

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO
JEQUITINHONHA E MUCURI – UFVJM**

WAGNER VICENTE RODRIGUES DE ALMEIDA

**EFICIÊNCIA DA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA E DO CONSUMO DE ENERGIA NA
CAFEICULTURA NA REGIÃO DO ALTO JEQUITINHONHA**

**DIAMANTINA – MG
2010**

WAGNER VICENTE RODRIGUES DE ALMEIDA

**EFICIÊNCIA DA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA E DO CONSUMO DE ENERGIA NA
CAFEICULTURA NA REGIÃO DO ALTO JEQUITINHONHA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, área de concentração em Solo e Água, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Márcio Pereira de Souza

DIAMANTINA - MG

2010

EFICIÊNCIA DA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA E DO CONSUMO DE ENERGIA NA
CAFEICULTURA NA REGIÃO DO ALTO JEQUITINHONHA

WAGNER VICENTE RODRIGUES DE ALMEIDA

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, área de concentração em Solo e Água, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADO em ____ de _____ de 2010

DIAMANTINA – MG

2010

OFEREÇO

A todos os Agricultores do Alto Jequitinhonha, que têm na cafeicultura irrigada a sua geração e fonte de renda, para que sirva como base para um manejo correto dessa irrigação.

DEDICO

A todos os profissionais que trabalham com assistência técnica aos cafeicultores do Alto Jequitinhonha.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me dar saúde, força e conhecimento para superar todas as barreiras impostas sobre meu objetivo final, a conclusão desta pós-graduação.

Ao meu filho Vinícius e à minha esposa Farailde, por enfrentarem as mesmas dificuldades que enfrentei e terem me apoiado com a maior força que o homem precisa: o “amor”.

Aos meus pais, por me darem a base da educação, que contribuiu para o meu caráter pessoal, e pelo apoio incondicional à minha formação profissional.

Ao meu orientador na pós-graduação, Professor Dr. Cláudio Márcio Pereira de Souza, pela paciência, amizade, confiança, atenção, ensinamentos e conselhos, que contribuíram tanto para minha pesquisa como para meu crescimento profissional e pessoal.

Aos professores da UFVJM, Cintya e Daniel, pela confiança em mim depositada ao me recomendarem ao curso de pós-graduação em Produção Vegetal da UFVJM.

Ao Sr. Geraldo Durães, gerente regional da EMATER-MG, pela confiança, apoio e compreensão depositados em mim no período do curso e pela intercessão junto ao departamento técnico da EMATER-MG para pudesse fazer esta pós-graduação.

Ao Sr. José Silva, presidente da EMATER-MG, também pela confiança em mim depositada e pela permissão para eu fazer esta pós-graduação.

Aos colegas da Unidade Regional da EMATER-MG de Diamantina, pela compreensão e apoio na execução dos trabalhos da EMATER-MG, durante o período de estudo.

Aos colegas de escritório em Carbonita, Ronaldo do Rosário (ex-Secretário de Agricultura), José Geraldo Coimbra (ex-Secretário de Meio Ambiente de Carbonita), José Maria Guimarães “Keno”, pelo apoio nas Assistências Técnicas aos Agricultores Familiares de Carbonita, nos períodos em que me ausentava do escritório para estudar e fazer os trabalhos de campo.

Ao André da BAMAQ, pelo apoio e auxílio nos trabalhos de campo.

Aos proprietários e funcionários das propriedades rurais pesquisadas.

Aos professores e colegas do curso de pós-graduação em Produção Vegetal da UFVJM.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	07
ABSTRACT	08
I INTRODUÇÃO	09
II REVISÃO DE LITERATURA	10
1.0 A Cultura do Café	10
1.1 Produtividade do Cafeeiro.....	10
2.0 FENOLOGIA	12
2.1 Fenologia do Cafeeiro.....	12
2.2 Evapotranspiração Potencial (ETo).....	13
2.3 Coeficiente de Cultura (Kc).....	14
3.0 IRRIGAÇÃO	15
3.1 A Irrigação na Cafeicultura.....	15
3.2 Irrigação por Gotejamento.....	16
3.3 Manejo da Irrigação.....	17
3.4 Avaliação dos Sistemas de Irrigação.....	20
4.0 FONTES DE ÁGUA	23
4.1 Consumo de Água na Irrigação (pela cultura do café).....	24
4.2 Cobrança pelo Uso da Água.....	25
5.0 Consumo de Energia Elétrica na Irrigação.....	27
III MATERIAIS E MÉTODOS	29
1.0 Localização e Caracterização dos sistemas Avaliados.....	29
2.0 Precipitação e Temperatura.....	30
3.0 Fontes de Água.....	30
4.0 Uniformidade de Aplicação de Água.....	30
5.0 Coeficientes de Uniformidades.....	31
6.0 Coeficiente de Cultura.....	31
7.0 Evapotranspiração Real da Cultura (ETo).....	32
8.0 Consumo de Energia.....	32
IV RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
1.0 Precipitação.....	34
2.0 Fonte de Água.....	34
3.0 Eficiência do Uso da Água nas Propriedades.....	34

4.0 Eficiência dos Sistemas de Irrigação.....	37
5.0 Consumo de Água pelo Cafeeiro (ETc).....	39
6.0 Consumo e Custo da Energia Elétrica.....	40
V CONCLUSÕES.....	42
VI REFERÊNCIAS	43

EFICIÊNCIA DA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA E DO CONSUMO DE ENERGIA NA CAFEICULTURA NA REGIÃO DO ALTO JEQUITINHONHA

Autor: Wagner Vicente Rodrigues de Almeida

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Márcio Pereira de Souza

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido em 12 propriedades rurais localizadas nos municípios de Capelinha, Carbonita, Itamarandiba e Turmalina, produtoras de café irrigado pelo sistema de gotejamento, com o objetivo de avaliar a eficiência da irrigação localizada e do consumo de energia na cafeicultura na região do Alto Jequitinhonha, no período de janeiro a julho de 2009. Para isso foram realizadas medições das vazões dos gotejadores, em talhões de café com idade de 5 anos. Os gotejadores foram selecionados utilizando-se a metodologia proposta por KELLER & KARMELI. Por meio dos resultados dos cálculos obtidos a partir dos dados coletados em campo, estimou-se o volume de água aplicado, o consumo de energia real de cada propriedade rural e kg de grãos produzido por lâmina de água aplicada pelo produtor. Em seguida, com as informações da evapotranspiração real, da evapotranspiração da cultura, eficiência do sistema de irrigação e K_c da cultura do café, determinou-se o volume de água e o consumo de energia elétrica simulados para a condição de manejo adequado da irrigação nas propriedades em estudo, no período de janeiro a julho de 2009. Os resultados obtidos permitiram concluir que, em função da inexistência de um manejo adequado da irrigação, 75% e 25% das propriedades em estudo apresentaram, respectivamente, aplicação em excesso e em déficit de água. Essa falta de manejo dos sistemas de irrigação teve implicação direta no consumo de água, de energia elétrica e de kg de grãos produzido por mm de água aplicada na cultura do café nas propriedades pesquisadas durante o período do estudo.

Palavras-chave: Eficiência energética, café, produtividade e rendimento.

EFFICIENCY OF LOCATED IRRIGATION AND THE CONSUMPTION OF ENERGY IN COFFEE CULTURE IN THE REGION OF HIGH JEQUITINHONHA

Author: Wagner Vicente Rodrigues de Almeida

Adviser: Prof. Dr. Cláudio Márcio Pereira de Souza

ABSTRACT

The present work was developed in 12 rural properties located in the districts of Capelinha, Carbonita, Itamarandiba and Turmalina, considering all of them coffee producers that use the leaking system for irrigation with the aim of evaluate efficiency of located irrigation and energy consumption in the region of High Jequitinonha in the period from January to July in 2009. For that were realized measurements of flow in the leaking system using plots of coffee with 5 years old and the tools were selected using the methodology wich was proposed by KELLER & KARMELI. Through the results obtained from data colecting in field it was possible to the estimate the volume of applied water, energy consumption in each rural property and kg of grain produced by water shade. Then, with the information about real evapotranspiration, evapotranspiration of culture, irrigation system efficency and Kc of coffee culture, it was determined water volume and eletric energy consumption simulated to the condition of adequated irrigation handling in the properties of study from January to July of 2009. In conclusion, the results showed that due to inexistence of adequated irrigation handling, 75% and 25% of the studied properties presented, respectively, use of water in excess and in lack. This lack of handling in the irrigation system had direct inference in water consumption, electric energy and kg of produced grains per mm of applied water in coffee culture in the studied properties during the period of the work.

Keywords: energetic efficiency, coffee, productivity and income

I. INTRODUÇÃO

O café é importante para o Brasil desde a época do império e, em razão das condições climáticas favoráveis, o seu cultivo se espalhou rapidamente no Brasil, passando em pouco tempo a ser o produto base da economia brasileira. As divisas geradas pela economia cafeeira aceleraram o desenvolvimento do país, inserindo-o nas relações internacionais de comércio (ABIC, 2005). O café é responsável pela geração de um grande número de empregos em todos os setores da economia, desde os setores de máquinas, equipamentos e insumos, passando pela produção no campo e pela indústria, até o setor de serviços, como logística e comércio (EMBRAPA, 2004).

A cultura do café ocupou vales e montanhas, contribuindo para o surgimento de cidades no interior de São Paulo, sul de Minas Gerais e norte do Paraná (ABIC, 2005).

Em Minas Gerais, expandiu-se para regiões com deficiência hídrica e má distribuição das chuvas, como é o caso da região do Alto Jequitinhonha, necessitando de irrigação.

Mesmo sendo uma das grandes regiões de cultivo do café de Minas Gerais e do Brasil, poucos são os trabalhos de pesquisa realizados sobre a cafeicultura dessa região. A cafeicultura do Alto Jequitinhonha apresenta uma baixa produtividade de café, mesmo nas áreas irrigadas, com um alto custo de produção, quando comparada com outras regiões de Minas Gerais e do Brasil, o que vem causando, nos últimos anos, uma significativa redução das áreas com cultivo de café.

O desenvolvimento e divulgação de trabalhos de pesquisa sobre a cafeicultura do Alto Jequitinhonha Mineiro se tornam, então, necessários como elementos norteadores para a diminuição dos custos de produção do café e aumento da produtividade, para que a cafeicultura dessa região seja competitiva com as demais regiões produtoras de café do Brasil.

Dessa forma foi proposto o presente trabalho, que tem como objetivo verificar a eficiência da irrigação localizada e do consumo de energia elétrica das lavouras de café irrigado implantadas no Alto Jequitinhonha, em Minas Gerais.

II. REVISÃO DE LITERATURA

1. Produção de Café

Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de café, com uma área estimada de 2,34 milhões de hectares e com produção estimada para a safra 2009/2010 de 39,07 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado, sendo que, aproximadamente, 28,3 milhões deverão ser de café Arábica e 10,75 milhões de café Conilon, o que representa uma redução de 15,0%, quando comparada com a produção de 46,0 milhões de sacas obtida na safra anterior. Está presente em mais de 2.000 municípios de 16 Estados da Federação, do Paraná ao Amapá. O Estado de Minas Gerais responde com 50,76% da produção atual de café, com uma produção estimada para a safra de 2009 de 19.61 milhões de sacas, sinalizando uma redução de 16,82% em relação à safra de 2008. A área em produção deverá ser em torno de 1 milhão de hectare, representando uma redução de 4,51% em relação à safra passada (CONAB, 2009).

1.1 Produtividade

A produtividade média de café na região do Jequitinhonha no ano de 2009, segundo dados da CONAB, 2009, foi de 16,93 sacas de café por hectare, o que demonstra uma queda de 6% com relação à produtividade da safra de 2008, conforme a tabela 1.

Em 2007, o país exportou 27 milhões de sacas, sendo o maior exportador de café verde do mundo, o que gerou uma receita de U\$ 1,25 bilhão. Não apenas na produção, mas também no consumo, o país figura entre os principais exportadores. No passado, o Brasil consumiu cerca de 17,1 milhões de sacas de café, número esse 4,6% maior que o registrado no ano de 2006 (ABIC, 2008).

Tabela 1. Área de cultivo de café em formação e produção, safras dos anos de 2007, 2008 e 2009.

Regiões	Áreas (ha)				Produtividade Média (Sacas beneficiadas/ha)	
	Formação 2008	Produção		2009	2008	2009
		2007	2008			
MINAS GERAIS	122.156	1.016.414	1.048.172	1.000.934	22,50	19,60
Sul de Minas e Centro Oeste de Minas	66.538	506.618	551.471	505.497	21,97	18,84
Triângulo, Alto Paranaíba e Noroeste	20.420	155.310	158.753	159.042	28,56	23,86
Zona da Mata, Rio Doce e Central	28.880	301.132	298.649	297.246	20,83	18,94
Norte de Minas e Jequitinhonha/Mucuri	6.318	53.354	39.299	39.149	17,98	16,93
Outros Estados	70.731	1.056.678	1.121.623	1.101.172	19,98	17,61
Brasil	192.887	2.073.092	2.169.795	2.102.106	21,20	18,55

Fonte: Adaptado de: Companhia Nacional de Abastecimento CONAB 2009.

Uma das tecnologias mais adotadas pelos produtores, principalmente os que têm suas lavouras situadas em região do cerrado, é a irrigação. Essa prática, quase obrigatória para plantas cultivadas no cerrado, interfere no crescimento, na produtividade, na qualidade do produto colhido e na longevidade produtiva da plantas. No entanto, não existe consenso sobre o manejo dessa irrigação, principalmente com relação à eficiência do uso da água e da energia elétrica.

2. FENOLOGIA

2.1 Fenologia do Cafeeiro

O conhecimento das fases fisiológicas da frutificação do cafeeiro é fator importante a ser considerado no manejo da irrigação visando-se obter boa produtividade, qualidade do produto, eficiência no uso da água e da energia elétrica.

A irrigação visa suplementar o volume de chuvas porventura insuficiente nas diferentes fases fenológicas críticas.

A vegetação e a frutificação dos cafeeiros abrangem seis fases fenológicas distintas, em ciclos com dois anos.

A 1ª fase é vegetativa, com duração de sete meses, de setembro a março, todos com dias longos. A 2ª fase, também vegetativa, tem duração de abril a agosto, com dias curtos, quando há indução das gemas vegetativas dos nós formados na 1ª fase para gemas reprodutivas. No final da 2ª fase, em julho e agosto, as plantas entram em relativo repouso, com formação de um ou dois pares de folhas pequenas. Em seguida, ocorre a maturação das gemas reprodutivas, após o acúmulo de cerca de 350 mm de evapotranspiração potencial (ET_o), a partir de abril. A 3ª fase, de florada e expansão dos frutos, ocorre de setembro a dezembro. As floradas ocorrem cerca de 8 a 15 dias após o aumento do potencial hídrico nas gemas florais (choque hídrico), causado por chuva ou irrigação. A 4ª fase corresponde à granação dos frutos e ocorre de janeiro a março. Após a florada principal, tem-se início a 5ª fase, quando há a maturação dos frutos ao completar cerca de 700 mm de somatório de ET_o. Finalmente, a 6ª fase, de senescência e morte dos ramos produtivos não primários, ocorre em julho e agosto (CAMARGO & CAMARGO et al., 2001).

Nesse contexto, a precipitação é um dos elementos meteorológicos de grande importância para a cultura, uma vez que sua ausência ou excesso, dependendo da fase fenológica na qual ocorra, poderá implicar em prejuízos, tanto no acúmulo de matéria seca (crescimento) quanto na produtividade e qualidade dos grãos (SIONIT & KRAMER, 1977).

A faixa de precipitação ideal deve se situar entre 1200 e 1800 mm, embora trabalhos indiquem que o cafeeiro cresce sob ampla faixa de precipitações (DAMATTA & RENA, 2002). Além disso, a necessidade hídrica depende de outros fatores, como a distribuição anual

de chuvas e o ritmo anual da evapotranspiração, o que pode compensar a ocorrência de precipitações relativamente baixas.

2.2 Evapotranspiração Potencial (ET_o)

É o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e por transpiração das plantas. Dependendo das condições da vegetação, do tamanho da área vegetada e do suprimento de água pelo solo, são definidas situações bem características, tais como, potencial, real, de oásis e de cultura.

Para não comprometer o desenvolvimento da planta, toda a água consumida pela evapotranspiração deve ser reposta sob a forma de precipitação ou irrigação, de forma a manter, no solo, umidade ideal para que as raízes consigam retirar a quantidade de água necessária, sem restrições (BERNARDO S. et al., 2008). Assim, estudos da evapotranspiração e a estimativa dos coeficientes de cultura, nas diferentes fases de desenvolvimento, são de fundamental importância para o projeto e o manejo de irrigação, contribuindo para o aumento de produtividade e a otimização dos recursos hídricos e energéticos, que estão cada vez mais escassos.

Dentre os estudos que necessitam da disponibilidade de dados climáticos, os que visam estimativa da evapotranspiração são de extrema importância, especialmente para a irrigação. Os métodos de estimativa da evapotranspiração estão divididos em métodos diretos e indiretos.

Os métodos diretos estimam a evapotranspiração potencial diretamente por meio de lisímetros, balanço hídrico e controle de umidade no solo, sendo métodos difíceis e onerosos, pois exigem equipamentos e instalações especiais e os instrumentos são de alto custo, justificando-se apenas em condições experimentais (PEREIRA et al., 1997).

Os métodos indiretos estimam a evapotranspiração potencial em função da evapotranspiração de referência e do coeficiente da cultura (k_c). Esses métodos, no entanto, necessitam do conhecimento das variáveis climáticas, por meio de modelos que estimam a ET_o (VANZELA et al, 2007).

Esses modelos podem ser simples, como os baseados na temperatura, por exemplo, os de THORNTHWAITE, em 1948, e HARGREAVES e SAMANI, em 1985 (PEREIRA et al.,

2002), até os mais complexos, que envolvem o balanço de energia, como a de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998).

No entanto, além de existir um grande número de métodos empíricos desenvolvidos para estimar a ETo a partir de diferentes variáveis climáticas, a grande limitação da maioria deles é que sempre necessitam de calibrações locais para terem precisão (ALLEN et al., 1998).

2.3 Coeficiente de Cultura (Kc)

A determinação da evapotranspiração do cafeeiro, assim como os coeficientes utilizados no manejo da irrigação, têm sido o grande desafio dos pesquisadores, que procuram caracterizar regionalmente esses fatores, buscando a condição ideal de suprimento hídrico da cultura (BERNARDO, 1995).

O coeficiente de cultura (Kc) é um indicador de significado físico e biológico, uma vez que depende da área foliar, da arquitetura (parte aérea e sistema radicular), da cobertura vegetal e da transpiração da planta (ALLEN et al., 1994).

No decorrer do período vegetativo, o valor de Kc muda de acordo com o crescimento, o desenvolvimento da cultura, com a textura e o teor de água do solo, com a profundidade e a densidade do sistema radicular, e com as características fenológicas da planta, variando também com a fração de cobertura da superfície do solo pela vegetação à medida que as plantas envelhecem e atingem a maturação (SEDIYAMA et al., 1998).

Entretanto, o conceito de Kc tem sido usado extensivamente para estimar a necessidade real de água de uma cultura por meio de estimativas ou medições da evapotranspiração da cultura (ETc.) (SEDIYAMA et al., 1998).

Com relação à cultura do café, GUTIÉRREZ & MEINZER (1994) apresentaram Kc de 0,58 para cafeeiros com aproximadamente um ano de plantio e valores médios de 0,75 e 0,79 no período de dois a quatro anos de idade. Para cafezais com manejo adequado e altura de 2 a 3 m, em clima subúmido, ALLEN et al. (1998) propõem Kc entre 0,90 e 0,95, na ausência de plantas daninhas, e de 1,05 a 1,10, na presença dessas, adotando a evapotranspiração de referência estimada pela equação de Penman-Monteith (FAO).

3. Irrigação

3.1 A irrigação na Cafeicultura

A cafeicultura constitui uma das mais importantes atividades agrícola do país desde o século passado, e até poucos anos foi explorada quase exclusivamente em áreas não irrigadas. Porém, nos últimos 20 anos, a cafeicultura brasileira sofreu mudanças que potencializaram a busca por sistemas altamente tecnificados, que incorporam avanços técnicos e empresariais.

Dentre esses avanços, destaca-se a utilização da irrigação que, segundo MANTOVANI (2000) e SATURNINO (2007), além de proporcionar maior produtividade e melhor qualidade do produto, poderá proporcionar menores riscos e maior eficiência na utilização e aplicação de insumos. Apesar da maior ocorrência de cafeicultura irrigada em regiões onde existem maiores restrições hídricas, é grande também a implantação de projetos de irrigação em áreas tradicionais de cafeicultura, como nas regiões Sul e da Zona da Mata de Minas Gerais, além de diversas regiões do Estado de São Paulo (MANTOVANI & SOARES, 2003).

A implantação da irrigação em áreas tradicionais de cafeicultura é justificada tanto na região Sul de Minas como em outras também consideradas climaticamente livres de déficit hídrico para o cafeeiro, pelo fato de sofrerem, na maioria das vezes, o efeito de estiagens prolongadas nos períodos críticos de demanda de água pelo cafeeiro (ALVES, 1999).

A irrigação visa atender à demanda de água das plantas nos períodos críticos, sendo necessário aplicá-la em quantidade correta. Se insuficiente, prejudica o desenvolvimento do sistema radicular e, se em excesso, provoca desperdícios de água, energia e nutrientes (CAMARGO, 1985).

O uso da irrigação tem proporcionado aumentos na produtividade, tanto em regiões onde a deficiência hídrica coincide com o estágio de frutificação, como em regiões aptas ao cultivo, como o Sul de Minas Gerais (MATIELLO, 1991; FARIA & SIQUEIRA, 2005).

A irrigação em cafeeiros já é uma prática bastante recomendada na maioria das regiões produtoras do País; estimativas indicam que a cafeicultura irrigada já ocupa cerca de 8 a 10% da cafeicultura brasileira, totalizando 200.000 ha, distribuídos principalmente nos Estados do Espírito Santo (60 a 65%), Minas Gerais (20 a 25%) e Bahia (10 a 15%) (SATURNINO, 2007, MANTOVANI, 2003).

Atualmente, o Brasil possui cerca de 3.440.470 hectares de agricultura irrigada, sendo 50% de superfície, 19% por aspersão, 21% por pivô e 10% localizada (CHRISTOFIDIS, 2004).

No Brasil, o cafeeiro sempre foi cultivado em regiões úmidas, onde o suprimento hídrico proveniente da chuva é suficiente para manter o crescimento e a produtividade das plantas. No entanto, a partir da década de 80 do século passado, essa cultura tem ganhado novas áreas, as quais possuem características bem diferentes das tradicionais. Essas novas regiões produtoras são o cerrado e o nordeste do país, sendo a primeira a que mais tem abrigado esse cultivo nos últimos anos.

No entanto, a região do cerrado apresenta limitação ao cultivo do ponto de vista hídrico, por apresentar período acentuado de seca, o que tem prejudicado o desenvolvimento e a produção das plantas.

Por outro lado, essa limitação pode ser superada pela adoção da irrigação, a qual visa suprir hidricamente as plantas durante a estação seca nos veranicos, muito comuns nessa região.

Nessas condições, a irrigação tem apresentado excelente retorno, aumentando significativamente a produção (ROTONDANO, 2004).

E a irrigação promove, além da melhoria da produtividade e da renda, o formato, o tamanho dos grãos e a qualidade da bebida, uma vez que plantas sujeitas ao déficit hídrico produzem grãos pequenos (peneira baixa) e com defeitos, diminuindo a qualidade do produto (MATIELLO et al., 2005).

3.2 Irrigação por Gotejamento

A introdução de sistemas de irrigação por gotejamento em escala comercial na cultura do café ocorreu aproximadamente nos últimos vinte anos no país, mais especificamente durante os anos 90, sendo que, na segunda metade dessa década, os sistemas de gotejamento se popularizaram e sua aplicação em lavouras de café cresceu de forma significativa.

Estima-se que aproximadamente 15 a 20 mil hectares de café estejam sendo irrigados por gotejamento no Brasil e os números crescem a cada ano (AGRIANUAL, 2002).

O uso da técnica de irrigação em cafeeiros, por gotejamento superficial ou subsuperficial, acarreta-lhes produção significativamente superior (VICENTE et al., 2003). Na ausência da prática da irrigação em áreas onde o déficit hídrico pode comprometer a produção, o país deixaria de produzir de 2 a 2,5 milhões de sacas de café beneficiadas por ano (SANTINATO et al., 1996).

A irrigação por gotejamento apresenta estreita relação de aplicabilidade com a cultura do café, motivo pelo qual vem apresentando uma ampla expansão. Trata-se do sistema que melhor se ajusta à irrigação do cafeeiro; normalmente, é utilizada distribuindo a tubulação de polietileno ao lado da linha de plantio sobre a superfície do solo e nos últimos projetos vem se debatendo o uso de sistemas enterrados, para não influenciar e não ser influenciada pelos tratamentos culturais e colheitas (MANTOVANI, 2000).

3.3 Manejo da Irrigação

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 aplicação de água em quantidade compatível com a necessidade de consumo da cultura (SILVA et al., 1998), considerando-se, ainda, os diferentes estádios de desenvolvimento da planta (SOUSA et al., 2001) e suas densidades de plantio (PAVAN & CHAVES, 1996; SANTANA et al., 2004).

A alta demanda hídrica pela irrigação, embora esteja relacionada ao alto consumo das plantas, muitas vezes também se deve à baixa eficiência no uso da água, em decorrência do emprego incorreto dos métodos ou a falta de técnicas de manejo da irrigação.

Estima-se que no Brasil as perdas de água pela irrigação estejam na ordem de 37,7%, o que representa 12.734.040.969 m³/ano (CHRISTOFIDIS, 1999).

A eficiência de irrigação representa a relação entre a quantidade de água conduzida pelos sistemas de irrigação às culturas e a quantidade que efetivamente chega ao sistema radicular delas, que varia de acordo com fatores ligados à própria operacionalização dos equipamentos, como vazamentos nas redes de distribuição, uniformidade de irrigação, tamanho de gotas, etc, e fatores externos, como características edafoclimáticas e das culturas.

As perdas por vazamentos nas redes de distribuição podem variar de 1 a 10%, dependendo das condições de conservação dos equipamentos (GOMES, 1997).

Sendo assim, medidas de controle da quantidade de água aplicada através de técnicas que melhorem a eficiência da aplicação de água pela irrigação são imprescindíveis para reduzir os impactos sobre os recursos hídricos.

Quanto aos métodos de irrigação, cabe ressaltar que, embora existam limites preestabelecidos para os diferentes tipos de equipamentos, a eficiência está mais relacionada com a correta operacionalização do que com a maneira de como a água atinge o seu objetivo final.

Na Tabela 3 estão apresentados, de acordo com MAROUELLI & SILVA (1998), a eficiência de irrigação e o consumo de energia elétrica dos diferentes métodos de irrigação.

Tabela 3. Eficiência de irrigação e consumo de energia para os diferentes métodos de irrigação.

Método de Irrigação	Eficiência de Irrigação (%)	Uso de Energia (kWh.m ⁻³)
Superfície	40 a 75	0,03 a 0,3
Aspersão	60 a 85	0,2 a 0,6
Localizada	80 a 95	0,1 a 0,4

Fonte: Marouelli e Silva (1998)

No Brasil, a grande maioria dos usuários da agricultura irrigada não adota qualquer estratégia de uso e manejo racional da água de irrigação, o que torna necessário, antes da implantação de novas áreas irrigadas, o estabelecimento de limites sustentáveis para a utilização da água, através da determinação dos aspectos quantitativos dos recursos hídricos (vazões médias e mínimas) e o monitoramento da sazonalidade da disponibilidade hídrica ao longo do ano, uma vez que a aplicação da água de irrigação em excesso pode levar à poluição de rios, lagos e lençol freático, em razão da lixiviação de elementos tóxicos e nutrientes; entretanto, em quantidade insuficiente pode resultar em estresse hídrico da cultura e afetar o crescimento normal das plantas.

Não se pode pensar em agricultura irrigada apenas como acréscimo de água ao sistema de produção tradicional. A irrigação modifica o ambiente agrícola, criando um novo sistema de produção, que deve ser planejado e tratado de forma diferenciada.

Apesar da disponibilidade de vários métodos de manejo, os irrigantes não têm sido receptivos a qualquer método em particular (ESPINDULA NETO, 2002). E os principais fatores que colaboram para tal ocorrência são os baixos custos da água de irrigação, em comparação com o custo de implantação de um programa de manejo, bem como a dificuldade

na identificação e quantificação da redução na produtividade em razão do atraso na irrigação, da fertilização imprópria e irrigação excessiva.

O manejo racional da água de irrigação pode ser realizado via planta, clima, solo ou pela combinação desses. O manejo via planta pode ser realizado por meio de avaliações do estado hídrico da cultura, como os métodos que avaliam temperatura foliar, potencial de água nas folhas, resistência estomática, grau de turgescência das plantas, fluxo de seiva, dentre outros (MARTINS C. C. et al, 2006).

O manejo da irrigação via clima pode ser realizado pela reposição da água consumida pela cultura, desde a última irrigação ou, ainda, por meio do balanço hídrico, que considera todos os fluxos de água que entram e saem do volume de solo explorado pelas raízes. 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 os componentes de saída. Já manejo de irrigação via solo considera a umidade do solo onde o sistema radicular da cultura está se desenvolvendo e pode ser feito usando-se tensiômetro, mas requer manutenção adequada e frequente (MARTINS C. C. et al, 2006).

Métodos de uso menos comuns, como medidas de potencial de água na folha (CRISOSTO et al., 1992), resistência estomática, transpiração (FERREIRA et al., 1995) e o uso da termometria ao infravermelho na detecção do estresse hídrico (COSTA & STEINMETZ, 1995) também têm sido estudados como indicativos do estresse hídrico na planta e, conseqüentemente, como métodos alternativos para o manejo da irrigação (CARVALHO et al., 2006). Todavia, pela complexidade envolvida e custo, têm sido mais aplicados para fins de pesquisa.

Mais recentemente, tem-se desenvolvido trabalhos utilizando-se técnicas mais modernas, como a determinação do fluxo de seiva e métodos que utilizam variáveis meteorológicas para a determinação da evapotranspiração (MARIN, 2003).

Em relação à quantidade de água, diversos trabalhos vêm sendo conduzidos para se estabelecer técnicas de manejo da irrigação. Muitos estabelecem a quantidade ideal em função da lâmina evaporada do tanque classe A, ou do valor do potencial matricial limite, e outros em função do valor de K_c (MARTINS et al., 2004).

O manejo da água de irrigação está diretamente relacionado com as necessidades hídricas das culturas, com as características hidráulicas do sistema de irrigação selecionado e com a capacidade de retenção de água pelo solo na profundidade efetiva da raiz da cultura (SOARES et al., 1998).

Assim, pode-se maximizar a produtividade e a eficiência no uso da água e minimizar os custos com mão-de-obra, energia e com a própria água, mantendo-se condições de umidade do solo favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura irrigada (MOREIRA, 1992; BERNARDO, 1995; MATIELLO et al., 2002).

3.4 Avaliação dos Sistemas de Irrigação

Vários são os fatores que afetam o desenvolvimento das plantas, quando se ressalta a água que, em excesso ou escassez, contribui para a diminuição dos rendimentos das culturas (Valnir Júnior, 2000).

Silva et al. (1997) afirmam que frequentemente é necessário avaliar o desempenho de um sistema de irrigação, a fim de determinar sua aplicabilidade em certas condições. Um sistema de irrigação pode ser avaliado levando-se em conta aspectos técnicos (eficiência e uniformidade) e aspectos econômicos, tanto no desenvolvimento de projetos, bem como no manejo de sistemas de irrigação.

Segundo Keller e Bliesner (1990), o conceito de eficiência abrange dois aspectos básicos: a uniformidade de aplicação e as perdas, que podem ocorrer durante a operação do sistema. Para que a eficiência possa atingir valores altos, é necessário que as perdas durante a operação sejam as menores possíveis e maiores a uniformidade de aplicação e distribuição.

Para medir e mostrar o quanto efetiva está sendo a prática de irrigação em uma propriedade, existem várias definições e métodos empregados na avaliação de diferentes sistemas de irrigação. A avaliação de sistemas de irrigação é definida como a análise de qualquer sistema de irrigação, baseada em medidas e determinações de campo sob condições e práticas utilizadas normal e rotineiramente pelo agricultor.

Para se conhecer o nível de eficiência de um sistema de irrigação, é necessário que se façam avaliações sistemáticas. Uma avaliação completa requer a análise de fatores como superfície molhada e a avaliação do funcionamento de acessórios como emissores, filtros, reguladores de pressão e válvulas volumétricas. E, com o resultado, caso seja necessário,

podem ser realizados ajustes na operação e principalmente no manejo de irrigação (Sousa, 2003).

A obstrução dos emissores afeta a uniformidade de aplicação da água, a qual é avaliada através do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e uniformidade absoluta (UA), que dependem completamente das vazões dos emissores do sistema. À medida que se prolonga o tempo de uso do equipamento no decorrer do ciclo da cultura, aumenta-se a possibilidade de obstrução dos orifícios, afetando o rendimento da cultura, sendo necessária, assim, avaliação da uniformidade de distribuição da água (SOUSA, 2003). O coeficiente de uniformidade é utilizado para medir a uniformidade da quantidade de água aplicada, sendo esse valor expresso, muitas vezes, em percentagem. A falta de uniformidade pode ser causada por diversos fatores, entre eles as diferentes características dos emissores, um insuficiente controle de qualidade; falhas ou incompetência no cálculo do sistema, ou sua operação; outras pressões de serviço, além daquelas projetadas para os tipos de emissores usados; e variações físicas no sistema, que aparecem com o tempo (SALES et al., 2001).

De acordo com SOUZA et al. (2001), a uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação por gotejamento pode ser expressa através de vários coeficientes, destacando-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e a uniformidade estatística (Us) (BERNARDO, 1995; CAMP et al., 1997; KELLER & KARMELI, 1975).

Uma das etapas básicas quando da implantação ou manejo de um projeto de irrigação é a determinação da uniformidade de distribuição de água de irrigação, pois ela é o melhor indicativo da qualidade da irrigação. Todavia, a uniformidade de aplicação da água de irrigação é quantificada por meio dos coeficientes de uniformidade (RODRIGUES et al., 1997).

A uniformidade de aplicação de água influencia, diretamente, a produtividade da cultura e a energia consumida no bombeamento de água, sendo que a produtividade tende a aumentar com a uniformidade de aplicação da irrigação (SOARES et al., 1993).

Para os sistemas de irrigação localizada, segundo LOPES et al. (1992), é mais frequente o uso do coeficiente de uniformidade de distribuição, que possibilita uma medida mais restrita, dando maior peso às plantas que recebem menos água.

MERRIAM & KELLER (1978) apresentam um critério geral para interpretação dos valores de CUD para sistemas que estejam em operação por um ou mais anos: maior que 90%, excelente; entre 80% e 90%, bom; 70% e 80%, regular; e menor que 70%, ruim.

CHRISTIANSEN (1942) propôs a quantificação da distribuição das precipitações por um coeficiente que utiliza os desvios absolutos em relação à média, expresso pela equação 1:

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n\bar{X}} \right) \quad \text{equação 1.}$$

Onde:

CUC – coeficiente de uniformidade de distribuição de água de Christiasnsen;

X_i – precipitação coletada no pluviômetro de ordem i;

\bar{X} – média geral das precipitações coletadas nos pluviômetros;

n – número de pluviômetros.

4. Fontes de Água

Determinada a necessidade de se irrigar a cultura, deve-se analisar as fontes de água para verificar se são capazes de suprir as necessidades hídricas da cultura com água de boa qualidade e quantidade. As principais fontes de água para irrigação são rios, lagos ou reservatórios, canais ou tubulações comunitárias e poços profundos.

Vários fatores devem ser considerados na análise da adaptabilidade da fonte para irrigação, entre os quais a distância da fonte ao campo, a altura em que a água deve ser bombeada, o volume de água disponível (no caso de lago ou reservatório), a vazão da fonte no período de demanda de pico da cultura e a qualidade da água.

O volume de água disponível deve atender a necessidade sazonal de água da cultura (no caso de lago ou reservatório) e a vazão da fonte deve suprir a demanda durante todo o ciclo, principalmente durante o período de pico de consumo.

A qualidade da água, em termos de sais, poluentes e materiais sólidos, deve ser analisada. Muitas culturas não toleram sal na água. Poluentes podem contaminar os alimentos e os materiais sólidos podem causar problemas em bombas, filtros e emissores.

Atenção especial deve ser dada às leis de uso da água, em vigor no país. Os usuários são obrigados a requerer outorga para uso da água junto às agências de controle estaduais. O direito de uso da água de um usuário, localizado à jusante do ponto onde se tenciona captar a água para a irrigação, deve ser preservado, em termos de volume e vazão da fonte e qualidade da água.

Segundo AYERS & WESTCOT (1991), a agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água. No entanto, o aspecto qualidade tem sido desprezado pelo fato de que, no passado, as fontes de água, no geral, eram abundantes, de boa qualidade e de fácil utilização.

Essa situação, todavia, está se alterando em muitas localidades. O uso intensivo de praticamente todas as águas de boa qualidade implica, tanto para os projetos novos como para os antigos que requerem águas adicionais, em ter que se recorrer às águas de qualidade inferior. Para se evitar problemas posteriores, deve existir planejamento efetivo que assegure o melhor uso possível das águas de acordo com sua qualidade.

Sabe-se que, em regiões áridas e semiáridas, a concentração de sais nas águas de irrigação varia bastante de um local para outro e há evidência dessa variação ao longo do tempo, principalmente no caso de pequenos açudes (COSTA, 1982; LARAQUE, 1989). A falta de informações, completas e sistemáticas, quanto à qualidade da água, poderá conduzir ao uso de águas de qualidade inadequada, com consequentes efeitos deletérios nas propriedades físico-químicas dos solos, nos rendimentos das culturas e aos equipamentos.

A agricultura irrigada é reconhecida como atividade de grande impacto ambiental, pois ela é a atividade que mais utiliza água no mundo. Assim sendo, quando praticada de forma inadequada, contribui decisivamente para a redução da qualidade dos recursos hídricos (VANZELA, 2003).

4.1 Consumo de Água na Irrigação

A agricultura é responsável por cerca de 60% do consumo mundial de água doce no planeta. Tal fato tem demandado a implantação de tecnologias eficientes de irrigação, como também a utilização de métodos que quantifiquem as reais necessidades hídricas das culturas, para que haja o uso racional da água.

Vários fatores podem afetar o cafeeiro, sendo que o fator hídrico pode ser um dos mais importantes para o desenvolvimento vegetativo e a produtividade da planta.

De acordo com VIEIRA et al. (2000), conhecendo-se qual a quantidade de água a ser fornecida para as plantas, qual o momento e qual a frequência deve ser usada, pode-se garantir um manejo eficiente da irrigação, reduzindo custos e evitando excessos desnecessários.

Segundo FRIZZONE (2005), os fatores de solo, de planta e de atmosfera interagem entre si, determinando a produtividade das culturas agrícolas. Diante disso, a resposta das culturas à irrigação pode variar em diferentes solos, climas e também em decorrência da quantidade e frequência da aplicação de água.

O consumo de água pelo cafeeiro, para melhor definição da lâmina de irrigação a ser aplicada, tem sido quantificado, principalmente, pelo uso de variáveis climatológicas, através da evapotranspiração (ET_o) e do coeficiente de cultura (K_c) (DOORENBOS & KASSAN, 1979), ou mediante a adaptação do balanço hídrico do solo (CAMARGO PEREIRA, 1994).

Utilizado para expressar a relação entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o), o valor do coeficiente da cultura (K_c) varia de acordo com as características da cultura, datas de plantio ou semeadura, estágio de desenvolvimento e, em menor escala, com a variação dos elementos climáticos (PEREIRA & ALLEN, 1997; ALLEN et al., 1998; SEDIYAMA et al., 1998; BERNARDO et al., 2005).

O manejo adequado da irrigação tem, por um lado, o compromisso com a produtividade do cafeeiro e, por outro, o uso eficiente da água e da energia.

4.2 Cobrança pelo Uso da Água

De acordo com o Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, a análise da experiência estrangeira revelou que, em muitos países, como França, Alemanha e Inglaterra, entre outros, a cobrança pelo uso da água foi a maneira encontrada para enfrentar o desafio de melhorar as condições de aproveitamento, recuperação e conservação dos recursos hídricos.

Um dos objetivos da cobrança é induzir o uso racional da água, atribuindo-lhe valor econômico e estimulando-se a adoção de medidas para evitar perdas e desperdícios. Outro objetivo é constituir receita que possa viabilizar financiamentos para aplicação em projetos e obras hidráulicas e de saneamento, devendo constituir-se na maior fonte de recursos para as ações previstas no Plano de Bacias.

No Brasil, a preocupação dos legisladores com a utilização da água, data de 1934 com a decretação do Código das Águas, com normas que submetem o uso do recurso hídrico ao controle da autoridade pública no interesse da saúde e segurança, demonstrando certa preocupação com o uso múltiplo das águas (SENA, 1997). Porém, a cobrança nunca foi implementada por falta de regulamentação.

Atualmente, para os rios federais (que têm nascentes e foz em estados diferentes ou fazem a divisa entre estados), a cobrança pelo uso de recurso hídrico está prevista na Lei Federal nº. 9.433/97, que definiu outros quatro instrumentos essenciais à boa gestão dos recursos hídricos: outorga do direito de uso de recursos hídricos, enquadramento dos corpos d'água em classes de uso, Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos e Plano Nacional de Recursos hídricos (KELMAN, 1997). Esses instrumentos promovem uma descentralização da gestão, passando da sede do Poder Público para a esfera local da bacia hidrográfica.

O poder decisório passa a ser compartilhado nos Comitês de Bacias Hidrográficas e Conselhos de Recursos Hídricos. A lei autoriza a delegação às Agências de Bacias da cobrança pelo uso da água, mas mantém com o Poder Público o poder de outorgar direitos de uso (LOPES & CORDEIRO NETO, 1997).

A cobrança pelo uso da água é um instrumento de gestão e é uma das ferramentas das Políticas Nacional e Estadual de Recursos Hídricos, juntamente com a outorga e os Planos de Bacias Hidrográficas. Integra o SIGRH (Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos), instituído através da Lei n.º 7.663/91, obedecendo ao Dispositivo Constitucional.

A cobrança pelo uso da água começou de fato a ser trabalhada no Brasil com a criação da ANA – Agência Nacional de Águas, instituída a partir da Lei n.º 9.433, de 1997, que criou o Sistema Nacional de Recursos Hídricos. A ANA vem desenvolvendo ações para implementação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil desde 2001, em conjunto com gestores estaduais e comitês de Bacias.

Os princípios da cobrança pelo uso da água são fundamentados nos conceitos de “usuário pagador” e do “poluidor pagador”, adotados com o objetivo de combater o desperdício e a poluição das águas, de forma que quem desperdiçar e poluir paga mais.

Segundo a ANA, em função de condições de escassez em quantidade e ou qualidade, a água deixou de ser um bem livre e passou a ter valor econômico. Esse fato contribuiu para a adoção de um novo paradigma de gestão desse recurso, que compreende a utilização de instrumentos regulatórios e econômicos, como a cobrança pelo uso da água. Essa preocupação de cobrar surgiu após se reconhecer que a água é recurso natural limitado, finito e escasso, obrigando-nos a tratá-la como um bem de uso público, essencial à vida, dotado de valor econômico.

Partindo do princípio de que a água irá ser cobrada em quase todas as bacias hidrográficas do Brasil, cabe ao agricultor se adequar a essa nova realidade, adotando um programa de manejo da irrigação. Em um programa de manejo da irrigação, deve-se procurar maximizar a produtividade da cultura explorada, com eficiência do uso da água e da energia, mantendo as condições físicas, químicas e biológicas do solo e de fitossanidade favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura irrigada.

Assim, o cadastramento de agricultores irrigantes em uma bacia hidrográfica, a avaliação do nível técnico e dos tipos de sistemas de irrigação, o diagnóstico do uso da água em culturas agrícolas e o cadastramento de fontes poluidoras (fábricas, loteamentos, etc) podem colaborar com a cobrança pelo uso da água.

5. Consumo de Energia Elétrica na Irrigação.

A competitividade do setor agrícola é crescente, principalmente em tempos de globalização da economia. A busca por produtos de qualidade com preços competitivos é incessante. Nesse aspecto, a inserção de novas tecnologias no setor agrícola, especialmente na irrigação, é fundamental para tornar o setor cada vez mais sustentável. A ampliação de áreas utilizando-se os sistemas de irrigação localizados é prova da necessidade dos empresários em obter tecnologias que garantam seus lucros, particularmente nas regiões com grandes déficits hídricos.

Os sistemas de irrigação são projetados para terem uma vida útil de muitos anos. Assim sendo, não podemos desprezar a importância dos custos operacionais com energia, que

estão diretamente relacionados ao dimensionamento hidráulico do sistema, às demandas hídricas e ao seu manejo.

É desafio, portanto, encontrarmos a condição que proporcione a melhor combinação entre os custos fixos e variáveis, ou seja, a opção de maior economia de capital.

Os custos com energia nos sistemas de irrigação representam a maior parte dos custos variáveis, podendo chegar até 70% dependendo do método utilizado (Melo, 1993). Esse custo pode ser reduzido por meio do dimensionamento e da utilização de equipamentos adequados, especialmente os motores elétricos.

Além dos aspectos técnicos do dimensionamento hidráulico dos sistemas de irrigação deve-se levar em consideração que é possível reduzir os custos com energia simplesmente com a adequação das diversas tarifas existentes a cada situação real do projeto, através de contratos com as concessionárias de energia elétrica.

Atualmente, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) disponibiliza diversos tipos de tarifas para os variados tipos de consumos ou consumidores. Os consumidores do Grupo B, particularmente com uso para irrigação, por exemplo, podem ter sua tarifa reduzida significativamente nos horários entre 21h 30min e 6h, desde que haja contratação.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

1.0 Localização e Caracterização dos Sistemas Avaliados

O presente trabalho foi realizado no período de janeiro a julho de 2009, em 12 propriedades produtoras de café, situadas nos municípios de Capelinha, Itamarandiba e Turmalina, na região do Alto Jequitinhonha, em Minas Gerais. Essa região é de clima tropical, sendo que o regime pluviométrico determina a sazonalidade climática. O clima da região é do tipo Cwb (tropical de altitude) segundo classificação de Köppen, com precipitação pluvial média de 1081 mm e temperatura anual média de 20,1°C (CEPAGRI, 2007).

Porém, os relatórios do Planvale (RURALMINAS, 1995) afirmam que a região do Alto Jequitinhonha é considerada de tipo Aw: Clima quente e úmido, com chuvas de verão e estação seca definida, amenizado pela altitude, ou seja, nas áreas mais elevadas ocorre um mês frio, com temperatura média inferior a 18°C.

A determinação das propriedades avaliadas se fez com base em informações sobre quais eram irrigadas por sistema de gotejamento e que utilizavam motores elétricos. Essas informações foram fornecidas pelos escritórios da EMATER-MG, revendas de produtos agropecuários, cooperativa de produtores de café existentes nos municípios em estudo. Em cada propriedade foram selecionados talhões de café arábica com idade de aproximadamente 5 (cinco) anos. Os gotejadores a serem usados para medir a vazão foram determinados pela metodologia proposta por KELLER & KARMELI (1975), sendo em seguida realizadas as medições das vazões dos gotejadores, medição das pressões nas entradas e saídas das linhas de gotejadores. Na grande maioria das propriedades não foi possível definir a marca dos gotejadores nem das mangueiras, uma vez que eram sistemas velhos, alguns ampliados utilizando-se outras marcas, o que tornou impossível a determinação de um tipo de marca de gotejadores e mangueiras; já os motores variaram entre 10 e 60 cv. As áreas irrigadas variaram entre 6 e 80 ha.

2.0 Precipitação e Temperatura

Os valores da precipitação e temperatura diária utilizados nos cálculos da ETo e ETc foram coletados das bases de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da estação 83488, localizada na cidade de Itamarandiba/MG.

3.0 Fontes de Água

Para análise e caracterização das fontes de captação de água para irrigação foi utilizada a Resolução do CONAMA Nº 303/2002. Através da descrição de espaços territoriais e das definições que adota, foi elaborada uma proposta de caracterização das fontes de captação de água, como:

Tipo 1 - reservatórios artificiais originados por nascentes e abastecidos por água subterrânea;

Tipo 2 - reservatórios artificiais originados por veredas, abastecidos por nascentes ou cabeceiras de cursos d'água;

Tipo 3 - reservatórios artificiais construídos a partir de barramentos, utilizando a declividade natural do terreno, abastecidos por escoamento superficial;

Tipo 4 - curso de água natural.

4.0 Uniformidade de Aplicação de Água

A uniformidade de distribuição de água foi determinada utilizando-se a metodologia proposta por KELLER & KARMELI (1975), que consiste na coleta da vazão dos gotejadores em quatro pontos ao longo da linha lateral e em quatro linhas laterais, ao longo da linha de derivação. As linhas laterais selecionadas foram aquelas situadas no início da linha de derivação, a 1/3 da origem da linha de derivação, a 2/3 da origem da linha de derivação e no final dela.

As avaliações das vazões dos emissores por planta foram realizadas nos quatro emissores, com três repetições de coleta para obtenção da média, em um intervalo de tempo de 3 minutos para cada coleta de volumes dos emissores. Em seguida, calculou-se a vazão

média, em unidade de ml/minuto. E, finalmente, mediu-se as pressões na entrada e saída das linhas laterais durante a avaliação.

Para a medição das vazões dos emissores foram utilizados os seguintes equipamentos: um cronômetro e uma proveta graduada de 100 ml. Para medir as pressões efetivas das linhas de irrigação, foram utilizados: manômetro com unidade em kgf/cm^2 e junções plásticas.

A coleta dos dados foi realizada entre os meses de janeiro e julho de 2009. Através dos dados coletados em campo foram realizados os cálculos para a avaliação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

5.0 Coeficientes de Uniformidades

Inicialmente, foi determinado o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), segundo KELLER e BLIESNER, 1990; BERNARDO, 1995.

A interpretação dos valores do coeficiente de uniformidade de distribuição CUD se baseou nos parâmetros apresentados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), conforme valores apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Classificação do coeficiente de uniformidade de distribuição de água, segundo normas da ABNT.

Coeficiente de Uniformidade de Christiansen	Uniformidade de Distribuição de Água
Menor que 80%	Ruim
80% a 84%	Regular
85% a 89%	Boa
Acima de 90%	Muito boa

6.0 Coeficiente de Cultura (Kc)

O valor do coeficiente de cultura (Kc) utilizado neste trabalho foi o de 1,10. Esse valor de coeficiente foi utilizado pelo fato de as propriedades apresentarem na área de suas lavouras a presença de plantas daninhas e também o fato de as lavouras estudadas serem adultas e

possuírem um espaçamento entre ruas variando entre 3,5 e 4,0 m e espaçamento entre plantas variando entre 0,5 e 0,7 m.

7.0 Evapotranspiração Real da Cultura (ET_o)

A evapotranspiração potencial (ET_o) da cultura foi calculada utilizando-se a metodologia proposta por Camargo (1971).

$$E_{to} = 0,01 \times Q_o \times T \times ND \quad \text{equação 2}$$

Sendo:

Q_o = é a irradiância solar global extraterrestre, expressa em mm de evaporação equivalente por dia;

T = a temperatura média do ar (°C), no período considerado;

ND = o número de dias do período considerado.

8.0 Consumo de Energia

O consumo de energia elétrica dos sistemas de irrigação das propriedades estudadas foi calculado segundo a equação 3. O preço do kWh dos sistemas tarifários de energia elétrica foi obtido junto à Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, sendo o custo de energia elétrica para o grupo tarifário do grupo B, o qual é aplicado a propriedades rurais que possuem transformadores instalados de até 112,5 kVA.

$$CR = \frac{V_{kWh} \times Th(736 \times Pt)}{1000 \times RB}$$

equação 3.

Sendo: CR: Consumo de energia em reais;

V_{kWh}: Valor do kWh em R\$;

Th: Tempo de Irrigação em horas;

Pt: Potência do motor em cavalo vapor CV;

RB: Rendimento da Bomba.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.0 Precipitação

Pode-se observar, de acordo com a tabela 5, que os maiores percentuais de chuvas são distribuídos entre os meses de janeiro e fevereiro, com menor percentagem nos meses de maio, junho e julho. Essa análise de percentuais de chuvas é extremamente importante para que os cafeicultores, através de um manejo correto da irrigação, encontrem alternativas para solucionar as consequências da aplicação em excesso ou déficit de irrigação. De modo geral, as precipitações foram bem típicas da região quando comparadas com anos anteriores.

Tabela 5. Dados de precipitação coletados da Estação 83488, localizada na cidade de Itamarandiba, durante o período de janeiro a julho de 2009.

Precipitação (mm)	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	total
	301,40	73,50	82,70	34,30	0,00	5,30	1,30	499,50
	60,34	14,71	16,56	6,87	0,20	1,06	0,26	100,00

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. Site www.inmet.gov.br/html/agro.html

Observa-se que os valores de precipitação obtidos com dados do INMET, da evapotranspiração real calculada pelo método de Camargo e da evapotranspiração da cultura calculada pelo método de KELLER-BLIESNER, diminuem ao longo dos meses do experimento. Nota-se, em geral, que sempre que há uma diminuição na evapotranspiração potencial, essa diminuição é seguida pela diminuição da evapotranspiração da cultura. Foram observados os maiores valores de evapotranspiração real nos meses de janeiro e fevereiro (tabela 6). Para os meses de janeiro, fevereiro e março, os valores de evapotranspiração real foram sempre maiores que os da evapotranspiração da cultura.

Na comparação (Tabela 6) entre a evapotranspiração potencial, calculada pelo método de Camargo e a precipitação mensal, observa-se que em todos os meses estudados, com exceção do mês de maio, não houve déficit hídrico, sendo as maiores precipitações ocorridas nos meses de janeiro, fevereiro e março e, as menores, nos meses de maio, junho e julho.

Resultados semelhantes foram encontrados por NIMER & BRANDÃO (1989), ao estudarem o balanço hídrico e o clima da região dos cerrados, analisando dados climáticos de várias localidades mineiras, incluindo Itamarandiba, no Alto Jequitinhonha/MG.

Tabela 6. Relação entre evapotranspiração da cultura, vazão e evapotranspiração Real.

Meses	Precipitação	Evapotranspiração Real (ET _o)	Evapotranspiração da Cultura (ET _c)
	mm		
Janeiro	301,40	120,42	92,72
Fevereiro	73,50	107,29	82,62
Março	82,70	106,63	82,11
Abril	34,30	89,86	69,19
Mai	0,0	79,07	60,88
Junho	5,30	71,60	55,14
Julho	1,30	76,89	59,21

2.0 Fontes de Água

A caracterização das fontes de captação de água para irrigação resultou em: 11 fontes de captação (92%) do tipo 3, ou seja, reservatórios artificiais construídos a partir de barramentos, utilizando a declividade natural do terreno, abastecidos por escoamento superficial; e uma fonte de captação (8%) do tipo 4 (curso de água natural).

Nenhuma prática para conservação e preservação das fontes de captação foi identificada, apresentando um alto risco de contaminação das fontes de captação de água para irrigação de café, pois alguns açudes e córregos ficam próximos às lavouras, onde são aplicados insumos químicos; não existiam matas ciliares, curvas de nível e área de escape.

3.0 Eficiência do uso da água nas Propriedades

Segundo dados do Instituto de Águas de Minas Gerais (IGAM), das 12 propriedades estudadas, somente cinco, ou seja, 42% das propriedades rurais possuem outorga de água, sendo que as demais, sete (58%), não possuem outorga, usando a água de maneira irregular (tabela 7). Observou-se que as propriedades que possuem outorga para o uso da água estavam utilizando mais água do que o volume outorgado.

Tabela 7. Vazão outorgada pelas propriedades produtoras de café irrigado na região do Alto Jequitinhonha, MG.

Propriedades	A	C	I	J	K
Vazão L.s ⁻¹	0,42	3,5	3,0	8,0	44,0

A irrigação é responsável por grande parte do consumo de energia no meio rural; notadamente, o produtor não tem um bom manejo da irrigação; tendo-se constatado irrigação em excesso, temendo que a cultura sofra estresse hídrico, o que pode comprometer a produção.

Na tabela 8 são apresentadas as lâminas de água aplicadas em cada propriedade pesquisada e as lâminas de água calculadas pela evapotranspiração da cultura (ETc). Observa-se que na maioria das propriedades a lâmina de água aplicada pelo produtor é superior à lâmina de água considerada ideal (calculada), na qual leva-se em consideração a evapotranspiração da cultura.

Resultados semelhantes a esses foram encontrados no Estado de Minas Gerais, por BONOMO (1999), em que todos os projetos em estudo aplicavam água em excesso, apresentando, portanto, baixa eficiência de aplicação.

Fazendo comparação entre o volume total da lâmina de água ideal para a cultura do café na região estudada e a lâmina aplicada pelo produtor obtém-se uma redução de 37,46% no volume total de água utilizado para irrigar a lavoura. Observa-se que as propriedades D, J e K (tabela 8) apresentaram uma demanda de água maior do que lâmina aplicada pelo produtor o que se deve ao fato de a irrigação efetuada nessas propriedades apresentar um déficit de 4,62%, 26,30% e 19,72%, respectivamente, em relação à lâmina ideal.

Tabela 8. Lâminas acumuladas de irrigação e volume total de água aplicado (mm) pelos produtores de café da região do Alto Jequitinhonha, MG, segundo a evapotranspiração da cultura, entre os meses de janeiro e julho de 2009.

Propriedades	Eficiência do Coeficiente de Christiansen (CUC %)	Lâmina total Aplicada (mm) nos meses avaliados	Kg de grãos/Lâmina Aplicada (mm) nos meses avaliados	Lâmina calculada segundo Etc nos meses avaliados	Kg de grãos/Lâmina calculada nos meses avaliados
A	90,50	1 093,92	3,18	552,68	6,29
B	95,30	1 068,48	2,58	526,66	5,24
C	79,60	763,20	3,93	630,18	4,76
D	72,40	661,44	2,99	693,48	2,85
E	78,60	1 068,48	2,53	638,58	4,22
F	94,00	1 984,32	1,06	534,12	3,93
G	88,70	1 182,96	1,93	565,64	4,03
H	87,60	801,36	3,07	572,83	4,29
I	78,60	686,88	3,67	638,62	3,94
J	77,90	610,56	4,32	651,35	4,05
K	75,90	534,24	3,14	665,41	2,52
L	77,50	1 246,56	2,16	648,52	4,16
Média	83,05	975,20	2,88	609,84	4,19

4.0 Eficiência dos Sistemas de Irrigação

Os parâmetros de eficiência do sistema de irrigação são apresentados na tabela 8. O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) para o sistema de gotejamento apresentou valores variando de 72,40% a 95,30%, apresentando coeficiente médio de 83,05%. De acordo com Mantovani & Ramos (1994) e a Resolução ANA nº 707, de 21 de dezembro de 2004, os valores de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen na irrigação por gotejamento devem estar compreendidos numa faixa de 90 a 95%; portanto, o valor médio de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen de 83,05% é um valor que está abaixo da faixa recomendável. Contudo, as propriedades A, B e F foram as que apresentaram o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, dentro da faixa recomendável pela resolução ANA nº 707, de 21 de dezembro de 2004.

Contudo, as propriedades C, D, I, J, K e L apresentaram os piores Coeficientes de Uniformidade de Christiansen, inclusive com valores abaixo do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen médio calculado pelas propriedades pesquisadas e deficiência na lâmina de aplicação de água com relação às lâminas a serem aplicadas.

Observando os valores da tabela 8, obtidos nas avaliações dos projetos, pode-se identificar falhas dos produtores na decisão sobre quando e quanto irrigar, o que leva à aplicação de baixas a elevadas lâminas de água, o que ocorre em decorrência do manejo

inadequado da irrigação, devendo-se, portanto, adotar métodos de estimativa e controle da necessidade e aplicação de água a fim de se evitar desperdícios ou sua falta.

Levando-se em consideração os valores de eficiência do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen de cada uma das propriedades analisadas (Tabela 8) e utilizando-se os parâmetros apresentados na ABNT, pode-se verificar que sete, ou seja, 58% das propriedades, apresentam Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) ruins, que duas (17%) apresentam bom Coeficiente de Uniformidade de Distribuição e que 25%, ou três, apresentam uma Uniformidade de Distribuição muito boa.

Porém, observa-se ainda que, mesmo as propriedades A, B e F, que apresentam um Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) bom e um Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) muito bom, ou seja, acima de 90%, apresentaram aplicação de excesso de água, o que demonstra que não basta apenas levar em consideração o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e a eficiência de distribuição de água, sendo necessário, além dessas análises, as da Evapotranspiração Potencial (ET_o), o Coeficiente da cultura e identificação da fase fenológica da cultura.

Segundo BONOMO (1999), a melhoria dos valores de uniformidade pode ser obtida por meio da adoção de práticas de manejo, como a limpeza periódica mais criteriosa do sistema de filtragem, possibilitando maior pressão nos pontos de emissão, assim como desentupimento dos gotejadores e limpeza das linhas laterais.

Observa-se na Tabela 8 a produção média de 2,88 kg de grãos de café para cada mm de lâmina de água aplicada pelo produtor enquanto que, se fosse aplicada a lâmina de água calculada segundo a Etc, essa produção seria em média de 4,19 kg de grãos de café. Isso demonstra que somente mudando o manejo da irrigação o produtor poderá ter uma economia do consumo de água em relação à produção de grãos da ordem de 45,5%. Isso é importante, pois, como os sistemas de gotejamento utilizam motor elétrico, esse produtor passará a economizar energia elétrica, além de contribuir com o meio ambiente, em razão de seu menor consumo de água.

5.0 Consumo de Água pelo Cafeeiro – Evapotranspiração da Cultura (ETc)

Observa-se, de acordo com a tabela 9, os valores mensais da evapotranspiração da cultura (ETc) calculados para o período experimental (janeiro a julho de 2009). Observa-se que os maiores valores de ETc ocorreram entre os meses de janeiro e março de 2009 e, os menores valores, de maio a julho de 2009. Portanto, os valores mensais da evapotranspiração da cultura (ETc) apresentaram maior amplitude de variação que os estimados por OLIVEIRA et al. (1995), cujos extremos foram de 2,52 a 3,50 mm dia⁻¹, com média de 2,91 mm dia⁻¹ em cafeeiros irrigados com dezesseis anos de idade e, em cafeeiro recepado, a variação foi de 1,55 a 2,01 mm dia⁻¹, com média de 1,72 mm dia⁻¹. No entanto, o período analisado por esses autores foram os meses de junho a setembro, diferente do que ocorreu neste projeto.

MANTOVANI et al. (2001) obtiveram como resultados de evapotranspiração da cultura (ETc) do cafeeiro irrigado por pivô central nas regiões Norte do Espírito Santo e extremo sul da Bahia, em fase de produção, valores da ordem de 0,6 a 1,0 mm dia⁻¹ no período de menor demanda atmosférica e de 4,5 a 4,8 mm dia⁻¹ no período de maior demanda. Os valores de consumo de água observados por esses autores estão acima dos máximos obtidos neste experimento, enquanto os valores mínimos foram menores que os observados no presente trabalho.

Tabela 9. Valores mensais da evapotranspiração da cultura do café (ETc) na região do Alto Jequitinhonha, MG.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Média
Etc mm	92,72	82,62	82,11	69,19	60,88	55,14	59,21	71,70
Etc diária mm	3,09	2,95	2,65	2,31	1,96	1,84	1,91	2,39

Entretanto, esses dados são provenientes de cafeeiros irrigados por pivô central, diferentemente do café irrigado do Alto Jequitinhonha. Já o consumo anual estimado para a região do Alto Jequitinhonha foi de 501,87 mm (considerando o período de janeiro de 2009 a julho de 2009), e também foram menores que os estimados por MANTOVANI et al. (2000), com variação de 870,1 a 1011,7 mm.

6.0 Consumo e Custo da Energia Elétrica

Observa-se na tabela 10 os valores de consumo de energia pela lâmina aplicada pelo produtor e os valores de consumo de energia se o produtor aplicasse a lâmina calculada, a qual leva em consideração a evapotranspiração da cultura.

Se nas propriedades pesquisadas fossem realizadas as irrigações utilizando-se a lâmina de água calculada, elas teriam uma redução no consumo de energia da ordem de 18,42%. Assim, conclui-se que o excesso de água aplicada na irrigação influencia diretamente no aumento do consumo de energia.

Resultados semelhantes foram verificados por MEDEIROS et al (2005), avaliando a eficiência do uso de energia elétrica para o perímetro irrigado de Pirapora/MG, os quais constataram que o excesso de água aplicado nas áreas irrigadas proporcionou um excessivo aumento no consumo de energia.

Pelo consumo excessivo de água aplicado através da irrigação à cultura do café na região do Alto Jequitinhonha, fica comprovada a importância da realização de um bom manejo da irrigação.

Tabela 10. Consumo e custo total da energia gasta pelos sistemas de irrigação por gotejamento avaliados na região do Alto Jequitinhonha/MG durante o período de janeiro a julho de 2009.

Propriedades	Consumo de Energia Total (kW) pela Lâmina aplicada nas propriedades.	Consumo de Energia Total kW pela Lâmina Ideal segundo ETc.	Custo Total da Energia (R\$) aplicada nas propriedades.	Custo Total da Energia (R\$) segundo ETc calculada.
A	709 651,2	357 810,25	24 837,79	12 523,36
B	879 527,75	437 258,46	30 783,47	15 304,05
C	248 751,42	204 973,44	8 706,30	7 174,07
D	26 678,62	27 912,9	933,75	976,95
E	384 172,08	229 130,04	13 446,02	8 019,55
F	128 057,36	34 398,38	4 482,01	1 203,94
G	136 509,15	65 138,53	4 777,82	2 279,85
H	85 371,57	60 900,04	2 988,01	2 131,50
I	186 750,32	173 273,03	6 536,26	6 064,56
J	64 028,68	68 159,31	2 241,00	2 385,58
K	1 707 004,6	2 121 631,78	59 745,16	74 257,11
L	213 428,93	110 806,68	7 470,01	3 878,23
Média	397 494,31	324 282,74	13 912,30	11 349,90

Todas as propriedades pesquisadas, no Alto Jequitinhonha, trabalham com a tarifa verde, irrigando no período das 21h 30min às 6h, vez que, nesse horário, o produtor tem uma redução de 80% no valor da tarifa da energia, tendo um custo de R\$ 0,035 o KWh. Isso com certeza contribui para uma redução significativa no custo total da energia a ser paga. O consumo de energia elétrica e de água na irrigação de lavouras devem ser gerenciados com o mesmo critério adotado para se controlar gastos com insumos, serviços e outros. Informações a respeito de consumos específicos como kWh/t de produto irrigado produzido ou m³ de água/t de produto irrigado produzido são praticamente inexistentes.

V. CONCLUSÃO

Em face da ausência de pesquisa para cafeicultura da Região do Alto Jequitinhonha, a implantação e, principalmente, o manejo dos sistemas de irrigação estão sendo realizados de forma empírica.

Os cafeicultores do Alto Jequitinhonha não possuem um bom manejo de irrigação.

Há desperdício de água e energia elétrica nas propriedades rurais durante o processo de irrigação das lavouras de café.

REFERÊNCIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. **Memorial descritivo do cálculo da demanda humana de água no documento “Base de Referência do Plano Nacional de Recursos Hídricos”**. Brasília: ANA, 2002.

AGRIANUAL 2002: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, 2002. 536p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29, revisado 1).

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop e evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 297p (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Irrigation e Drainage, Food and Agriculture Organization of the United Nations, paper 56, Rome: 1998, 300p.

ALLEN, R. G.; SMITH, M.; PERRIER, A.; PEREIRA, L.S. An update for the definition of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, New Delhi, v.43, n.2, p.93, 1994.

ALVES, M. E. B. **Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação**. 1999. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ – ABIC. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/estatisticas.html> 2008> Acesso em: 15 set. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ – ABIC. **Origem e trajetória**. Disponível em: <http://www.abic.com.br/scafe_historia.html, 2005>. Acesso em: 15 set. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Sistema de irrigação por aspersão pivô-central, caracterização de desempenho do método de ensaio: projeto de normas**. Rio de Janeiro, 1985. 22p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1995. 657 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 7.ed. Viçosa: UFV, 2005. 611 p

BERNARDO, S.; SOUSA, E. F.; GOTTARDO, R. D.; POSSE, R. P. Evapotranspiração e coeficiente da cultura do mamoeiro. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.28, n.4, Out./Dez. 2008.

BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. 1999. 224f0. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Viçosa.

CAMARGO, A.P. de; CAMARGO, M.B.P. de. 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. de. Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. **Pesq. Agropec. Brasil.**, v.20, p.831-839, 1985.

CAMARGO, A.P.; PEREIRA, A.R. **Agrometeorology of coffee crop**. Geneva: World Meteorological Organization, 1994. 92p.

CAMP, C.R.; SADLER, E.J.; BUSSCHER, W.J. A comparison of uniformity measures for drip irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 40, n. 4, p. 1013-1020, 1997.

CARVALHO, C. H. M.; COLOMBO, A.; SCALCO, M.S.; MORAIS; A.R. DE. Evolução do crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado e não irrigado em duas densidades de plantio. **Ciênc. Agrotéc.**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 243-250, 2006.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA - CEPAGRI. **Zoneamento climatic da cultura do café**. Disponível em: <www.cpa.unicamp.br/cafe/index> Acesso em: 07 jul. 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira Café Safra 2009**: quarta estimativa, dezembro. Brasília: [s.l.], 2009.

COSTA, A.B.G.; STEINMETZ, S. Uso da termometria infravermelho para caracterizar a necessidade de irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). I. Desempenho baseado na diferença de temperatura com uma parcela de referência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1995, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995. p.108-109.

COSTA, R. G. **Caracterização da qualidade de água de irrigação na microrregião homogênea de Catolé do Rocha (MRH-89)**. Dissertação (mestrado).Campina Grande: UFPB, 1982.

CHRISTOFIDIS, D. **Irrigação no Mundo e no Brasil**. Brasília: ABIMAQ/CSEI, 2004. Disponível em: <www.pivotvalley.com.br/valley/mestre/irrig_mundo_e_brasil.pdf>. Acesso em: 15 Out. 2009.

CHRISTOFIDIS, D. **Recursos hídricos e irrigação no Brasil**. Brasília: CDS/UnB, 1999. 34p.

CRISOSTO, C.H.; GRANTZ, D.A.; MEINZER, F.C. Effects of water déficit on flower opening in coffee (*Coffea arabica* L.). **Tree physiol.**, Victória, v.10, n.2, p.127 – 139, 1992.

DAMATTA, F.M.; RENA, A.B. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte e tecnologia na produção de café**. Viçosa: UFV, 2002. p.93-135.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **O agronegócio café no Brasil e no mundo**. Brasília: EMBRAPA, 2004.

ESPINDULA NETO, D. **Uso racional de água e de energia elétrica na cafeicultura irrigada por pivô central e gotejamento**. 2002. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

FAO. **Protected cultivation in the Mediterranean climate**. Rome, 1990. 313 p. (Plant Production and Protection Paper, 90).

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

FERREIRA, J.A.S.; SILVA, B.B.; SOBRINHO, J.E.; MOURA NETO, E.L...; MAIA NETO, J.M. Determinação da resistência estomática do meloeiro através do método de O' Toole & Real. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1., 1995, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: [s.l.], 1995. p.108-109.

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

GOMES, A. da S.; PETRINI, J. A. . Manejo da água em arroz irrigado. In. REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ, 12., 1997, Itajaí. **Anais...** Itajaí: EPAGRI-IRGA, 1997. P. 68-70.

GOMES, N.M.; LIMA, L.A.; CUSTÓDIO, A. de P. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no Sul do Estado de Minas Gerais. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.** v.11, p.564-570, 2007.

GUTIÉRREZ, M.V.; MEINZER, F.C. Estimating water use and irrigation requirements of coffee in Hawaii. **J Am Soc Hortic Sci**, Alexandria, v.119, n.3, p.652-7, 1994.

HARGREAVES G.H and SAMANI Z.A., Reference crop evapotranspiration from temperature, **Appl. Eng. Agric.** v.1, n.2, p. 96–99, 1985.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO MINISTÉRIO DA AGRICULTURA - INMET. Disponível em: <www.inmet.gov.br/html/agro.html>. Acesso em: 18 ago. 2009.

KELLER, J; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.

KELMAN, J. Gerenciamento de Recursos Hídricos. Parte I: Outorga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, 1997, Vitória. **Anais...** São Paulo: ABRH, 1997. p.123-128.

LARAQUE, A. **Estudos e previsão da quantidade de água de açudes do Nordeste semi-árido brasileiro**. Recife: SUDENE,1989. (Série hidrológica, 26).

LOPEZ, J.R.; ABREU, J.M.H.; REGALADO, A.P.; HERNADEZ, J.F.G. **Riego localizado**. 3. ed. Madrid: Centro Nacional de Tecnologia de Regadios, 1992. p.217-229.

LOPES, R.L.L. e CORDEIRO, O.M.C. Questões, Querelas e Quimeras da Nova Lei das Águas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, 1997, Vitória. **Anais...** São Paulo: ABRH, 1997.

MANTOVANI, E. C. A irrigação do cafeeiro In: ZAMBOLIM, L. **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa: UFV, 2000. p. 263-290.

MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M. Manejo da irrigação. In: COSTA, E.F.; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa de Milho e Sorgo. – Brasília: EMBRAPA-SSI, 1994. p. 129-158.

MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. R. **Irrigação do cafeeiro: informações técnicas e coletânea de trabalhos**. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais, UFV, DEA, 2003, 260 p. (Boletim Técnico, 8).

MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. R. **Irrigação do cafeeiro: informações técnicas e coletânea de trabalhos**. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais; UFV, 2003. 260 p.

MANTOVANI, E.C.; SOUSA, M.B.A.; SILVA, J.G.F. da; SOARES, A.A. Estudo do consumo de água do cafeeiro em fase de produção, irrigado por pivô central, na Região norte do Espírito Santo e extremo sul da Bahia. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Vitória: [s.l], 2001. p.48-48.

MARIN, F.R. **Evapotranspiração e transpiração máxima em cafezal adensado**. 2003. 118p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Seleção de Sistemas de Irrigação para Hortaliças**. Brasília: Embrapa. 1998. 15 p.

MARTINS C. C.; SOARES A. A; BUSATO C.; REIS E. F.. **Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro**. Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, Apr./June 2007.

MARTINS, C. de P.; CUSTÓDIO, A. A. P.; GOMES, N. M.; LIMA, L. A. Produção e desenvolvimento do cafeeiro irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14. 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2004. CD-ROM.

MATIELLO, J.B. **O café do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320p.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W. R.; ALMEIDA S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro; Varginha: [s.l.], 2005. 387 p..

MEDEIROS, G.A.; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E. Crop coefficient for irrigated beans derived using three reference evaporation methods. **Agric. Forest Meteorol.** v.135, p.135-143, 2005.

MERRIAM, J. L., KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271p.

MOREIRA, H.J. **Sistema agroclimático para o acompanhamento das culturas irrigadas. Manual prático para o manejo da irrigação**. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação, 1992. 90 p.

NIMER, E.; BRANDÃO, A. M. P. M. **Balanço Hídrico da Região dos Cerrados**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 162 p.

OLIVEIRA, J.G. **Acompanhamento da fotossíntese líquida e da cinética de emissão de fluorescência da clorofila a de plantas de café (*Coffea arabica* L.) submetidas a um ciclo de suspensão e restabelecimento da irrigação**. 1995. 55f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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

PENMAN, H. L. **Evaporation**: in introductory survey. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, Wageningen, 4, 1956. p. 9-29.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba - RS: Agropecuária, 2002. 478p.

PEREIRA, L.S.; ALLEN, R.G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.16, n.4, p.118-43, 1997.

RODRIGUES, L.N.; Mello, J.L.P.; Mantovani, E.C.; Ramos, M.M. Coeficientes de uniformidade: sensibilidade a mudanças nos fatores operacionais. **IRRIGA**, Botucatu, v.2, n.2, p.90-98, 1997.

ROTONDANO, A. K. F. **Desenvolvimento vegetativo, produção e qualidade dos grãos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes lâminas de irrigação**. 2004. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

RURALMINAS. **Planvale**: Plano Diretor de Recursos Hídricos para os Vales dos Rios Jequitinhonha e Pardo. Belo Horizonte: Geotécnica, 1995.

SALES, E.G.M.; OLIVEIRA, M.H.M. de; SOUZA, F. Avaliação de um sistema de irrigação localizada por gotejamento na fazenda frutacor 1 em Limoeiro do Norte/Ceará. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: CONIRD, 2001. p.43-47.

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

SANTINATO, R.; FERNANDES, A.L.T.; FERNANDES, D.R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Arbore, 1996. 146p.

SATURNINO, H.M. (Ed.). Balanço do CBP&D: em 10 anos de investimentos em pesquisa, café brasileiro dobra produtividade e melhora a qualidade. **Item Irrig. Tecnol. Mod.**, v.73, p.10-21, 2007.

SEDYAMA, C.G.; RIBEIRO, A.; LEAL, B.G. Relações clima-água-planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p.46-85.

SENA, L.B.R. Proteção e Recuperação de Mananciais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, 1997, Vitória. **Anais...** São Paulo: ABRH, 1997. p.115-122.

SILVA, D. D.; RAMOS, M. M.; MARTINEZ, M. A.; DENICULI, W. Uniformidade de distribuição de água em sistema de aspersão, com utilização de aspersor fixo com placa defletora auxiliar. **Eng. Agríc.**, v. 5, n. 4, p. 281-292, 1997.

SILVA, E. M., AZEVEDO *et al.* Manejo de irrigação para grandes culturas. In: FARIA, M. A., SILVA, E. L., VILELA, L. A. A., SILVA, A. M. (Eds.) **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 239-280.

SIONIT, N.; KRAMER, P.J. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. **Agronomy J**, v.69, p.274-278, 1977.

SOARES, A. A., RAMOS, M. M., LUCATO JÚNIOR, J. Uso racional de energia elétrica em sistemas de irrigação tipo pivô-central no estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, [s.l.]. **Anais...**[s.l.]:[s.n.], 1993.

SOARES, J. M.; COSTA, F. F.; SANTOS, C. R. Manejo de irrigação em fruteiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 281-309.

SOUSA, A. E. C. **Avaliação de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura da manga (*mangifera indica* L.)**. Sobral: CENTEC/CE, 2003. 21 p.

SOUZA, L.O.C., et al. Uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação por gotejamento, utilizados na cafeicultura irrigada. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 2001, Fortaleza. **Anais...**, Fortaleza: CONIRD, 2001. p. 307-311.

THORNTHWAITTE, An approach toward a rational classification of climate. **Geograph Rev**, 1948. v.38. n.1.

VALNIR JÚNIOR, M. **Análise de componentes do balanço hídrico em culturas do feijão de corda (*Vigna Ungüiculata* (L) Walp.), sob condições de recarga natural**. 2000. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

VANZELA, L.S. **Qualidade de água para a irrigação na microbacia do córrego Três Barras no município de Marinópolis, SP**. Ilha Solteira, 2003. 91p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

VANZELA, L.S.; HERNANDEZ F. B. T.; FERREIRA, E. J. S. Desempenho da estimativa da evapotranspiração de referência em Ilha Solteira/ SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 2007, Bonito/MS. **Anais...** Bonito/MS: [s.n.], 2007.

VICENTE, M. R.; SOARES A. R.; MANTOVANI E. C.; FREITAS A. R. Efeito da irrigação e do posicionamento dos gotejadores (superficial e subsuperficial) na produtividade de cafeeiros na região do cerrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003. Porto Seguro. **Anais...** Brasília: EMBRAPA CAFÉ, 2003. p. 124-125.

VIEIRA, G.H.S.; MANTOVANI, E.C.; SOUSA, M.B.A.; BONOMO, R. Influência de diferentes lâminas de irrigação nos parâmetros de crescimento do cafeeiro na região de Viçosa, MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL POÇOS DE CALDAS, 2000, Poços de Caldas. **Resumos...** Poços de Caldas: [s.n.], 2000. p.879-881.