



CARLOS HENRIQUE MESQUITA DE CARVALHO

**VIABILIDADE TÉCNICA E MARGEM DE
CONTRIBUIÇÃO DA IRRIGAÇÃO PARA
CAFEIROS EM DIFERENTES DENSIDADES
DE PLANTIO**

LAVRAS - MG

2013

CARLOS HENRIQUE MESQUITA DE CARVALHO

**VIABILIDADE TÉCNICA E MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO DA
IRRIGAÇÃO PARA CAFEIROS EM DIFERENTES DENSIDADES DE
PLANTIO**

Tese 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 Doutor.

Orientador

Dr. Rubens José Guimarães

Coorientadora

Dra. Myriane Stella Scalco

LAVRAS - MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Carvalho, Carlos Henrique Mesquita de.

Viabilidade técnica e margem de contribuição da irrigação para
cafeeiros em diferentes densidades de plantio / Carlos Henrique
Mesquita de Carvalho. – Lavras: UFLA, 2013.

86 p.: il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Rubens José Guimarães.

Bibliografia.

1. Café - Irrigação. 2. Café - Gotejamento. 3. Café - Análise
econômica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.7387

CARLOS HENRIQUE MESQUITA DE CARVALHO

**VIABILIDADE TÉCNICA E MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO DA
IRRIGAÇÃO PARA CAFEEIROS EM DIFERENTES DENSIDADES DE
PLANTIO**

Tese 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 Doutor.

APROVADA em 21 de junho de 2013.

Dr. César Elias Botelho EPAMIG

Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes UFLA

Dr. Alberto Colombo UFLA

Dra. Myriane Stella Scalco UFLA

Dr. Rubens José Guimarães

Orientador

LAVRAS - MG

2013

AGRADECIMENTOS

À Dra. Myriane Stella Scalco, pela orientação, dedicação, disponibilidade, apoio e ensinamentos transmitidos, essenciais para a conclusão deste trabalho.

Ao professor Dr. Rubens José Guimarães, pela orientação, apoio, sugestões e incentivos, essenciais para a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Alberto Colombo, pelos ensinamentos, apoio e sugestões sempre importantes neste trabalho.

À minha esposa, Carolina Valeriano de Carvalho e à minha filha Isabela V. de Carvalho, pelo apoio e compreensão pela minha ausência.

Ao professor Dr. Ricardo Pereira Reis, pela fundamental colaboração para a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, Carlos Alberto e Darlene, pelo grande apoio, dedicação, incentivo e pelo grande exemplo que são para a minha vida.

Aos bolsistas, estagiários e funcionários do Setor de Cafeicultura, pela ajuda e pela amizade.

A todos que, de alguma forma, contribuíram e colaboraram para esta caminhada, o meu muito obrigado.

A CAPES pela concessão de bolsa de estudo.

Ao apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil, para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O lucro, juntamente com o valor social e ambiental, constitui o principal objetivo da empresa agrícola. Portanto, o uso racional dos recursos disponíveis no processo de produção, de forma a se obter os mais altos níveis de rendimento econômico, deve ser considerado, visando à otimização dos fatores envolvidos na produção, maximizando os lucros. Neste contexto, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e a margem de contribuição da irrigação para cafeeiros, dimensionando a lâmina de irrigação que maximiza os lucros em diferentes densidades de plantio. O ensaio foi conduzido em área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, MG, em delineamento de blocos casualizados, com esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Foram estudados quatro densidades (2.500, 3.333, 10.000 e 20.000 pl. ha⁻¹) e cinco manejos de irrigação por gotejamento (20 kPa, 60 kPa, 100 kPa, 140 kPa e BHC) e uma testemunha não irrigada. Foram analisadas as quatro primeiras produções da lavoura, agrupadas por biênio (1 e 2) e a média das quatro safras. Observou-se que a diferença entre produtividade física (PFMax) e econômica (Y*) é pequena, devido à baixa relação entre o preço de aplicação de água e o preço do produto (P_L/P_Y). Não há diferença significativa da margem de contribuição, quando se utiliza a lâmina técnica (L) ou a lâmina econômica (L*). O aumento de densidade de plantio influencia positivamente a eficiência do uso da água. Em lavouras mecanizadas, aplicações de menores lâminas com maior frequência (manejo de 20 kPa e BHC) podem ser utilizadas como forma de maximizar a produtividade econômica, enquanto, em lavouras adensadas, essa situação ocorre com aplicações de maiores lâminas com menor frequência (manejo de 60 e 100 kPa).

Palavras-chave: Café. Irrigação. Análise Econômica. Produtividade Econômica.

ABSTRACT

Profit and social and environmental value are the main purpose of the agricultural company. In order to maximize profits, the factors involved in the production should be improved. The highest levels of income could be reached by using the available resources rationally. In this context, the aim of the present work was to evaluate the technical availability and the contribution of irrigation to coffee cultivation. For this, the water depth that maximizes profits at different planting densities was scaled. The experiment was conducted in the experimental area of the Department of Agriculture of the Federal University of Lavras/MG. The experimental design used was the randomized block, arranged in split plots with four replications. It was studied four densities (2500, 3333, 10000 and 20000 plant ha⁻¹) and five managements of drip irrigation (20kPa, 60kPa, 100kPa, 140 kPa and BHC) and no irrigated witness. The first four yields grouped per biennium (1 and 2) and the average of the four cropping seasons were analyzed. It was observed a small difference between physical (PFMax) and economical (Y*) productivity. This was because of the low ratio between the price of water application and the product price (P_L/P_Y) observed. There is no significant difference in contribution margin by using the technical water depth (L) or the economical water depth (L*). The planting density increase has a positive effect on the water use efficiency. In order to maximize the economic productivity, it can be applied smaller water depth more often (management of 20kPa and BHC) for mechanized plantations or larger water depth less frequently (management of 60 and 100kPa) for dense plantations.

Keywords: Coffee. Irrigation. Economic Analysis. Economic productivity.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 2.500 plantas ha⁻¹ (4,0 x 1,0 m), biênio 152
- Figura 2 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 3.333 plantas ha⁻¹ (3,0 x 1,0 m), biênio 153
- Figura 3 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro para a densidade de 10.000 plantas ha⁻¹ (2,0 x 0,5 m), biênio 153
- Figura 4 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro para a densidade de 20.000 plantas ha⁻¹ (1,0 x 0,5 m), biênio 154
- Figura 5 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 2.500 plantas ha⁻¹ (4,0 x 1,0 m), biênio 2 61
- Figura 6 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 3.333 plantas ha⁻¹ (3,0 x 1,0 m), biênio 2 61
- Figura 7 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 10.000 plantas ha⁻¹ (2,0 x 0,5 m), biênio 2 62
- Figura 8 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção em função de lâminas

	correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 20.000 plantas ha ⁻¹ (1,0 x 0,5 m), biênio 2	62
Figura 9	Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 2.500 plantas ha ⁻¹ (4,0 x 1,0 m), média de quatro safras	69
Figura 10	Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 3.333 plantas ha ⁻¹ (3,0 x 1,0 m), média de quatro safras	69
Figura 11	Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 10.000 plantas ha ⁻¹ (2,0 x 0,5 m), média de quatro safras	70
Figura 12	Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 20.000 plantas ha ⁻¹ (1,0 x 0,5 m), média quatro safras	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resultado da análise física do solo da área experimental ⁽¹⁾	33
Tabela 2	Resultados da análise química do solo da área experimental ⁽¹⁾	34
Tabela 3	Equações da curva característica de retenção da água no solo, segundo o modelo de Genuchten e Nielsen (1985), para as camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm ($\theta = \text{cm}^3/\text{cm}^3$)	37
Tabela 4	Produtividade média (sacas ha^{-1}) e lâminas de irrigação (mm), médias acumuladas em cada biênio (entre safras, jun-jun) e média de quatro safras, nas diferentes densidades de plantio (plantas ha^{-1})	48
Tabela 5	Análise de variância para produtividade média acumulada de café beneficiado (kg ha^{-1}), em função de diferentes lâminas de irrigação e densidades de plantio, para dois biênio e média de quatro safras ..	49
Tabela 6	Relação preço da lâmina de irrigação e preço do café beneficiado (P_L/P_Y), lâminas econômicas ótimas (L^*), produção econômica ótima (Y^*) para cafeeiros irrigados em quatro densidades de plantio para o biênio 1	56
Tabela 7	Margem de contribuição da irrigação do cafeeiro em duas situações, base técnica (A) e base econômica (B), para quatro densidades de plantio, biênio 1	57
Tabela 8	Relação preço da lâmina de irrigação e preço do café beneficiado (P_L/P_Y), lâminas econômicas ótimas (L^*) e produção econômica ótima (Y^*), para cafeeiros irrigados em quatro densidades de plantio, para o biênio 2	64
Tabela 9	Margem de contribuição da irrigação do cafeeiro em duas situações, base técnica (A) e base econômica (B), para quatro densidades de plantio, biênio 2	65
Tabela 10	Relação preço da lâmina de irrigação e preço do café beneficiado (P_L/P_Y), lâminas econômicas ótimas (L^*) e produção econômica ótima (Y^*), para cafeeiros irrigados em quatro densidades de plantio, para a média de quatro safras.....	71
Tabela 11	Margem de contribuição da irrigação do cafeeiro em duas situações, base técnica (A) e base econômica (B), para quatro densidades de plantio, média de quatro safras	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Densidade de plantio	13
2.2	Irrigação na cafeicultura	16
2.3	Manejo da irrigação do cafeeiro	20
2.4	Estratégia ótima de irrigação	24
2.5	Margem de contribuição	30
3	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1	Caracterização da área do experimento	33
3.2	Instalação, condução e tratos culturais	33
3.3	Tratamento e delineamento experimental	35
3.4	Irrigação	36
3.5	Manejo da irrigação	36
3.6	Características avaliadas	37
3.6.1	Produtividade de café beneficiado (sacas ha ⁻¹)	37
3.7	Modelo de análise	38
3.8	Análise de rentabilidade	38
3.8.1	Lâmina econômica ótima	38
3.8.2	Produto físico marginal (PFMa)	39
3.8.3	Funções de produção	40
3.8.4	Margem de contribuição	42
3.8.5	Preço do produto (Py)	43
3.8.6	Custo variável de aplicação da água (P _L)	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	Lâminas por irrigação e produtividades	47
4.2	Estratégia ótima de irrigação	49
4.2.1	Biênio 1	51
4.2.2	Biênio 2	60
4.2.3	Média das quatro safras	67
5	CONCLUSÕES	74
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

A cultura do cafeeiro é de grande importância para o Brasil, do ponto de vista econômico, por gerar renda e aumentar o produto interno bruto e do ponto de vista social, por distribuir renda por meio de milhões de empregos diretos e indiretos.

Em 2012, a produção brasileira de café beneficiado foi de 51 milhões de sacas, gerando uma renda de US\$ 6,353 bilhões com exportações (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2013). Em Minas Gerais, a cafeicultura é a atividade agrícola mais importante, com área total de 1,2 milhão de hectares, respondendo por mais de 50% de todo o parque cafeeiro brasileiro. Em 2012, no estado, foram produzidas 26,6 milhões de sacas, o que corresponde a 50,5% da safra nacional no referido ano, de acordo com dados do IBGE (2013).

Mesmo com toda a importância da cafeicultura na economia brasileira, a atividade envolve muitas incertezas e riscos, especialmente em relação às flutuações no preço e na produtividade, provocadas, principalmente, pelas variações climáticas e pela bienalidade inerente à cultura. Em razão destes fatores, torna-se necessária a busca constante de tecnologias e conhecimentos que venham agregar maiores produtividades à cultura, reduzindo os riscos, visando manter a sustentabilidade da atividade, tanto econômica quanto ambiental, frente a um mercado globalizado cada vez mais competitivo e exigente. Contudo, a utilização destas tecnologias somente é viável se os benefícios econômicos gerados pela elevação da produtividade forem maiores que os custos de produção inerentes a esses sistemas (ARÊDES; PEREIRA, 2008).

Uma das formas de se buscar o aumento de produtividade é a redução do espaçamento, aumentando o número de plantas por hectare e, conseqüentemente,

aumentando a produção por área. Outra forma de aumentar a produtividade da lavoura cafeeira é o uso da irrigação com manejos que venham atender à demanda das plantas por água, sem onerar demasiadamente o custo de produção, mantendo também a sustentabilidade ambiental com economia de água.

O uso da irrigação no sul de Minas tem crescido consideravelmente nos últimos anos, embora esta seja uma região climaticamente apta à cafeicultura. A ocorrência de estiagens prolongadas em fases fenológicas críticas para a planta tem comprometido significativamente a produção das lavouras. Assim, o correto manejo da irrigação é indispensável para o sucesso da cultura, e o fornecimento de água no momento e com a quantidade ideal para a planta deve ser feito levando em consideração as condições edafoclimáticas da região e as características da planta.

A determinação da margem de contribuição de um determinado fator variável subsidia a análise para a utilização racional dos recursos disponíveis, aumentando a viabilidade de determinado sistema produtivo ou tecnologia implantada, uma vez que se trata de grandes investimentos, e visam um maior retorno econômico e operacional em um menor período de tempo. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e a margem de contribuição da irrigação para cafeeiros em diferentes densidades de plantio.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O cafeeiro é uma planta originária do continente africano, das regiões altas da Etiópia. É uma planta perene, de porte arbustivo, pertencente à família Rubiaceae. Dentre as inúmeras espécies existentes dentro do gênero *Coffea* sp., apenas duas têm importância econômica no Brasil, *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre, representando, respectivamente, 74% e 26% da produção nacional (IBGE, 2013).

Utilizada neste experimento, a cultivar Rubi MG 1192 é oriunda do cruzamento entre as cultivares Catuaí e Mundo Novo, feito por pesquisadores do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), nos anos 1960 e introduzida em Minas Gerais, pela Epamig, nos anos 1970 (CARVALHO et al., 2008). Esta cultivar caracteriza-se por apresentar alto vigor vegetativo, não apresentar seca de ponteiros e por apresentar porte baixo e arquitetura adequada, sendo indicada para plantios circulares e em sistema de renque adensado (NAZARENO et al., 2003).

2.1 Densidade de plantio

A redução do espaçamento de plantio vem sendo utilizada para o melhor aproveitamento de área, a obtenção de maiores produtividades e, conseqüentemente, o incremento de rentabilidade. Na cultura do café há inúmeras possibilidades de “arranjos” de uma mesma população de plantas no campo, combinando-se os muitos espaçamentos possíveis entre as linhas da cultura com as distâncias entre as covas nas linhas de plantio e com o número de plantas em cada cova (PAULO et al., 2005). A resposta da produtividade da lavoura cafeeira à distância entre covas é linear, correspondendo à maior

distância de plantio, menor produção por área, quando se emprega uma planta por cova (URIBE; MESTRE, 1988).

Na definição do espaçamento entre as linhas de plantio tem sido proposto considerar o diâmetro da copa do cafeeiro adulto e o espaço livre desejado pelo produtor para o manejo da lavoura. Tem-se verificado que o aumento na população de plantas em cultivares de porte baixo causa diminuição dos diâmetros da copa e do caule dos cafeeiros e aumento da altura das plantas (NJOROJE et al., 1994; TOLEDO; BARROS, 1999).

Outro objetivo dos plantios no sistema adensado é elevar a produtividade inicial e, conseqüentemente, antecipar o retorno do capital investido na implantação da lavoura. Assim, tem-se buscado o uso de espaçamentos que resultam numa população cafeeira variando de 5.000 a 10.000 plantas por hectare, especialmente para o caso em que é necessária a otimização da utilização das áreas nas pequenas propriedades ou nas regiões montanhosas em que os tratos culturais são realizados manualmente.

Paulo et al. (2005) afirmam que o aumento da população de cafeeiros acarretou em menor produção de café beneficiado por planta, mas concorreu para o aumento da produtividade (kg ha^{-1}). Pereira (2004), avaliando as conseqüências da redução de espaçamentos entre linhas e entre plantas na linha de plantio no crescimento e na produção de cafeeiros, verificou que a redução no espaçamento, tanto entre linhas quanto entre plantas, acarretou em maior altura do ramo ortotrópico e menor produção de café beneficiado por planta. No entanto, a produtividade aumentou em função do incremento da densidade.

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). O sistema adensado também pode melhorar a capacidade produtiva do solo por meio de

aumentos de pH, Ca, Mg, K, P e C orgânico, estabilidade de agregados, retenção de água e diminuição de Al tóxico, uma vez que proporciona maior aproveitamento da água e nutrientes, diminuindo as perdas e melhorando a eficiência do uso de fertilizantes (AUGUSTO et al., 2007).

Prezotti e Rocha (2004) estudaram a resposta do cafeeiro arábica à aplicação de quatro doses de nitrogênio, fósforo e potássio, cultivados em diferentes densidades de plantio, e concluíram que, embora aumente a produtividade por área, o adensamento reduz a produção por planta, elevando sua eficiência de recuperação de nutrientes, o que contribui para a redução da quantidade de fertilizantes a ser aplicada por planta. Observaram, ainda, os autores, que plantas submetidas ao sistema adensado apresentam maiores teores de P e K, quando comparadas às aquelas cultivadas em espaçamentos mais abertos. Uma possível explicação para esse fato está na maior umidade do solo, proporcionada por mais sombreamento e maior acúmulo de biomassa vegetal na superfície do solo. Assim, há maior difusão desses elementos no solo, principalmente de P e, conseqüentemente, maior absorção pelas plantas.

Guarçoni (2013) e Santos (2005) afirmam que, no plantio adensado, ocorrem maior proteção das raízes superficiais e menor lixiviação dos minerais, pois as exigências minerais não são proporcionais ao aumento da população, em função da utilização mais eficiente dos fertilizantes, em razão do maior número de raízes por volume de solo.

A variação no espaçamento de plantio provoca consideráveis impactos econômicos, não apenas pela influência na produtividade, mas também pela alteração no manejo da lavoura e na bienalidade de produção (PEREIRA et al., 2011). Camargo e Camargo (2001) inferem que esse fenômeno pode ser explicado pela concorrência entre as funções vegetativas e reprodutivas, associada à incapacidade da planta de sintetizar, em anos de alta produção de frutos, fotoassimilados suficientes para suprirem normalmente as demandas da

frutificação e crescimento. A maximização de fotoassimilados por meio de práticas culturais pode induzir maior produção de carboidratos para o desenvolvimento de frutos simultaneamente ao crescimento vegetativo, reduzindo a bienalidade de produção (LAVIOLLA et al., 2007).

Pode-se conseguir, com plantios adensados, maior ganho de produtividade, com menor custo de produção, pela utilização mais eficiente da radiação solar, da água e dos minerais e, possivelmente, pelo melhor controle natural das plantas invasoras e de algumas pragas e doenças (CARVALHO et al., 2006), promovendo também a estabilização da produção na propriedade, em decorrência do menor esgotamento individual das plantas. Porém, no sistema adensado, há maior demanda de mão de obra para realizar os tratos culturais, o que pode inviabilizar economicamente o emprego de tal sistema em determinados casos.

2.2 Irrigação na cafeicultura

As mudanças no perfil da cafeicultura brasileira, na última década, potencializaram a busca de sistemas altamente tecnificados, que incorporam novos conhecimentos científicos e uma gestão empresarial, tanto para pequenos como para grandes cafeicultores (SOARES et al., 2005). Dentre esses avanços, destaca-se a utilização da irrigação, que pode proporcionar menores riscos, maior eficiência na utilização e aplicação de insumos, uniformização de floradas, além de maior produtividade e melhor qualidade do produto.

A cafeicultura irrigada tem recebido grande destaque nos últimos anos e este interesse se deve a fatores como a expansão da cafeicultura para novas fronteiras; a evolução da técnica da irrigação; a diminuição de custos dos sistemas de irrigação e a mentalidade do cafeicultor no sistema de produção café, priorizando a eficiência e a qualidade da produção, tornando a cafeicultura

mais empresarial e aumentando sua competitividade no mercado. Apesar da maior concentração das áreas irrigadas de café onde o déficit hídrico é prejudicial à cultura, o uso da irrigação vem crescendo em regiões tradicionais de cafeicultura de sequeiro, consideradas áreas aptas ao cultivo de café sem irrigação.

Segundo Arêdes et al. (2007), que compararam os sistemas produtivos de café não irrigado e irrigado em uma região com índices pluviométricos favoráveis ao cultivo do grão, o benefício econômico gerado pela elevação do nível de produtividade da lavoura devido à adoção de sistemas de irrigação foi maior que os custos gerados pela utilização desses sistemas. Embora eleve o custo total de produção, a produção irrigada diminui o custo médio de produção por saca e eleva o retorno econômico, reduzindo o tempo de recuperação do capital investido e o risco da atividade.

No estado de São Paulo, Silva et al. (2009) verificaram que houve maior produtividade de cafés por planta irrigada, em relação às plantas não irrigadas. Vários autores (FARIA; SIQUEIRA, 2005; REZENDE et al., 2010; SANTANA; OLIVEIRA; QUADROS, 2004) concordam que, em média, a irrigação aumentou a produtividade de café em relação à testemunha sem irrigação. Arêdes et al. (2010), verificando a viabilidade econômica da produção irrigada de café com pivô central em regiões com condições pluviométricas favoráveis à produção, concluíram que, de acordo com os indicadores econômicos obtidos, a produção do cafeeiro irrigado é economicamente superior à alternativa não irrigada, sendo um fator condicionante para a elevação da rentabilidade e a diminuição do risco no cultivo do café. Tesfaye et al. (2008), estudando os efeitos de três regimes de irrigação, concluíram que a irrigação localizada com baixa frequência de irrigação pode ser utilizada, favorecendo regiões com pouca disponibilidade de água.

As vantagens da irrigação não se restringem somente ao aumento da produtividade, pois existem trabalhos que evidenciam melhoria em outras características, como, por exemplo, o controle da floração. O café é uma espécie de floração gregária, ou seja, todas as plantas de uma região florescem simultaneamente, com número de floradas variável, desde umas poucas até várias ao longo do ano, nas regiões equatoriais. De acordo com Soares et al. (2005), um fator importante e polêmico relacionado à irrigação do cafeeiro é a discutida necessidade de um déficit hídrico para a quebra de dormência do botão floral para a indução da floração, proporcionando florada uniforme, sem causar danos à produção. Masarirambi et al. (2009), em estudo realizado em áreas chuvosas do Zimbábwe, observaram que, pelo manejo da irrigação, pode-se induzir e uniformizar a floração e a maturação do café, e afirmam ainda que há a necessidade de se investigar a relação entre o manejo da irrigação (extresse hídrico) e a quantidade de água aplicada por planta em diferentes épocas.

No que se refere à qualidade, Gathaara e Kiara (1988), em estudo visando descobrir a taxa ótima de irrigação, o intervalo e seus efeitos sobre o crescimento das árvores e na produção de café arábica, no Quênia, obtiveram resultados indicando que irrigação melhorou a classificação dos grãos do café. Também Lima et al. (2008) avaliaram o efeito da irrigação na produtividade e no rendimento do “café da roça”, em lavoura irrigada por pivô central na região de Lavras, MG, verificando que a irrigação promoveu maior rendimento do café beneficiado. Isso se justifica pelo fato de os tratamentos irrigados terem apresentado um maior enchimento de grãos e maior uniformidade, por ocasião da colheita.

Alem de todos os fatores determinantes da produção, o clima é o principal, pois ele não pode ser alterado pelo cafeeicultor. O aquecimento global tem sido tema obrigatório em diversas discussões sobre o futuro da produção agrícola no mundo.

Tubiello e Rosenzweig (2008), em pesquisa mais ampla sobre os impactos das mudanças climáticas, oferecem uma síntese útil, concluindo que o aquecimento moderado (até 2 °C), na primeira parte deste século, pode beneficiar culturas de pastagens nas regiões temperadas, reduzindo a produção agrícola no semiárido e em regiões de clima tropical. Recentemente, McCarl et al. (2008) utilizaram métodos de séries temporais para examinar o impacto da variabilidade climática sobre o rendimento das culturas, concluindo que, para os Estados Unidos, as variações mais elevadas em condições climáticas tendem a elevar a menor produtividade média das culturas e também uma maior variabilidade na produção.

Nas plantas, o aumento da temperatura é diretamente proporcional à atividade fotossintética. As reações catalisadas enzimaticamente podem ser aceleradas, até certo ponto, e temperaturas acima de 24 °C podem causar reduções na fotossíntese e condutância foliar, resultando na perda da atividade das enzimas, fator este associado à tolerância das plantas ao calor (DAMATTA et al., 1997). Com a irrigação, algumas variáveis climáticas, como altas temperaturas, podem ser amenizadas, pois a irrigação seria um método eficiente para manter a produção de café nas atuais regiões cafeeiras, mesmo com o aumento da temperatura e das mudanças climáticas.

Diante das respostas promissoras quanto ao uso da irrigação na cafeicultura, a demanda por sua utilização cresce em ritmo acelerado. Porém, a irrigação deve ser feita de forma criteriosa, pois representa alto investimento e aplicações excessivas de água, mesmo em curtos períodos, tanto quanto a sua falta causa efeitos deletérios ao processo produtivo e pode provocar desperdício de uma fração razoável da água aplicada.

A irrigação é uma tecnologia que pode ajudar muito os cafeicultores, porém, os riscos da adoção de uma agricultura irrigada devem ser criteriosamente avaliados, buscando sempre a rentabilidade do empreendimento

(SILVA et al., 2007). Irrigação é uma tecnologia que requer investimentos representativos e está associada à utilização intensiva de insumos, neste caso especial a água, insumo cada dia mais escasso e caro na agricultura, o que torna importante a análise econômica dessa atividade empresarial.

2.3 Manejo da irrigação do cafeeiro

A irrigação do cafeeiro consiste no suprimento de água para as plantas, na quantidade necessária e no momento adequado, para se obter, economicamente, a produção ótima e a melhor qualidade do produto (SOUZA; FRIZZONE, 2003). Considerando os diferentes estádios de desenvolvimento da planta e suas densidades de plantio, os benefícios da irrigação só podem ser alcançados em toda a sua plenitude, para uma determinada cultura, quando o sistema de irrigação for utilizado com critérios de manejo que resultem em aplicações de água em quantidades compatíveis com as necessidades de consumo da cultura (PAVAN; CHAVES, 1996; SANTANA; OLIVEIRA; QUADROS, 2004).

O manejo da irrigação com aplicações frequentes condiciona o solo a manter-se com teor adequado de água, favorecendo o desenvolvimento da cultura e, conseqüentemente, possibilitando maior produtividade (SOUSA; COELHO; SOUZA, 1999). O manejo racional da água de irrigação pode ser realizado tendo como indicadores a planta, o solo, o clima ou a 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 de água no solo, medida por tensiômetros e no modelo climatológico, que utiliza o balanço

hídrico para calcular a necessidade de água da cultura (SANTINATO; FERNANDES; FERNANDES, 1996).

Existem diferentes procedimentos que podem ser adotados como critérios apropriados para a realização do manejo da água de irrigação, sendo a maioria baseada em medidas do status da água em um ou mais componentes do sistema solo-planta-atmosfera.

Para avaliar o estado hídrico da planta utiliza-se de métodos que medem temperatura foliar, potencial de água nas folhas, resistência estomática, grau de turgescência das plantas e fluxo de seiva, dentre outros. Estes métodos são promissores, entretanto, devido à complexidade envolvida e também à falta de informações mais específicas, eles ainda não têm sido utilizados em grande escala (PEREIRA, 2006).

O manejo pelo clima pode ser realizado pela reposição da água consumida pela cultura desde a última irrigação, ou por meio do balanço hídrico climatológico. Este último considera todos os fluxos de água que entram e saem do sistema. A irrigação, a precipitação e a ascensão capilar são as componentes de entrada no balanço hídrico e as perdas por percolação profunda, escoamento superficial e consumo de água pelas plantas são as componentes de saída (MARTINS et al., 2007).

A evapotranspiração é a perda de água por evaporação do solo e transpiração das plantas. Ela é importante para o balanço hídrico de uma bacia como um todo e, principalmente, para o balanço hídrico agrícola, que poderá envolver o cálculo da necessidade de irrigação.

A evapotranspiração ocorre em função das condições meteorológicas e, por meio da mesma, vários parâmetros podem ser averiguados, tais como evapotranspiração de referência (E_{To}), evapotranspiração máxima ou potencial (E_{Tm}) e evapotranspiração real (E_{Tr}). A evapotranspiração das culturas pode ser determinada por meio de lisímetros, calculada a partir de observações

micrometeorológicas do sistema solo-planta-atmosfera ou estimada a partir de observações meteorológicas.

O modelo Penman-Monteith utiliza dados de observações meteorológicas e parâmetros da cultura para estimar a evapotranspiração (FERNÁNDEZ, 2008). Há, no mercado, estações meteorológicas que podem ser instaladas na própria lavoura e programas de manejo de irrigação acessíveis para os produtores. Devido a isso, este método vem mostrando ser ótima alternativa para o cafeicultor irrigante.

O manejo via solo utiliza a determinação da umidade do solo no qual o sistema radicular da cultura está se desenvolvendo e pode ser feito utilizando-se tensiômetros, mas requerem manutenção adequada e frequente. Há, ainda, outros métodos, tais como sensores eletrométricos e por dissipação térmica, sonda de nêutrons, sonda enviroscan, TDR (reflectometria no domínio do tempo), tomografia computadorizada e atenuação de raios gama (SOARES, 2010). Dentre estes métodos, os tensiômetros são amplamente utilizados, pela facilidade de utilização e custo relativamente baixo.

O tensiômetro foi desenvolvido por Gardner, em 1922 (CAMARGO; GROHANN; CAMARGO, 1982) e é empregado para medir a tensão com que a água está retida pelas partículas do solo, também conhecida por potencial matricial. Dispondo-se da relação entre o conteúdo de água no solo e a tensão em que ela se encontra, pode-se estabelecer, indiretamente, o teor de água no solo a partir das leituras desse aparelho.

Deve-se escolher cuidadosamente o local de instalação desses instrumentos na lavoura, visto que refletem medidas pontuais (PIRES et al., 2001). Por este motivo, é recomendado o uso de tensiômetros em diferentes profundidades, em média, de três a quatro baterias de três tensiômetros cada uma, visando uma média representativa, devendo ser localizados onde se encontra a maior concentração de raízes efetivas na absorção de água. É

recomendada a instalação no interior das fileiras das culturas, para permitir o registro das variações da tensão de água desde o início do ciclo da planta no perfil de solo. Como regra geral, podem ser consideradas as seguintes faixas de tensão matricial de água no solo:

- a) 0-10 kPa – solo próximo à saturação. Leituras contínuas nessa faixa indicam irrigações em excesso, perda de água por drenagem profunda e deficiência de aeração para as raízes;
- b) 10-20 kPa – solo com excelente condição de umidade e boa aeração;
- c) 20-40 kPa – solo com boa condição de umidade e excelente aeração;
- d) 40-70 kPa – solo com limitada condição de umidade e excelente aeração;
- e) >70 kPa – solo com baixa disponibilidade de água e excelente aeração. Condição indicada apenas para plantas altamente tolerantes ao déficit de água e/ou estádios definidos de desenvolvimento de culturas específicas.

Dentre os outros métodos de controle de irrigação, o tensiômetro tem como vantagens o conhecimento em tempo real da tensão de água no solo; a facilidade de uso, desde que convenientemente instalado, mantido e interpretado, e o custo relativamente baixo, o que proporciona maior aplicabilidade por parte dos agricultores irrigantes.

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

2.4 Estratégia ótima de irrigação

O lucro, juntamente com o valor social, constitui o principal objetivo da empresa agrícola; portanto, o uso racional dos recursos disponíveis no processo de produção, de forma a se obter os mais altos níveis de rendimento econômico, deve ser considerado. Portanto, o uso das funções de resposta das culturas constitui fonte valiosa de informações a ser utilizada nos modelos de tomada de decisão, visando à otimização do uso dos fatores envolvidos na produção (MACIEL; DANTAS NETO; FERNANDES, 2007). A adoção de um sistema de irrigação deve ser estudada e analisada de forma detalhada, no que se refere a planejamento, dimensionamento, manejo e desenvolvimento da cultura. A irrigação pode trazer resultados excelentes, no que diz respeito à produtividade, porém, os riscos da adoção de uma agricultura irrigada devem ser criteriosamente avaliados, objetivando sempre a rentabilidade do empreendimento (SILVA et al., 2007).

Há escassez de informações e pesquisas em diversos temas relacionados à relação água-solo-planta em cafeicultura irrigada na região sul de Minas Gerais. Assim, devem ser realizados estudos sobre alguns aspectos, como a quantidade de água a ser aplicada de acordo com a cultivar e o solo, a resposta da cultura ao déficit e ao excesso de água e a lâmina ótima econômica, entre outros. Esses estudos, preferencialmente, deverão estar ligados à realidade do cafeicultor (SANTANA; OLIVEIRA; QUADROS, 2004). A maioria dos trabalhos de pesquisa envolvendo irrigação aponta para recomendações que objetivam a obtenção de produtividades físicas máximas, sem atentar para a economicidade. A utilização da irrigação, com base nessas informações, poderá dar o respaldo, do ponto de vista econômico, visto que o ótimo econômico, geralmente, não corresponde à máxima produtividade física.

Nos estudos econômicos relativos ao planejamento da irrigação, são indispensáveis as funções de produção (PALÁCIOS, 1981; VAUX JÚNIOR; PRUITT, 1983). A utilização das funções de produção permite encontrar soluções úteis na otimização do uso da água e dos fertilizantes na agricultura ou na previsão de rendimentos culturais. A função de resposta ou de produção das culturas é uma relação física entre as quantidades de certo conjunto de insumos e as quantidades físicas máximas que podem ser obtidas do produto, para dada tecnologia conhecida.

De acordo com Hoffman et al. (1987), a função de produção é representada pelo produto físico total (PFT), que pode ser definido como sendo a resposta da produção em função de aplicações crescentes de um fator variável, mantendo-se constantes os demais fatores produtivos do experimento. Dois conceitos são extraídos desta relação: o produto físico marginal (PFMa), que é o aumento no PFT decorrente do emprego de uma unidade adicional do fator variável e o produto físico médio (PFMe), que representa o quociente do produto físico total pelo número de unidades do fator variável, ou seja, é a produção média por unidade do fator variável.

A elasticidade de produção (e) é outro indicador econômico de interesse e mostra a variação percentual na produção decorrente da variação de 1% na quantidade empregada do fator variável. Esse tipo de relação pode ser classificado em fator-produto e fator-fator, sendo, no primeiro caso, considerado apenas um fator variável.

A função de produção pode ser dividida em três estágios, quanto ao uso do fator variável. No primeiro estágio (Estágio I), o produto físico marginal (PFMa) é maior que o produto físico médio (PFMe), sendo ambos positivos. Neste estágio, os fatores mantidos fixos no experimento estão em proporções muito altas em relação ao fator variável, sendo, por isso, antieconômico ou

irracional produzir nesse momento. A elasticidade de produção é maior que 1, no primeiro estágio.

O Estágio I termina e o segundo estágio (Estágio II) começa no ponto em que o PF_{Ma} é igual ao PF_{Me}. No Estágio II, o PF_{Ma} é menor que o PF_{Me}, sendo, também, ambos positivos. Neste estágio, o PF_{Me} é decrescente e a elasticidade de produção é maior do que zero e menor do que um ($0 < e < 1$). Esse estágio termina no ponto em que o PFT é máximo e, conseqüentemente, o PF_{Ma} e a elasticidade de produção são iguais a zero. É o chamado estágio racional de produção.

No terceiro estágio (Estágio III), o PF_{Ma} é negativo e, portanto, a elasticidade de produção também é negativa. Nesse estágio, tem-se uma proporção demasiadamente elevada do fator variável em relação aos fatores fixos e a produção estágio também é considerada antieconômica ou irracional.

A definição de um intervalo de irrigação, com base em uma função de produção conhecida, permite a utilização racional da irrigação com deficiência hídrica, ou seja, com o uso de menores lâminas de água aplicada (BLUM, 2009; ENGLISH, 1990; GRASSINI, 2009). Porém, vale lembrar que num mercado de “commodities”, como é o mercado agrícola, os preços nominais dos produtos e insumos sofrem amplas oscilações, influenciando a definição da estratégia ótima de irrigação. Assim, deve-se analisar a relação de preços P_p/P_a , em que P_p é o preço recebido pela unidade de produto e P_a , o preço pago pela unidade de água. Quando esta relação diminui a quantidade de água aplicada deve ser reduzida, e vice-versa, para que a receita líquida seja sempre máxima.

Na definição das estratégias ótimas de irrigação, com base na análise de funções de produção, duas situações podem ser consideradas. São elas: a) a disponibilidade de terra como único fator limitante da produção – e, neste caso, a água pode ser adquirida e aplicada a um custo unitário constante; a regra de otimização agroeconômica preconiza que a lâmina aplicada deva maximizar a

receita líquida por unidade de área e b) a disponibilidade de água como único fator que limita a produção; nesta condição, a quantidade de terra é relativamente abundante e não limitante. O objetivo da otimização é atingir a máxima receita líquida por unidade de volume de água (FRIZZONE, 1993). Para a determinação da lâmina ótima econômica, é calculada a receita líquida proporcionada por tais lâminas, adotando-se aquela que proporciona maior lucro (CASTRO; FARIA; SILVA, 2002).

No processo de tomada de decisão sobre o manejo da irrigação, é importante considerar o custo da água. Quando água se torna fator limitante à produção, a água economizada, irrigando-se com lâminas menores, pode ser utilizada para irrigar uma quantidade adicional de terra, possibilitando um aumento no lucro, o que corresponde ao custo de oportunidade da água (BOSH et al., 1987; ENGLISH, 1990). Sendo esse um recurso escasso e caro (outros recursos devem ser sacrificados para aumentar a sua disponibilidade), é justificável fazer investimento visando a potencialização econômica de seu uso. Os técnicos denominam esse custo da água de custo de oportunidade, o qual nem sempre é expresso em valor monetário (preço) e sim em espécie (produtividade).

Desde que a receita bruta seja igual à produção da cultura multiplicada por uma constante (o preço do produto), a relação entre o uso da água de irrigação e a receita bruta tem a mesma forma geral de curva produção água-produto, ou seja, uma função curvilínea (FRIZZONE, 1993).

Este novo enfoque, o qual pode ser descrito como “otimização”, considera explicitamente fatores econômicos (tais como custos e lucros) que não são considerados no manejo da irrigação originalmente concebido e que tem sido geralmente praticado (visando maximizar a produtividade). Do ponto de vista econômico, uma irrigação ótima implica em menores lâminas aplicadas em relação à irrigação plena, com conseqüente redução da produtividade da cultura, mas com algumas vantagens significativas. Seus benefícios potenciais advêm de

três fatores, que são: aumento da eficiência da irrigação, redução dos custos da irrigação e redução dos riscos associados aos impactos ambientais adversos da irrigação plena. Muitos pesquisadores, entre eles Calheiros et al. (1996), English (1990), Frizzone et al. (1997), Paz et al. (2002) e Queiroz et al. (1996), analisaram os benefícios econômicos da irrigação ótima em circunstâncias específicas e concluíram que a técnica pode aumentar a receita líquida proporcionada pelas culturas irrigadas.

Andrade Junior (2001) e Queiróz et al. (1996) citam que a quantidade de água a ser utilizada na irrigação pode ser selecionada no ponto da região econômica de produção em que o valor da produtividade física marginal da água é igual ao seu preço. English (1990), considerando apenas dois níveis de preços do trigo (US\$0,0996/ha e US\$0,1470/ha), encontrou faixas de maior produtividade da irrigação com déficit entre 35% e 56% da irrigação completa.

Queiróz et al. (1996), trabalhando com feijão irrigado, verificaram que o nível de 90 kg/ha de N proporcionou a maior renda líquida por unidade de área (US\$ 510,40/ha), apresentando um intervalo de manejo racional de água de 400 a 600 mm. Níveis de 60 a 120 kg de N apresentaram intervalos de manejo racional da água entre 449 a 567 mm e entre 452 a 552 mm, respectivamente. Estes autores verificaram, ainda, que uma relação de $P_w/P_i < 1$ (preço da água/preço do feijão) é um indicativo da viabilidade econômica da irrigação. Quanto menor for essa relação, menor deverá ser o déficit no manejo de irrigação. Dependendo da situação, mesmo a aplicação da lâmina ótima pode não justificar o investimento com a irrigação.

Em trabalho realizado com alface americana, em Lavras, MG, Silva, Teodoro e Melo (2008) observaram que a aplicação de 205,26 mm de água e de 257,14 kg/ha de nitrogênio possibilitou estimar produtividade máxima econômica de 26.959,93 kg/ha, que correspondeu à obtenção do lucro máximo, considerando os preços dos fatores água (R\$ 0,44/mm), nitrogênio (R\$ 2,09/kg)

e da alface americana (R\$ 0,80/kg), e a produtividade física máxima de 27.004,49 kg/ha foi estimada com 208,03 mm e 290,5 kg/ha de nitrogênio.

Quando a água constitui fator limitante à produção agrícola, a utilização de irrigação com déficit permite maior retorno econômico do que a irrigação completa (ENGLISH, 1990). A definição de um intervalo de manejo de irrigação a partir de uma função de produção conhecida permite a utilização racional da irrigação com déficit.

Vaux Júnior e Pruitt (1983) afirmam que podem ser identificados três conceitos gerais para definir as estratégias ótimas de irrigação. O primeiro tem o objetivo de estabelecer o nível de irrigação para se alcançar a produtividade máxima, deixando implícito que a disponibilidade de água não é fator limitante; o segundo tem o objetivo de maximizar a eficiência de uso da água, ou seja, maximizar a produtividade da cultura por unidade de volume de água aplicada, pressupondo-se que a disponibilidade de água seja fator limitante da produção e o terceiro propõe que a quantidade de água a ser utilizada na irrigação seja selecionada no ponto da região econômica de produção no qual o valor da produtividade marginal da água for igual a seu preço, pressupondo que a disponibilidade de terra seja fator limitante da produção, de modo que a estratégia ótima de irrigação seja maximizar a receita líquida por unidade de área.

Calheiros et al. (1996) verificaram que a irrigação com déficit em situações em que a água é fator limitante é uma estratégia importante no planejamento da irrigação, representando grande economia de água e de capital e proporcionando produção e renda líquida economicamente satisfatórias. Estes autores verificaram que o manejo da irrigação com aplicação da lâmina ótima, para o intervalo de variação de preços considerado, resultou numa maior economia de água, de 0,5% a 42% da lâmina máxima. A variação do preço do produto influenciou a definição de estratégias ótimas de irrigação, sendo que, à

medida que o preço diminuiu, o manejo da irrigação com aplicação de lâminas próximas da ótima resultou em maior economia de água.

O aumento da dependência de irrigação coincide com a aceleração da competição por água e uma crescente preocupação sobre os efeitos ambientais da irrigação. Esses fatores levam a reconsiderar o que é, talvez, o preceito mais fundamental da prática de irrigação convencional, que a exigência de água das culturas deve ser suprida a fim de atingir o rendimento máximo das culturas por unidade de terra. Porém, a agricultura irrigada terá de ser adaptada a um novo paradigma de gestão baseado em um objetivo de maximização econômica, em vez do objetivo de maximizar os rendimentos. Identificar as estratégias de irrigação ideal vai exigir modelos mais detalhados das relações entre a água aplicada, a produção agrícola e a eficiência de irrigação. Os fatores econômicos, como os custos de oportunidade da água, terão de ser explicitamente incorporados na análise (GROVE; OOSTHUIZEN, 2010).

Para Frizzone (2004), a irrigação deve atender plenamente à demanda de água da cultura, que é um problema relativamente simples e claramente definido, com um objetivo único. Entretanto, uma mudança fundamental deverá ocorrer nas práticas da irrigação nos próximos anos, em decorrência das pressões econômicas sobre os agricultores, da crescente competição pelo uso da água e dos impactos ambientais da irrigação. Tais fatores deverão motivar uma mudança de paradigma da irrigação, enfocando-se mais a eficiência econômica do que a demanda de água da cultura.

2.5 Margem de contribuição

O conceito de margem de contribuição pode ser extraído do método do custeio variável, que se caracteriza por apropriar aos produtos e serviços somente os custos e despesas variáveis, enquanto as despesas e os custos fixos

ficam separados. Assim, os gastos fixos são considerados despesas do período, indo diretamente para o resultado. Dessa forma, cabem aos produtos apenas os elementos variáveis (MARTINS; ROCHA, 2006; SARAIVA; RODRIGUES; COSTA, 2008).

Vários são os conceitos da margem de contribuição, como:

- a) diferença entre o valor das vendas, os custos variáveis e as despesas variáveis da venda (OLIVEIRA, 2005);
- b) diferença entre o preço de venda e a soma das despesas e custos variáveis de um produto ou serviço (FISCHER; MELO, 2006);
- c) é calculada pela diferença entre o preço de venda e os custos variáveis, e, desse valor, podem-se retirar a margem de contribuição unitária e percentual de cada produto (WERNKE; LEMBECK, 2006);
- d) é a diferença entre a receita e a soma de custos e despesas variáveis, fazendo com que seja evidenciado o valor que cada unidade produzida, linha de produto, pedido ou cliente proporciona à empresa de sobra entre a sua receita e o custo que, de fato, tenha provocado (MARTINS; ROCHA, 2003).

No caso específico deste estudo, o conceito 2 é o que melhor representa a margem de contribuição, a qual foi calculada pela diferença entre o preço de venda do quilograma do café beneficiado cru e a soma das despesas referentes à aplicação de água via irrigação. Assim, os outros custos variáveis utilizados no experimento, bem como os custos de depreciação dos recursos fixos e os custos do capital aplicado na atividade cafeeira, a exemplo do arrendamento da terra e o *pro labore* do administrador, não foram computados nesta estimativa de rentabilidade econômica.

De acordo com Martins e Rocha (2006), a margem de contribuição torna a potencialidade de cada produto mais visível, mostrando como cada um contribui para amortizar os custos e as despesas fixas para, depois, formar o lucro. Segundo Oliveira (2005), a margem de contribuição pode ser utilizada de duas formas, que são:

- a) margem de contribuição objetivada: utiliza, para a formação do preço de venda, um percentual desejado pelo gestor de preços – método utilizado nas indústrias, no qual o fabricante calcula a margem de lucro pretendida para se chegar ao preço do produto. O preço do produto é estabelecido pelo fabricante;
- b) margem do preço de venda fixado pelo mercado – é o caso da produção agrícola, em que o preço do produto é ditado pelo mercado, ou seja, o produto é uma commodity.

Enquanto a margem de contribuição objetivada utiliza um percentual de lucro desejado, a margem de contribuição fixada pelo mercado é realizada a partir do preço de venda do produto no mercado. Assim, deduzindo o preço de venda das despesas variáveis e do preço de custo do produto, chega-se a uma margem de contribuição praticada pelo mercado (OLIVEIRA, 2005). Dessa maneira, com a margem de contribuição aplicada pelo mercado, não é o gestor que atribui uma margem desejada para ganhar mais ou menos no produto e, sim, é o mercado que estipula a margem de acordo com a concorrência e com o valor percebido pelo cliente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área do experimento

O ensaio foi conduzido em área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras/MG. As coordenadas geográficas da área são: latitude de 21°15'S, longitude de 45°00'W e altitude média de 918 m. O clima do município é do tipo Cwa, segundo Köppen (mesotérmico com verões brandos e suaves e estiagem de inverno). A precipitação e a temperatura médias anuais são de 1.460 mm e 20,4°C, respectivamente (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

3.2 Instalação, condução e tratos culturais

O plantio foi realizado em 3 de janeiro de 2001, utilizando-se mudas sadias de cafeeiro, cultivar Rubi MG-1192. O solo, um Latossolo Vermelho-Escuro Distroférrico, foi analisado quanto às suas características físicas, hídricas e químicas, para a instalação da cultura no campo.

As características físicas, químicas e de fertilidade do solo, por ocasião do plantio, são apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 Resultado da análise física do solo da área experimental⁽¹⁾

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

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

Tabela 2 Resultados da análise química do solo da área experimental⁽¹⁾

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

⁽¹⁾ Análise realizada no Departamento de Ciência do Solo da UFLA. S = soma de bases, t = C. T. C. efetiva, T = C. T. C. a pH 7,0, m = saturação por alumínio, V = saturação por bases, M. O. = matéria orgânica

Tratos culturais, como capinas e controle de pragas e doenças, foram realizados conforme a necessidade e a recomendação técnica, com a associação de métodos de manejo, durante as diferentes fases da cultura. O tratamento fitossanitário utilizado constou de aplicação de fungicidas para controle da ferrugem e outras doenças, e de inseticidas e acaricidas para o controle do bicho-mineiro, broca, lagartas e ácaros. A calagem e as adubações foram realizadas de acordo com análise de solo e de planta, seguindo as recomendações de Guimarães et al. (1999) para o cafeeiro e adaptadas conforme Santinato e Fernandes (2002), para a cultura irrigada. Anualmente, ao longo do período de avaliações, foram realizadas análises do estado nutricional das plantas segundo critérios descritos em Malavolta (1981) e análises químicas do solo. Os micronutrientes foram fornecidos via adubação foliar. Os dados meteorológicos foram monitorados diariamente, por meio de uma estação meteorológica local (μ Metos[®]).

3.3 Tratamento e delineamento experimental

Foram utilizadas cinco lâminas de irrigação correspondentes a diferentes manejos determinantes do momento de irrigação, mais uma testemunha não irrigada, em quatro densidades de plantio do cafeeiro.

Os tratamentos foram: não irrigada (T0), irrigações quando a tensão de água no solo atingiu valores próximos a 20 kPa (T1), 60 kPa (T2), 100 kPa (T3) e 140 kPa (T4) e irrigação pelo balanço hídrico climatológico (BHC), com turnos de rega fixos de dois e três dias (T5). As densidades de plantio foram: 2.500 plantas ha⁻¹, no espaçamento de 4,0 x 1,0 m (D1); 3.333 plantas ha⁻¹, no espaçamento de 3,0 x 1,0 m (D2); 10.000 plantas ha⁻¹, no espaçamento de 2,0 x 0,5 m (D3) e 20.000 plantas ha⁻¹, no espaçamento de 1,0 x 0,5 m (D4).

Para cada densidade de plantio foram avaliadas as cinco lâminas correspondentes aos cinco manejos de irrigação mais a testemunha. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, num total de 24 tratamentos em cada densidade. Cada parcela experimental foi constituída de dez plantas, sendo consideradas úteis as oito centrais, perfazendo um total de 240 plantas em cada densidade de plantio. Foram utilizadas, ainda, linhas de bordaduras laterais em cada densidade. Entre cada parcela de irrigação da densidade de 20.000 plantas por hectare (1,0 x 0,5 m), foi plantada uma linha de bordadura, com o objetivo de evitar uma possível interferência de um tratamento de irrigação sobre o outro, uma vez que neste menor espaçamento tal fato poderia ocorrer, dependendo do tipo de gotejador (vazão), do volume de água a aplicar e do tipo de solo.

3.4 Irrigação

O sistema de irrigação constou de uma unidade central de controle (sistema de bombeamento, filtros de areia e tela, injetor de fertilizantes, manômetros e conexões), linha principal de tubos PVC, PN80, linhas de derivação de PVC, PN 40, linhas laterais com tubo flexível de polietileno, PN 40, gotejadores e registros. O sistema foi avaliado, periodicamente, quanto à uniformidade de distribuição de água. A irrigação de cada tratamento em cada densidade foi controlada por meio de registros referentes às quatro repetições, instalados numa caixa de alvenaria. Foram utilizados gotejadores de vazão 3,78L/h, espaçados de 0,3 m, nas linhas.

3.5 Manejo da irrigação

A umidade do solo foi indiretamente monitorada por meio do uso de tensiômetros de punção digital e blocos porosos (leitor digital de resistência elétrica). Nos tratamentos em que as tensões aplicadas superaram àquelas indicadas para o uso do tensiômetro (80 kPa), foram utilizados os blocos de resistência porosos (Water Mark-Irrrometer®) que foram previamente calibrados para as condições de solo específicas do experimento. Os tensiômetros e os blocos porosos foram instalados às profundidades de 10, 25, 40, 60, 80 e 100 cm. A irrigação de cada tratamento de irrigação ocorreu quando a leitura de tensão de água à profundidade de 25 cm indicou a tensão de irrigação relativa àquele tratamento. A tensão de água no solo representa a força de retenção da água pelo solo. Dessa maneira, quanto maior o valor absoluto da tensão, maior é esta força e menor é a quantidade de água disponível para a planta. Na capacidade de campo, o solo em questão apresenta tensão em torno de -10 kPa e, à medida que o solo começa a secar, a tensão aumenta (em valores absolutos). A

correspondência entre tensão de água no solo e umidade foi obtida por meio das curvas características de umidade do solo, determinadas em laboratório para as diferentes profundidades consideradas (Tabela 3).

Tabela 3 Equações da curva característica de retenção da água no solo, segundo o modelo de Genuchten e Nielsen (1985), para as camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm ($\theta = \text{cm}^3/\text{cm}^3$)

Camada de solo (cm)	Equação da curva característica (Ψ)	R ²
0-20	$\theta = 0,223181 + \frac{0,340456}{\left[1 + 0,027793 \cdot \Psi_m \right]^{2,031813 \cdot 0,287954}}$	0,993
20-40	$\theta = 0,239476 + \frac{0,350076}{\left[1 + 0,035177 \cdot \Psi_m \right]^{2,903507 \cdot 0,298648}}$	0,991
40-60	$\theta = 0,205741 + \frac{0,454637}{\left[1 + 0,141522 \cdot \Psi_m \right]^{3,3333909 \cdot 0,150509}}$	0,988

3.6 Características avaliadas

3.6.1 Produtividade de café beneficiado (sacas ha⁻¹)

A colheita foi realizada quando restavam, no máximo, cerca de 20% de frutos ainda verdes, por meio de derraça no pano. A produção do café colhido por varrição também foi quantificada na análise, separadamente, e somada, por fim, ao café colhido no pano. Ao final, foi obtida a produtividade em sacas ha⁻¹ para cada tratamento de irrigação, nas diferentes densidades de plantio. Foram

analisados quatro anos de produções. Devido à característica de o cafeeiro apresentar um ano de produção alta e um ano de produção baixa, para análise, as produções foram agrupadas duas a duas, formando os biênios. Cada biênio constou de uma safra alta e uma baixa.

3.7 Modelo de análise

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (BANZATTO; KRONKA, 1988), utilizando-se o programa SISVAR® (FERREIRA, 2000). Quando o fator lâmina foi significativo, um modelo de regressão não linear de segunda ordem (HEXEM; HEADY, 1978) foi ajustado, para se obter as funções de produção (FRIZZONE, 1998), estabelecendo-se, assim, uma relação técnica entre os fatores estudados “lâminas de irrigação aplicadas pelos diferentes manejos” *versus* “produtividade de café beneficiado (sacas ha⁻¹)” para cada densidade de plantio.

3.8 Análise de rentabilidade

A análise de rentabilidade do experimento foi feita considerando-se as seguintes situações: (i) as lâminas médias acumuladas *versus* as produtividades médias acumuladas em cada biênio e densidade de plantio e (ii) as lâminas médias totais aplicadas *versus* produtividades médias das quatro safras (duas de baixa e duas de alta), para as diferentes densidades de plantio.

3.8.1 Lâmina econômica ótima

O estudo da lâmina de irrigação economicamente ótima para a produtividade do cafeeiro foi desenvolvido apenas dentro das densidades de

plântio em que a resposta das lâminas de irrigação foi representada por um modelo polinomial de segundo grau, ou seja, uma função quadrática do tipo

$$Y_i = a + bL + c L^2 \cdot \left(1 + 1.57 - \frac{CUC}{100}\right)^2 \quad (1)$$

em que

Y = estimativa da produtividade de café beneficiado (kg ha⁻¹);

L = lâmina total aplicada (mm);

a, b e c = parâmetros de ajuste da equação em respectivamente: kg ha⁻¹, kg/(ha mm) e kg/(ha mm²), sendo c menor que zero;

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen (CHRISTIANSEN, 1942) que, para o sistema utilizado, foi de 100%;

1,57 = fator de correção do CUC.

3.8.2 Produto físico marginal (PFMa)

Com base nas equações obtidas em cada biênio e para a média dos quatro anos, foram obtidos os produtos físicos marginais (PFMa) da água. Conforme definido, o produto físico marginal (PFMa) de um fator representa o acréscimo na produção resultante do uso de uma unidade a mais desse fator, permanecendo constantes outros fatores. Gráficamente, o PFMa representa a inclinação do produto total ou da função de produção em um determinado nível do fator variável e é indicador de eficiência econômica do experimento.

A eficiência econômica é dada pela igualdade do produto físico marginal (PFMa) da função de resposta com a relação de preços do fator variável e do produto (P_L/P_Y) (REIS, 1999). Isso significa que, se o preço do fator aumenta, permanecendo constante o preço do produto, há uma redução na dose econômica

desse fator e, se o preço diminui, ocorre um aumento na dosagem econômica do fator.

O produto físico marginal (PFMa) é obtido derivando-se a função representativa do produto físico total (PFT) em relação ao fator variável, representada pela equação 2, ou seja,

$$\frac{dY}{dL} = b - 2cL = \frac{P_L}{P_Y} \quad (2)$$

Uma vez que, no ponto de máximo de uma função, a sua derivada é igual a zero, quando o produto físico total (PFT) for máximo, o PFMa é igual a zero. Nesse ponto, a elasticidade de produção (E) também é igual a zero. Essa elasticidade é a relação entre o PFMa e o produto físico médio (PFMe), sendo este a produtividade média do fator variável.

O produto físico médio (PFMe) de um recurso pode ser expresso pela relação entre a quantidade produzida (PFT) e a quantidade do recurso utilizado. Normalmente, o produto médio se refere à utilização dos recursos variáveis. Quando a função de produção é linear, o produto médio é constante. Se a função de produção apresenta rendimentos decrescentes, o produto médio será sempre decrescente à medida que a quantidade do fator variável aumenta, e vice-versa. Se a função apresenta, ao mesmo tempo, rendimentos crescentes e decrescentes, o produto médio será crescente no início, atingirá um máximo e depois diminuirá.

3.8.3 Funções de produção

A aplicação do modelo dado pela equação 3, nos pares médios de lâmina e produtividade observados nas densidades de plantio em cada biênio,

considerando o coeficiente de uniformidade de Christiansen de 100% obtido para o sistema de gotejamento utilizado, resultou nas seguintes expressões:

Biênio 1

$$Y_{2500 \text{ pl ha}^{-1}} = 2498,040564 + 6,273911L - 5,77 \times 10^{-3} L^2 \cdot 1 + 1,57 \left(1 - \frac{UC}{100}\right)^2$$

$$R^2 = 0,88^{*(0,10)} \quad (3a)$$

$$Y_{3333 \text{ pl ha}^{-1}} = 3668,471055 + 3,636102L - 3,42 \times 10^{-3} L^2 \cdot 1 + 1,57 \left(1 - \frac{UC}{100}\right)^2$$

$$R^2 = 0,71^{ns} \quad (3b)$$

$$Y_{10000 \text{ pl ha}^{-1}} = 5449,479160 + 8,753641L - 4,35 \times 10^{-3} L^2 \cdot 1 + 1,57 \left(1 - \frac{UC}{100}\right)^2$$

$$R^2 = 0,65^{**} \quad (3c)$$

$$Y_{20000 \text{ pl ha}^{-1}} = 5217,912214 + 11,250223L - 4,78 \times 10^{-3} L^2 \cdot 1 + 1,57 \left(1 - \frac{UC}{100}\right)^2$$

$$R^2 = 0,92^{**} \quad (3d)$$

Biênio 2

$$Y_{2500 \text{ pl ha}^{-1}} = 4310,471183 + 8,584099L - 7,20 \times 10^{-3} L^2 \cdot 1 + 1,57 \left(1 - \frac{UC}{100}\right)^2$$

$$R^2 = 0,67^* \quad (4a)$$

$$Y_{3333 \text{ pl ha}^{-1}} = 5605,512236 + 1,262837L - 5,60 \times 10^{-4} L^2 \cdot 1 + 1,57 \left(1 - \frac{UC}{100}\right)^2$$

$$R^2 = 0,76^{ns} \quad (4b)$$

$$Y_{10000 \text{ pl ha}^{-1}} = 8781,183010 + 3,541671L - 1,46 \times 10^{-3} L^2 \cdot 1 + 1,57 \left(1 - \frac{UC}{100}\right)^2$$

$$R^2 = 0,32^{ns} \quad (4c)$$

$$Y_{20000\text{ pl ha}^{-1}} = 8155,136352 + 3,544514L - 1,48 \times 10^{-3} L^2 \cdot 1 + 1,57 \cdot 1 - \frac{UC}{100}^2$$

$$R^2 = 0,64^{*(0,10)} \quad (4d)$$

Média dos dois biênios

$$Y_{2500\text{ pl ha}^{-1}} = 1699,254062 + 7,060501L - 1,24 \times 10^{-2} L^2 \cdot 1 + 1,57 \cdot 1 - \frac{UC}{100}^2$$

$$R^2 = 0,79^* \quad (5a)$$

$$Y_{3333\text{ pl ha}^{-1}} = 2332,561394 + 2,221512L - 3,00 \times 10^{-3} L^2 \cdot 1 + 1,57 \cdot 1 - \frac{UC}{100}^2$$

$$R^2 = 0,79^{ns} \quad (5b)$$

$$Y_{10000\text{ pl ha}^{-1}} = 3599,033379 + 5,992026L - 5,48 \times 10^{-3} L^2 \cdot 1 + 1,57 \cdot 1 - \frac{UC}{100}^2$$

$$R^2 = 0,48^* \quad (5c)$$

$$Y_{20000\text{ pl ha}^{-1}} = 3375,636040 + 7,221272L - 6,19 \times 10^{-3} L^2 \cdot 1 + 1,57 \cdot 1 - \frac{UC}{100}^2$$

$$R^2 = 0,79^{**} \quad (5d)$$

3.8.4 Margem de contribuição

Peri, Hart e Norun (1979) introduziram o conceito de lâmina ótima econômica, no caso da irrigação, por meio do qual a lâmina a ser aplicada deveria ser determinada em função da rentabilidade obtida com uma dada irrigação. Neste estudo, esta receita passou a ser denominada margem de contribuição (*MC*) (item 2.5), uma vez que os custos fixos e o custo alternativo não estão sendo incluídos. Dessa forma, é expressa pela função

$$MC = P_Y - CopVMe \quad (6)$$

em que

MC = margem de contribuição (R\$ sc^{-1});

$$CopVMe_L \text{ (Custo operacional variável médio)} = \frac{CopVT}{Y}$$

$$CopVT \text{ (Custo operacional variável total)} = P_L \times L$$

L = lâmina total de água aplicada (mm);

Y = produção (saca);

P_Y = preço do produto (R\$/kg de café beneficiado);

P_L = preço do fator água (R\$/mm);

Neste estudo, os custos dos fatores fixos (terra, formação da lavoura, máquinas e benfeitorias), os custos do capital investido, bem como os custos de operações agrícolas que não dependem da quantidade produzida e os outros custos variáveis (mão de obra, insumos e tratamentos culturais), exceto o custo de aplicação da água, não foram considerados na equação da margem de contribuição. A análise operacional desenvolvida neste estudo serve, portanto, para identificar o melhor manejo de irrigação para diferentes densidades de plantio do cafeeiro.

3.8.5 Preço do produto (P_y)

O preço do produto, P_y , representa o preço da venda do quilo de café beneficiado por unidade de produção. A estimativa foi feita com base no preço mínimo de café, em 2013, de R\$307,00 por saca de 60 kg, aprovado pelo Conselho Monetário Nacional (CMN) e publicado no Diário Oficial da União (DOU) no dia 20/05/2013. Este valor é destinado ao café arábica tipo 6, bebida dura para melhor, com até 86 defeitos, peneira 13 acima, admitindo-se até 10% de vazamento e teor de umidade de até 12,5%.

3.8.6 Custo variável de aplicação da água (P_L)

A aplicação de uma lâmina de 1 mm em uma área de 1 hectare equivale à aplicação de um volume de $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. O preço estimado da aplicação de água (P_L), que representa o custo do volume unitário de água, pode ser estimado com base no trabalho requerido para aplicação deste volume e na tarifa de energia elétrica correspondente ao trabalho executado, de acordo com a equação (7).

$$P_L = 10 \frac{\text{m}^3}{\text{mm} \times \text{ha}} \times \frac{HMT \times \gamma}{\eta \times 3,6 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kWh}}} \times TE \quad (7)$$

em que

$10 \frac{\text{m}^3}{\text{mm} \text{ ha}}$ e $3,6 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kWh}}$ = constantes para a conversão das unidades utilizadas;

P_L = custo variável de aplicação de água $\frac{\text{R\$}}{\text{mm ha}}$;

HMT = altura manométrica total (m);

γ = peso específico do líquido bombeado (9810 N m^{-3});

η = rendimento do conjunto motobomba (%);

TE = tarifa de energia elétrica $\frac{\text{R\$}}{\text{kWh}^{-1}}$;

Os valores dos parâmetros que determinam a parcela variável do custo de aplicação de água foram estimados considerando um valor mínimo e um valor máximo, no intuito de se calcular o P_L para valores extremos, da seguinte forma:

- a) para altura manométrica total, foram considerados o valor mínimo de 30 m e o máximo de 100 m;

- b) para o rendimento do conjunto motobomba, foram considerados valores mínimo e máximo de 0,6 e 0,9, respectivamente;
- c) para a tarifa elétrica, que depende da região, do tipo do consumidor, da estação do ano e do horário de funcionamento do conjunto motobomba, foi considerada uma faixa de valores fixados com base no valor médio informado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2013), do quilowatt-hora pago durante o ano de 2012, pelos consumidores rurais irrigantes da região sudeste (R\$168,57/MWh < TE < R\$419,50 / MWh).

Tendo em vista que o P_L depende de diferentes combinações de valores assumidas pelos parâmetros HMT , η e TE , foi considerado um valor médio de $P_L = \text{R}\$1,21 \text{ (mm.ha}^{-1}\text{)}$.

Menor valor de P_L

$$P_{L \text{ mín}} = 10 \frac{\text{m}^3}{\text{mm} \times \text{ha}} \times \frac{30 \text{ m} \times 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}}{0,9 \times 3,6 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kWh}}} \times 0,17 = \mathbf{0,18} \frac{\text{R}\$}{\text{mm.ha}} \quad (7a)$$

Maior valor de P_L

$$P_{L \text{ máx}} = 10 \frac{\text{m}^3}{\text{mm} \times \text{ha}} \times \frac{100 \text{ m} \times 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}}{0,6 \times 3,6 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kWh}}} \times 0,42 = \mathbf{2,25} \frac{\text{R}\$}{\text{mm.ha}} \quad (7b)$$

Valor médio de P_L

$$P_{L \text{ méd}} = \frac{P_{L \text{ mín}} + P_{L \text{ máx}}}{2} = \frac{0,18 + 2,25}{2} = \mathbf{1,21} \frac{\text{R}\$}{\text{mm.ha}} \quad (7c)$$

Corroboram o valor mínimo da TE (kWh^{-1}) encontrado ($\text{R}\$0,17/\text{kWh}$) os resultado dos trabalhos realizados por Evangelista et al. (2011) e Turco, Rizzatti e Pavani (2009), que trabalharam com valores de TE igual a $\text{R}\$0,14 \text{ kWh}^{-1}$ e $\text{R}\$0,17634 \text{ kWh}^{-1}$, respectivamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Lâminas por irrigação e produtividades

As lâminas médias acumuladas (mm) correspondentes aos diferentes manejos de irrigação e as respectivas produtividades médias acumuladas em cada biênio, além da média das quatro safras utilizadas para estudo da viabilidade técnica e margem de contribuição da irrigação do cafeeiro, são apresentadas na Tabela 4.

Os resultados de produtividade de café beneficiado obtida em cada biênio e nas quatro safras em cada densidade de plantio foram submetidos à análise de variância (Tabela 5).

Em função da alteração no microclima que ocorre em cada sistema de plantio, existem, conseqüentemente, uma alteração na evapotranspiração da cultura e demanda hídrica. A partir daí, as mudanças no padrão de desenvolvimento vegetativo e produção são esperadas (CARVALHO et al., 2006; PREZOTTI; ROCHA, 2004).

Tabela 4 Produtividade média (sacas ha⁻¹) e lâminas de irrigação (mm), médias acumuladas em cada biênio (entre safras, jun-jun) e média de quatro safras, nas diferentes densidades de plantio (plantas ha⁻¹)

Dens. de plantio (planta ha ⁻¹)	Produtividade (saca. ha ⁻¹) e lâminas de irrigação (mm)					
	Não irrigado	140 kPa	100 kPa	60 kPa	20 kPa	BHC
Biênio 1						
2500	40,9 (0,0)	53,7 (145,3)	60,9 (236,9)	68,2 (251,2)	62,3 (387,4)	70,2 (640,4)
3333	60,6 (0,0)	75,3 (228,1)	73,1 (212,5)	67,8 (316,0)	79,6 (460,3)	75,1 (717,0)
10000	79,8 (0,0)	142,2 (365,4)	174,0 (555,9)	159,5 (735,1)	132,6 (1018,2)	151,9 (1558,7)
20000	86,4 (0,0)	198,3 (868,8)	183,2 (1109,2)	199,3 (1318,7)	157,3 (1740,3)	191,4 (1704,9)
Biênio 2						
2500	70,3 (0,0)	80,8 (71,9)	81,2 (146,9)	104,3 (142,5)	95,7 (236,8)	101,6 (925,6)
3333	96,0 (0,0)	93,9 (127,7)	96,0 (186,2)	94,8 (195,5)	103,1 (378,9)	105,1 (1195,8)
10000	124,8 (0,0)	169,2 (120)	177,7 (258,0)	162,7 (280,8)	157,9 (606,5)	175,8 (1778,1)
20000	128,1 (0,0)	170,4 (385,4)	168,3 (812,3)	160,2 (560,4)	159,6 (1178,9)	168,3 (1753,4)
Média das 4 safras						
2500	27,8 (0,0)	33,6 (54,3)	35,55 (95,9)	43,15 (98,4)	39,5 (156,0)	42,95 (391,5)
3333	39,15 (0,0)	42,3 (88,9)	42,3 (99,7)	40,65 (127,8)	45,65 (209,8)	45,05 (478,2)
10000	51,15 (0,0)	77,85 (121,3)	87,95 (203,5)	80,55 (253,9)	72,65 (406,2)	81,9 (834,2)
20000	107,2 (0,0)	184,4 (313,8)	175,8 (469,8)	179,8 (480,45)	158,4 (729,8)	179,8 (864,61)

As precipitações acumuladas, considerando o período entre safras (junho-junho), foram de 2.822,0 mm, para o biênio 1; de 2.987,0 mm, para o biênio 2 e de 1.452,2 mm, na média, por ano, das quatro safras avaliadas.

Tabela 5 Análise de variância para produtividade média acumulada de café beneficiado (kg ha^{-1}), em função de diferentes lâminas de irrigação e densidades de plantio, para dois biênios e média de quatro safras

FV	GL	QM	QM	QM	QM
		2500	3333	10000	20000
Biênio 1					
Lâminas	5	1677593,6*	655685,3 ^{ns}	15448815,0**	27195122,8**
Bloco	3	443291,0	98963,3	4839692,9	4659432,8
Erro	15	484166,2	601994,4	3446801,9	3813397,0
Total	23				
CV(%)		19,54	17,98	22,10	19,22
Biênio 2					
Lâminas	5	2637795,7*	317606,9 ^{ns}	5433451,4*	3632599,5 ^(*)
Bloco	3	1097889,9	369965,9	1542375,3	166450,8
Erro	15	910318,0	351212,8	1782157,1	1774695,7
Total	23				
CV(%)		17,87	10,06	13,79	13,95
Média					
Lâminas	5	512147,8*	89633,9 ^{ns}	2384507,1**	3100711,5**
Bloco	3	68822,1	7939,3	633719,3	225543,7
Erro	15	157025,2	67987,9	504948,4	542276,9
Total	23				
CV(%)		17,81	10,22	15,72	14,95

** Significativo pelo teste F a 1%; *Significativo pelo teste F a 5%; (*) significativo pelo teste F a 12%

Com exceção da densidade de 3.333 plantas ha^{-1} e em diferentes níveis de significância houve influência das lâminas de irrigação sobre a produtividade de café beneficiado, para os biênios e para as quatro safras avaliadas. Um modelo polinomial de segundo grau foi ajustado aos dados, de forma a se obter as funções de produção pelas quais se determinaram os pontos de produtividade máxima, conforme descrito no item 4.2.

4.2 Estratégia ótima da irrigação

Na atividade de irrigação, a água é o recurso natural sobre o qual se tem maior interesse em exercer controle para alterar seu padrão de disponibilidade

espacial e temporal, adequando-o à demanda agrícola. Nos estudos de viabilidades técnica e econômica relativos ao planejamento da irrigação, o uso das funções de produção ou resposta da cultura torna-se indispensável.

A função de resposta ou de produção das culturas, aplicada à economia (FRIZZONE; ANDRADE JUNIOR, 2005), neste estudo, refere-se à relação física entre as quantidades utilizadas do insumo água e as quantidades físicas máximas obtidas do produto café beneficiado, para o emprego da tecnologia da irrigação. Nas funções de produção estabelecidas (Figuras de 1 a 12), variou-se um único fator, no caso a água e mantiveram-se os demais fatores constantes (adubação, produtos fitossanitários e demais custos variáveis e fixos). Os rendimentos obtidos de café beneficiado em função do ajuste quadrático assumiram uma relação praticamente linear, quando o fator água foi dependente apenas da ocorrência de precipitação. Porém, como, ao longo dos anos, a chuva varia quanto à sua intensidade e distribuição, esse comportamento dependerá também das especificidades de resposta da planta (tolerância da cultivar ao déficit hídrico, por exemplo). Com o aumento no fornecimento da água por irrigação, a produtividade de café beneficiado assumiu valores crescentes proporcionais à quantidade de água aplicada até atingir seu máximo. A partir daí, qualquer acréscimo por água de irrigação não proporcionou incrementos na produtividade do café beneficiado e a função assumiu valores decrescentes.

Portanto, os comportamentos verificados para cada biênio e na média das quatro safras foram definidos conforme a Lei dos Rendimentos Decrescentes, a qual estabelece que, aumentando-se a quantidade de determinado recurso variável, mantendo-se os demais recursos constantes, a quantidade do produto total tende a aumentar até determinado valor, a partir do qual os acréscimos observados serão cada vez menores. Pereira, Cruz e Kroll (2000), estudando os efeitos das lâminas de água e das doses de nitrogênio em cobertura sobre a produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), observaram que

o feijoeiro respondeu positivamente à irrigação, até o nível em que o excesso de água foi prejudicial ao seu desenvolvimento.

Embora a análise de variância não tenha demonstrado significância para a densidade de 3.333 plantas ha⁻¹, em nenhum dos biênios, ou na média das quatro safras, optou-se pela apresentação dos resultados, tendo em vista que o ajuste do modelo polinomial de segundo grau obtido permitiu obter a análise técnica e econômica.

4.2.1 Biênio 1

Estabelecendo a hipótese de que existe uma lâmina de irrigação máxima que permite obter uma produção máxima, e estabelecendo a água como único fator variável. Nas Figuras 1, 2, 3 e 4 é possível identificar as curvas do produto físico total (PFT) no eixo primário, e o produto físico marginal (PFMa) e o produto físico médio (PFMe) no eixo secundário. Observa-se, ainda, a delimitação do estágio racional de produção (Estágio II) do cafeeiro, em função da reposição da lâmina de irrigação, para as densidades de 2.500, 3.333, 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹.

É possível evidenciar que, em todas as situações, quando o produto físico marginal (PFMa) é igual a zero, a lâmina de irrigação empregada corresponderá à máxima produção (PFT) que pode ser obtida em função dos incrementos no fator variável água. No ponto em que as curvas do PFMa e PFMe se cruzam tem início o estágio racional de produção (Estágio II), que varia entre a igualdade de PFMa e PFMe e termina no ponto em que o PFMa é igual a zero. Dentro do estágio racional ambos, PFMa e PFMe, apresentaram comportamento decrescente. Porém, como existe a influência da chuva, está sendo considerada, neste estudo, a delimitação do estágio racional a partir do início da aplicação de irrigação, que é o fator para o qual se determinará a

margem de contribuição da água. O final do estágio racional coincide com o ponto em que $PFMa=0$ (eixo secundário) e é no qual o PFT é máximo (eixo primário). A partir deste ponto se inicia o estágio III, no qual o $PFMa$ torna-se negativo. Observa-se que, a partir daí, para todas as densidades de plantio no biênio 1, tem-se uma proporção demasiadamente elevada do fator variável (lâmina de água), sem os correspondentes acréscimos na produtividade. Portanto, o aumento das lâminas neste estágio torna-se antieconômico ou irracional.

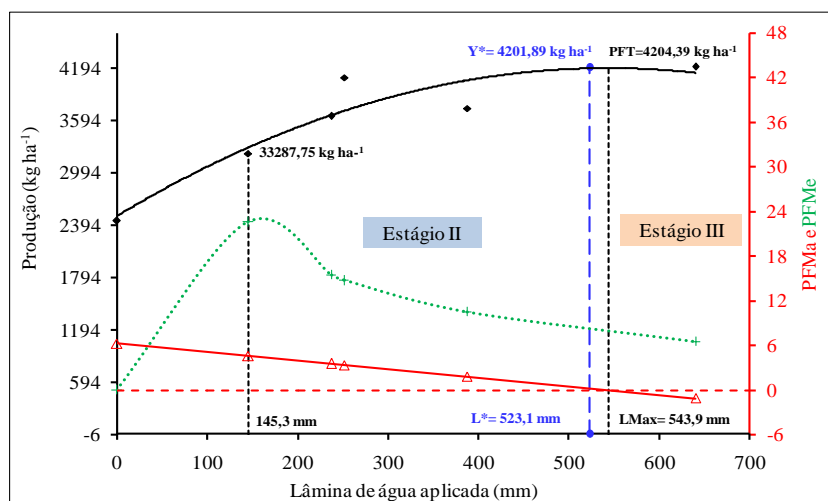


Figura 1 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 2.500 plantas ha⁻¹ (4,0 x 1,0 m), biênio 1

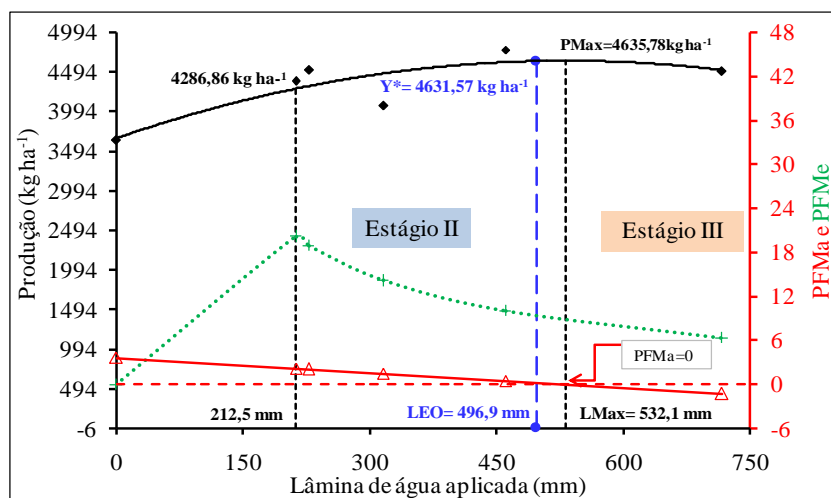


Figura 2 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 3.333 plantas ha⁻¹ (3,0 x 1,0 m), biênio 1

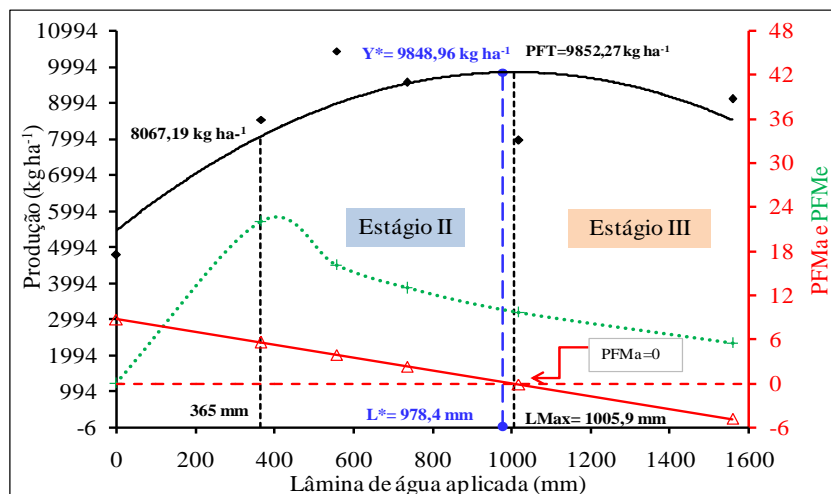


Figura 3 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro para a densidade de 10.000 plantas ha⁻¹ (2,0 x 0,5 m), biênio 1

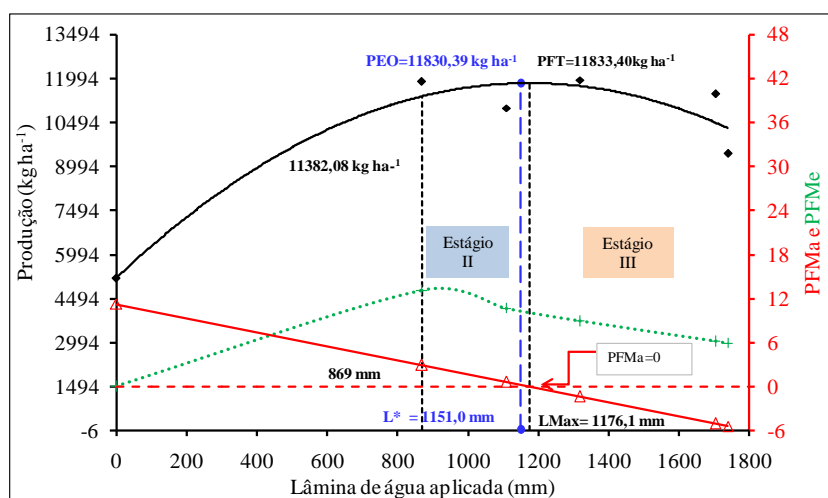


Figura 4 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro para a densidade de 20.000 plantas ha^{-1} (1,0 x 0,5 m), biênio 1

Na análise geral deste biênio ficou clara a influência positiva da irrigação nos níveis de produtividade do cafeeiro, mesmo que na região de estudo a ocorrência e a distribuição de chuvas possam ser suficientes em determinadas épocas, sem, entretanto, permitir o alcance do mesmo padrão de produtividade das lavouras irrigadas.

Para o biênio 1, o PFT (Y) obtido variou em função das lâminas (L) para as diferentes densidades de plantio de 2.500, 3.333, 10.000 e 20.000 plantas ha^{-1} , da seguinte forma: 4.204,39 kg ha^{-1} ou 70,1 sacas beneficiadas ha^{-1} (543,9 mm), 4.635,78 kg ha^{-1} ou 77,3 sacas beneficiadas ha^{-1} (532,1 mm), 9.852,27 kg ha^{-1} ou 164,2 sacas beneficiadas ha^{-1} (1.005,9 mm) e 11.833,40 kg ha^{-1} ou 197,2 sacas beneficiadas ha^{-1} (1.176,1 mm), respectivamente.

O gasto médio com água para os sistemas adensados de 10.000 e 20.000 plantas ha^{-1} (1091 mm), em relação ao gasto médio de 2.500 e 3.333 plantas ha^{-1} (538 mm), representou um acréscimo de 103% na aplicação de água. Porém, os

correspondentes acréscimos médios de produtividade para os sistemas adensados foram da ordem de 145,3%, em relação aos mecanizáveis. Paulo et al. (2005) também observaram que o aumento da população de cafeeiros acarretou menor produção de café beneficiado por planta, mas concorreu para o aumento da produtividade (kg/ha).

Para a obtenção da produtividade economicamente ótima (Y^*) e da lâmina economicamente ótima (L^*), estabeleceram-se várias relações de preços entre fator variável e produto (P_L/P_Y) (Tabelas 6). Verificou-se uma redução na L^* à medida que se aumentou a relação entre o preço do fator e o preço do produto, (P_L/P_Y). Para a situação atual, o preço de comercialização do quilo de café tipo 6 foi fixado de acordo com preço mínimo fixado pelo governo, que é de R\$307,00 (saca de 60 kg), o que corresponde a R\$5,12 por kg de café beneficiado cru.

Como descrito na metodologia, o custo variável da água adotado assume diferentes valores em função das diferentes combinações assumidas pelos parâmetros HMT, η e TE (item 3.8.6) e oscilou de R\$0,18 kWh⁻¹ ($P_L/P_Y=0,02:1$) a R\$2,25 kWh⁻¹ ($P_L/P_Y=0,44:1$). Portanto, o custo médio (R\$) assumido para aplicação do milímetro por hectare foi de R\$1,22, o qual gerou uma relação P_L/P_Y de 0,24:1. Com base nas Figuras 1 a 4 e na Tabela 6, observa-se que a variação no custo da água representa uma fração pequena em relação ao preço de comercialização do café. Tal fato reflete numa proximidade entre a lâmina real aplicada (L) e a lâmina econômica ótima (L^*), identificando a produção máxima obtida (PFT) e a produtividade econômica ótima (Y^*).

À medida que a relação P_L/P_Y aumenta (Tabela 6), o valor de L^* e Y^* decresce e pode chegar a uma situação de negatividade quando o preço da água se torna antieconômico e superior ao do produto. Dentro do intervalo de relação trabalhado neste estudo, não foi detectada esta ocorrência.

Tabela 6 Relação preço da lâmina de irrigação e preço do café beneficiado (P_L/P_Y), lâminas econômicas ótimas (L^*), produção econômica ótima (Y^*) para cafeeiros irrigados em quatro densidades de plantio para o biênio 1

PL (R\$/mm)	PL/Py	L* (mm)	Y* (kg ha ⁻¹)	L* (mm)	Y* (kg ha ⁻¹)	L* (mm)	Y* (kg ha ⁻¹)	L* (mm)	Y* (kg ha ⁻¹)
		2500 plantas ha ⁻¹		3333 plantas ha ⁻¹		10000 plantas ha ⁻¹		20000 plantas ha ⁻¹	
	0,00:1	543,9	4204,39	532,1	4635,78	1005,9	9852,27	1176,1	11833,40
0,18	0,02:1	542,2	4204,37	529,1	4635,76	1003,6	9852,25	1174,0	11833,38
	0,04:1	540,5	4204,32	526,2	4635,67	1001,3	9852,18	1171,9	11833,32
	0,06:1	538,7	4204,23	523,3	4635,52	999,0	9852,07	1169,8	11833,21
	0,08:1	537,0	4204,11	520,4	4635,32	996,7	9851,91	1167,7	11833,07
	0,10:1	535,3	4203,95	517,4	4635,05	994,4	9851,70	1165,6	11832,88
	0,12:1	533,5	4203,76	514,5	4634,73	992,1	9851,45	1163,5	11832,65
	...								
1,22	0,24:1	523,1	4201,89	496,9	4631,57	978,4	9848,96	1151,0	11830,39
	0,26:1	521,4	4201,45	494,0	4630,84	976,1	9848,39	1148,9	11829,87
	0,28:1	519,7	4200,99	491,1	4630,05	973,8	9847,77	1146,8	11829,30
	0,30:1	517,9	4200,48	488,2	4629,20	971,5	9847,10	1144,7	11828,70
	0,32:1	516,2	4199,95	485,2	4628,29	969,2	9846,39	1142,6	11828,05
	0,34:1	514,5	4199,37	482,3	4627,33	966,9	9845,63	1140,5	11827,36
	0,36:1	512,7	4198,77	479,4	4626,30	964,6	9844,83	1138,4	11826,63
	...								
2,25	0,44:1	505,8	4195,99	467,7	4621,62	955,4	9841,15	1130,1	11823,28
	...								
	1,00:1	457,2	4161,04	385,7	4562,62	891,0	9794,82	1071,5	11781,13

Dentro do intervalo de relações de preços estabelecidas, o cafeicultor ainda trabalharia dentro do estágio racional de produção (Estágio II), com variação nos níveis de produtividade econômica ótima (Y^*). Essa situação

poderá se alterar em função da variação no preço de comercialização do produto e da aplicação de água.

Para uma situação em que a água é o único fator variável, e determinando seu custo variável, foi determinada a sua margem de contribuição na atividade cafeeira irrigada, levando-se em conta a situação econômica atual da cafeicultura e da irrigação (Tabela 7). Foram calculadas as margens de contribuição (MC) para duas situações apresentadas: (A) base técnica, em que a lâmina de irrigação corresponde à produtividade máxima do experimento e (B) base econômica, que é aquela na qual se tem a lâmina de irrigação que corresponde à produtividade economicamente ótima.

Tabela 7 Margem de contribuição da irrigação do cafeeiro em duas situações, base técnica (A) e base econômica (B), para quatro densidades de plantio, biênio 1

Densidade de plantio (pl. ha ⁻¹)	L (mm)	Y (saca ha ⁻¹)	MC (R\$ saca ⁻¹)	L* (mm)	Y* (saca ha ⁻¹)	MC (R\$ saca ⁻¹)
	(A)			(B)		
	Soma de duas safas			Soma de duas safras		
2500	543,9	70,1	297,53	523,1	70,0	297,89
3333	532,1	70,3	298,60	496,9	70,2	299,15
10000	1005,9	164,2	299,53	978,4	164,1	299,73
20000	1176,1	199,7	299,73	1151,0	199,9	299,88

MC – Margem de contribuição da irrigação; L – Lâmina máxima; Y – Produtividade máxima; L* - Lâmina de irrigação que corresponde à produtividade econômica; Y* - Produtividade econômica

Observa-se que a margem de contribuição da irrigação varia em função do número de plantas e da situação técnica (A) e econômica da atividade (B). Quanto maior for a margem de contribuição, menor é o custo da água por unidade de produto. Em ambas, a margem de contribuição da irrigação aumenta

em função do aumento no número de plantas, variando de R\$297,53 saca^{-1} a R\$299,73 saca^{-1} , para a situação de base técnica (A) e de R\$ 297,89 saca^{-1} a R\$299,88 saca^{-1} , para a situação econômica (B). Ou seja, com o aumento da densidade, ocorrem um aumento na produção e um aumento na margem de contribuição, embora pequeno.

Essa baixa variação da margem de contribuição entre densidades é devido à menor quantidade de água por unidade de produto produzido nas densidades mais altas, em relação às menores densidades, tanto na produtividade técnica (A) quanto na econômica (B), diluindo a quantidade total de irrigação. Por exemplo, utilizando-se as produtividades econômicas (B), na densidade de 2.500 plantas ha^{-1} são gastos 523,1 mm para produzir 70 sacas de café, ou seja, 7,47 mm de irrigação para produzir uma saca de café, enquanto, na densidade de 20.000 plantas ha^{-1} , são gastos 5,84 mm para produzir uma saca de café, ou seja, economia de quase 21,9% de água de irrigação.

Como foi apresentado anteriormente, a margem de contribuição representa o capital obtido com a venda do produto, retirando-se apenas o custo da irrigação. Para que a atividade seja rentável, estes valores devem ser suficientes para pagar os outros custos variáveis (OCV) de produção, assim como os custos fixos (CFT) e os custos de capital ou de oportunidade da propriedade. Dessa forma, trabalhando com a irrigação na lâmina econômica (B), pode-se verificar que, após pagar os gastos com a irrigação, resta um capital de R\$297,89 saca^{-1} , na densidade de 2.500 plantas ha^{-1} ; de R\$299,15 saca^{-1} , na densidade de 3.333 plantas ha^{-1} ; de R\$299,73 saca^{-1} , na densidade de 10.000 plantas ha^{-1} e de R\$299,88, na densidade de 20.000 pl. ha^{-1} .

Nota-se que, para todas as densidades de plantio, a margem de contribuição da irrigação, quando se utiliza L^* , é mínima em relação ao uso da L . Os baixos valores obtidos se devem aos baixos custos de aplicação da água via irrigação, mesmo quando é agregado o consumo de energia elétrica.

Entretanto, deve-se observar a legislação que rege os princípios de sua utilização, tanto na zona urbana quanto na rural. O custo ambiental da água pode tornar sua utilização inviável, a partir do princípio de que seu emprego na agricultura é limitado, pois os centros urbanos têm a preferência. Assim, o setor agrícola enfrenta o desafio de produzir mais alimentos com menos água, aumentando a produtividade das culturas. De acordo com Hassanli et al. (2010), a agricultura irrigada é o maior consumidor de água e enfrenta demandas de outros setores, como o industrial e os setores domésticos. Com uma população crescente e menos água disponível para a produção agrícola, a disponibilidade de alimentos para as gerações futuras está em risco (ZWART; BASTIAANSEN, 2004).

Os valores da margem de contribuição da irrigação (por hectare), numa primeira análise, são compensadores, porém, deles devem ser extraídos dos demais custos variáveis, dos quais pode depender a quantidade produzida (adubação, mão de obra para manutenção e colheita) e que acompanham a resposta ou as variações na produção.

Uma importante ponderação a ser feita diz respeito ao custo da mão de obra em sistemas adensados. Esses custos podem gerar cenários econômicos diferenciados, pois as dificuldades inerentes ao manejo da lavoura (especialmente em relação aos tratos culturais e colheita) poderão representar um percentual acima do custo de produção de um sistema mecanizado. Segundo Martin e Vegro (2007), para lavouras irrigadas com produção entre 40 e 60 sacas ha^{-1} , o custo da colheita para compor uma saca de 60 kg de café beneficiado corresponde a 30% do custo total de produção da cultura irrigada. Dada as dificuldades já citadas, no sistema adensado esse valor pode onerar o custo de produção.

Comparando L^* com as lâminas aplicadas no 1º biênio de produção, apresentadas na Tabela 4, observa-se que, para as densidades de 2.500 e 3.333

plantas ha^{-1} , a lâmina economicamente ótima (L^*) foi menor que a lâmina aplicada através do manejo pelo balanço hídrico climatológico e maior que a lâmina com base na tensão de água no solo de 20 kPa; para a densidade de densidade de 10.000 plantas ha^{-1} , a L^* correspondeu a uma lâmina de irrigação menor que a lâmina na tensão 20 kPa e maior que a lâmina na tensão de 60 kPa. Para a densidade de 20.000 plantas ha^{-1} , a L^* ficou entre as lâminas correspondentes às tensões de 60 e 100 kPa.

Diante deste cenário positivo apresentado para o biênio 1, deve-se ponderar a respeito dos possíveis impactos ambientais, caso o manejo da irrigação e a aplicação de insumos sejam realizados de modo inadequado. Ao baixo valor econômico da água é necessário agregar o seu valor no ambiente, portanto, seu uso racional é o que dará sustentabilidade à atividade.

4.2.2 Biênio 2

Nas Figuras 5, 6, 7 e 8 identificam-se as curvas do produto físico total (PFT) (eixo primário), o produto físico marginal (PFMa) e o produto físico médio (PFMe) (eixo secundário), para os resultados obtidos neste biênio. A variação existente deve-se aos valores observados e estimados pelas funções de produção e PFMa e PFMe, em função das diferentes lâminas de irrigação, para uma situação inerente ao segundo biênio de produção. Da mesma forma que no Biênio 1, na análise geral do Biênio 2 ficou clara a influência positiva da irrigação nos níveis de produtividade do cafeeiro.

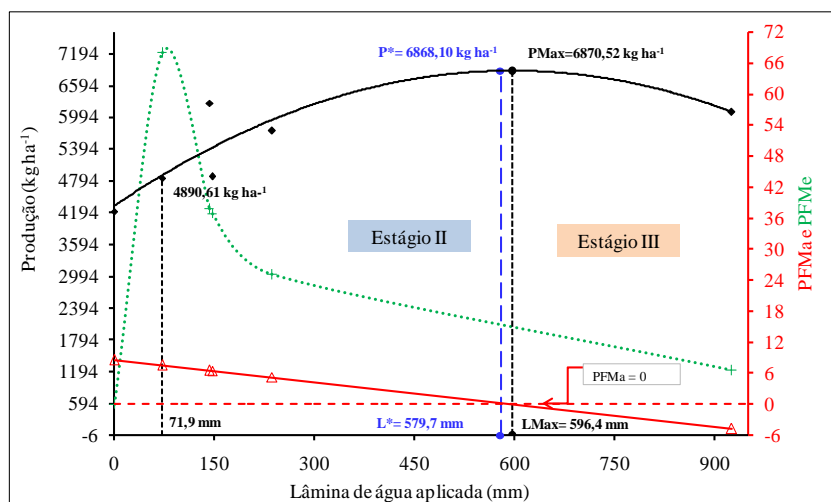


Figura 5 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 2.500 plantas ha⁻¹ (4,0 x 1,0 m), biênio 2

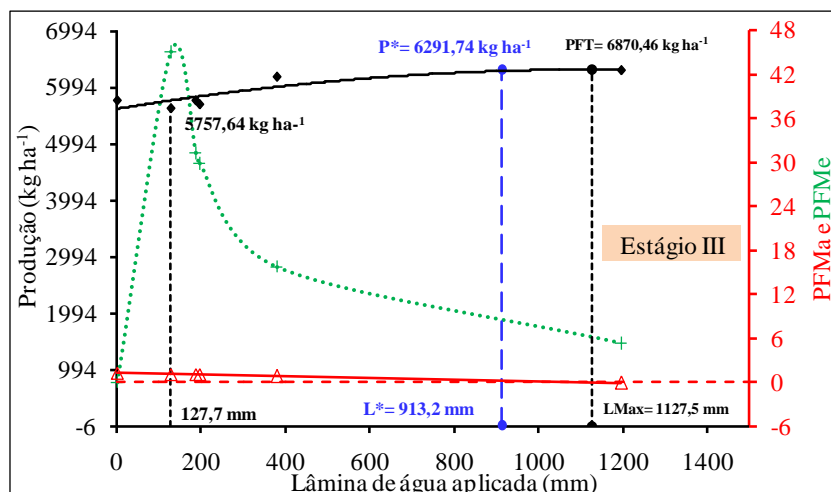


Figura 6 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 3.333 plantas ha⁻¹ (3,0 x 1,0 m), biênio 2

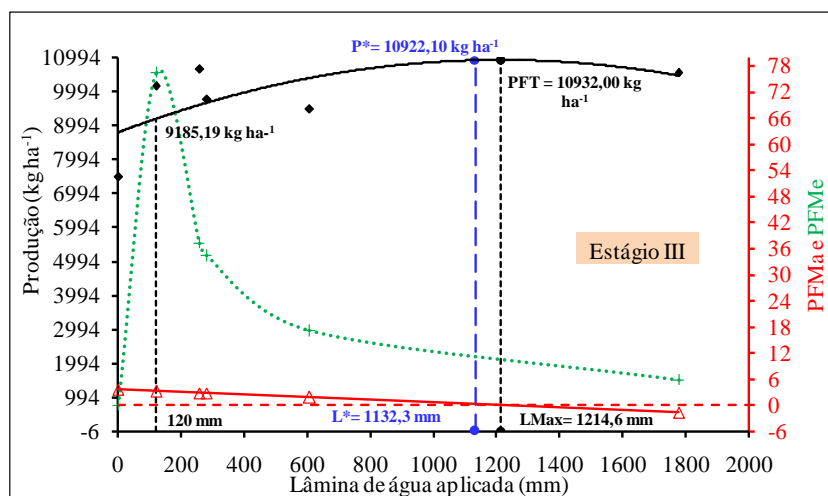


Figura 7 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 10.000 plantas ha^{-1} (2,0 x 0,5 m), biênio 2

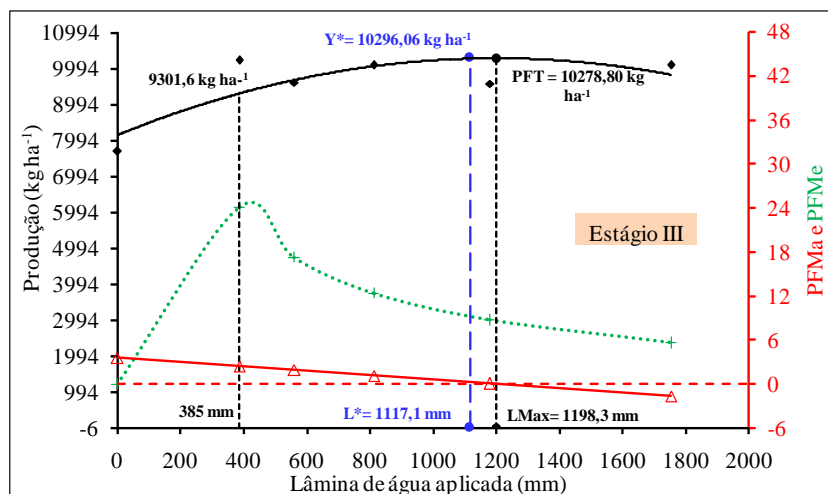


Figura 8 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 20.000 plantas ha^{-1} (1,0 x 0,5 m), biênio 2

As produções máximas (PFT) obtidas variaram em função das lâminas (L), para as diferentes densidades de plantio (2.500, 3.333, 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹) da seguinte forma: 6.870,52 kg ha⁻¹ ou 114,51 sacas beneficiadas ha⁻¹, com uma lâmina de 596,4 mm; 6.317,46 kg ha⁻¹ ou 105,29 sacas beneficiadas ha⁻¹, na lâmina de irrigação de 1.127,5 mm; 10.932,00 kg ha⁻¹ ou 182,20 sacas beneficiadas ha⁻¹, na lâmina de irrigação de 1.214,6 mm e 10.278,80 kg ha⁻¹ 171,31 sacas beneficiadas ha⁻¹, na lâmina de irrigação aplicada de 1198,3 mm, para as densidades de 2.500, 3.333, 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹, respectivamente.

O consumo médio de água para os sistemas adensados de 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹ (1.206,4 mm), em relação ao consumo médio de 2.500 e 3.333 plantas ha⁻¹ (861,9 mm), representou um acréscimo de 40,0% na aplicação de água. Porém, os correspondentes acréscimos médios de produtividade para os sistemas adensados foram da ordem de 60,1%, em relação aos mecanizáveis.

Neste contexto, analisando-se o uso da água (mm saca⁻¹) dentro dos parâmetros de produtividade técnica, para a densidade de 2.500 plantas⁻¹, foram necessários 5,21 mm de irrigação para produzir uma saca de café; na densidade de 3.333 plantas⁻¹, esta eficiência no uso da água de irrigação foi de 10,71 mm saca⁻¹; na densidade de 10.000 plantas ha⁻¹, a eficiência foi de 6,67 mm saca⁻¹ e, finalmente, para a densidade de 20.000 plantas ha⁻¹, a eficiência foi de 6,99 mm saca⁻¹. Pode-se notar que, para o segundo biênio, o comportamento, em relação à eficiência no uso da água, foi diferente do primeiro, mostrando que a eficiência no uso da água melhora quando se aumentam as densidades de plantio. Entretanto, após o fechamento da lavoura, na terceira e quarta safra de produção, estas diferenças tendem a diminuir, quando se dá enfoque, separadamente, para sistemas adensados e mecanizados.

Com base nas relações de preços entre fator variável e produto (P_L/P_Y), foi obtida a produção econômica ótima (Y^*) e da lâmina economicamente ótima

(L*) para o biênio 2 (Tabela 8). Também neste biênio, a lâmina econômica ótima (L*) para a atual relação de preço (0,24:1) ficou próxima ao valor da lâmina máxima (L) obtida para o experimento.

Tabela 8 Relação preço da lâmina de irrigação e preço do café beneficiado (P_L/P_Y), lâminas econômicas ótimas (L*) e produção econômica ótima (Y*), para cafeeiros irrigados em quatro densidades de plantio, para o biênio 2

R\$	PL/Py	L* (mm)	Y* (kg ha ⁻¹)	L* (mm)	Y* (kg ha ⁻¹)	L* (mm)	Y* (kg ha ⁻¹)	L* (mm)	Y* (kg ha ⁻¹)
		2500 plantas ha ⁻¹		3333 plantas ha ⁻¹		10000 plantas ha ⁻¹		20000 plantas ha ⁻¹	
	0,0:1	596,4	6870,11	1127,5	6317,46	1214,6	10931,98	1198,3	10278,80
0,18	0,02:1	595,0	6870,09	1109,7	6317,28	1207,7	10931,91	1191,5	10278,73
	0,04:1	593,6	6870,05	1091,8	6316,74	1200,8	10931,70	1184,8	10278,53
	0,06:1	592,2	6869,98	1074,0	6315,85	1194,0	10931,36	1178,0	10278,19
	0,08:1	590,8	6869,88	1056,1	6314,60	1187,1	10930,88	1171,2	10277,72
	0,10:1	589,4	6869,76	1038,2	6312,99	1180,3	10930,26	1164,5	10277,11
	0,12:1	588,0	6869,61	1020,4	6311,03	1173,4	10929,51	1157,7	10276,36
	...								
1,22	0,24:1	579,7	6868,10	913,2	6291,74	1132,3	10922,10	1117,1	10269,06
	0,26:1	578,3	6867,76	895,4	6287,28	1125,4	10920,39	1110,4	10267,37
	0,28:1	576,9	6867,38	877,5	6282,46	1118,5	10918,53	1103,6	10265,55
	0,30:1	575,5	6866,98	859,7	6277,28	1111,7	10916,55	1096,9	10263,58
	0,32:1	574,1	6866,55	841,8	6271,74	1104,8	10914,42	1090,1	10261,49
	0,34:1	572,7	6866,09	824,0	6265,85	1098,0	10912,16	1083,3	10259,26
	0,36:1	571,4	6865,60	806,1	6259,60	1091,1	10909,76	1076,6	10256,89
	...								
2,25	0,44:1	565,8	6863,38	734,7	6231,03	1063,7	10898,78	1049,5	10246,07
	...								
	1,00:1	526,9	6835,37	234,7	5871,03	871,6	10760,51	860,2	10109,76

Os resultados encontrados revelaram valores próximos de produção econômica ótima (Y^*) e produção máxima (PFMa) para as densidades de 2.500, 10.000 e 20.000 plantas ha^{-1} . Porém, para a densidade de 3.333 plantas ha^{-1} e a mesma relação de preço (0,24:1), a lâmina econômica ótima (L^*) representou uma redução de 214,3 mm na lâmina aplicada, e refletiu em uma redução de produtividade de apenas 9,74 kg. Essa é uma situação que pode ser interessante, do ponto de vista eficiência no uso da água calculada por meio da eficiência econômica de produção.

A margem de contribuição da irrigação para o biênio 2 é apresentada na Tabela 9. As mesmas observações feitas para o biênio 1, em relação às diferentes densidades de plantio, podem ser atribuídas ao biênio 2.

Tabela 9 Margem de contribuição da irrigação do cafeeiro em duas situações, base técnica (A) e base econômica (B), para quatro densidades de plantio, biênio 2

Densidade de plantio (pl. ha^{-1})	L (mm)	Y (saca ha^{-1})	MC (R\$ $saca^{-1}$)	L^* (mm)	Y^* (saca ha^{-1})	MC (R\$ $saca^{-1}$)
	(A)			(B)		
	Soma de duas safras			Soma de duas safras		
2500	596,4	114,50	300,65	579,7	114,47	300,82
3333	1127,5	105,29	293,94	913,2	104,86	296,38
10000	1214,6	182,20	298,87	1132,3	182,04	299,41
20000	1198,3	171,31	298,47	1117,1	171,15	299,04

MC – Margem de contribuição da irrigação; L – Lâmina máxima; Y – Produtividade máxima; L^* - Lâmina de irrigação que corresponde à produtividade econômica; Y^* - Produtividade econômica

Em todas as densidades, assim como ocorreu no 1º biênio de produção, os valores de produtividade técnica (Y) ficaram muito próximos da produtividade econômica (Y^*), pelo fato de o custo operacional da irrigação ser

muito baixo, quando comparado com o valor da produção. Para a cafeicultura, financeiramente, o uso da lâmina econômica (L^*) não apresenta diferenças para a lâmina técnica (L), mostrando produções praticamente iguais e margens de contribuição muito semelhantes. Entretanto, este ajuste de lâmina aplicada pode ser utilizado para diminuir a quantidade de água aplicada, aumentando a eficiência do uso da água na produção do café, sem diminuir a produtividade da cultura, e permitindo um aumento na área irrigada.

Nos sistemas adensados, a densidade de 20.000 plantas ha^{-1} apresentou menor L e Y e menor L^* e Y^* que a densidade de 10.000 plantas ha^{-1} . Isto ocorreu, provavelmente, pelo fato de o autossombreamento, neste sistema superadensado, ter causado diminuição na evapotranspiração e influenciado negativamente a produção. Este fato não foi observado no 1º biênio de produção, pois, nele, as plantas ainda não apresentavam índices tão altos de autossombreamento. Dessa forma, a margem de contribuição da irrigação também apresentou valores menores na densidade de 20.000 plantas ha^{-1} , quando comparada com a densidade de 10.000 plantas ha^{-1} .

Para sistemas mecanizados, observou-se uma maior margem de contribuição da irrigação para a densidade de 2.500 plantas ha^{-1} , tanto em (A) quanto em (B). Porém, na densidade de 3.333 plantas ha^{-1} , a diferença da lâmina de irrigação econômica (L^*) e lâmina máxima (L) foi de 214,3 mm, sem redução significativa da produtividade (diferença entre Y^* e Y de 25,72 kg ha^{-1}). Isto gerou uma economia de 214,3 mm na irrigação, embora o aumento na margem de contribuição ainda tenha sido pequeno. Como ocorrido no 1º biênio de produção, as maiores margens de contribuição da irrigação foram obtidas nos plantios mais adensados.

Correlacionando-se as lâminas econômicas encontradas neste estudo com os sistemas de manejos de irrigação, pode-se inferir que, para as densidades de 2.500, 3.333 e 10.000 plantas ha^{-1} , a lâmina econômica ótima (L^*) foi menor

que a lâmina aplicada correspondente ao manejo pelo balanço hídrico climatológico e maior que a lâmina correspondente ao manejo das tensões de água no solo de 20 kPa. Para a densidade de 20.000 plantas ha⁻¹, a L* apresentou valor intermediário entre os manejos quando a tensão atingia 20 kPa e 60 kPa de água disponível no solo.

4.2.3 Média das quatro safras

Nas Figuras 9, 10, 11 e 12 é possível identificar as curvas do produto físico total (PFT) (eixo primário), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe) (eixo secundário), obtidas quando foram consideradas as lâminas médias de irrigação e as produtividades médias correspondentes. Também neste caso ficou clara a influência positiva da irrigação nos níveis de produtividade do cafeeiro, atingindo seu máximo no ponto do PFT e, a partir deste ponto, começou a decrescer.

A variação da produção média máxima (PFT) obtida em função das lâminas (L) para as diferentes densidades de plantio ocorreu da seguinte forma: 2.707,52 kg ha⁻¹ ou 45,12 sacas beneficiadas ha⁻¹ (285,5 mm); 2.743,68 kg ha⁻¹ ou 45,73 sacas ha⁻¹ (370,1 mm); 5.238,50 kg ha⁻¹ ou 87,32 sacas ha⁻¹ (547,2 mm) e 5.481,0 kg ha⁻¹ 91,35 sacas ha⁻¹ (583,1mm), para as densidades de 2.500, 3.333, 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹, respectivamente.

O gasto médio com água para a obtenção da PFT nos sistemas adensados de 10.000 e 20.000 plantas ha⁻¹ (565,2 mm), em relação ao gasto médio nos sistemas de 2,500 e 3,333 plantas ha⁻¹ (327,8 mm), representou um acréscimo de 72,4% na aplicação de água. Porém, os correspondentes acréscimos médios de produção para os sistemas adensados foram da ordem de 96,6% em relação aos mecanizáveis. Da mesma forma como ocorreu separadamente nos dois biênios, observa-se que a densidade influenciou

positivamente a produtividade e a eficiência no uso da água, que foi de 6,33 mm saca^{-1} , para a densidade de 2.500 plantas ha^{-1} ; 8,09 mm saca^{-1} , para a densidade de 3.333 plantas ha^{-1} ; 6,27 mm saca^{-1} , para a densidade de 10.000 plantas ha^{-1} e de 6,38 mm saca^{-1} , na densidade de 20.000 plantas ha^{-1} .

Observa-se que, para a média das quatro primeiras safras, assim como no biênio 2, há maior eficiência no uso da água de irrigação dos sistemas adensados em relação aos sistemas mecanizados. Entretanto, quando estes sistemas são analisados de forma isolada, nota-se que ocorre uma diminuição da eficiência no uso da água quando se aumenta a densidade, diminuindo o espaçamento das entrelinhas, no sistema mecanizado, de 2.500 plantas ha^{-1} (4,0 m x 1,0 m) para 3.333 plantas ha^{-1} (3,0 m x 1,0 m). Já nos sistemas adensados, a eficiência no uso da água praticamente não variou, mostrando que o adensamento, neste caso, aumenta a eficiência até certo patamar, a partir do qual o autossombreamento das plantas de café começa influenciar negativamente o aumento da produtividade. Este resultado corrobora o resultado encontrado por Njoroje e Kimemia (1994), que verificaram que a produção de café limpo aumentou com o aumento da densidade de até 4.000 plantas/ha, mas aumentou mais lentamente em populações de mais de 4.000 árvores/ha.

Esta maior eficiência do uso da água em sistemas adensados pode ser explicada pelo fato de o adensamento promover um maior autossombreamento, diminuindo a temperatura do microclima da lavoura, reduzindo a transpiração das plantas, além de aumentar produção por área e, ainda, aumentar a área de raízes, o que promove um melhor aproveitamento da água de irrigação. Assim como afirmam alguns autores (KUMAR, 1979; RENA et al., 1994), em condições de plantio adensado o balanço hídrico é favorecido devido a fatores relacionados à maior profundidade do sistema radicular, menor temperatura das folhas e do solo e maior controle de plantas daninhas, beneficiando o desenvolvimento e a produtividade do cafeeiro.

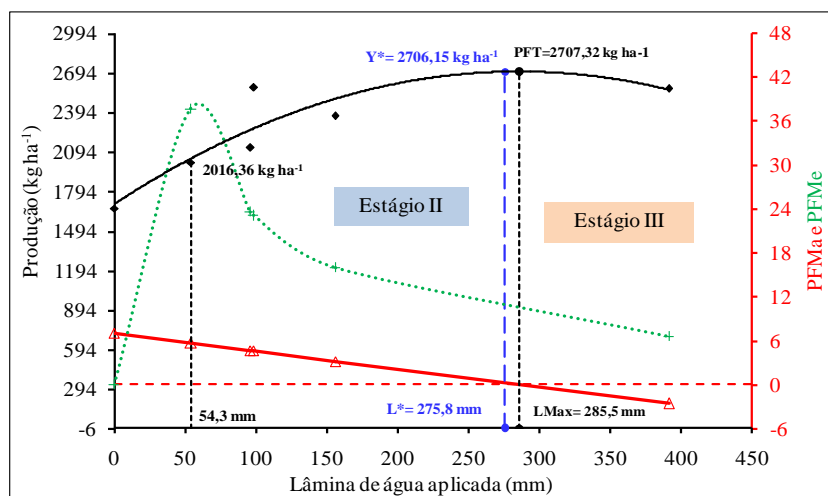


Figura 9 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 2.500 plantas ha^{-1} (4,0 x 1,0 m), média de quatro safras

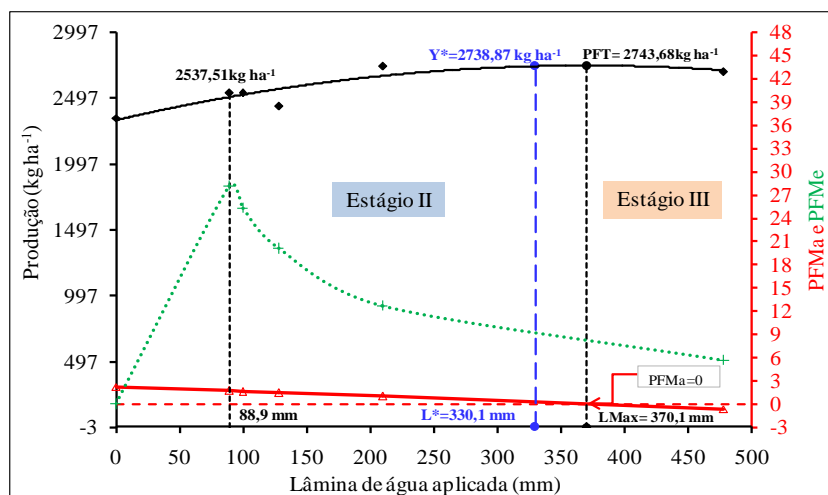


Figura 10 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 3.333 plantas ha^{-1} (3,0 x 1,0 m), média de quatro safras

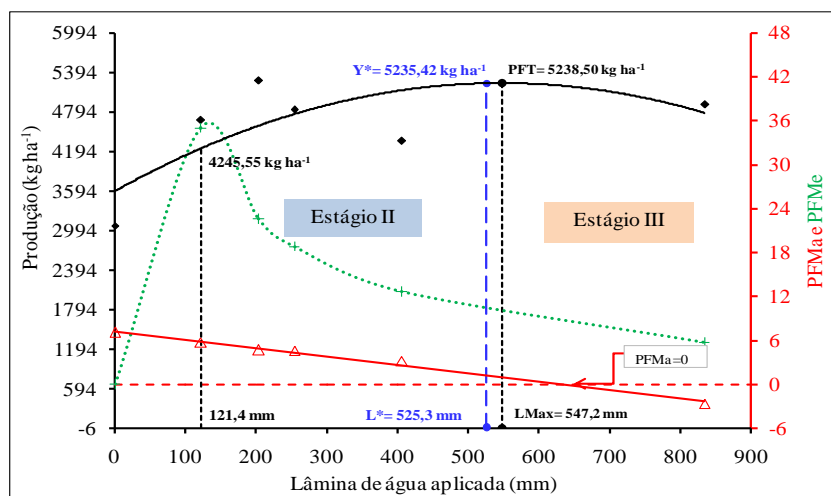


Figura 11 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 10.000 plantas ha⁻¹ (2,0 x 0,5 m), média de quatro safras

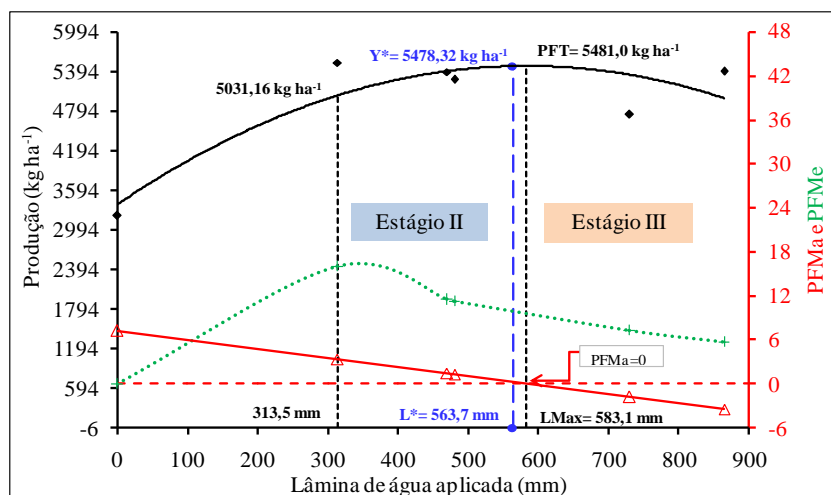


Figura 12 Representação gráfica das curvas do produto físico total (PFT), produto físico marginal (PFMa) e produto físico médio (PFMe), delimitação dos estágios de produção, em função de lâminas correspondentes a diferentes manejos da irrigação do cafeeiro, para a densidade de 20.000 plantas ha⁻¹ (1,0 x 0,5 m), média quatro safras

Com base nas relações de preços entre fator variável e produto (P_L/P_Y), foi obtida a produção econômica ótima (Y^*) e a da lâmina econômica ótima (L^*), para a média das quatro safras (Tabela 10).

Tabela 10 Relação preço da lâmina de irrigação e preço do café beneficiado (P_L/P_Y), lâminas econômicas ótimas (L^*) e produção econômica ótima (Y^*), para cafeeiros irrigados em quatro densidades de plantio, para a média de quatro safras

R\$	PL/Py	L*	Y*	L*	Y*	L*	Y*	L*	Y*
		(mm)	(kg ha ⁻¹)	(mm)	(kg ha ⁻¹)	(mm)	(kg ha ⁻¹)	(mm)	(kg ha ⁻¹)
		2500 pl. ha ⁻¹		3333 pl. ha ⁻¹		10000 pl. ha ⁻¹		20000 pl. ha ⁻¹	
	0,0:1	285,5	2707,32	370,1	2743,68	547,2	5238,50	583,1	5481,05
0,18	0,02:1	284,7	2707,31	366,8	2743,65	545,4	5238,48	581,5	5481,03
	0,04:1	283,9	2707,28	363,5	2743,55	543,6	5238,43	579,9	5480,98
	0,06:1	283,1	2707,24	360,1	2743,38	541,7	5238,34	578,3	5480,90
	0,08:1	282,3	2707,19	356,8	2743,15	539,9	5238,21	576,7	5480,79
	0,10:1	281,5	2707,11	353,5	2742,85	538,1	5238,05	575,0	5480,64
	0,12:1	280,7	2707,02	350,1	2742,48	536,3	5237,85	573,4	5480,46
	...								
1,22	0,24:1	275,8	2706,15	330,1	2738,89	525,3	5235,87	563,7	5478,72
	0,26:1	275,0	2705,95	326,8	2738,05	523,5	5235,42	562,1	5478,32
	0,28:1	274,2	2705,73	323,5	2737,15	521,6	5234,92	560,5	5477,88
	0,30:1	273,4	2705,50	320,1	2736,19	519,8	5234,39	558,9	5477,41
	0,32:1	272,6	2705,25	316,8	2735,15	518,0	5233,83	557,3	5476,91
	0,34:1	271,8	2704,98	313,5	2734,05	516,2	5233,22	555,7	5476,38
	0,36:1	271,0	2704,70	310,1	2732,89	514,3	5232,58	554,0	5475,81
	...								
2,25	0,44:1	267,8	2703,40	296,8	2727,56	507,0	5229,66	547,6	5473,23
	...								
	1,00:1	526,9	6835,37	234,7	5871,03	871,6	10760,51	860,2	10109,76

Da mesma forma que nos biênios 1 e 2, a lâmina econômica ótima (L^*) para a atual relação de preço (0,24:1) ficou próxima do valor da lâmina máxima (L) obtida para o experimento nas densidades de 2.500, 3.333, 10.000 e 20.000 plantas ha^{-1} (Figuras 9, 11 e 12 e Tabelas 10). Pela Figura 10 observa-se que, na densidade de 3.333 plantas ha^{-1} , para uma mesma relação de preço (0,24:1), o ponto representativo da lâmina econômica ótima (L^*) se apresenta mais afastado do ponto referente à lâmina máxima (L_{max}). Porém, a diferença da margem de contribuição da irrigação (B) não foi influenciada por este comportamento, como verificado no biênio 2.

A margem de contribuição da irrigação para a média das quatro safras é apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 Margem de contribuição da irrigação do cafeeiro em duas situações, base técnica (A) e base econômica (B), para quatro densidades de plantio, média de quatro safras

Densidade de plantio (pl. ha^{-1})	L (mm)	Y (saca ha^{-1})	MC (R\$ saca $^{-1}$)	L^* (mm)	Y^* (saca ha^{-1})	MC (R\$ saca $^{-1}$)
	(A)			(B)		
	Soma de duas safras			Soma de duas safras		
2500	285,	45,12	299,28	275,8	45,10	299,54
3333	370,	45,73	297,13	330,1	45,65	298,18
10000	547,	87,31	299,35	525,3	87,26	299,66
20000	583,	91,35	299,21	563,7	91,31	299,47

MC – Margem de contribuição da irrigação; L – Lâmina máxima; Y – Produtividade máxima; L^* - Lâmina de irrigação que corresponde à produtividade econômica; Y^* - Produtividade econômica

Na média das quatro safras, a margem de contribuição da irrigação tem seus valores, em termos absolutos, menores que os apresentados para os biênios, isto porque foi calculada a média de quatro safras, enquanto, para cada biênio,

foram somadas as duas safras. Assim, estes valores médios se aproximam da realidade em relação a cada ano de produção.

Os três cenários apresentados podem contribuir para a tomada de decisão em relação ao manejo da irrigação e o consequente nível de produtividade esperada, quando o fator variável é a água. Ponderando-se a respeito das margens de contribuição da irrigação, observou-se que, na média, tanto sob o ponto de vista da viabilidade técnica (A) quanto econômica (B), os valores de margem de contribuição não apresentam variação significativa entre as densidades, apesar da tendência dos sistemas adensados de 10.000 e 20.000 plantas ha^{-1} apresentarem maiores margens. Dessa forma, pode-se afirmar que a densidade não influencia a margem de contribuição da irrigação nos parâmetros estudados neste trabalho.

Na média das quatro safras, para as densidades de 2.500 a 10.000 plantas ha^{-1} , as lâminas L e L*, correlatas às produções máximas (Y) e econômicas (Y*), foram menores que a lâminas correspondentes ao manejo pelo balanço hídrico climatológico (BHC) e maior que a lâmina correspondente às irrigações, quando a tensão da água do solo atingia 20 kPa. Para a densidade de 20.000 plantas ha^{-1} , elas foram maiores que a lâmina aplicada no manejo de tensão de água no solo de 60 kPa e menores que a lâmina aplicada no manejo de tensão de água no solo de 20 kPa.

As análises aqui descritas não compõem diretamente o custo de produção de lavouras irrigadas para a região sul de Minas Gerais, mas podem auxiliar a decisão do cafeicultor, com base na margem de contribuição da irrigação para o cafeeiro. Os custos variáveis totais (CVT) e custos fixos totais (CFT) podem ser calculados pelo próprio cafeicultor, com base na infraestrutura da propriedade e no manejo dos fatores cuja variação interfere diretamente no nível de produtividade.

5 CONCLUSÕES

- a) a diferença entre produção física máxima (Y) e econômica (Y^*) é pequena, devido à baixa relação do preço de aplicação de água e preço do produto (P_L/P_Y);
- b) não há diferenças significativas de margem de contribuição entre as produções técnicas e econômicas, considerando os resultados obtidos;
- c) o aumento da densidade favorece o aumento da eficiência no uso da água (mm/saca^{-1}), nos sistemas de plantio estudados;
- d) para o primeiro biênio, a lâmina econômica ótima (L^*) que propicia maiores produções econômicas (Y^*) corresponde a aplicações de água entre os manejos de 20 kPa e balanço hídrico climatológico (BHC) para as densidades de 2.500 e 3.333 plantas ha^{-1} , entre 20 e 60 kPa para 10.000 plantas ha^{-1} e entre 60 e 100 kPa para a densidade de 20.000 plantas ha^{-1} ;
- e) para o segundo biênio a média das quatro safras a lâmina econômica ótima (L^*) que propicia maiores produções econômicas (Y^*) corresponde a aplicações de água entre os manejos de 20 kPa e balanço hídrico climatológico (BHC) para densidades de até 10.000 plantas ha^{-1} e entre 20 e 60 kPa para a densidade de 20.000 plantas ha^{-1} ;
- f) em lavouras mecanizadas, aplicações de menores lâminas com maior frequência (manejo de 20 kPa e BHC) podem ser utilizadas como forma de maximizar a produção, enquanto, em lavouras adensadas, essa situação ocorre com aplicações de maiores lâminas com menor frequência (60 e 100 kPa);

- g) considerando-se a margem de contribuição da irrigação e o atual custo de produção da saca de 60 kg por hectare, é compensatório para o cafeicultor o investimento em irrigação na região sul de Minas Gerais;
- h) dentro da relação de preços (P_L/P_Y) utilizada neste estudo, o cafeicultor, em qualquer tempo, poderá verificar qual a lâmina e o manejo mais indicados e que corresponderão a uma maximização da produção e a maximização do lucro.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sistema de apoio a decisão:** tarifa média por classe de consumo e região. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=550>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. D. et al. Estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 2, p. 301-305, fev. 2001.

ARÊDES, A. F. et al. The irrigation of the coffee plant as an economic alternative to the producer. **Acta Scientiarum-Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 193-200, Apr./June 2010.

ARÊDES, A. F. et al. Viabilidade econômica da irrigação da cultura do café na região de Viçosa, MG. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, MG, v. 5, n. 2, p. 107-113, 2007.

ARÊDES, A. F.; PEREIRA, M. W. G. Análise econômica da produção de café arábica: um estudo de caso com simulações de Monte Carlo para sistemas de baixa e alta produtividade. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 38, n. 4, p. 19-30, abr. 2008.

AUGUSTO, H. S. et al. Concentração foliar de nutrientes em cultivares de *Coffea arabica* L. sob espaçamentos adensados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 973-981, jul./ago. 2007.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 41 p.

BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; RENA, A. B. Coffee crop ecology. **Tropical Ecology**, Varanasi, v. 36, n. 1, p. 1-19, 1995.

BLUM, A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 112, n. 2/3, p. 119-123, June 2009.

BOSCH, D. J. et al. A review of methods for evaluating the economic-efficiency of irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 12, n. 3, p. 231-245, Apr. 1987.

CALHEIROS, C. B. M. et al. Estratégias de irrigação do feijoeiro: água como fator limitante para a produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 7, p. 509-515, jul. 1996.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CAMARGO, A. P.; GROHANN, F.; CAMARGO, M. B. B. Tensiômetro simples de leitura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 12, p. 1963-1972, dez. 1982.

CARVALHO, C. H. et al. **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: EMBRAPA Café, 2008. 334 p.

CARVALHO, G. R. et al. Avaliação de produtividade de progênies de cafeeiro em dois sistemas de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 838-843, set./out. 2006.

CASTRO, M. C.; FARIA, M. A. de; SILVA, A. M. da. Sistema computacional para a determinação da lâmina ótima econômica em irrigação pressurizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 372-378, maio/ago. 2002.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of Califórnia, 1942. 124 p.

DAMATTA, F. M. et al. Photosynthesis in coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*) as affected by winter and summer conditions. **Plant Science**, Shannon, v. 128, n. 1, p. 43-50, Sept. 1997.

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

ENGLISH, M. J. Deficit irrigation: 1., analytical framework. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 116, n. 3, p. 399-412, 1990.

EVANGELISTA, A. W. P. et al. Viabilidade financeira da produção de café irrigado em regiões aptas ao cultivo não irrigado. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 137-146, set. 2011.

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

FERNÁNDEZ, S. C. **Morfofisiologia da cultura de batata submetida a diferentes regimes hídricos**. 2008. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FERREIRA, D. F. **SISVAR 4. 1**: sistema de análises de variância para dados balanceados. Lavras: UFLA, 2000. Software.

FICHER, M.; MELO, D. Desmistificando o conceito de margem de contribuição. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 13., 2006, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2006. p. 1-15.

FRIZZONE, J. A. Função de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 1-45.

FRIZZONE, J. A. **Funções da irrigação**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1993. 42 p.

FRIZZONE, J. A. Otimização do uso da água na agricultura irrigada: perspectivas e desafios. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 15, p. 37-56, 2004. Número único.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília: EAmbrapa Informação Tecnológica, 2005. 626 p.

FRIZZONE, J. A. et al. Linear programming model to optimize the water resource use in irrigation projects: na application to the Senador Nilo Coelho Project. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, p. 136-148, June 1997. Special issue.

GATHAARA, M. P.; KIARA, J. M. Effects of irrigation rates and frequency on the growth and yield of arabic coffee [in Kenya]. **Kenya Coffee - Coffee Research Foundation**, Nairobi, v. 53, p. 309-312, Apr. 1988.

GENUCHTEN, M. T. van; NIELSEN, D. R. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. **Annales Geophysicae**, Paris, v. 3, n. 5, p. 615-628, 1985.

GRASSINI, P. et al. Limits to maize productivity in Western Corn-Belt: a simulation analysis for fully irrigated and rainfed conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, n. 8, p. 1254-1265, Aug. 2009.

GROVE, B.; OOSTHUIZEN, L. K. Stochastic efficiency analysis of deficit irrigation with standard risk aversion. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 6, p. 792-800, June 2010.

GUARÇONI, A. M. **Densidade de plantio:** influência na fertilidade do solo e na adubação. Disponível em: <<http://www.revistacafeicultura.com.br/index.php?tipo=ler&mat=26931#axzz1ZLj48Xa5>>. Acesso em: 23 maio 2013.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5^a aproximação.** Viçosa, MG: UFV, 1999. 3002 p.

HASSANLI, A. M. et al. Evaluation of the influence of irrigation methods and water quality on sugar beet yield and water use efficiency. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 2, p. 357-362, Feb. 2010.

HEXEM, R. W.; HEADY, E. O. **Water production function for irrigated agriculture.** Ames: The Iowa State University, 1978. 215 p.

HOFFMAN, R. et al. Teoria da produção. In: _____. **Administração da empresa agrícola.** 5. ed. São Paulo: Pioneira, 1987. p. 71-116.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.
Levantamento sistemático da produção agrícola: pesquisa mensal de acompanhamento e previsão de safra agrícola no ano civil. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default_publ_completa.shtm>. Acesso em: 10 abr. 2013.

KUMAR, D. Some aspects of the physiology of *Coffea arabica L.*: a review. **Kenya Coffee**, Nairobi, v. 27, n. 1, p. 9-74, 1979.

LAVIOLA, B. G. et al. Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1521-1530, nov. 2007.

LIMA, L. A. et al. Produtividade e rendimento do cafeeiro nas cinco primeiras safras irrigado por pivô central em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1832-1842, nov./dez. 2008.

MACIEL, J. L.; DANTAS NETO, J.; FERNANDES, P. D. Resposta da goiabeira à lâmina de água e à adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 571-577, dez. 2007.

MALAVOLTA, E. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato; Instituto Internacional da Potassa, 1981. 224 p.

MARTIN, N. B.; VEGRO, C. L. B. Café: recomposição da renda, o principal objetivo de 2007. **Boletim Eletrônico: Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 1, n. 2, fev. 2007. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=8635>>. Acesso em: 10 abr. 2013.

MARTINS, C. C. et al. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, 2007.

MARTINS, E.; ROCHA, W. **Contabilidade de custos**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 118 p.

MARTINS, E.; ROCHA, W. **Contabilidade de custos**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2006. 165 p.

MASARIRAMBI, M. T. et al. The effect of irrigation on synchronization of coffee (*Coffea arabica* L.) flowering and berry ripening at Chipinge, Zimbabwe. **Physics and Chemistry of the Earth**, Oxford, v. 34, n. 13/16, p. 786-789, 2009.

MCCARL, B. A. et al. Climate change and future analysis: is stationarity dying? **American Journal of Agricultural Economics**, Saint Paul, v. 90, n. 5, p. 1241-1247, 2008.

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.

NJOROGE, J. M.; KIMEMIA, J. K. Influence of tree training and plant-density on yields of an improved cultivar of Coffea-arabica. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 30, n. 1, p. 89-94, Jan. 1994.

OLIVEIRA, H. R. Formação de preço de venda no comércio varejista: um estudo de caso em uma rede de lojas de tintas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 12., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2005. p. 1-13.

PALACIOS, E. V. Response functions of crops yield to soil-moisture stress. **Water Resources Bulletin**, Oxford, v. 17, n. 4, p. 699-703, 1981.

PAULO, E. M. et al. Comportamento de cultivares de cafeeiro em diferentes densidades de plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 397-409, 2005.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. Influência da densidade de plantio de cafeeiros sobre a fertilidade do solo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ, 1., 1996, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996. p. 87-105.

PAZ, V. P. S. et al. Otimização do uso da água em sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 404-408, set./dez. 2002.

PEREIRA, A. L.; CRUZ, R. L.; KROLL, L. B. Efeitos de lâminas de água e doses de adubação nitrogenada em cobertura, sobre a produção do feijoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBEA, 2000. 1 CD-ROM.

PEREIRA, J. B. A. **Avaliação do crescimento, necessidade hídrica e eficiência no uso da água pela cultura do pimentão (*Capsicum Annuum* L.), sob manejo orgânico nos sistemas de plantio com preparo do solo e direto.** 2006. 112 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

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.

PERERIA, S. P. et al. Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 2, p. 152-160, fev. 2011.

PERI, G.; HART, W. E.; NORUN, D. I. Optimal irrigation depths methods of analysis. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 105, n. IR4, p. 341-345, 1979.

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).

PREZOTTI, L. C.; ROCHA, A. C. D. Nutrição do cafeeiro arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 239-251, 2004.

QUEIROZ, J. E. et al. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: terra como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 1, p. 55-61, jan. 1996.

REIS, R. P. **Introdução à teoria econômica**. Lavras: FAEPE/UFLA, 1999. 108 p.

RENA, A. B. et al. Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1., 1994, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1994. p. 73-85.

REZENDE, R. et al. Crescimento inicial de duas cultivares de cafeeiro em diferentes regimes hídricos e dosagens de fertirrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 446-458, 2010.

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

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T. **Cultivo do cafeeiro irrigado em plantio circular sob pivô central**. Belo Horizonte: O lutador, 2002. 251 p.

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

SANTOS, M. L. **Espaçamentos para cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com e sem irrigação em região de cerrado**. 2005. 44 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de São Paulo, Ilha Solteira, 2005.

SARAIVA, A.; RODRIGUES, M.; COSTA, R. Determinação da margem de contribuição de produtos com variabilidade de preços e custos diretos unitários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 15., 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2008. p. 1-15.

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

SILVA, E. A. D. et al. Influência de déficits hídricos controlados na uniformização do florescimento e produção do cafeeiro em três diferentes condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 493-501, 2009.

SILVA, M. et al. Technical and economic viability of the cultivation of late summer cultivation period of the sunflower irrigation in the Lavras, MG region. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 200-205, jan./fev. 2007.

SOARES, A. R. et al. Irrigação e fisiologia da floração em cafeeiros adultos na região da zona da mata de Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 117-125, jan./mar. 2005.

SOARES, F. C. **Análise de viabilidade da irrigação de precisão na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 2010. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

SOUSA, V. F.; COÊLHO, E. F.; SOUZA, V. A. B. Frequência de irrigação em meloeiro cultivado em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 659-664, abr. 1999.

SOUZA, J. L. M.; FRIZZONE, J. A. Modelo aplicado ao planejamento da cafeicultura irrigada: análise de risco econômico da cafeicultura em dois sistemas de irrigação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 399-408, 2003.

TESFAYE, S. G. et al. Effects of deficit irrigation and partial rootzone drying on growth, dry matter partitioning and water use efficiency in young coffee (*Coffea arabica* L.) plants. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 6, n. 3/4, p. 312-317, July/Oct. 2008.

TOLEDO, S. V.; BARROS, I. de. Influence of plant density and pruning system on the yield of coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 8, p. 1379-1384, ago. 1999.

TUBIELLO, F. N.; ROSENZWEIG, C. Developing climate change impact metrics for agriculture. **The Integrated Assessment Journal**, Vancouver, v. 8, n. 1, p. 165-184, 2008.

TURCO, J. E. P.; RIZZATTI, G. S.; PAVANI, L. C. Custo de energia elétrica em cultura do feijoeiro irrigado por pivô central, afetado pelo manejo da irrigação e sistemas de cultivo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 311-320, jun. 2009.

URIBE, H. A.; MESTRE, M. A. Efecto de la densidad de poblacion y de la disposicion de los arboles em la producion de café. **Cenicafe**, Chinchina, v. 39, n. 2, p. 31-42, 1988.

VAUX JUNIOR, H. J.; PRUITT, W. O. Crop-water production functions. **Advances in irrigation**, New York, v. 2, p. 61-97, 1983.

WERNKE, R.; LEMBECK, M. Rentabilidade de segmentos de mercado: estudo de caso em distribuidora de bebidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 13., 2006, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2006. p. 1-14.

ZWART, S. J.; BASTIAANSEN, W. G. M. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 69, n. 2, p. 115-133, Sept. 2004.