e as adubações foram realizadas de acordo com análises de solo e foliares, sendo baseadas nas recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (GUIMARÃES et al., 1999), com acréscimo de 30% na adubação, conforme a recomendação de Santinato e Fernandes (2002) para cafeeiros irrigados. A aplicação de produtos fitossanitários foi realizada conforme a necessidade da cultura. A lavoura foi mantida livre de plantas daninhas por meio da associação de métodos de manejo (químico e cultural) durante as diferentes fases da cultura e de acordo com as espécies infestantes.

As adubações foram feitas de forma convencional, até o quarto ano após o plantio, em todos os tratamentos. A partir do quinto ano, os nutrientes nitrogênio e potássio foram aplicados via fertirrigação. Nos dois tipos de adubação (convencional e fertirrigação), o parcelamento foi realizado em quatro vezes, de outubro a janeiro. As parcelas não irrigadas foram adubadas de forma convencional. Os micronutrientes foram fornecidos via foliar, de acordo com os teores verificados na análise nutricional.

Em agosto de 2007, após a colheita, procedeu-se à poda de esqueletamento e decote da lavoura. O esqueletamento foi realizado a 0,40 m do ramo ortotrópico e o decote, a 1,40 m do nível do solo. As desbrotas foram efetuadas deixando-se apenas uma haste por tronco, eliminando-se brotações pouco vigorosas e “ramos ladrões”.

As plantas pertencentes à densidade de 20.000 plantas ha⁻¹ (1,0 x 0,5m) não foram esqueletadas e decotadas como as demais, razão pela qual o estudo do crescimento das plantas se deu apenas nas densidades de 2.500, 3.333, 5.000 e 10.000 plantas ha⁻¹.

3.3 Tratamentos e delineamento experimental

Neste experimento foram analisados diferentes critérios para determinação do momento das irrigações em cafeeiros conduzidos em diversas densidades de plantio, desde a fase de formação da lavoura. Os tratamentos constam da Tabela 4.

Tabela 4 Critérios de irrigação e densidades de plantio utilizados no experimento. UFLA, Lavras, MG, 2010

Critérios de irrigação	Densidade de plantio (plantas ha ⁻¹)
1) Sem irrigação	
2) Irrigação a 20 kPa	2.500
3) Irrigação a 60 kPa	(4,0 x 1,0m)
4) Balanço hídrico climatológico	
1) Sem irrigação	
2) Irrigação a 20 kPa	3.333
3) Irrigação a 60 kPa	(3,0 x 1,0m)
4) Balanço hídrico climatológico	
1) Sem irrigação	
2) Irrigação a 20 kPa	5.000
3) Irrigação a 60 kPa	(2,0 x 1,0m)
4) Balanço hídrico climatológico	
1) Sem irrigação	
2) Irrigação a 20 kPa	10.000
3) Irrigação a 60 kPa	(2,0 x 0,5m)
4) Balanço hídrico climatológico	
1) Sem irrigação	
2) Irrigação a 20 kPa	20.000*
3) Irrigação a 60 kPa	(1,0 x 0,5m)
4) Balanço hídrico climatológico	

* Não avaliada após a poda.

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) em esquema de parcela subdividida com quatro repetições. As cinco densidades de plantio localizaram-se nas parcelas e os três critérios de irrigação com a testemunha não irrigada foram distribuídos de modo aleatório nas subparcelas, perfazendo um total de 20 tratamentos. Após a poda, devido à interrupção das avaliações na densidade de 20.000 plantas ha⁻¹, foram analisados 16 tratamentos. Cada subparcela foi constituída por 10 plantas, consideradas úteis as oito plantas centrais. Nas bordas superior e inferior de cada parcela (densidade de plantio) foi utilizada uma linha de plantas como bordadura. O total de plantas úteis na área experimental foi de 640 plantas antes da poda e 512 plantas após a poda.

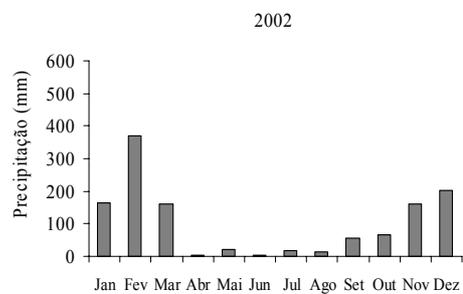
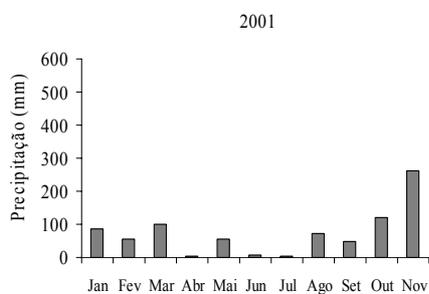
3.4 Sistema e manejo de irrigação

O sistema de irrigação constou de uma unidade central de controle (sistema de bombeamento, filtros de areia e de tela, injetor de fertilizantes, manômetros e conexões), linha principal de tubos de PVC, PN 80, linhas de derivação de PVC, PN 40, linhas laterais com tubo flexível de polietileno, PN 40, gotejadores autocompensantes (vazão de 3,78 litros por hora) e registros. A irrigação de cada subparcela foi controlada por meio de registros instalados nas linhas de derivação que conduziram a água até as linhas laterais das quatro repetições de cada tratamento.

Os tensiômetros (tensímetro de punção digital) foram instalados nas profundidades de 0,10, 0,25, 0,40 e 0,60 m, afastados cerca de 0,10 m da base do caule das plantas. As leituras da tensão da água no solo foram realizadas diariamente, no período da manhã. A irrigação de cada subparcela ocorreu quando a leitura de tensão da água no solo à profundidade de 0,25 m indicou a tensão de irrigação relativa àquele tratamento. Os tensiômetros foram colocados em uma repetição de cada tratamento representativa da área experimental. A

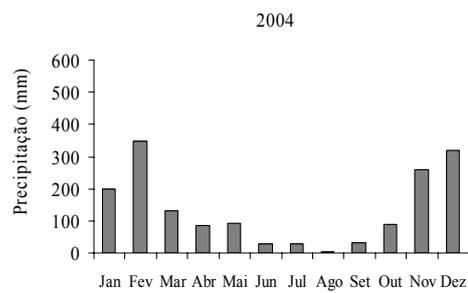
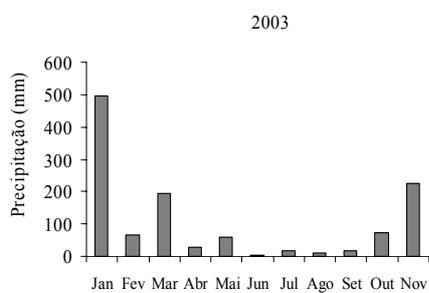
correspondência entre tensão de água no solo e umidade foi obtida pela curva característica de umidade do solo, a qual foi previamente determinada em laboratório. A descrição e os princípios de funcionamento dos tensiômetros são relatados por Marouelli (2008).

No manejo de irrigação do balanço hídrico climatológico efetuado pelo software IRRIPLUS, os dados meteorológicos foram monitorados por uma estação meteorológica automática instalada na área experimental. Para o cálculo da evapotranspiração de referência foram utilizados os dados de temperatura máxima, média e mínima, velocidade do vento, umidade relativa, radiação e precipitação. Os valores de coeficiente de cultura (K_c), utilizados para o cálculo da evapotranspiração da cultura foram crescentes em função do desenvolvimento do cafeeiro e da densidade populacional, conforme recomendação de Santinato, Fernandes e Fernandes (1996). As irrigações foram realizadas às segundas, quartas e sextas-feiras, adotando-se turno de rega fixo. Os valores médios de precipitação (mm) ocorrida no período de 2001 a 2009 são apresentados na Figura 1.



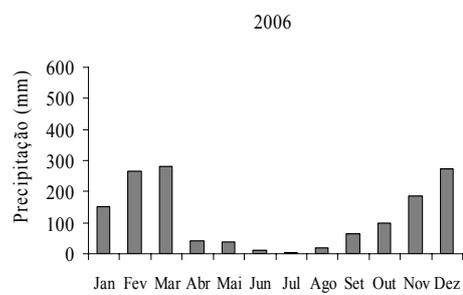
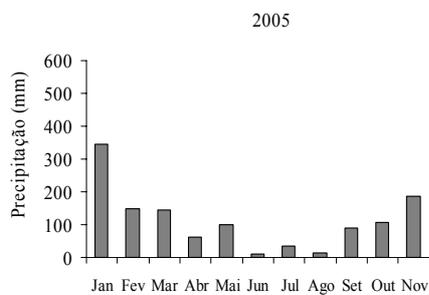
a

b



c

d



e

f

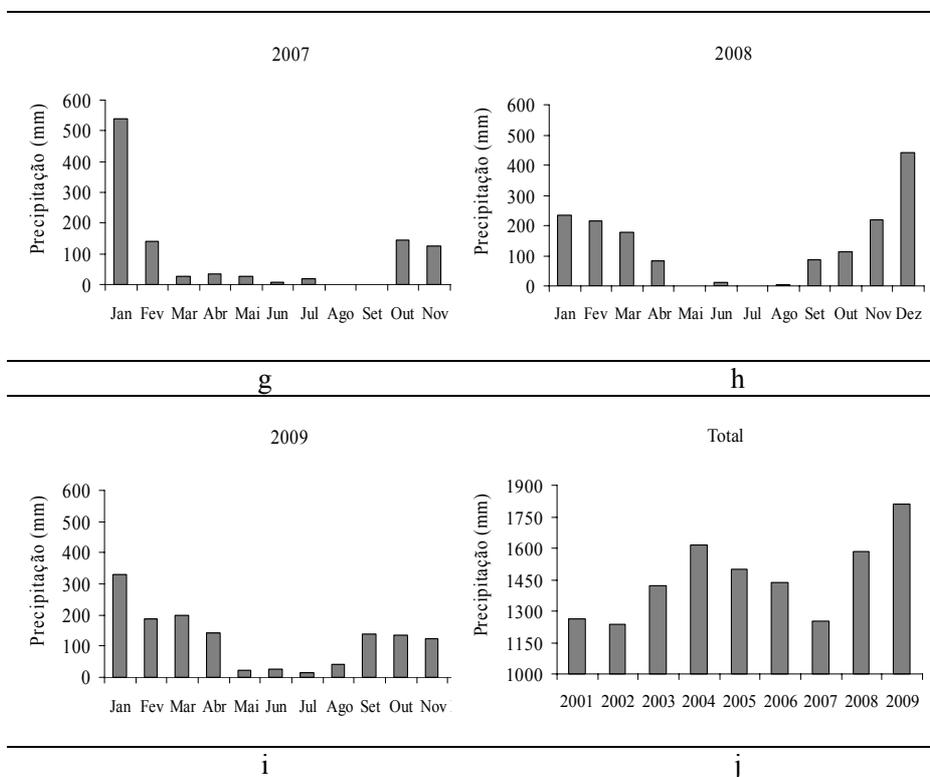


Figura 1 Precipitação média mensal nos anos de 2001 (a), 2002 (b), 2003 (c), 2004 (d), 2005 (e), 2006 (f), 2007 (g), 2008 (h), 2009 (i) e precipitação total em cada ano (j). UFLA, Lavras, MG, 2010

3.5 Características avaliadas

3.5.1 Crescimento das plantas antes da poda

As avaliações de crescimento foram realizadas trimestralmente (Tabela 5), sendo analisadas as seguintes características:

- altura de plantas: as medidas foram realizadas, do colo da planta até a gema apical do caule, com auxílio de uma régua graduada em centímetros. As avaliações abrangeram o período de 90 até 1.980 dias após o plantio (DAP), totalizando 22 épocas de avaliações;

- diâmetro de copa: as medidas foram realizadas no sentido transversal à linha de plantio, considerando-se a extensão do ramo plagiotrópico de maior dimensão, com auxílio de uma régua graduada em centímetros. As avaliações abrangeram o período de 180 até 1.710 DAP, totalizando 18 épocas de avaliações. Essa característica não foi analisada na densidade de 20.000 plantas ha⁻¹, em função da perda acentuada de ramos plagiotrópicos inferiores e do terço médio das plantas nessa densidade;

- diâmetro de caule: medido a 5 cm do nível do solo, com auxílio de um paquímetro, em milímetros. As avaliações abrangeram o período de 90 até 990 DAP, totalizando 11 épocas de avaliações;

- número de ramos plagiotrópicos: foram contados todos os ramos plagiotrópicos primários do ramo ortotrópico em cada avaliação realizada, utilizando-se como parcela útil as três plantas centrais da parcela. As avaliações abrangeram o período de 270 até 1.980 DAP, totalizando 20 épocas de avaliações.

Tabela 5 Épocas de avaliação de crescimento das plantas antes e após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Avaliações de crescimento antes da poda			
Dias após o plantio	Época correspondente	Dias após o plantio	Época correspondente
90	Maio/2001	1080	Fevereiro/2004
180	Agosto/2001	1170	Maio/2004
270	Novembro/2001	1260	Agosto/2004
360	Fevereiro/2002	1350	Novembro/2004
450	Maio/2002	1440	Fevereiro/2005
540	Agosto/2002	1530	Maio/2005
630	Novembro/2002	1620	Agosto/2005
720	Fevereiro/2003	1710	Novembro/2005
810	Maio/2003	1800	Fevereiro/2006
900	Agosto/2003	1890	Maio/2006
990	Novembro/2003	1980	Agosto/2006

“Tabela 5, continua”

“Tabela 5, conclusão”

Avaliações de crescimento após a poda			
Dias após a poda	Época correspondente	Dias após a poda	Época correspondente
180	Fevereiro/2008	540	Fevereiro/2009
270	Maio/2008	630	Maio/2009
360	Agosto/2008	720	Agosto/2009
450	Novembro/2008	810	Novembro/2009

3.5.2 Produtividade média em cinco colheitas antes da poda

Foram analisados os dados relativos às safras de 2003 a 2007. A colheita foi realizada por meio de derriça manual no pano, iniciada quando o percentual de frutos verdes estava entre 10% e 15%. No dia da colheita, foi mensurado o volume (L) de frutos colhidos nas plantas em cada parcela, da qual foi retirada uma amostra de 10 L de café de cada repetição. As amostras foram acondicionadas em sacos confeccionados com tela, sendo revolvidas várias vezes ao longo do dia, para que a secagem ocorresse de forma homogênea, sendo expostas ao sol até atingir umidade de beneficiamento (entre 11% e 12%). Após esta etapa, foram determinados a massa, o volume e a umidade de café beneficiado. Os dados obtidos em todas as fases do processo foram utilizados no cálculo de produtividade (sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare).

3.5.3 Crescimento das plantas após a poda

As características de crescimento vegetativo foram avaliadas trimestralmente, com a mesma metodologia utilizada antes da poda. As avaliações iniciaram-se aos 180 dias após a poda das plantas e terminaram aos 810 dias, totalizando oito épocas de avaliações.

3.6 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo software SISVAR (FERREIRA, 2000), a 5% de probabilidade, pelo teste F. As variáveis que descrevem o crescimento das plantas do cafeeiro foram analisadas de acordo com esquema adaptado de parcelas subdivididas, considerando as avaliações como subparcelas no tempo (STEEL; TURRIE; DICKEY, 1997). A partir da detecção de diferenças significativas entre os fatores e suas interações, foram realizados os desdobramentos. O estudo de regressão foi utilizado para explicar o crescimento das plantas em função das épocas de avaliação para cada densidade de plantio e critério de irrigação. Na ausência de interação significativa entre os fatores analisados para as características de crescimento e produtividade, procedeu-se à análise de regressão, para o fator quantitativo (densidades de plantio) e pelo teste de comparação de médias Scott-Knott, para o fator qualitativo (critérios de irrigação).

Além disso, foram estimadas as correlações fenotípicas entre as características de crescimento (altura da planta, diâmetro de caule e número de ramos plagiotrópicos) com a produção por planta do cafeeiro, por meio do programa Sistema para Análise Estatística e Genética (SAEG) (UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV, 1997).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resposta de crescimento e produção das plantas submetidas a diferentes densidades de plantio e critérios de irrigação pode variar no período anterior e posterior à poda. Tais diferenças de comportamento podem ser devido ao crescimento diferenciado das plantas nos diversos tratamentos até a realização da poda e ou à influência de tais tratamentos na capacidade de recuperação das plantas.

Para maior entendimento dessas possíveis influências nas plantas em diferentes densidades de plantio e critérios de irrigação, os dados serão discutidos separadamente, nos períodos antes e após a poda.

4.1 Dotação hídrica

Nas Tabelas 6 e 7 são apresentados os valores de lâminas de água (mm) aplicadas anualmente e entre safras, respectivamente, em cafeeiros irrigados sob diferentes critérios e em cada densidade de plantio, no período de 2001 a 2009.

Verificou-se maior exigência de água (maiores valores de lâmina aplicada) no plantio mais adensado (20.000 plantas ha⁻¹) em relação ao não adensado (2.500 plantas ha⁻¹), confirmando a relação entre aumento da população de plantas e maior consumo de água por unidade de área, descrita por Matiello e Fioravante (2004).

Com relação aos critérios de irrigação, as maiores aplicações de água ocorreram no balanço hídrico climatológico efetuado pelo software Irriplus, seguido pelos critérios de irrigação, quando a tensão da água no solo atingiu valores próximos a 20 kPa e a 60 kPa, respectivamente.

Tabela 6 Lâminas de água (mm) aplicadas anualmente em cafeeiros irrigados sob diferentes critérios, em cada densidade de plantio, no período de 2001 a 2009. UFLA, Lavras, MG, 2010.

		Densidade de plantio (plantas ha ⁻¹)				
Critério	Ano	2.500	3.333	5.000	10.000	20.000
Balanço hídrico climatológico	2001	155,2	206,0	263,1	315,2	463,0
	2002	302,4	345,6	459,4	801,4	939,6
	2003	356,7	369,2	598,4	829,6	869,9
	2004	333,4	448,8	617,5	742,7	745,0
	2005	435,8	567,6	727,1	822,5	825,1
	2006	516,5	649,3	826,0	917,2	938,2
	2007	643,8	811,7	1004,1	1052,9	1132,0
	2008	230,7	254,9	280,8	405,5	648,7
	2009	458,7	513,2	566,9	623,4	848,5
20 kPa	2001	91,5	134,1	240,9	258,1	454,2
	2002	219,0	278,5	470,5	509,2	929,1
	2003	197,8	234,3	429,4	522,3	892,9
	2004	145,3	207,1	297,0	364,6	596,0
	2005	81,0	126,6	190,3	247,5	474,5
	2006	159,3	253,0	298,6	339,9	608,0
	2007	80,5	217,0	462,1	437,7	998,7
	2008	235,1	353,1	454,5	561,1	647,7
	2009	320,3	292,2	427,7	596,2	437,9
60 kPa	2001	40,5	22,1	16,5	62,9	67,2
	2002	155,7	216,0	234,5	365,2	884,2
	2003	129,2	151,1	241,0	409,5	605,1
	2004	55,6	94,7	155,6	120,8	212,1
	2005	39,3	52,7	77,0	102,5	237,5
	2006	141,5	142,7	171,9	235,2	429,2
	2007	59,3	111,8	148,1	174,1	488,3
	2008	170,9	195,3	201,5	254,7	266,8
	2009	203,7	195,2	310,3	264,6	361,2

Tabela 7 Lâminas de água (mm) aplicadas entre safras em cafeeiros irrigados sob diferentes critérios, em cada densidade de plantio, no período de 2001 a 2009. UFLA, Lavras, MG, 2010.

Critério	Saфра	Densidade de plantio (plantas ha ⁻¹)				
		2.500	3.333	5.000	10.000	20.000
Balanço hídrico climatológico	2001/02	249,0	315,5	419,9	596,0	790,2
	2002/03	373,5	393,5	545,9	893,0	988,7
	2003/04	266,9	323,5	531,2	665,7	716,2
	2004/05	465,6	601,2	776,1	913,8	889,4
	2005/06	459,9	594,5	759,5	864,2	864,0
	2006/07	529,3	662,4	841,6	852,9	957,2
	2007/08	492,9	611,1	798,9	860,9	949,3
	2008/09	245,0	267,6	290,4	423,7	705,0
	Média	385,3	471,2	620,4	758,8	857,5
20 kPa	2001/02	169,2	240,0	395,3	421,1	734,5
	2002/03	226,0	259,6	491,9	584,0	1044,0
	2003/04	161,4	200,7	358,7	434,2	696,3
	2004/05	122,7	190,4	240,0	292,1	557,2
	2005/06	114,1	188,5	268,9	314,4	621,7
	2006/07	150,4	241,6	389,6	424,5	768,6
	2007/08	112,6	267,5	384,9	429,4	663,8
	2008/09	271,0	348,5	512,4	598,2	584,5
	Média	165,9	242,1	380,2	437,2	708,8
60 kPa	2001/02	96,5	104,0	97,7	160,0	332,9
	2002/03	163,7	205,6	284,1	405,9	866,1
	2003/04	87,5	110,4	178,4	329,2	452,6
	2004/05	45,4	81,6	116,6	100,3	240,7
	2005/06	97,1	113,9	175,2	180,5	319,7
	2006/07	94,3	118,5	132,9	238,0	508,5
	2007/08	90,9	126,4	124,8	133,5	364,5
	2008/09	209,3	202,5	241,2	272,6	338,9
	Média	110,6	132,9	168,9	227,5	427,9

4.2 Crescimento das plantas submetidas a critérios de irrigação e densidades de plantio, antes e após a poda

Nas Tabelas 8 e 9 são apresentadas as análises de variância dos dados referentes a altura (ALT), diâmetro de caule (DCA), diâmetro de copa (DCO) e número de ramos plagiotrópicos (NRP) das plantas de cafeeiros submetidas a critérios de irrigação e densidades de plantio, antes e após a poda, respectivamente.

Antes da poda, a interação tripla entre os critérios de irrigação, densidades de plantio e épocas de avaliação foi altamente significativa somente para a característica diâmetro de copa. Para as variáveis diâmetro de caule e número de ramos plagiotrópicos, as interações entre épocas de avaliação x densidades de plantio e épocas de avaliação x critérios de irrigação foram significativas, a 1% de probabilidade. Já para a característica altura, a única interação significativa foi entre épocas de avaliação x densidade de plantio, sendo também significativos a 1% os efeitos dos diferentes critérios de irrigação, independentemente dos demais fatores estudados (Tabela 8).

Tabela 8 Resumo da análise de variância contendo os quadrados médios para altura de planta (ALT), diâmetro de caule (DCA), diâmetro de copa (DCO) e número de ramos plagiotrópicos (NRP) das plantas de cafeeiro submetidas a critérios de irrigação e densidades de plantio antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	ALT	GL	DCA	GL	DCO	GL	NRP
Densidade	4	53256,28**	4	4,99**	3	1731,67 ^{ns}	4	2334,42**
(D)								
Erro 1	15	3159,13	15	0,19	12	610,22	15	175,73
Irrigação	3	59159,51**	3	28,55**	3	72580,99**	3	8706,16**
(I)								
D x I	12	2535,39 ^{ns}	12	0,14 ^{ns}	9	1251,08*	12	218,97 ^{ns}
Erro 2	45	1837,31	45	0,14	36	485,93	45	244,06
Época (E)	21	248841,17**	10	1398,14**	17	130148,72**	19	69318,14**
Erro 3	63	1387,31	30	0,04	51	45,59	57	32,13
E x D	84	2644,71**	40	0,43**	51	669,60**	76	662,68**
E x I	63	1646,82 ^{ns}	30	0,56**	51	174,43**	57	59,03**
E x D x I	252	1424,48 ^{ns}	120	0,03 ^{ns}	153	57,61**	228	39,07 ^{ns}
Erro 4	1197	1394,08	570	0,02	765	36,37	1083	34,72
CV 1 (%)		40,44		15,92		17,26		17,46
CV 2 (%)		30,84		13,84		15,40		20,58
CV 3 (%)		26,80		7,18		4,72		7,47
CV 4 (%)		26,87		5,49		4,21		7,76

ns, * e **: não significativo, significativo, a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F

Tabela 9 Resumo da análise de variância para altura de planta (ALT), diâmetro de copa (DCO) e número de ramos plagiotrópicos (NRP) das plantas de café submetidas a critérios de irrigação e densidades de plantio após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	Quadrados médios		
		ALT	DCO	NRP
Densidade (DE)	3	9921,69**	936,47*	8048,14**
Erro 1	12	566,77	226,16	362,02
Irrigação (I)	3	2755,31**	20249,05**	336,92 ^{ns}
DE x I	9	222,69 ^{ns}	964,71 ^{ns}	864,24 ^{ns}
Erro 2	36	316,73	465,10	417,75
Época (EP)	7	19158,72**	61335,43**	13168,14**
Erro 3	21	8,55	30,57	1,13
EP x DE	21	193,92**	64,90**	60,93**
EP x I	21	26,78 ^{ns}	77,28**	7,10 ^{ns}
EP x DE x I	63	20,26 ^{ns}	14,84 ^{ns}	8,42 ^{ns}
Erro 4	315	17,86	26,68	7,38
CV 1 (%)		13,35	8,40	21,62
CV 2 (%)		9,98	12,04	23,22
CV 3 (%)		1,64	3,09	1,21
CV 4 (%)		2,37	2,88	3,09

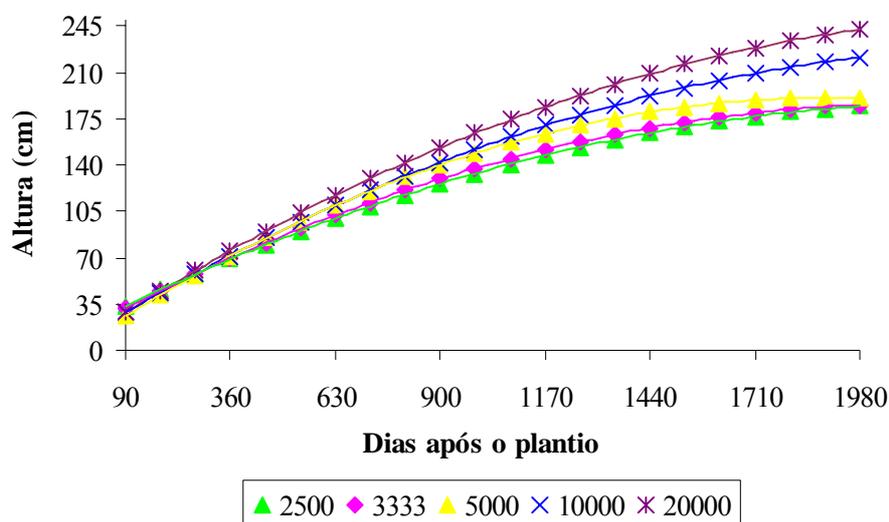
ns, * e **: não significativo, significativo, a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F.

Após a poda, verificou-se que, para todas as características de crescimento, a interação entre épocas de avaliação x densidades de plantio foi altamente significativa ($p < 0,01$). Já a interação entre épocas de avaliação x critérios de irrigação foi significativa, a 1% de significância, somente para a variável diâmetro de copa. O efeito do fator critérios de irrigação foi discutido separadamente para a altura das plantas, não havendo significância do mesmo para a variável número de ramos plagiotrópicos (Tabela 9).

4.2.1 Altura das plantas

Para a característica altura de plantas, procedeu-se à análise estatística por meio do desdobramento das épocas de avaliação em cada nível do fator densidade de plantio. Verificou-se que, para todos os níveis de densidade, o efeito de épocas foi altamente significativo ($p < 0,01$), tanto no período anterior quanto no posterior à poda (APÊNDICES A e B).

A altura de plantas de cafeeiro ajustou-se ao modelo quadrático em todas as densidades de plantio antes da poda (Figura 2). Embora o modelo linear também tenha apresentado um bom ajuste, houve tendência de estabilização do crescimento das plantas aos 1.980 dias após o plantio, sobretudo nas maiores densidades, nas quais as plantas apresentaram altura próxima ou, até mesmo, superior à altura máxima alcançada para a cultivar Rubi MG-1192, que é de 2,00 m, de acordo com Mendes e Guimarães (1996).



2.500 plantas ha ⁻¹	$y = 20,6266 + 0,14537x - 3,1593 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 99,17\%$
3.333 plantas ha ⁻¹	$y = 17,7990 + 0,15694x - 3,6443 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 98,64\%$
5.000 plantas ha ⁻¹	$y = 8,7648 + 0,19155x - 5,0386 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 86,97\%$
10.000 plantas ha ⁻¹	$y = 12,9228 + 0,17546x - 3,5360 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 99,25\%$
20.000 plantas ha ⁻¹	$y = 11,2912 + 0,19172x - 3,7779 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 99,48\%$

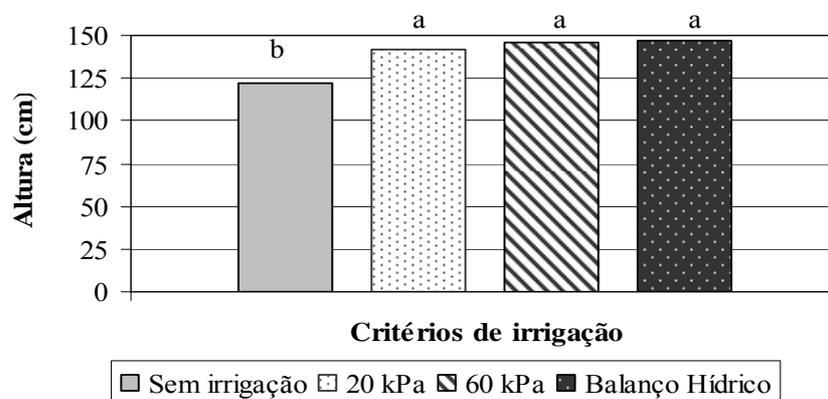
Figura 2 Altura de plantas de cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada densidade de plantio antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Partindo de uma altura semelhante, aos 90 dias após o plantio, os cafeeiros nos sistemas mais adensados apresentaram maiores alturas de plantas em relação aos sistemas menos adensados, ao longo das épocas de avaliação (Figura 2). Essa diferença ficou mais evidente a partir dos 630 dias após o plantio, quando as plantas na densidade de 20.000 plantas ha⁻¹ apresentaram altura 18% superior (o equivalente a 18,5 cm) em relação às plantas na densidade de 2.500 plantas ha⁻¹ (APÊNDICE C). Cabe, porém, a observação de que nem sempre o aumento na altura das plantas é traduzido também em aumento do número de ramos produtivos e, conseqüentemente, no número de

nós, que afetará diretamente a expectativa de produção. Essas considerações serão feitas ao se discutir a característica número de ramos plagiotrópicos.

O efeito do adensamento na altura das plantas foi acentuado com o aumento da idade da lavoura, uma vez que, aos 1.980 dias após o plantio. As plantas na densidade de 20.000 plantas ha⁻¹ apresentaram valores superiores em 29%, 28,6%, 25,9%, 6,9% em relação às densidades de 2.500, 3.333, 5.000 e 10.000 plantas ha⁻¹, respectivamente (APÊNDICE C). Tal comportamento pode ser explicado pelo fato de o autossombreamento (provocado pelo adensamento) promover um desequilíbrio hormonal entre auxinas, giberelinas e citocininas, estimulando o crescimento do meristema apical (TAIZ; ZEIGER, 2004). Os resultados encontrados neste trabalho foram semelhantes aos obtidos por Paulo, Furlani Júnior e Fazuoli (2005) e Pereira (2004) os quais verificaram que o crescimento do ramo ortotrópico foi afetado positivamente pelo adensamento das plantas.

Com relação à irrigação, as plantas cultivadas na condição de sequeiro apresentaram menor altura em relação às irrigadas (Figura 3).



Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

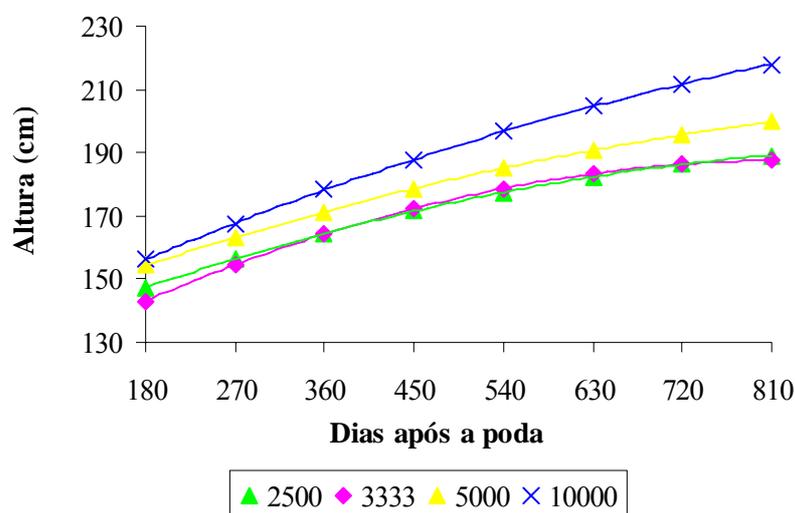
Figura 3 Altura de plantas de cafeeiros, em função dos critérios de irrigação antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Independentemente do critério de irrigação utilizado, as plantas irrigadas apresentaram altura 18,7% (o equivalente a 22,8 cm) superior às não irrigadas (Figura 3). Estes resultados corroboram os obtidos por Santos (2005) que verificou, em cafeeiros não irrigados da cultivar Mundo Novo, altura 11,5% inferior (o equivalente a 30 cm) em relação às plantas irrigadas. Estes resultados evidenciam que a restrição na disponibilidade de água no solo pode afetar negativamente os processos metabólicos referentes ao crescimento das plantas (CARVALHO et al., 2006).

Apesar de a lâmina aplicada no critério de irrigação do balanço hídrico climatológico ser maior que as aplicadas nas tensões de 20 e 60 kPa, não houve diferença significativa entre esses critérios na altura de plantas (Figura 3). Lambert (2009), avaliando a influência de diferentes lâminas de irrigação nas características vegetativas do cafeeiro cultivar Rubi MG-1192, verificou que, a partir dos quatro anos após o plantio, as plantas apresentaram maior altura empregando-se lâminas menores de irrigação e que a diferença de altura das

plantas irrigadas e não irrigadas tornou-se cada vez menor com o aumento da idade da lavoura, devido à estabilização do crescimento, ocasionada pelo desenvolvimento mais avançado do cafeeiro.

Após a poda, a altura das plantas foi semelhante à observada no período anterior ao esqueletamento e decote da lavoura. Em todas as densidades de plantio estudadas, o modelo quadrático apresentou um ajuste adequado ($R^2 > 96\%$) para a altura das plantas, em função das épocas de avaliação (Figura 4).



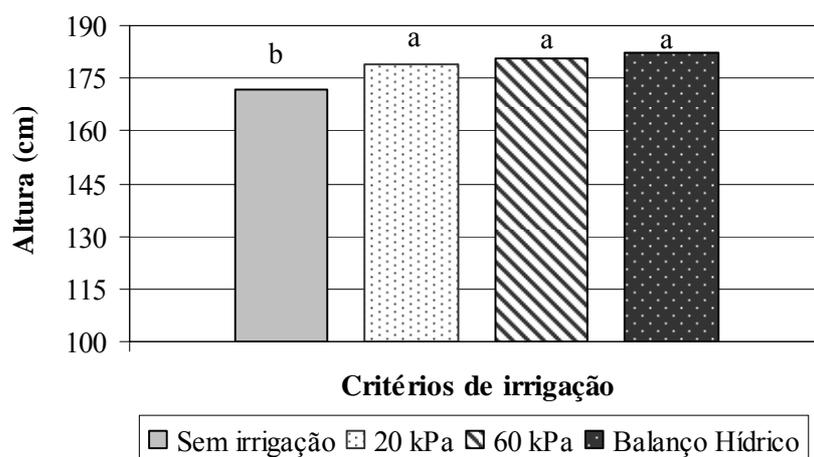
2.500 plantas ha ⁻¹	$y = 126,1928 + 0,12917x - 6,3470 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 97,06\%$
3.333 plantas ha ⁻¹	$y = 115,3663 + 0,17316x - 1,0365 \cdot 10^{-4}x^2$	$R^2 = 96,96\%$
5.000 plantas ha ⁻¹	$y = 134,0304 + 0,12186x - 5,0448 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 98,48\%$
10.000 plantas ha ⁻¹	$y = 131,0687 + 0,14988x - 5,2667 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 97,54\%$

Figura 4 Altura de plantas de cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada densidade de plantio após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

O aumento da densidade de plantio influenciou a altura das plantas, proporcionando maior crescimento das mesmas. Na população de 10.000 plantas

ha⁻¹, houve crescimento 13,4% superior (25,8 cm em valor absoluto) em relação à média da altura das plantas nas densidades de 2.500, 3.333 e 5.000 plantas ha⁻¹, aos 810 dias após a poda (APÊNDICE D). A tendência é que a altura das plantas adensadas seja cada vez maior com o aumento da idade delas, devido ao fechamento da lavoura e ao conseqüente autossombreamento no plantio adensado. De acordo com Maestri e Barros (1977), o aumento da iluminação, sobretudo em espaçamentos mais largos, tende a produzir plantas mais baixas e diferenciadas.

De maneira semelhante ao observado no período anterior à poda, a irrigação afetou positivamente a altura das plantas (Figura 5).



Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Figura 5 Altura de plantas de cafeeiros, em função dos critérios de irrigação após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

As plantas irrigadas apresentaram altura 5,1% superior (8,8 cm) em relação às não irrigadas (Figura 5), indicando que o fornecimento constante de

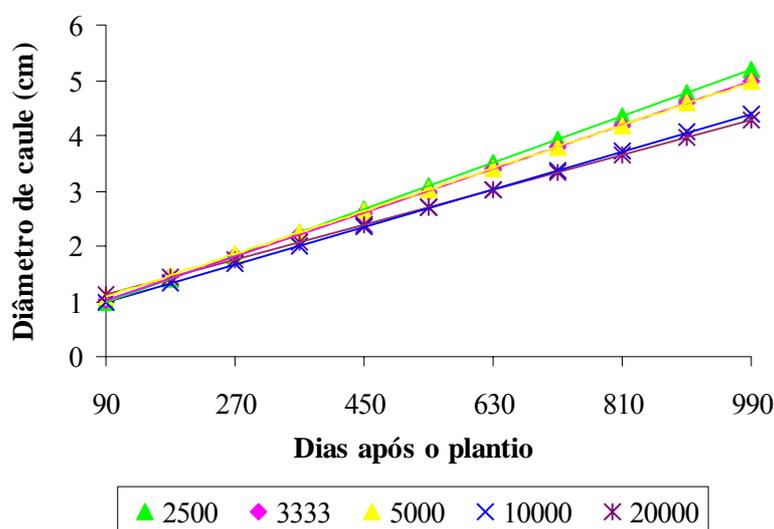
água pela irrigação ao longo do ano proporcionou recuperação mais rápida do crescimento vegetativo da lavoura após a poda.

Não houve diferença significativa entre os critérios de irrigação na altura das plantas, assim como foi observado na avaliação anterior à poda. O incremento em altura à medida que se aumenta a lâmina de irrigação é notável em lavouras novas ou que foram recepadas, conforme resultados obtidos por Arantes, Faria e Rezende (2009). Já em cafeeiros adultos, há uma tendência de estabilização desses incrementos, que pode se traduzir em menores taxas de crescimento.

4.2.2 Diâmetro de caule

Para a característica diâmetro de caule, procedeu-se à análise estatística das interações duplas por meio do desdobramento das épocas de avaliação em cada nível dos fatores densidade de plantio e critério de irrigação. Verificou-se (APÊNDICES E e F) que o efeito das épocas foi altamente significativo em todos os níveis dos fatores estudados.

O aumento do diâmetro de caule das plantas ao longo do período de avaliação (três anos) ajustou-se ao modelo linear em todas as densidades de plantio (Figura 6). Aos 990 dias após o plantio, o diâmetro de caule das plantas conduzidas nos sistemas de plantio de 2.500, 3.333 e 5.000 plantas ha⁻¹ foi 13,15% superior (0,53 cm em valor absoluto), quando comparado aos plantios mais adensados de 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹ (APÊNDICE G). Esse resultado confirma os obtidos por outros autores, como Paulo, Furlani Júnior e Fazuoli (2005), Pereira (2004) e Rena, Nacif e Guimarães (2003), os quais verificaram que o diâmetro de caule dos cafeeiros é afetado negativamente em função do aumento da população de plantas na área.



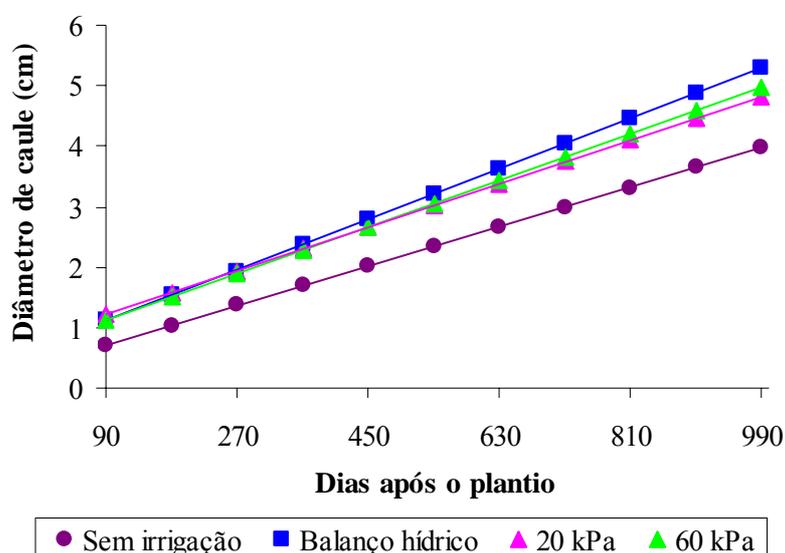
2.500 plantas ha ⁻¹	$y = 0,57364 + 0,00465x$	$R^2 = 94,78\%$
3.333 plantas ha ⁻¹	$y = 0,63764 + 0,00438x$	$R^2 = 93,09\%$
5.000 plantas ha ⁻¹	$y = 0,68927 + 0,00432x$	$R^2 = 93,79\%$
10.000 plantas ha ⁻¹	$y = 0,64236 + 0,00380x$	$R^2 = 94,40\%$
20.000 plantas ha ⁻¹	$y = 0,79055 + 0,00353x$	$R^2 = 93,29\%$

Figura 6 Diâmetro de caule dos cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada densidade de plantio antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Pode-se estimar, por meio da inclinação das retas ajustadas (Figura 6), que, para cada 100 dias, ocorreu um engrossamento do caule das plantas de 0,46 cm na densidade de 2.500 plantas ha⁻¹ (4,0 x 1,0m) e de 0,35 cm na densidade de 20.000 plantas ha⁻¹ (1,0 x 0,5m). Tal comportamento permite inferir que a redução acentuada do espaçamento na entrelinha e, principalmente, das plantas na linha de plantio pode proporcionar o estiolamento das plantas, fazendo com que essas cresçam prioritariamente em altura, em detrimento do diâmetro de caule. Plantas que apresentam caules mais vigorosos podem acumular maior quantidade de carboidratos, apresentando, como consequência, maior desenvolvimento vegetativo e reprodutivo (LIVRAMENTO et al., 2002). Além

disso, um adequado desenvolvimento do diâmetro de caule é uma característica morfológica externa representativa do cafeeiro saudável (GUISCAFRE-ARRILAGA; GÓMEZ, 1938).

O diâmetro de caule das plantas em todos os critérios de irrigação utilizados apresentou incrementos constantes, ajustando-se ao modelo linear, ao longo dos 990 dias após o plantio (Figura 7).



Sem irrigação	$y = 0,38764 + 0,00362x$	$R^2 = 96,11\%$
Balanço hídrico	$y = 0,69036 + 0,00464x$	$R^2 = 95,44\%$
20 kPa	$y = 0,86000 + 0,00400x$	$R^2 = 89,31\%$
60 kPa	$y = 0,72909 + 0,00428x$	$R^2 = 93,41\%$

Figura 7 Diâmetro de caule dos cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada critério de irrigação antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

As plantas irrigadas pelo balanço hídrico climatológico apresentaram diâmetro de caule 12,6% superior (0,55 cm em valor absoluto) em relação às plantas irrigadas, com base nas tensões de 20 e 60 kPa (APÊNDICE H). Isso, possivelmente, ocorreu devido à maior lâmina de água aplicada no balanço

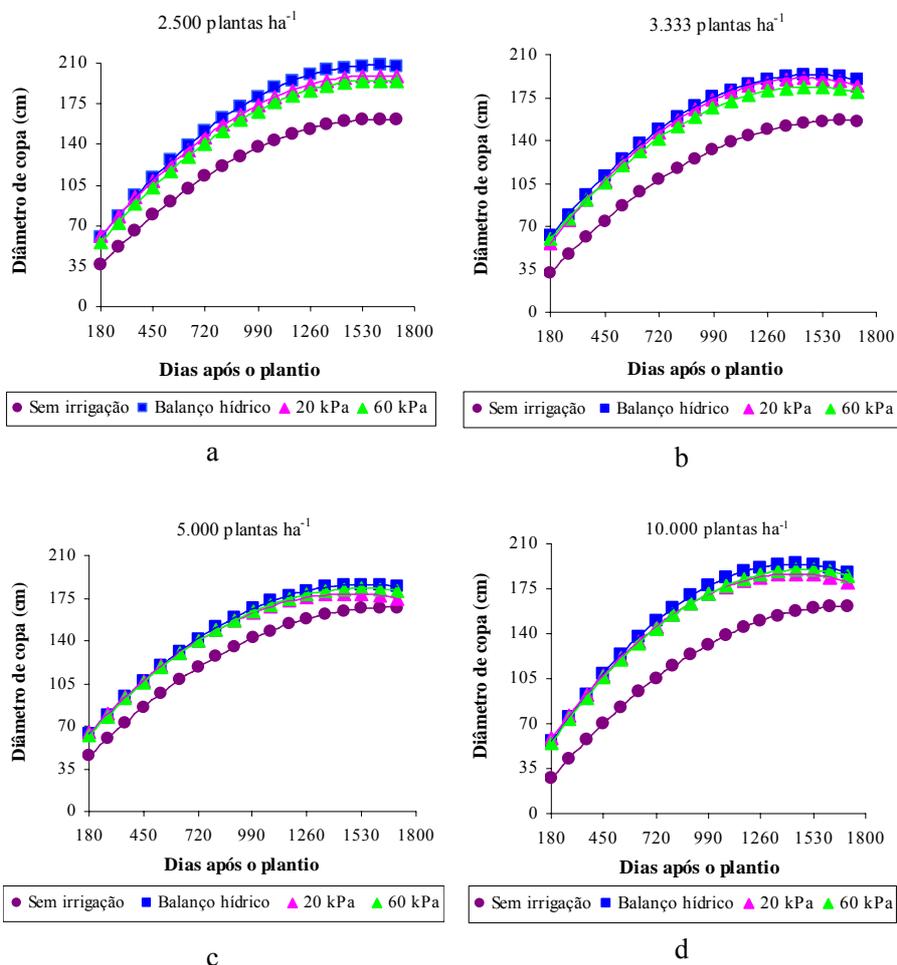
hídrico climatológico em relação aos demais critérios (Tabela 6). Sendo o turno de irrigação fixo e mais frequente em relação aos demais critérios, o solo se mantém com valores de umidade mais próximos à capacidade de campo (10 kPa), condição esta tida como ideal para o desenvolvimento das plantas.

Em todas as épocas avaliadas, o diâmetro de caule das plantas irrigadas foi superior ao das não irrigadas. Na última avaliação realizada, as plantas irrigadas apresentaram diâmetro médio de caule 22,6% superior (o equivalente a 0,84 cm) em relação às não irrigadas (APÊNDICE H). Pode-se estimar que, para cada 100 dias, ocorreu um engrossamento de 0,36 cm no caule das plantas não irrigadas e de 0,43 cm para as plantas irrigadas (considerando a média dos critérios de irrigação). Moreira et al. (2004), avaliando o efeito de diferentes espaçamentos na entrelinha (1,75; 2,0; 3,5 e 4,0 m, com as plantas espaçadas na linha por 0,75 m) e a utilização da irrigação localizada por gotejamento em cafeeiros, verificaram um acréscimo de 27% no diâmetro de caule das plantas irrigadas, quando comparada àquelas não irrigadas. Estes autores não encontraram diferença significativa entre os espaçamentos no crescimento dessa variável, possivelmente devido ao pequeno período de tempo da cultura implantada no campo, época em que ainda não havia competição entre as plantas.

4.2.3 Diâmetro de copa

Para a característica diâmetro de copa, procedeu-se à análise estatística da interação tripla por meio do desdobramento das épocas de avaliação em cada nível de densidade de plantio e critérios de irrigação antes da poda. Verificou-se (APÊNDICE I) que, para todos os níveis dos fatores estudados, o efeito de épocas foi altamente significativo ($p < 0,01$).

O diâmetro de copa das plantas de cafeeiro não apresentou incrementos constantes ao longo dos primeiros 1980 dias de avaliação, descrevendo um comportamento que se ajustou mais adequadamente ao modelo quadrático (Figura 8). Por meio desses modelos, pode-se observar que os critérios de irrigação, quando condicionados às quatro densidades de plantio, induziram diferenças no diâmetro de copa das plantas. Merece ser mencionado que, depois de 1.170 dias do plantio, os cafeeiros apresentaram valores menores no diâmetro de copa em relação aos verificados no período anterior. Tal fato ocorreu em todas as densidades de plantio e pode estar relacionado à seca de ponteiros ou, mesmo, à quebra da ponta dos ramos durante as operações de colheita e tratamentos culturais.



2.500 plantas ha ⁻¹		
Sem irrigação	$y = 3,0847 + 0,19471x - 5,9768 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 87,06\%$
Balanço hídrico	$y = 19,770 + 0,23722x - 7,4719 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 82,25\%$
20 kPa	$y = 23,969 + 0,22001x - 6,8994 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 82,22\%$
60 kPa	$y = 18,594 + 0,21910x - 6,7890 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 83,38\%$
3.333 plantas ha ⁻¹		
Sem irrigação	$y = -0,7017 + 0,19347x - 5,9633 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 92,75\%$
Balanço hídrico	$y = 22,6200 + 0,23174x - 7,8547 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 90,33\%$
20 kPa	$y = 15,1970 + 0,24224x - 8,3673 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 92,38\%$
60 kPa	$y = 22,3714 + 0,21916x - 7,4411 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 89,45\%$
5.000 plantas ha ⁻¹		

Sem irrigação	$y = 14,1400 + 0,18342x - 5,4875 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 87,02\%$
Balanco hídrico	$y = 28,5510 + 0,20565x - 6,7020 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 85,51\%$
20 kPa	$y = 30,2650 + 0,20182x - 6,8623 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 83,17\%$
60 kPa	$y = 28,0060 + 0,20284x - 6,6367 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 85,34\%$
10.000 plantas ha ⁻¹		
Sem irrigação	$y = -6,4006 + 0,19652x - 5,7448 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 90,85\%$
Balanco hídrico	$y = 12,9830 + 0,25345x - 8,8532 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 88,30\%$
20 kPa	$y = 19,1207 + 0,23432x - 8,1913 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 85,86\%$
60 kPa	$y = 15,5890 + 0,23670x - 8,0361 \cdot 10^{-5}x^2$	$R^2 = 88,76\%$

Figura 8 Diâmetro de copa dos cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada critério de irrigação e densidade de plantio antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Aos 1.710 dias após o plantio, as plantas irrigadas da densidade de 2.500 plantas ha⁻¹ (independentemente do critério de irrigação utilizado) apresentaram diâmetro de copa 26% superior (o equivalente a 46,1 cm) em relação às plantas não irrigadas (APÊNDICE J e Figura 8a). Já na população de 3.333 plantas ha⁻¹, esse incremento foi de 21% (APÊNDICE K e Figura 8b). Estes resultados corroboram os obtidos por Arantes, Faria e Rezende (2009) e Lambert (2009), os quais verificaram que a irrigação propiciou aumento do diâmetro de copa dos cafeeiros.

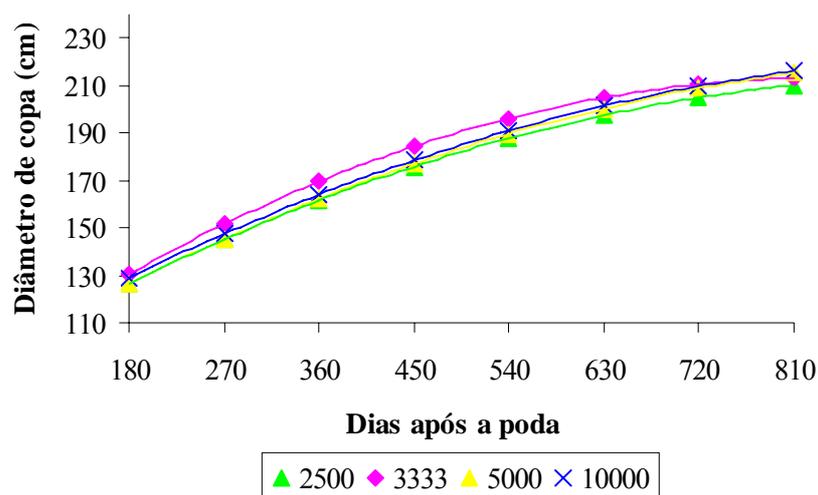
Dentre os tratamentos irrigados, as plantas submetidas a irrigações pelo critério do balanço hídrico climatológico ao longo do período de avaliação sempre apresentaram superioridade em relação ao diâmetro de copa, quando comparadas às plantas irrigadas com base na tensão de 60 kPa. As diferenças computadas (APÊNDICES J e K) foram de 18,9 cm e 13,3 cm, para as densidades de 2.500 e 3.333 plantas ha⁻¹, respectivamente. Este pode ser um indicativo de que, apesar de o cafeeiro apresentar um período bem definido de crescimento (rápido nos meses de agosto até março, caracterizado pela estação chuvosa e quente, e lento de abril a maio, durante o período seco e frio), segundo Alves e Livramento (2003), irrigações frequentes podem proporcionar maior crescimento das plantas. Além disso, a maior quantidade de água aplicada pelo critério do balanço hídrico climatológico (Tabela 6), no período de 2001 a

2005 (1.583,5 mm e 1.937,2 mm nas densidades de 2.500 e 3.333 plantas ha⁻¹, respectivamente), em comparação com a lâmina total aplicada no mesmo período em irrigações feitas com base na tensão de 60 kPa (420,3 mm e 536,4 mm nas densidades de 2.500 e 3.333 plantas ha⁻¹, respectivamente), pode ter sido responsável pelo maior diâmetro de copa das plantas pertencentes ao tratamento do balanço hídrico climatológico. Os resultados encontrados neste trabalho assemelham-se aos obtidos por Arantes, Faria e Rezende (2009) e Vilella e Faria (2003), os quais verificaram um acréscimo no diâmetro de copa dos cafeeiros com o aumento da lâmina de irrigação aplicada.

Nas densidades de 5.000 e 10.000 plantas ha⁻¹, as curvas obtidas para diâmetro de copa das plantas irrigadas se localizaram mais próximas umas das outras (Figuras 8c e 8d). Aos 1.710 dias após o plantio, as diferenças encontradas entre o diâmetro de copa das plantas irrigadas pelo balanço hídrico climatológico e na tensão de 60 kPa foram de 6,1 cm e 2,2 cm, nas densidades de 5.000 e 10.000 plantas ha⁻¹, respectivamente. Essas diferenças de crescimento tornam-se insignificantes quando se considera que as lâminas aplicadas pelo critério do balanço hídrico climatológico foram 1.940,9 mm e 2.450,6 mm superiores às lâminas aplicadas na tensão de 60 kPa (período de 2001 a 2005), nas densidades de 5.000 e 10.000 plantas ha⁻¹, respectivamente (Tabela 6).

As plantas não irrigadas apresentaram diâmetro de copa 13,7 cm e 28,5 cm menor que as plantas irrigadas (considerando a média dos critérios de irrigação aos 1.710 dias após o plantio), nas densidades de 5.000 e 10.000 plantas ha⁻¹, respectivamente (APÊNDICES L e M). Carvalho et al. (2006) verificaram, neste mesmo experimento, que o diâmetro de copa dos cafeeiros, nos diferentes critérios de irrigação, foi praticamente o mesmo aos 33 meses no plantio mais adensado.

No crescimento posterior à poda, a interação tripla não foi significativa para a característica diâmetro de copa. Dessa forma, procedeu-se à análise estatística das interações duplas por meio do desdobramento das épocas de avaliação em cada nível dos fatores estudados. Verificou-se que, para todos os níveis de densidade de plantio e critério de irrigação, o efeito de épocas foi altamente significativo (APÊNDICES N e O), tendo os dados observados se ajustado melhor ao modelo quadrático ($R^2 > 96\%$), em todas as densidades de plantio (Figura 9).



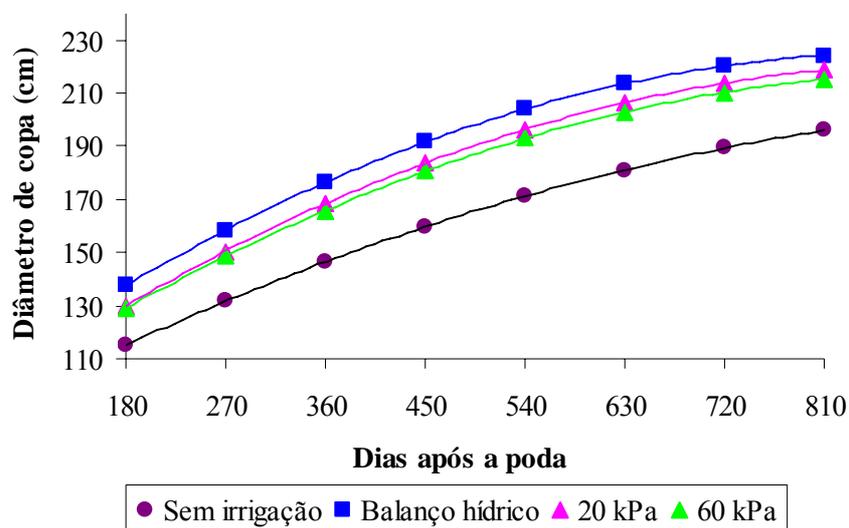
2.500 plantas ha ⁻¹	$y = 81,9083 + 0,27152x - 1,3987 \cdot 10^{-4}x^2$	$R^2 = 96,66\%$
3.333 plantas ha ⁻¹	$y = 78,7143 + 0,32112x - 1,9183 \cdot 10^{-4}x^2$	$R^2 = 97,63\%$
5.000 plantas ha ⁻¹	$y = 81,7248 + 0,27031x - 1,3025 \cdot 10^{-4}x^2$	$R^2 = 97,38\%$
10.000 plantas ha ⁻¹	$y = 85,4640 + 0,26356x - 1,2643 \cdot 10^{-4}x^2$	$R^2 = 97,35\%$

Figura 9 Diâmetro de copa dos cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada densidade de plantio após a poda. UFPA, Lavras, MG, 2010

As curvas obtidas para diâmetro de copa, nas diferentes densidades de plantio após a poda, situaram-se dentro de uma faixa de crescimento mais próxima. Observou-se, neste experimento, que as plantas retomaram o crescimento de forma rápida após a poda, atingindo, aos 810 dias após a poda, diâmetro de copa próximo a 2,10 m, em todas as densidades de plantio estudadas (Figura 9). Em função disso, um fechamento da lavoura já pode ser observado nos plantios mais adensados (5.000 e 10.000 plantas ha⁻¹).

Pereira et al. (2007), avaliando as consequências da redução do espaçamento entre linhas e entre plantas sobre o crescimento vegetativo de cafeeiros submetidos à poda tipo recepa, verificaram que os espaçamentos não influenciaram o diâmetro da copa das plantas, possivelmente pelo fato de as avaliações de crescimento terem realizadas dois anos após a recepa, época em que as plantas se encontravam com porte reduzido (diâmetro de copa inferior a 1,00 m) e, portanto, não havia um autossombreamento que poderia afetar o crescimento dessas plantas.

O modelo matemático que apresentou melhor ajuste ao diâmetro de copa das plantas de cafeeiro após a poda, em função das épocas de avaliação, em todos os critérios de irrigação estudados, foi o quadrático (Figura 10).



Sem irrigação	$y = 77,1217 + 0,22936x - 1,0210 \cdot 10^{-4}x^2$	$R^2 = 96,59\%$
Balanço Hídrico	$y = 87,3417 + 0,31003x - 1,7402 \cdot 10^{-4}x^2$	$R^2 = 97,07\%$
20 kPa	$y = 81,0248 + 0,30092x - 1,6172 \cdot 10^{-4}x^2$	$R^2 = 97,70\%$
60 kPa	$y = 82,3285 + 0,28616x - 1,5052 \cdot 10^{-4}x^2$	$R^2 = 97,40\%$

Figura 10 Diâmetro de copa dos cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada critério de irrigação após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

As curvas obtidas para diâmetro de copa nos tratamentos irrigados se concentraram dentro de uma mesma faixa de valores, ao longo das avaliações (Figura 10). As plantas irrigadas pelo balanço hídrico climatológico (APÊNDICE P) apresentaram diâmetro de copa 9,6 cm superior em relação às plantas irrigadas, com base na tensão de 60 kPa, possivelmente pela maior quantidade de água aplicada e pela maior frequência das irrigações no balanço hídrico climatológico.

Aos 810 dias após a poda, as plantas irrigadas (considerando a média dos critérios utilizados) apresentaram diâmetro de copa 12,8% superior em relação às não irrigadas (APÊNDICE P). Este resultado confirma o obtido por Arantes, Faria e Rezende (2009), os quais verificaram, em cafeeiros submetidos

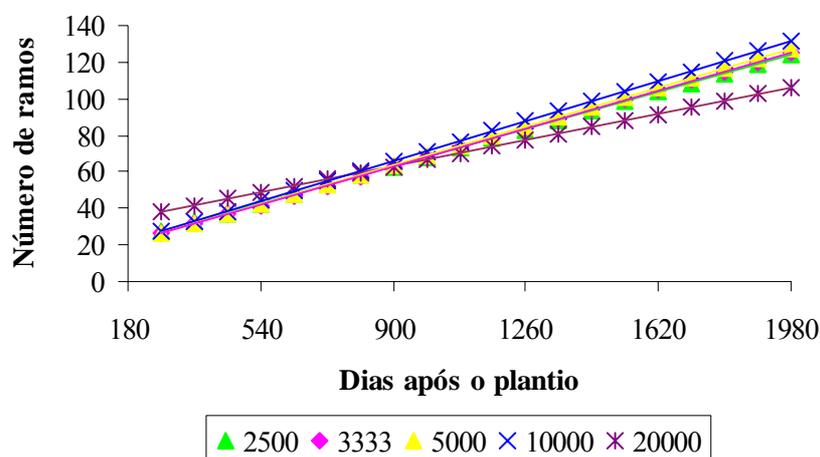
à poda tipo recepa, um acréscimo de 15% no diâmetro de copa das plantas irrigadas em relação ao tratamento sem irrigação, comprovando que o uso dessa técnica de manejo promove a recuperação mais rápida da lavoura após a poda.

4.2.4 Número de ramos plagiotrópicos

Para o número de ramos plagiotrópicos, procedeu-se à análise estatística das interações duplas, por meio do desdobramento das épocas de avaliação em cada nível dos fatores densidade de plantio e critério de irrigação antes da poda (APÊNDICES Q e R).

Observou-se que, em todas as densidades de plantio, o número de ramos plagiotrópicos primários das plantas de café apresentou comportamento melhor definido pelo modelo linear (Figura 11). A partir de aproximadamente 1.260 dias após o plantio, o número de ramos plagiotrópicos foi superior na densidade de 10.000 plantas ha⁻¹ (APÊNDICE S). Estima-se que, para cada 100 dias, tenha ocorrido um incremento de cinco ramos na densidade de 2.500 plantas ha⁻¹ e de seis ramos na população de 10.000 plantas ha⁻¹. Na densidade de 20.000 plantas ha⁻¹, pode-se estimar que, para cada 100 dias, ocorreu um aumento de aproximadamente quatro ramos plagiotrópicos por planta. Esse resultado pode ser decorrente do autossombreamento e da baixa incidência de radiação nas plantas em espaçamento fechado, provocando a morte dos ramos plagiotrópicos inferiores e do terço médio das plantas.

Braccini et al. (2005), avaliando o efeito de diversas densidades de plantio (3.333; 5.000; 6.666; 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹) no crescimento do café cultivar Iapar 59, verificaram um ajuste quadrático para o aumento no número de ramos plagiotrópicos, em função da densidade de plantio, obtendo melhores resultados na densidade populacional próxima de 14.000 plantas ha⁻¹.

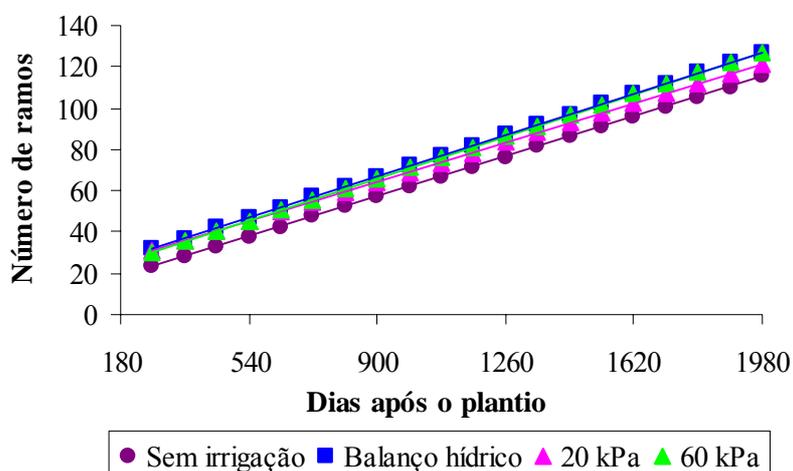


2.500 plantas ha ⁻¹	$y = 12,0581 + 5,6492 \cdot 10^{-2}x$	$R^2 =$
3.333 plantas ha ⁻¹	$y = 10,5421 + 5,8037 \cdot 10^{-2}x$	$R^2 = 98,45\%$
5.000 plantas ha ⁻¹	$y = 10,5710 + 5,8727 \cdot 10^{-2}x$	$R^2 = 98,52\%$
10.000 plantas ha ⁻¹	$y = 11,3208 + 6,0625 \cdot 10^{-2}x$	$R^2 =$
20.000 plantas ha ⁻¹	$y = 27,2154 + 3,9785 \cdot 10^{-2}x$	$R^2 =$

Figura 11 Número de ramos plagiotrópicos dos cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada densidade de plantio antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Pelos resultados obtidos, pode-se considerar que a altura das plantas, na densidade de 10.000 plantas ha⁻¹ não foi determinada simplesmente pelo alongamento do entrenó, mas também pela diferenciação de novos ramos plagiotrópicos, fato observado pelas tendências das retas na Figura 11. Já na densidade de 20.000 plantas ha⁻¹, em função do alto adensamento, observou-se o comportamento descrito por Rena, Nacif e Guimarães (2003), em que a altura dos cafeeiros foi caracterizada pelo aumento do comprimento dos internódios, não havendo incremento do número de ramos plagiotrópicos.

A evolução do número de ramos plagiotrópicos primários das plantas de cafeeiro nos diferentes critérios de irrigação, em função das épocas de avaliação, apresentou um comportamento descrito pelo modelo linear (Figura 12).



Sem irrigação	$y = 8,9156 + 5,3675 \cdot 10^{-2}x$	$R^2 = 98,60\%$
Balanço hídrico	$y = 16,9108 + 5,5752 \cdot 10^{-2}x$	$R^2 = 97,14\%$
20 kPa	$y = 16,6870 + 5,2764 \cdot 10^{-2}x$	$R^2 = 97,75\%$
60 kPa	$y = 14,8522 + 5,6744 \cdot 10^{-2}x$	$R^2 = 97,95\%$

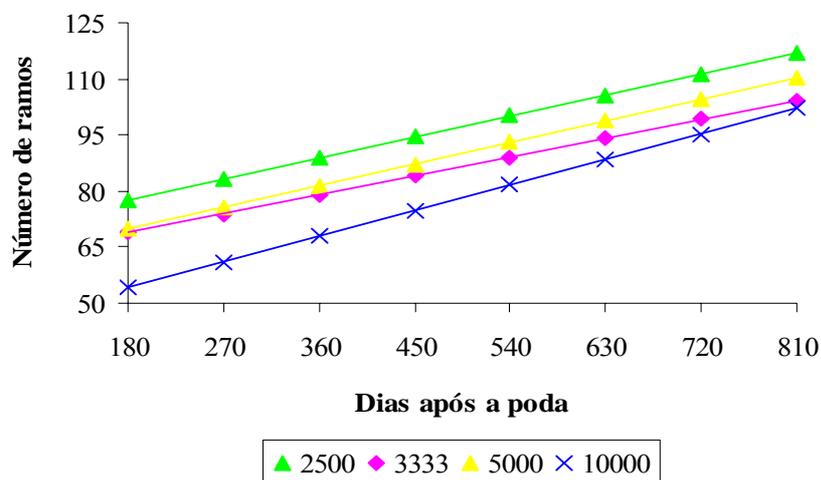
Figura 12 Número de ramos plagiotrópicos dos cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada critério de irrigação antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Nota-se (Figura 12) que as retas obtidas para número de ramos plagiotrópicos tenderam a se concentrar dentro de uma faixa de crescimento mais próxima, tanto no tratamento não irrigado quanto nos diferentes critérios de irrigação.

Apesar de não observarem diferença significativa para número de ramos entre os tratamentos de irrigação utilizados, Alves et al. (2000) e Vilella e Faria (2003) observaram tendência no aumento desses ramos à medida que se aumentou a lâmina de água aplicada.

Após a poda, não houve efeito significativo da irrigação para a característica número de ramos plagiotrópicos. Dessa forma, procedeu-se à análise estatística da interação entre épocas de avaliação x densidades de plantio,

fixando-se os níveis do fator densidade em função das épocas (APÊNDICE T). Verificou-se (Figura 13) que o número de ramos plagiotrópicos das plantas de café aumentou linearmente em todas as densidades de plantio, em função das épocas de avaliação. As plantas conduzidas na densidade de 2.500 plantas ha⁻¹ (4,0 x 1,0m) apresentaram maior número de ramos plagiotrópicos em relação às plantas na densidade de 10.000 plantas ha⁻¹ (2,0 x 0,5 m). Aos 180 dias após a poda, essa superioridade foi de 24 ramos, enquanto, aos 810 dias, essa diferença passou para 15 ramos (APÊNDICE U). A tendência é que, com o aumento da idade da lavoura, as plantas adensadas superem a quantidade de ramos plagiotrópicos das plantas não adensadas, conforme verificado no crescimento anterior à poda. Porém, após o esqueletamento e o decote da lavoura, observou-se que as plantas retomaram o crescimento de forma mais rápida. Em função disso, o fechamento da lavoura nas densidades de 5000 e 1.000 plantas ha⁻¹ já pode ser visualmente observado. Assim, nesses plantios mais adensados, essa expectativa de aumento no número de ramos na mesma proporção ocorrida antes da poda só ocorrerá se não houver uma significativa morte de ramos no terço inferior e médio dessas plantas, como ocorreu na densidade de 20.000 plantas ha⁻¹, antes da poda.



2.500 plantas ha ⁻¹	$y = 66,2789 + 6,2631 \cdot 10^{-2}x$	$R^2 = 99,23\%$
3.333 plantas ha ⁻¹	$y = 58,7133 + 5,6213 \cdot 10^{-2}x$	$R^2 = 98,89\%$
5.000 plantas ha ⁻¹	$y = 58,0908 + 6,4574 \cdot 10^{-2}x$	$R^2 = 99,22\%$
10.000 plantas ha ⁻¹	$y = 40,5036 + 7,6146 \cdot 10^{-2}x$	$R^2 = 99,66\%$

Figura 13 Número de ramos plagiotrópicos dos cafeeiros, em função das épocas de avaliação, em cada densidade de plantio após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Estimou-se, por meio da inclinação das retas ajustadas (Figura 13), que, para cada 100 dias, ocorreu um incremento de seis ramos nas plantas das densidades de 2.500, 3.333 e 5.000 plantas ha⁻¹ e de sete ramos nas plantas da densidade de 10.000 plantas ha⁻¹. Essa constatação explica o aumento de produtividade das lavouras adensadas que, além do maior número de plantas por hectare, também tendem a ter, proporcionalmente, mais ramos plagiotrópicos que as lavouras de espaçamentos largos.

4.3 Produtividade média de cafeeiros submetidos a critérios de irrigação e densidades de plantio, em cinco colheitas antes da poda

A experimentação com culturas perenes, sobretudo o café, que apresenta bienalidade de produção, necessita de análise estatística criteriosa para não mascarar os resultados da pesquisa. O estudo da média ou da soma das produtividades dos anos é considerado o método mais correto para análise dos dados de produção de café (PEREIRA, 2004; STEVENS, 1949). Desse modo, optou-se, neste trabalho, pela análise da média de produtividade de cinco colheitas de café (2003 a 2007).

Na análise de variância (Tabela 10), verificou-se que a interação entre os fatores analisados foi altamente significativa. O desdobramento da interação foi realizado de duas formas: avaliando o efeito das densidades dentro de cada critério de irrigação e o efeito dos critérios de irrigação dentro de cada densidade de plantio.

Tabela 10 Resumo da análise de variância para a produtividade média de cafeeiros submetidos a critérios de irrigação e densidades de plantio, em cinco colheitas antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	QM
Densidade (DE)	4	5606,35**
Erro 1	15	74,51
Irrigação (I)	3	1452,70**
DE x I	12	217,43**
Erro 2	45	77,73
CV 1 (%)	14,39	
CV 2 (%)	14,69	

** : significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste de F.

As produtividades obtidas nas diferentes densidades de plantio variaram em função do critério de irrigação utilizado (Tabela 11). Nas parcelas sem irrigação, as maiores produtividades foram obtidas nas densidades de 5.000,

10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹. Já nos tratamentos irrigados, as maiores produtividades foram obtidas nas densidades de 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹, sem diferença significativa entre elas. Essa constatação de igualdade de produtividade entre 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹ pode ser explicada pelo fato de que, apesar do maior número de plantas por área na densidade de 20.000 plantas ha⁻¹, na densidade de 10.000 plantas ha⁻¹ elas apresentam maior número de ramos plagiotrópicos por planta. Um fato que concorreu para o menor número de plagiotrópicos na densidade de 20.000 plantas ha⁻¹ foi a perda desses ramos, possivelmente pela menor produção de fotoassimilados na área sombreada do dossel foliar, culminando com a morte desses (RENA; MAESTRI, 1986).

O efeito dos critérios de irrigação foi altamente significativo somente nas densidades de 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹, não havendo significância nas demais densidades (APÊNDICE V). Verificou-se que a maior variação de produtividade entre tratamentos irrigados e o não irrigado foi de 14,3 sacas ha⁻¹; 9,3 sacas ha⁻¹ e 8,1 sacas ha⁻¹, para as densidades de 2.500, 3.333 e 5.000 plantas ha⁻¹, respectivamente. Porém, essas diferenças não foram significativas (Tabela 11).

Tabela 11 Produtividade média em cinco colheitas (2003-2007), em sacas por hectare de café beneficiado, em função dos critérios de irrigação e densidades de plantio. UFLA, Lavras, MG, 2010

Densidade de plantio (plantas ha ⁻¹)	Critérios de irrigação			
	Sem irrigação	60 kPa	20 kPa	Balanço hídrico
2.500	29,9 aB	42,0 aC	41,5 aB	44,2 aC
3.333	38,1 aB	43,9 aC	47,4 aB	45,9 aC
5.000	58,7 aA	60,0 aB	50,2 aB	66,8 aB
10.000	57,4 bA	88,6 aA	80,6 aA	88,6 aA
20.000	55,5 bA	88,7 aA	82,1 aA	89,9 aA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

O principal motivo da não significância entre os tratamentos irrigados e o não irrigado nessas densidades de plantio pode ser a acentuada bienalidade existente nesses tratamentos. Observou-se, em outros trabalhos realizados neste mesmo experimento, que a produção por planta dos cafeeiros conduzidos em sistema de plantio convencional, principalmente nos irrigados em anos de alta produção, é significativamente maior que a produção por planta dos cafeeiros adensados, trazendo, como consequência, maior alternância de produção entre uma safra e outra (SCALCO et al., 2008, 2009). Portanto, a média das produtividades das cinco safras analisadas nessas densidades de plantio (2.500, 3.333 e 5.000 plantas ha⁻¹) pode ter sido influenciada negativamente nos tratamentos irrigados, pelo efeito da maior bienalidade nesses. Os valores de produtividade média em cada colheita, em função dos critérios de irrigação e densidades de plantio, são apresentados no APÊNDICE W.

Para as densidades de 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹ (Tabela 11) não houve diferença significativa entre os critérios de irrigação estudados, na produtividade média de café beneficiado, nas cinco safras analisadas. Na densidade de 10.000 plantas ha⁻¹, a produtividade média dos cafeeiros irrigados, independentemente do critério de irrigação utilizado, foi 49,7% superior em relação àquela obtida nas plantas não irrigadas (correspondente a um aumento de 28,5 sacas ha⁻¹ de café). Na população de 20.000 plantas ha⁻¹, essa superioridade foi de 56,6% (o equivalente a 31,4 sacas ha⁻¹ de café beneficiado).

Em ambas as densidades (10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹), o aumento ou a redução da lâmina de água aplicada, em função do critério de irrigação utilizado, não alteraram a produtividade média do cafeeiro, nas cinco safras analisadas (Tabela 11). Este resultado é um indicativo de que o uso da menor lâmina de água aplicada, correspondente ao critério de irrigação quando a tensão da água no solo atingiu valores próximos a 60 kPa, já foi suficiente para atender às necessidades hídricas do cafeeiro (Tabela 7). Nesse critério, a frequência de

irrigação foi menor, assim como a lâmina de irrigação aplicada durante cada safra (Tabela 7). Já no critério do balanço hídrico climatológico, as irrigações foram mais frequentes, adotando-se turno de rega fixo. Entretanto, a lâmina de irrigação aplicada no balanço hídrico climatológico pode ter sido superestimada em função dos valores de coeficiente de cultura (K_c) adotado nas densidades de 10.000 e 20.000 plantas ha^{-1} (média de 1,3), valor este proposto por Santinato, Fernandes e Fernandes (1996) para plantas adultas com idade superior a três anos e densidade populacional acima de 13.333 plantas ha^{-1} . Para as condições em que este experimento foi conduzido, os valores de K_c utilizados podem ter superestimado o cálculo da evapotranspiração da cultura e, conseqüentemente, a lâmina de água aplicada. Isso não necessariamente refletiu em ganhos de produtividade.

Na densidade de 10.000 plantas ha^{-1} e nas irrigações baseadas na tensão de 60 kPa, a economia de aplicação de água foi de 70% (o equivalente a 531,3 mm por safra) em relação ao aplicado pelo balanço hídrico climatológico. Já na densidade de 20.000 plantas ha^{-1} , essa redução foi de 50%, correspondente a 429,6 mm por safra (Tabela 7). O manejo correto da irrigação pode refletir na economia de água, energia e mão-de-obra, os quais oneram expressivamente o custo de produção do café.

Outro aspecto a ser considerado é o de que os valores de precipitação pluviométrica anuais de 1.200 e 1.800 mm (Figura 1), a princípio, podem ser considerados suficientes para atender à demanda hídrica do cafeeiro na região de Lavras, induzindo a uma falta de resposta do cafeeiro à irrigação. Porém, este fator não deve ser considerado isoladamente, pois, além da quantidade, a distribuição dessas chuvas ao longo do ano também deve ser um importante fator a ser considerado, ressaltando-se a importância da irrigação nessa situação (THOMAZIELLO et al., 2000).

Os benefícios da irrigação para o cafeeiro na região sul de Minas Gerais são relatados em inúmeras pesquisas. Gomes, Lima e Custódio (2007), avaliando o efeito de diversas lâminas de água aplicadas em função da evaporação do Tanque Classe A na produtividade de cinco safras de cafeeiro cultivar Rubi MG-1192, na região de Lavras, verificaram que os tratamentos irrigados por pivô central apresentaram produtividade média 63,7% superior ($15,3 \text{ scs ha}^{-1}$) em relação ao tratamento não irrigado. Os mesmos autores não observaram diferença significativa entre as lâminas aplicadas. Também no presente estudo encontrou-se resultado semelhante, ou seja, o uso da menor lâmina de água aplicada já foi suficiente para atender às necessidades hídricas do cafeeiro.

Esses resultados comprovam que a irrigação é uma prática que influencia positivamente a produtividade do cafeeiro no Sul de Minas Gerais, região esta considerada apta quanto ao déficit hídrico, mas que vem apresentando, ao longo dos últimos anos, estiagens prolongadas que podem comprometer significativamente a produção da lavoura, caso essa deficiência hídrica ocorra em fases fenológicas críticas do cafeeiro.

4.4 Correlações entre altura, número de ramos plagiotrópicos primários, diâmetro de caule e a produção do cafeeiro

Nas Tabelas 12 e 13 são apresentados os valores de correlação fenotípica entre altura da planta (cm), diâmetro de caule (cm), número de ramos plagiotrópicos e produção do cafeeiro ($\text{litros planta}^{-1}$), para um ano de alta produção (ano agrícola 2002/03) e baixa produção (ano agrícola 2003/04), respectivamente.

A análise de correlação foi realizada com os dados médios das características de crescimento e produção obtidas em cada densidade de plantio.

Tabela 12 Correlação entre as características altura da planta, diâmetro de caule (DCA), número de ramos plagiotrópicos (NRP) e produção de café, em litros planta⁻¹, no ano de alta produção (ano agrícola 2002/03). UFLA, Lavras, MG, 2010

Características	DCA	NRP	Produção
Altura	-0,88*	0,86*	-0,98**
DCA	-	-0,84*	0,94**
NRP	-0,84*	-	-0,89*

*, ** : Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, pelo teste t, respectivamente.

Tabela 13 Correlação entre as características altura da planta, diâmetro de caule (DCA), número de ramos plagiotrópicos (NRP) e produção de café, em litros planta⁻¹, no ano de baixa produção (ano agrícola 2003/04). UFLA, Lavras, MG, 2010

Características	DCA	NRP	Produção
Altura	-0,93*	0,99**	-0,64 ^{ns}
DCA	-	-0,92*	0,59 ^{ns}
NRP	-0,92*	-	-0,55 ^{ns}

ns, *, ** : Não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade, pelo teste t, respectivamente.

As correlações entre todas as características analisadas foram significativas e consideradas de alta magnitude, no ano agrícola 2002/03 (Tabela 12). A altura das plantas correlacionou-se negativamente com o diâmetro do caule e a produção por planta. As plantas adensadas apresentaram maior altura e menor diâmetro de caule, enquanto as plantas conduzidas em espaçamentos mais largos apresentaram menor altura e caules mais vigorosos (Figuras 2 e 6). Tal comportamento pode ser um indicativo de que existe uma competição entre o crescimento do diâmetro de caule e a altura das plantas pela partição de carboidratos, tanto como fonte de energia como de material estruturante da planta (MAESTRI; BARROS, 1977).

Também Rena, Nacif e Guimarães (2003), avaliando o efeito de diferentes densidades de plantio (2.222; 3.333; 4.444; 6.666; 8.888 e 13.333 plantas ha⁻¹) no crescimento e produção de cafeeiros da cultivar Catuaí, verificaram que o adensamento das plantas na linha de plantio proporcionou maiores crescimentos em altura e menores em diâmetro do caule, além da menor produção por planta. A variação em altura das plantas correlacionou-se negativamente com o diâmetro da base do caule e a produção por planta no ano de alta produção, assemelhando-se aos resultados obtidos neste trabalho.

A correlação entre diâmetro de caule e produção por planta foi altamente positiva (0,94), indicando que plantas com maior diâmetro de caule apresentaram maior produção, fato também observado por diversos autores (CARVALHO, 2009; FREITAS et al., 2007). Assim, no sistema de plantio convencional (em livre crescimento), no qual são observados maiores valores de diâmetro de caule, a produção por planta foi maior que no adensado. Porém, o maior número de plantas por unidade de área reflete em maiores produtividades (ANDROCIOLI FILHO, 2002).

O número de ramos plagiotrópicos correlacionou-se negativamente com a produção por planta e com o diâmetro de caule e positivamente com a altura (Tabela 12). Ou seja, à medida que as plantas apresentam maior altura em função do adensamento, diminuem o diâmetro de caule e a produção por planta, fato esse observado também por Rena, Nacif e Guimarães (2003). Porém, nessa mesma condição de adensamento, ocorre um aumento do número de ramos plagiotrópicos das plantas sem, contudo, aumentar a produção dessas. As produtividades (Tabela 11) não oscilaram entre as duas maiores densidades testadas (10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹), ou seja, a partir de 10.000 plantas ha⁻¹, possivelmente, o sombreamento passou a ser mais limitante à produção por planta (inibindo o florescimento), ainda que se aumentassem o número de plantas por área, pois a luz é fator importante na indução de gemas para o

florescimento (RENA; MAESTRI, 1986). Nota-se, ainda (Figura 11), que as plantas conduzidas na densidade de 10.000 plantas ha⁻¹ apresentaram maior número de ramos em relação às demais densidades de plantio, porém, apresentaram caules mais finos, refletindo negativamente na produção por planta.

A correlação para o ano de baixa produção (Tabela 13) apresentou a mesma tendência que o ano de alta produção entre as características de crescimento. Porém, não houve significância na correlação entre a produção por planta e as características de crescimento vegetativo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Irrigações a 60 kPa e densidade de 10.000 plantas ha⁻¹ (2,0 x 0,5 m) proporcionaram maior produtividade média em cinco colheitas de café, sem a ocorrência de perda de ramos das plantas.

- Em plantios de 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹, irrigações com base na tensão de 60 kPa já foram suficientes para promover aumentos de produtividade de cerca de 30 sacas de café beneficiado para uma média de cinco safras do cafeeiro, proporcionando economia de água e energia em relação aos demais critérios de irrigação testados.

- O uso da irrigação não promoveu aumento significativo na produtividade média de café beneficiado em cinco safras, para as densidades de 2.500, 3.333 e 5.000 plantas ha⁻¹, porém, promoveu aumentos percentuais de 49,7% e 56,6% para plantios superadensados (10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹, respectivamente) em relação ao cultivo não irrigado.

- O crescimento das plantas irrigadas foi superior ao das plantas não irrigadas, tanto antes quanto após a poda por esqueletamento e decote.

- Quanto maior a densidade de plantio, maior a altura de plantas e menor o diâmetro de caule em lavouras cafeeiras.

- À medida que aumentou o adensamento das plantas até 10.000 plantas ha⁻¹, houve um aumento de ramos plagiotrópicos por planta, porém, esses foram menos numerosos com o aumento do adensamento a partir daí.

6 CONCLUSÕES

Independente da densidade de plantio, a irrigação promove maior crescimento das plantas de cafeeiro, tanto antes quanto após a poda.

O efeito da irrigação no aumento de produtividade do cafeeiro (sacas beneficiadas) varia em função da densidade de plantas por área.

Para densidades de 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹, independente do critério utilizado para manejo de irrigação (20 kPa, 60 kPa e balanço hídrico climatológico), podem ser obtidos aumentos médios de produtividade acima de 49,6%, em relação ao cultivo não irrigado.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. D.; LIVRAMENTO, D. E. **Morfologia e fisiologia do cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2003. 46 p.
- ALVES, M. E. B. et al. Crescimento do cafeeiro sob diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 219-225, 2000.
- ANDROCIOLI FILHO, A. **Café adensado: espaçamentos e cuidados no manejo da lavoura**. Londrina: IAPAR, 2002. 30 p. (Circular, 121).
- _____. Procedimentos para o adensamento de plantio e contribuição para o aumento da produtividade. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1., 1994, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1994. p. 249-275.
- ARANTES, K. R.; FARIA, M. A. de; REZENDE, F. C. Recuperação do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) após recepa, submetido a diferentes lâminas de água e parcelamentos da adubação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 313-319, mar./abr. 2009.
- AUGUSTO, H. S. et al. Produtividade de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) sob espaçamentos adensados. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 53, n. 309, p. 539-547, set./out. 2006.
- BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; RENA, A. B. Coffee crop ecology. **Tropical Ecology**, Varanasi, v. 36, n. 1, p. 1-19, 1995.
- BRACCINI, A. de L. et al. Características agronômicas e produção de frutos e grãos em resposta ao aumento na densidade populacional do cafeeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 269-279, abr./jun. 2005.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais climatológicas 1961-1990**. Brasília, 1992. 84 p.
- CARVALHO, A. M. de. **Comportamento inicial de novas cultivares de cafeeiro em Minas Gerais**. 2009. 47 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

CARVALHO, C. H. M. de. **Evolução do crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes tensões de irrigação em sistema de plantio adensado e convencional**. 2004. 54 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

CARVALHO, C. H. M. de et al. Evolução do crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado e não irrigado em duas densidades de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 243-250, mar./abr. 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café safra 2010, primeira estimativa janeiro 2010**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 7 abr. 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FARIA, R. T. de; SIQUEIRA, R. Produtividade do cafeeiro e cultivos intercalares sob diferentes regimes hídricos. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p. 583-590, 2005.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 225-258.

FREITAS, Z. M. T. S. et al. Avaliação de caracteres quantitativos relacionados com o crescimento vegetativo entre cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 267-275, 2007.

GENUCHTEN, M. T. van. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soils Science Society American Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, Sept./Oct. 1980.

GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, 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, nov./dez. 2007.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 289-302.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G. **Manejo da lavoura cafeeira**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 99 p.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. **Cafeicultura**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 317 p.

GUISCAFRÉ-ARRILAGA, J.; GÓMEZ, L. A. Studies on the root system of *Coffea arabica* L. environmental condition affecting the distribution of coffee roots in Coloso Clay. **The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, San José, v. 22, n. 2, p. 227-262, 1938.

JORDÃO, C.; OLIVEIRA JÚNIOR, O. R.; MENDONÇA, P. L. P. de. **Irrigação do cafeeiro: recomendações gerais**. Monte Carmelo: Cooxupé, 1996. 32 p. (Boletim Técnico).

LAMBERT, R. A. **Lâminas de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro**. 2009. 65 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

LIVRAMENTO, D. E. do et al. Influência da produção nos teores de carboidratos e na recuperação de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) após colheita. In: ENCONTRO SUL MINEIRO DE CAFEICULTURA, 8.; SIMPÓSIO DE PESQUISAS CAFEIRAS DO SUL DE MINAS, 3., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. p. 156-160.

MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Coffee. In: ALVIM, P. T.; KOZLOWSKI, F. (Ed.). **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic, 1977. p. 249-278.

MANTOVANI, E. C. A irrigação do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa, MG: UFV, 2000. p. 263-292.

MARQUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle da irrigação em hortaliças**. Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2008. 15 p. (Circular Técnica).

MARTINS, C. C. et al. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, abr./jun. 2007.

MATIELLO, J. B.; FIORAVANTE, N. Efeito da irrigação por aspersão em cafeeiros cultivados em Varginha, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 30., 2004, São Lourenço. **Anais...** Lavras: UFLA; EPAMIG, 2004. p. 13.

MENDES, A. N. G. et al. **Recomendações técnicas para a cultura do cafeeiro no Sul de Minas**. Lavras: UFLA, 1995. 76 p.

MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. **Genética e melhoramento do cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1996. 99 p.

MIGUEL, A. E.; MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. Espaçamento e condução do cafeeiro. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PESQUISA DA POTASSA E DO FOSFATO. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba, 1986. p. 303-322.

MOREIRA, R. C. et al. Espaçamentos para cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com e sem o emprego da irrigação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 73-78, jan./fev. 2004.

NAZARENO, R. B. et al. Crescimento inicial do cafeeiro Rubi em resposta a doses de nitrogênio, fósforo e potássio e a regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 903-910, ago. 2003.

PAULO, E. M.; FURLANI JÚNIOR, E.; FAZUOLI, L. C. Comportamento de cultivares de cafeeiro em diferentes densidades de plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 397-409, 2005.

PEREIRA, S. P. **Caracterização fenológica e reprodutiva de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em diversos espaçamentos, antes e após “recepta”**. 2004. 105 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

PEREIRA, S. P. et al. Crescimento vegetativo e produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) recepados em duas épocas, conduzidos em espaçamentos crescentes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 643-649, maio/jun. 2007.

PIRES, R. C. M. et al. Necessidades hídricas das culturas e manejo da irrigação. In: MIRANDA, J. H. de; PIRES, R. C. M. (Ed.). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. p. 121-194. (Série Engenharia Agrícola, 1).

RENA, A. B. et al. Poda do cafeeiro: aspectos morfológicos, ecofisiológicos e agronômicos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 71-80, 1998.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 13-106.

RENA, A. B.; NACIF, A. de P.; GUIMARÃES, P. de T. G. Fenologia, produtividade e análise econômica do cafeeiro em cultivos com diferentes densidades de plantio e doses de fertilizantes. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Produção integrada de café**. Viçosa, MG: UFV, 2003. cap. 6, p. 133-196.

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, jul./dez. 2006.

SANTANA, M. S.; OLIVEIRA, C. A. da S.; QUADROS, M. Crescimento inicial de duas cultivares de cafeeiro adensado influenciado por níveis de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 644-653, set./dez. 2004.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T. **Cultivo do cafeeiro irrigado em plantio circular sob pivô central**. Rio de Janeiro: MAPA/Procafé, 2002. 250 p.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Arbore, 1996. 145 p.

_____. **Irrigação na cultura do café**. 2. ed. Uberaba: O Lutador, 2008. 476 p.

SANTOS, M. L. **Espaçamentos para cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com e sem irrigação em região de cerrado**. 2005. 44 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2005.

SCALCO, M. S. et al. Comportamento da produção do cafeeiro para dois espaçamentos de plantio em função do manejo de irrigação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória. **Resumos Expandidos...** Brasília: CBPED-Café, 2009. 1 CD-ROM.

_____. Produtividade do cafeeiro em função do regime hídrico e do adensamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 10., 2008, Araguari. **Resumos Expandidos...** Araguari: CBPED-Café, 2008. 1 CD-ROM.

SILVA, C. A. da; TEODORO, R. E. F.; MELO, B. de. Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 387-394, mar. 2008.

STEEL, R. G. D.; TURRIE, J. H.; DICKEY, D. A. **Principles and procednes of statistics: a biometrical approach**. 3. ed. Boston: WCB/McGraw Hill, 1997. 666 p.

STEVENS, W. L. Análises estatísticas do ensaio de variedades de café. **Bragantia**, Campinas, v. 9, n. 5/8, p. 103-123, maio/ago. 1949.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 722 p.

THOMAZIELLO, R. A. et al. **Café arábica: cultura e técnicas de produção**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2000. 82 p.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 274 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **SAEG - Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas: manual do usuário**. Versão 7.1. Viçosa, MG, 1997. 150 p.

VILELLA, W. M. da C.; FARIA, M. A. de. Crescimento de cafeeiros submetidos a cinco lâminas de irrigação e três parcelamentos de adubação. **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 2, p. 168-177, maio/ago. 2003.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de densidade para a altura de plantas, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010	86
APÊNDICE B - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de densidade para a altura de plantas, após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010	86
APÊNDICE C - Dados observados de altura de plantas (cm) nas cinco densidades de plantio, em função das épocas de avaliação, antes da poda . UFLA, Lavras, MG, 2010	87
APÊNDICE D - Dados observados de altura de plantas (cm) nas quatro densidades de plantio, em função das épocas de avaliação, depois da poda . UFLA, Lavras, MG, 2010	88
APÊNDICE E - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de densidade para diâmetro de caule, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010	88
APÊNDICE F - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de irrigação para diâmetro de caule, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010	88
APÊNDICE G - Dados observados de diâmetro de caule (cm) nas cinco densidades de plantio, antes da poda . UFLA, Lavras, MG, 2010	88
APÊNDICE H - Dados observados de diâmetro de caule (cm) nos quatro critérios de irrigação, em função das épocas de avaliação, antes da poda . UFLA, Lavras, MG, 2010	89
APÊNDICE I - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de densidade e critério de irrigação, para diâmetro de copa, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010	90

APÊNDICE J - Dados observados de diâmetro de copa (cm), para a densidade de 2.500 plantas ha ⁻¹ , antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010	91
APÊNDICE K - Dados observados de diâmetro de copa (cm), para a densidade de 3.333 plantas ha ⁻¹ , antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010	91
APÊNDICE L - Dados observados de diâmetro de copa (cm), para a densidade de 5.000 plantas ha ⁻¹ , antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010	92
APÊNDICE M - Dados observados de diâmetro de copa (cm), para a densidade de 10.000 plantas ha ⁻¹ , antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010	92
APÊNDICE N - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de densidade para diâmetro de copa, após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010	93
APÊNDICE O - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de irrigação para diâmetro de copa, após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010	93
APÊNDICE P - Dados observados de diâmetro de copa (cm), nos quatro critérios de irrigação, em função das épocas de avaliação, depois da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010	94
APÊNDICE Q - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de densidade para número de ramos, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010	94
APÊNDICE R - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de irrigação para número de ramos, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010	94
APÊNDICE S - Dados observados de número de ramos plagiotrópicos, nas cinco densidades de plantio, em função das épocas de avaliação, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010	95

- APÊNDICE T - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de densidade para número de ramos, após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010..... 95
- APÊNDICE U - Dados observados de número de ramos, nas quatro densidades de plantio, em função das épocas de avaliação, depois da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010 96
- APÊNDICE V - Resumo da análise de variância do desdobramento dos critérios de irrigação dentro de cada nível de densidade de plantio, para a produtividade média de cafeeiros, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010..... 96
- APÊNDICE W – Produtividade média em cada colheita (sacas por hectare de café beneficiado), em função dos critérios de irrigação e densidades de plantio. UFLA, Lavras, MG, 2010..... 97

APÊNDICE A - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de densidade para a altura de planta, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	QM
Época/1	21	36675,78**
Época/2	21	38633,98**
Época/3	21	51907,04**
Época/4	21	59372,85**
Época/5	21	72830,38**
Erro	1197	1394,09

Codificação usada para o desdobramento: 1 (2500 plantas ha⁻¹), 2 (3333 plantas ha⁻¹), 3 (5000 plantas ha⁻¹), 4 (10000 plantas ha⁻¹), 5 (20000 plantas ha⁻¹).

APÊNDICE B - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de densidade para altura de plantas, após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	QM
Época/1	7	3630,65**
Época/2	7	4271,02**
Época/3	7	4149,98**
Época/4	7	7688,83**
Erro	315	17,86

Codificação usada para o desdobramento: 1 (2500 plantas ha⁻¹), 2 (3333 plantas ha⁻¹), 3 (5000 plantas ha⁻¹), 4 (10000 plantas ha⁻¹).

APÊNDICE C - Dados observados de altura de plantas (cm) nas cinco densidades de plantio, em função das épocas de avaliação, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Épocas	Densidades de plantio (plantas ha ⁻¹)				
	2.500	3.333	5.000	10.000	20.000
90	34,0	29,2	30,7	30,8	29,9
180	36,4	34,5	35,9	34,8	36,0
270	51,5	49,7	51,2	48,4	52,1
360	74,9	76,0	78,4	75,6	81,2
450	88,1	89,8	88,1	91,0	98,6
540	92,2	102,4	99,6	97,0	104,1
630	102,5	108,8	109,4	112,8	121,0
720	110,9	119,2	123,2	131,0	135,0
810	120,8	121,6	125,6	136,4	147,1
900	123,3	124,6	134,3	144,4	151,3
990	131,6	131,5	136,4	148,5	158,5
1080	139,6	139,9	144,6	157,8	171,6
1170	150,9	153,8	156,2	173,5	182,0
1260	153,5	152,2	159,3	175,7	185,9
1350	157,9	161,6	162,8	179,8	202,1
1440	160,5	168,8	169,3	184,9	212,4
1530	166,2	171,3	172,1	199,1	217,5
1620	169,4	172,7	174,4	202,0	221,7
1710	171,5	175,8	179,7	206,5	226,4
1800	181,3	182,8	185,4	212,6	228,7
1890	184,7	186,1	191,6	219,2	242,9
1980	191,1	191,6	195,7	230,6	246,5

APÊNDICE D - Dados observados de altura de planta (cm), nas quatro densidades de plantio, em função das épocas de avaliação, depois da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Épocas	Densidades de plantio (plantas ha ⁻¹)			
	2.500	3.333	5.000	10.000
180	144,6	140,1	152,3	152,1
270	161,2	160,3	167,0	174,6
360	164,6	163,6	171,1	178,1
450	170,3	169,1	177,5	186,9
540	174,8	179,7	183,5	193,0
630	184,8	183,9	192,8	206,2
720	185,1	185,0	194,6	211,3
810	189,8	188,5	200,1	218,6

APÊNDICE E - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de densidade para diâmetro de caule, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	QM
Época/1	10	32,4982**
Época/2	10	29,4007**
Época/3	10	28,4084**
Época/4	10	21,7624**
Época/5	10	19,1299**
Erro	570	0,0230

Codificação do desdobramento: 1 (2500 plantas ha⁻¹), 2 (3333 plantas ha⁻¹), 3 (5000 plantas ha⁻¹), 4 (10000 plantas ha⁻¹), 5 (20000 plantas ha⁻¹).

APÊNDICE F - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de irrigação para diâmetro de caule, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	QM
Época/1	10	24,3208**
Época/2	10	40,2257**
Época/3	10	31,9870**
Época/4	10	34,9893**
Erro	570	0,0230

Codificação do desdobramento: 1 (sem irrigação), 2 (Balanço hídrico), 3 (20 kPa) 4 (60 kPa).

APÊNDICE G - Dados observados de diâmetro de caule (cm) nas cinco densidades de plantio, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Épocas	Densidades de plantio (plantas ha ⁻¹)				
	2.500	3.333	5.000	10.000	20.000
90	0,75	0,69	0,75	0,67	0,76
180	1,05	1,04	1,09	1,00	1,11
270	1,55	1,59	1,66	1,55	1,66
360	2,70	2,54	2,57	2,34	2,47
450	2,88	3,05	3,02	2,69	2,69
540	3,44	3,49	3,47	3,03	3,06
630	3,78	3,71	3,72	3,24	3,18
720	4,12	3,93	3,93	3,48	3,48
810	4,44	4,18	4,17	3,68	3,68
900	4,54	4,33	4,33	3,88	3,79
990	4,68	4,48	4,53	4,05	4,02

APÊNDICE H – Dados observados de diâmetro de caule (cm), nos quatro critérios de irrigação, em função das épocas de avaliação, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Épocas	Critérios de irrigação			
	Sem irrigação	Balanço hídrico	20 kPa	60 kPa
90	0,61	0,77	0,75	0,77
180	0,76	1,20	1,17	1,11
270	1,15	1,82	1,73	1,72
360	2,08	2,70	2,68	2,64
450	2,28	3,07	3,10	3,01
540	2,52	3,61	3,60	3,46
630	2,62	3,90	3,83	3,74
720	3,12	4,19	3,85	4,00
810	3,35	4,38	4,04	4,19
900	3,57	4,60	4,17	4,36
990	3,72	4,93	4,28	4,48

APÊNDICE I - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de densidade e critério de irrigação, para diâmetro de copa, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	QM
Época/1	17	7742,78**
Época/2	17	11428,66**
Época/3	17	9942,04**
Época/4	17	10009,29**
Época/5	17	7105,37**
Época/6	17	8181,23**
Época/7	17	8278,50**
Época/8	17	7352,14**
Época/9	17	7293,79**
Época/10	17	7575,14**
Época/11	17	6678,82**
Época/12	17	7306,57**
Época/13	17	8439,65**
Época/14	17	9173,34**
Época/15	17	8046,16**
Época/16	17	8645,85**
Erro	765	36,37

Codificação do desdobramento: 1 (2500 plantas ha⁻¹ e sem irrigação), 2 (2500 plantas ha⁻¹ e balanço hídrico), 3 (2500 plantas ha⁻¹ e 20 kPa), 4 (2500 plantas ha⁻¹ e 60 kPa), 5 (3333 plantas ha⁻¹ e sem irrigação), 6 (3333 plantas ha⁻¹ e balanço hídrico), 7 (3333 plantas ha⁻¹ e 20 kPa), 8 (3333 plantas ha⁻¹ e 60 kPa), 9 (5000 plantas ha⁻¹ e sem irrigação), 10 (5000 plantas ha⁻¹ e balanço hídrico), 11 (5000 plantas ha⁻¹ e 20 kPa), 12 (5000 plantas ha⁻¹ e 60 kPa), 13 (10000 plantas ha⁻¹ e sem irrigação), 14 (10000 plantas ha⁻¹ e balanço hídrico), 15 (10000 plantas ha⁻¹ e 20 kPa), 16 (10000 plantas ha⁻¹ e 60 kPa).

APÊNDICE J - Dados observados de diâmetro de copa (cm), para a densidade de 2.500 plantas ha⁻¹, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Épocas	Critérios de irrigação			
	Sem irrigação	Balanco hídrico	20 kPa	60 kPa
180	23,7	43,5	42,7	40,2
270	43,9	72,5	73,6	66,1
360	73,0	101,0	105,5	97,6
450	84,1	117,0	113,7	103,0
540	95,3	125,8	118,6	124,4
630	111,0	155,5	151,3	143,5
720	119,6	166,5	162,1	150,8
810	121,5	164,1	156,8	151,3
900	118,3	161,5	154,8	152,8
990	139,4	181,5	175,2	170,9
1080	176,8	233,6	220,5	214,7
1170	155,9	201,3	190,1	188,3
1260	123,5	162,6	159,8	151,4
1350	136,2	172,8	164,5	160,2
1440	132,3	160,8	155,9	152,4
1530	165,2	228,1	222,6	213,9
1620	175,5	214,6	205,8	207,5
1710	176,8	233,6	220,4	214,7

APÊNDICE K - Dados observados de diâmetro de copa (cm), para a densidade de 3.333 plantas ha⁻¹, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Épocas	Critérios de irrigação			
	Sem irrigação	Balanco hídrico	20 kPa	60 kPa
180	20,2	44,8	40,9	39,3
270	41,1	75,8	69,5	72,3
360	77,7	106,1	100,1	103,2
450	75,5	112,1	111,6	112,4
540	87,9	124,8	122,5	122,8
630	105,6	158,8	151,4	151,0
720	112,9	162,3	159,2	153,2
810	113,5	154,6	155,6	145,8
900	112,3	156,7	151,4	143,0
990	134,5	177,8	174,4	164,7
1080	159,4	199,4	193,5	186,1
1170	143,1	181,5	184,9	182,5
1260	121,6	155,9	159,5	145,9
1350	151,7	192,1	187,4	181,2

“Apendice K, continua”

“Apêndice K, conclusão”

1440	141,4	174,9	171,6	170,8
1530	166,3	193,9	189,5	184,8
1620	161,4	206,7	203,7	197,2
1710	159,4	199,4	193,5	186,1

APÊNDICE L - Dados observados de diâmetro de copa (cm), para a densidade de 5.000 plantas ha⁻¹, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Épocas	Critérios de irrigação			
	Sem irrigação	Balanco hídrico	20 kPa	60 kPa
180	26,9	44,1	42,6	40,9
270	55,8	73,7	75,8	72,0
360	86,2	101,9	104,5	106,7
450	92,6	115,2	114,2	111,4
540	99,7	122,9	121,3	121,6
630	118,0	154,5	146,6	149,1
720	124,4	151,2	151,9	151,1
810	126,1	154,2	161,0	151,2
900	123,7	145,9	144,0	143,7
990	138,6	157,5	150,0	155,1
1080	180,2	198,0	191,8	192,0
1170	150,8	171,5	165,7	167,6
1260	136,8	161,5	155,2	159,3
1350	148,5	175,6	170,4	173,7
1440	131,9	146,5	138,8	144,0
1530	180,1	201,5	192,9	201,1
1620	176,6	197,8	186,8	194,7
1710	180,2	198,1	191,8	192,0

APÊNDICE M - Dados observados de diâmetro de copa (cm), para a densidade de 10.000 plantas ha⁻¹, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Épocas	Critérios de irrigação			
	Sem irrigação	Balanco hídrico	20 kPa	60 kPa
180	20,2	40,0	42,1	41,0
270	36,4	66,8	66,9	62,9
360	65,8	95,8	99,1	96,7
450	79,3	120,6	118,6	118,8
540	78,8	128,0	125,0	124,1
630	94,9	153,1	152,7	147,2
720	106,7	163,9	158,5	154,1
810	115,7	163,2	160,0	153,8
900	112,4	157,5	149,8	151,7

“Apêndice M, continua”

“Apêndice M, conclusão”

990	132,6	170,0	162,8	165,5
1080	172,6	205,0	195,2	202,9
1170	154,4	194,3	192,0	188,5
1260	133,5	172,1	160,4	167,5
1350	135,4	170,1	165,9	167,9
1440	129,9	158,2	148,9	156,2
1530	171,1	210,5	200,9	199,6
1620	166,1	200,2	197,9	198,1
1710	172,6	205,1	195,2	202,9

APÊNDICE N - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de densidade para diâmetro de copa, após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	QM
Época/1	7	14749,15**
Época/2	7	14673,42**
Época/3	7	16393,85**
Época/4	7	15713,7**
Erro	315	26,68

Codificação usada para o desdobramento: 1 (2500 plantas ha⁻¹), 2 (3333 plantas ha⁻¹), 3 (5000 plantas ha⁻¹), 4 (10000 plantas ha⁻¹).

APÊNDICE O - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de irrigação para diâmetro de copa após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	QM
Época/1	7	13520,4**
Época/2	7	15986,47**
Época/3	7	16458,07**
Época/4	7	15602,34**
Erro	315	26,68

Codificação usada para o desdobramento: 1 (sem irrigação), 2 (balanço hídrico climatológico), 3 (20 kPa), 4 (60 kPa).

APÊNDICE P - Dados observados de diâmetro de copa (cm), nos quatro critérios de irrigação, em função das épocas de avaliação, depois da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Épocas	Critérios de irrigação			
	Sem irrigação	Balanço	20 kPa	60 kPa
180	110,1	130,6	125,0	122,9
270	142,8	170,4	161,1	159,1
360	142,9	174,6	164,5	166,1
450	155,2	189,5	181,6	175,2
540	169,4	202,2	194,4	191,8
630	184,8	212,4	208,3	204,0
720	190,3	220,9	214,8	210,6
810	194,8	225,3	218,2	215,7

APÊNDICE Q - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de densidade para número de ramos, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	QM
Época/1	19	14664,56**
Época/2	19	15519,86**
Época/3	19	15879,95**
Época/4	19	16960,58**
Época/5	19	8943,92**
Erro	1083	34,72

Codificação usada para o desdobramento: 1 (2500 plantas ha⁻¹), 2 (3333 plantas ha⁻¹), 3 (5000 plantas ha⁻¹), 4 (10000 plantas ha⁻¹), 5 (20000 plantas ha⁻¹).

APÊNDICE R - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de irrigação para número de ramos, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	QM
Época/1	19	16564,05**
Época/2	19	18143,32**
Época/3	19	16149,22**
Época/4	19	18638,64**
Erro	1083	34,72

Codificação usada para o desdobramento: 1 (sem irrigação), 2 (balanço hídrico climatológico), 3 (20 Kpa), 4 (60 Kpa).

APÊNDICE S - Dados observados de número de ramos plagiotrópicos, nas cinco densidades de plantio, em função das épocas de avaliação, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Épocas	Densidades de plantio (plantas ha ⁻¹)				
	2.500	3.333	5.000	10.000	20.000
270	22	21	21	21	23
360	29	29	30	29	32
450	35	36	36	36	41
540	41	41	41	42	46
630	49	50	49	51	54
720	56	55	57	59	63
810	61	62	64	67	70
900	64	65	66	69	71
990	71	71	71	76	80
1080	78	77	75	86	86
1170	83	76	76	83	87
1260	84	81	85	86	81
1350	89	92	98	96	81
1440	97	96	89	92	92
1530	94	96	98	102	96
1620	98	100	100	105	101
1710	104	108	108	113	76
1800	110	106	116	119	86
1890	121	125	124	127	100
1980	125	130	128	132	104

APÊNDICE T - Resumo da análise de variância do desdobramento de época fixando-se os níveis de densidade para número de ramos, após a poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	QM
Época/1	7	3074,13**
Época/2	7	2484,41**
Época/3	7	3268,01**
Época/4	7	4524,4**
Erro	315	7,38

Codificação usada para o desdobramento: 1 (2500 plantas ha⁻¹), 2 (3333 plantas ha⁻¹), 3 (5000 plantas ha⁻¹), 4 (10000 plantas ha⁻¹).

APÊNDICE U - Dados observados de número de ramos, nas quatro densidades de plantio, em função das épocas de avaliação, depois da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

Épocas	Densidades de plantio (plantas ha ⁻¹)			
	2.500	3.333	5.000	10.000
180	77	67	68	53
270	85	75	77	62
360	87	79	80	67
450	96	85	88	75
540	101	90	94	81
630	106	95	100	90
720	110	98	104	95
810	117	103	109	102

APÊNDICE V - Resumo da análise de variância do desdobramento dos critérios de irrigação dentro de cada nível de densidade de plantio, para a produtividade média de cafeeiros, antes da poda. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	QM
Irrigação/1	3	164,08 ^{ns}
Irrigação/2	3	66,92 ^{ns}
Irrigação/3	3	185,42 ^{ns}
Irrigação/4	3	870,92**
Irrigação/5	3	1035,06**
Erro	45	77,73

Codificação usada para o desdobramento: 1 (2500 plantas ha⁻¹), 2 (3333 plantas ha⁻¹), 3 (5000 plantas ha⁻¹), 4 (10000 plantas ha⁻¹), 5 (20000 plantas ha⁻¹).

APÊNDICE W - Produtividade média em cada colheita (sacas por hectare de café beneficiado), em função dos critérios de irrigação e densidades de plantio. UFPA, Lavras, MG, 2010

Critérios de Irrigação	Ano	Densidades de plantio (plantas ha ⁻¹)				
		2.500	3.333	5.000	10.000	20.000
Sem irrigação	2003	15,8	23,5	35,5	25,0	18,4
	2004	25,0	37,0	58,9	54,8	68,0
	2005	56,6	57,5	91,7	96,4	94,6
	2006	13,7	38,5	36,7	28,4	33,5
	2007	38,7	33,7	70,5	82,4	63,1
	Média	29,9	38,1	58,7	57,4	55,5
60 kPa	2003	41,7	55,5	77,2	87,4	116,3
	2004	26,5	12,4	19,8	72,1	83,0
	2005	76,4	92,9	113,0	132,0	108,0
	2006	27,9	1,9	8,2	30,7	52,2
	2007	37,6	57,1	81,9	121,0	83,8
	Média	42,0	43,9	60,0	88,6	88,7
20 kPa	2003	51,4	61,6	57,7	112,4	105,5
	2004	10,9	18,0	4,7	20,2	51,9
	2005	86,4	96,0	119,5	146,6	108,5
	2006	9,2	7,0	2,5	11,3	51,0
	2007	49,5	54,3	66,5	112,5	93,4
	Média	41,5	47,4	50,2	80,6	82,1
Balanço hídrico climatológico	2003	57,2	63,1	91,7	109,0	129,4
	2004	13,1	12,0	8,6	42,9	62,1
	2005	98,6	100,9	139,9	160,4	114,1
	2006	3,0	4,2	6,4	15,4	54,2
	2007	49,2	49,6	87,2	115,3	90,1
	Média	44,2	45,9	66,8	88,6	89,9