

ROBSON BONOMO

ANÁLISE DA IRRIGAÇÃO NA CAFEICULTURA EM ÁREAS DE CERRADO
DE MINAS GERAIS

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Curso de Engenharia
Agrícola, para a obtenção do título de
“Doctor Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
JUNHO - 1999

A Deus.

À minha esposa Helaine.

Ao meu filho Lucas.

Aos meus pais Armando e Aurélia.

Aos meus irmãos e irmãs.

AGRADECIMENTO

A DEUS, pela energia da vida e do universo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Programa Nacional de Desenvolvimento e Pesquisa do Café (PND&P/Café), por ter financiado este trabalho.

Aos meus pais, aos meus irmãos e à minha esposa, pelo incentivo para buscar novos conhecimentos e pelo apoio em todas as horas.

À Universidade Federal de Viçosa, por meio do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), pela oportunidade e por ter ministrado os conhecimentos necessários à realização do curso.

Ao professor Everardo Chartuni Mantovani, pela amizade e orientação neste trabalho.

Aos professores conselheiros Antônio Alves Soares, Gilberto C. Sedyama e Márcio Mota Ramos, pela colaboração e pela assistência durante os trabalhos.

Ao engenheiro agrícola Luiz Otávio Carvalho de Souza - bolsista da FAPEMIG -, pela amizade, pelo incentivo e pela colaboração na realização dos trabalhos de campo.

A todos os professores e funcionários do DEA, pelos ensinamentos e pela

oportunidade de convívio diário.

À pesquisadora da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Glória Zélia Teixeira Caixeta, pela valiosa colaboração e pelas sugestões.

À Fazenda Experimental de Patrocínio, da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), pelo apoio prestado na realização dos trabalhos de campo, por meio de seus laboratórios.

Ao técnico agrícola Gabriel Donizete Rabelo, gerente da Fazenda Lagoa Torta, Paracatu, pela acolhida, pela colaboração, pelo incentivo, pelas sugestões, pela amizade e pela hospitalidade.

Às cooperativas de cafeicultores do Cerrado, em especial à Associação dos Cafeicultores de Araguari (ACA), à Cooperativa dos Cafeicultores de Garças - Regional Patrocínio (GARCAFÉ), à Associação dos Cafeicultores de Monte Carmelo (AMOCA) e aos Cafeicultores Associados de Paracatu (CAP), na pessoa de seus respectivos representantes, engenheiro-agrônomo Sartório, engenheiro-agrônomo Antônio Mazo Jr., engenheiro-agrônomo Francisco Sérgio Assis e o químico Ensei Uejo Neto.

Aos cafeicultores da região de Cerrado de Minas Gerais, pelas suas colaborações na realização deste trabalho, por permitirem a realização de avaliações em suas propriedades e pelo auxílio.

Aos amigos e amigas, em especial a Teodorico, Daniel, Coutinho, Sílvio e Mauro, que engrandeceram esta etapa, através do apoio, da amizade e do companheirismo.

A todas as pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Robson Bonomo, filho de Armando Bonomo e Aurélia Borotto Bonomo, nasceu em São Mateus, ES, em 1^o de setembro de 1968.

Em 1987, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em abril de 1992.

Em abril de 1992, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, com área de concentração em Irrigação e Drenagem, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em junho de 1994.

Em março de 1995, iniciou o curso de Doutorado na mesma instituição.

CONTEÚDO

EXTRATO.....	ix
ABSTRACT.....	xi
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 1	
ESTUDO COMPARATIVO DE MODELOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET _o) PARA AS REGIÕES CAFEEIRAS DO TRIÂNGULO E NOROESTE DE MINAS GERAIS.....	5
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1. Estimativa da evapotranspiração de referência.....	7
2.2. Estimativa da evapotranspiração da cultura.....	11
2.3. Distribuição espacial da evapotranspiração.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET _o).....	13
3.2. Comparação entre os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET _o).....	22
3.3. Regionalização dos resultados.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
4.1. Estimativas da evapotranspiração de referência (ET _o).....	25
4.2. Análise comparativa dos métodos de estimativa da ET _o	30
4.3. Mapas de diferenças entre as estimativas da evapotranspiração de referência (ET _o) calculadas pelos métodos Penman-Monteith e Camargo.....	43
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	46

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO PRESSURIZADOS EMPREGADOS NA CAFEICULTURA EM ÁREAS DE CERRADO DE MINAS GERAIS.....	48
1. INTRODUÇÃO.....	48
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	50
2.1. Irrigação por aspersão (canhão, autopropelido e pivô central).....	50
2.1.1. Perdas de água por evaporação e por arrastamento e eficiência de aplicação.....	51
2.1.2. Uniformidade de aplicação de água.....	54
2.1.3. Parâmetros de desempenho.....	58
2.2. Irrigação localizada (gotejamento e tubo de polietileno perfurado).....	60
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	68
3.1. Localização e caracterização geral dos sistemas avaliados.....	68
3.2. Irrigação por aspersão.....	70
3.2.1. Uniformidade de aplicação de água.....	70
3.2.2. Avaliação de irrigação.....	74
3.3. Irrigação localizada.....	79
3.3.1. Uniformidade de aplicação de água.....	80
3.3.2. Avaliação de irrigação.....	82
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	85
4.1. Irrigação por aspersão.....	85
4.1.1. Características e condições de operação dos sistemas avaliados.....	85
4.1.2. Uniformidade de aplicação de água.....	87
4.1.3. Avaliação do manejo de irrigação.....	92
4.1.4. Eficiência de irrigação.....	96
4.2. Irrigação localizada.....	107
4.2.1. Uniformidade de aplicação de água.....	107
4.2.2. Avaliação do manejo de irrigação.....	108
4.2.3. Avaliação de irrigação.....	110
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	117

CAPÍTULO 3

COMPARAÇÃO DE CUSTOS E VIABILIDADE ECONÔMICA PARA DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO EMPREGADOS NA CAFEICULTURA EM ÁREAS DE CERRADO DE MINAS GERAIS.....	119
--	-----

1. INTRODUÇÃO.....	119
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	121
2.1. Revisão geral.....	121
2.2. Custos de irrigação.....	122
2.3. Avaliação da viabilidade econômica.....	124
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	127
3.1. Características básicas de projeto adotadas.....	127
3.2. Determinação de custos de irrigação do cafeeiro.....	128
3.2.1. Custos fixos.....	129
3.2.2. Custos variáveis.....	130
3.2.2.1. Manutenção e reparos.....	130
3.2.2.2. Energia elétrica.....	131
3.2.2.3. Mão-de-obra.....	139
3.3. Determinação da viabilidade (mérito ou rentabilidade) financeira da cafeicultura irrigada.....	141
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	148
4.1. Parâmetros referentes à demanda de irrigação.....	148
4.2. Custo de irrigação do cafeeiro.....	152
4.3. Determinação da viabilidade (mérito ou rentabilidade) financeira da cafeicultura irrigada.....	169
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	178
RESUMO E CONCLUSÕES.....	180
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	184
APÊNDICES.....	192
APÊNDICE A.....	193
APÊNDICE B.....	211
APÊNDICE C.....	223

EXTRATO

BONOMO, Robson, D.S., Universidade Federal de Viçosa, junho de 1999.
Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais. Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Conselheiros: Antônio Alves Soares, Gilberto C. Sedyama e Márcio Mota Ramos.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo geral de se fazer uma análise técnica e econômica da cafeicultura irrigada em áreas de cerrado de Minas Gerais, com ênfase nas regiões do Triângulo, Alto Paranaíba e Noroeste de Minas Gerais, sendo dividido em três etapas. Na primeira etapa avaliou-se a evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelos métodos de Penman-Monteith (PM), considerado como padrão, Kimberley - Penman (KPen), Penman FAO (FcPn), Penman 63 (63Pn), Hargreaves e Samani (Harg), Radiação-FAO (FRad), Blaney e Criddle FAO (FB-C) e Thornthwaite simplificado por Camargo (Camargo). Dentre os métodos analisados, o método 63Pn foi o que mais se aproximou do método-padrão, e o método Camargo apresentou tendência de subestimar a ET_o, principalmente no período seco do ano. Quando se dispõe apenas de dados de temperatura do ar, o método Harg mostrou-se preferível ao método Camargo. Foi realizada também a regionalização da ET_o para os meses do ano, estimada pelo método PM. Na segunda etapa foram determinados os parâmetros de desempenho correspondentes à uniformidade de aplicação de água e eficiência de irrigação, visando caracterizar as condições atuais do uso da irrigação na cafeicultura da

região, sendo seis por pivô central, cinco por autopropelido, dois por canhão hidráulico, quatro por gotejamento e quatro por tubo de polietileno perfurado. Os resultados indicaram boa uniformidade para todos os sistemas, à exceção do gotejamento. Quanto ao momento da irrigação, observou-se que elas foram feitas dentro do limite máximo recomendado de água disponível no solo. Para o pivô central e autopropelido, observou-se a aplicação de lâminas de irrigação inferiores às lâminas requeridas, proporcionando elevados valores de déficit, ao contrário dos sistemas por gotejamento, em que foram observadas elevadas perdas por percolação. Quanto à eficiência de irrigação, destacam-se o pivô central e o autopropelido, com valores adequados. Na terceira etapa do trabalho foram determinados os custos da irrigação para a cafeicultura na região, para pivô central, autopropelido, gotejamento e tubo de polietileno perfurado, selecionando três distintas situações de demanda de irrigação suplementar e lavouras com áreas de 25, 50, 75, 100 e 125 hectares. Os sistemas por pivô central e por tubo perfurado apresentaram, em geral, os menores e maiores custos, respectivamente. Os indicadores taxa interna de retorno (TIR) e valor atual líquido (VAL), para uma taxa de juros de 8% ao ano, foram crescentes com o aumento da área irrigada, independentemente do local e sistema de irrigação, e indicaram alta atratividade para a cafeicultura irrigada da região.

ABSTRACT

BONOMO, Robson, D.S., Universidade Federal de Viçosa, June 1999. **Analysis of the irrigation in coffee tree plantation farms in the cerrado area of the State of Minas Gerais.** Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Committee members: Antônio Alves Soares, Gilberto C. Sedyama and Márcio Mota Ramos.

The present work was carried out with the objective of developing a technical and economic analysis of the irrigated coffee tree plantation farms in the *cerrado* area of the State of *Minas Gerais*, specially in the region of *the Triângulo, Alto Paranaíba*, and Northwest of the State of *Minas Gerais*. The research study was divided in three stages. In the first stage the reference evapotranspiration of 1991 FAO Penman-Monteith (PM) set as standard method and compared with the Kimberley-Penman (KPen), Penman-FAO (FcPn), Penman-63 (63Pn), Hargreaves and Samani (Harg), Radiation-FAO (FRad), Blaney and Criddle FAO (FB-C), and Thornthwaite simplified by *Camargo* (Camargo) methods. The method 63Pn was the best method compared to the standard PM method, and the Camargo method presented tendency of underestimating ETo, mainly in the dry period of the year. When only air temperature data are available the method of Harg was shown preferable to the method of Camargo. In the second stage, the water application parameters such as the application uniformity and irrigation efficiency were

analyzed to characterize the current conditions of actual irrigation conditions of the coffee plantations areas with six central pivots, five traveling, two hydraulic guns, four drip, and four perforated polyethylene tube irrigation systems. The results indicated good uniformity for all systems, except for drip irrigation. With respect to irrigation timing, it was observed that they have been carried out to fit the soil recommended maximum upper limit of available water. For the central pivot and traveling irrigation systems, the water application rate was lesser than recommended water depth, providing high water deficit in the soil, unlike the drip irrigation systems, in which high losses were observed by deep percolation. With respect to the irrigation efficiency, it was observed that central pivot and the traveling systems presented appropriate values. In the third stage of the research work, it was determined the costs of the irrigation for the coffee tree plantation area, for central pivot, traveling, drip, and perforated polyethylene tube for three different situations of supplemental irrigation requirement and for farms with areas of 25, 50, 75, 100 and 125 hectares. The central pivot systems and perforated tube presented, in general, the smallest and largest costs, respectively. The indicators, internal rates of return and liquid current value, for an interest rate of 8% a year, increased with the irrigated area, independently of the local farm conditions and irrigation systems, and they indicated high usefulness for the irrigated coffee tree plantation area.

INTRODUÇÃO

A cultura do café ocupa papel de elevada importância na agricultura e economia brasileiras, desde a sua introdução no Brasil, fato que leva à realização de pesquisas em diversos setores, principalmente as que visam a maiores produtividades sem esquecer a qualidade final do produto.

No Brasil, a cafeicultura desenvolveu-se nas regiões onde não ocorre deficiência hídrica nos períodos críticos da cultura. Porém, a agricultura moderna dispõe de tecnologia apropriada para tornar aptas, para a cafeicultura, regiões com períodos extensos de deficiência hídrica, utilizando a irrigação (CAMARGO e PEREIRA, 1990). Mesmo em locais com períodos curtos de deficiência hídrica, mas que coincidem com as fases críticas da cultura, o uso da irrigação suplementar pode ser uma prática vantajosa. Por outro lado, o sistema de irrigação possibilita o emprego, na cafeicultura, da quimigação, que consiste na aplicação de fertilizantes e defensivos via água de irrigação de maneira eficiente, com menor custo e também menor tráfego de máquinas na lavoura.

Áreas de cerrado no Triângulo Mineiro e em zonas contíguas de Minas Gerais e Goiás, regiões cafeeiras do Nordeste, norte do Espírito Santo, extremo sul da Bahia e algumas áreas em São Paulo têm apresentado problemas de deficiência hídrica no período de frutificação do cafeeiro. Nessas regiões, a prática da irrigação tem resultado em bom retorno, com aumentos

significativos de produtividade (MATIELLO, 1991).

Em Minas Gerais, nas regiões do Triângulo e Alto Paranaíba, a cafeicultura tem-se desenvolvido de forma destacada em razão da alta tecnificação e da qualidade de bebida do café produzido, que tem maior peso que outras características na comercialização do café; e nessas regiões merecem especial destaque os municípios de Araguari e Patrocínio (CHAGAS et al., 1996). Isso tem levado, nessas regiões, a uma grande demanda de técnicas que possibilitam o aumento da produtividade. Neste cenário, o uso da irrigação tem se tornado cada vez mais freqüente, porém nem sempre seguindo padrões corretos de dimensionamento e manejo.

Para o cafeeiro, o estresse hídrico é aparentemente essencial para a quebra da dormência dos botões florais. Quando o cafeeiro é umedecido em intervalos relativamente curtos, mantendo o solo próximo à capacidade de campo, os seus botões florais permanecem dormentes e os frutos não se formam. Irrigações ou chuvas induzem o florescimento apenas quando precedidas por um período de pouca umidade no solo (ALVIM, 1960; SCHUCH e FUCHIGAMI, 1992).

O crescimento dos ramos laterais do cafeeiro em diferentes regiões mostra uma flutuação sazonal que tem sido relacionada com as condições climáticas, como secas, temperaturas baixas, fotoperíodo, excesso de água, lixiviação de nitratos por fortes chuvas e desenvolvimento reprodutivo (RENA e MAESTRI, 1985). AMARAL et al. (1990) verificaram que o ritmo anual de crescimento dos ramos primários não foi modificado pela adição suplementar de nitrogênio associado à irrigação durante a época fria do ano em Viçosa - MG.

A necessidade hídrica do cafeeiro é bastante variável, de acordo com as fases do ciclo da planta. Para as condições do Brasil, no período de vegetação e frutificação, que vai de outubro a maio, o cafeeiro é mais exigente de água. Na fase de colheita e repouso, de junho a setembro, a necessidade de umidade é pequena (MATIELLO, 1991).

Vários autores verificaram o efeito positivo da irrigação no crescimento (MATIELLO e DANTAS, 1987; ZANINI et al., 1994) e na produção do cafeeiro (BARRETO et al., 1972; NJOROGI, 1989; REIS et al., 1990). ARAÚJO (1982)

verificou que a irrigação, além de uma maior produtividade, possibilitou a obtenção de produto de melhor tipo e bebida.

Nas áreas de cerrado de Minas Gerais, a cafeicultura desenvolveu-se nas décadas de 70 e 80 associada aos projetos de colonização agrícola implantados. Nessas áreas, 80 a 90% do total anual das precipitações concentra-se no período de outubro a abril (LUCHIARI JÚNIOR et al., 1986), período que coincide com as fases de vegetação e frutificação do cafeeiro. Entretanto, essa época está sujeita a períodos sem ocorrência das precipitações normais esperadas, caracterizando um fenômeno climático denominado “veranico”.

O veranico pode ter menor efeito sobre o cafeeiro, quando comparado com culturas anuais, devido ao seu sistema radicular mais desenvolvido. No entanto, em condições de cerrado, o seu efeito pode ser sentido, em razão de esses solos apresentarem baixa capacidade de retenção de água (LOPES, 1984) e por coincidir com as fases críticas do cafeeiro no que se refere ao déficit de umidade. Nessas condições, a irrigação suplementar objetiva fazer a recarga hídrica do solo nos períodos de veranico coincidentes com as fases críticas de déficit hídrico do cafeeiro.

Vários sistemas de irrigação podem ser usados em cafezais, destacando-se irrigação localizada por gotejamento e microaspersão, irrigação por aspersão convencional, autopropelido, pivô central e sistemas simplificados com mangueiras simples ou perfuradas. Na escolha do sistema de irrigação para cafezais, devem ser considerados principalmente o custo dos equipamentos, os gastos operacionais, a disponibilidade e qualidade da água e o uso alternativo da irrigação.

Para o cafeeiro, uma estimativa com exatidão razoável do seu consumo de água é de grande importância, pois um suprimento inadequado de água poderá reduzir substancialmente o crescimento sem que ocorra murcha ou outros sinais visíveis de déficit de umidade. Por outro lado, crescimento reduzido significa que poucos nós estarão formados para floração e subsequente produção de frutos (GUTIÉRREZ e MEINZER, 1994).

Nos últimos anos tem havido grande demanda para a implantação de sistemas de irrigação em lavouras cafeeiras. Entretanto, em face da ausência

de resultados de pesquisa, a implantação e, principalmente, o manejo dos sistemas de irrigação têm sido realizados de forma empírica e desordenada, havendo a necessidade de se estudar o real benefício dessa prática e as melhores alternativas de sistema de irrigação e manejo.

O capítulo 1 deste trabalho foi dedicado à avaliação, para as condições das regiões do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais, das distintas metodologias para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o), que diferem entre si no nível de complexidade e na quantidade de dados de entrada. Para isso foram comparados os valores de ET_o determinados pelo método de Penman-Monteith, tomado como padrão, com os estimados pelos seguintes métodos: Kimberley - Penman, Penman FAO, Penman 63, Hargreaves e Samani, Radiação-FAO, Blaney e Criddle FAO e Thornthwaite simplificado por Camargo.

O capítulo 2 foi dedicado à avaliação do ponto de vista da engenharia e do manejo dos principais sistemas pressurizados de irrigação empregados na cafeicultura irrigada da região. Analisaram-se a uniformidade de aplicação de água e a eficiência de irrigação, determinando-se as perdas por vazamentos na condução, por evaporação e arraste, por percolação e também a área adequadamente irrigada.

Já o capítulo 3 foi dedicado à análise de custos com irrigação para diferentes sistemas de irrigação empregados na cafeicultura da região, bem como à análise do retorno econômico ao produtor gerado pela cafeicultura irrigada. A análise de custos foi realizada para os sistemas de irrigação por autopropelido, pivô central, gotejamento e tubo flexível de polietileno perfurado de parede fina, considerando-se três locais com distintas necessidades de lâminas de irrigação suplementar pelo cafeeiro e distintos tamanhos de área irrigada. A análise do retorno econômico ao produtor gerado pela cafeicultura irrigada foi realizada, para os diversos sistemas de irrigação e tamanhos de área irrigada, considerando-se os custos com irrigação e com a cultura, determinando-se os indicadores taxa interna de retorno (TIR) e valor atual líquido (VAL).

CAPÍTULO 1

ESTUDO COMPARATIVO DE MODELOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) PARA AS REGIÕES CAFEIRAS DO TRIÂNGULO E NOROESTE DE MINAS GERAIS

1. INTRODUÇÃO

O manejo eficiente da água na agricultura irrigada está se tornando cada vez mais importante. A limitada disponibilidade, o aumento da demanda e o preço da água, em muitas regiões, obrigam à otimização na utilização dos recursos hídricos disponíveis. Nesse contexto, é fundamental o conhecimento das necessidades de água das culturas, como primeiro passo para definição das estratégias de projeto e manejo de irrigação.

A agricultura irrigada é, de longe, a atividade que demanda maior quantidade de água. Em termos mundiais, estima-se que esse uso responda por cerca de 80% das derivações de água (no Brasil supera os 60%), enquanto o uso industrial responde por 10% a 12% e o consumo humano por 8% a 10% (PEREIRA JR., 1998). A irrigação é exigente em termos de qualidade e quantidade de água e, no caso de grandes projetos, implica obras de regularização de vazões (barragens), que interferem no regime fluvial dos

cursos d'água, com impacto sobre outros usos da água e sobre o meio ambiente.

O conhecimento de uma boa estimativa das necessidades hídricas dos cultivos é imprescindível para a elaboração de qualquer sistema de irrigação. Além disso, a estimativa, em nível estacional, é especialmente importante para se prever bem a demanda nos períodos críticos, pois a instalação deve ser calculada para satisfazer a demanda de pico; porém, neste ponto, considerações econômicas devem ser feitas, de forma a permitir otimizar a instalação.

A evapotranspiração pode ser determinada por métodos diretos, com o emprego de lisímetros, ou estimada indiretamente, utilizando-se evaporímetros ou modelos teóricos ou empíricos. Os modelos teóricos ou empíricos variam de uma simples relação empírica, baseada em dados de temperaturas máxima e mínima do ar, a modelos complexos, baseados em processos físicos que envolvem vários elementos do clima. Para as áreas irrigadas, é de grande importância o conhecimento dos métodos simples de estimativa da evapotranspiração que demandem dados de fácil obtenção e de baixo custo, porém com confiabilidade local razoável para a adoção de um manejo adequado de irrigação.

O presente trabalho objetivou determinar, entre os vários métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, aqueles que melhor se ajustam às condições locais das áreas de cafeicultura irrigada nas regiões do Triângulo, Alto Paranaíba e Noroeste de Minas Gerais, considerando a disponibilidade de dados climáticos e a operacionalidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Estimativa da evapotranspiração de referência

O planejamento de irrigação requer quatro essenciais componentes: uma estimativa da água disponível armazenada na zona radicular; uma projeção da taxa de depleção da água armazenada no solo; uma correta medida da água suprida pela precipitação; e uma estimativa correta da quantidade de água aplicada por meio do sistema de irrigação. A quantificação da água removida da zona radicular requer uma correta estimativa da evapotranspiração. Vários métodos de estimativa da evapotranspiração têm sido desenvolvidos e testados e vão desde métodos simples, que requerem apenas dados de temperatura mensal como dado de entrada (Thornthwaite, 1948), até métodos baseados em modelos físicos, que requerem uma série de dados de entrada (Penman-Monteith, 1965) (HATFIELD e ALLEN, 1996).

De acordo com SEDIYAMA et al. (1998), em manejo de irrigação, idealmente, os resultados de pesquisa de campo devem ser utilizados diretamente na estimativa das exigências hídricas das culturas. Entretanto, tais informações não estão disponíveis ou, muitas vezes, não são aplicáveis a todos os locais. Assim, os técnicos de irrigação devem recorrer às experiências, ou informações, de projetos irrigados da circunvizinhança ou contar com estimativas por meio de modelos teóricos.

A estimativa da evapotranspiração das culturas (ET_c), normalmente, envolve um processo que se desenvolve em duas etapas. Na primeira, estima-se a evapotranspiração de uma cultura de referência, normalmente grama (ET_o) ou alfafa (ET_r), geralmente utilizando uma equação empírica ou semi-empírica. Na segunda etapa, a ET_c é obtida multiplicando-se ET_o ou ET_r por um coeficiente de cultura (K_c) que integra as características da cultura e do clima local (DOORENBOS e PRUITT, 1977).

A evapotranspiração pode ser determinada por métodos diretos, com o emprego de lisímetros, ou estimada indiretamente. Segundo MANTOVANI (1993), a determinação indireta pode ser realizada utilizando-se evaporímetros, que mensuram a evaporação, sendo o mais comum o tanque classe "A". Neste caso, a evapotranspiração é determinada multiplicando-se a evaporação por um coeficiente de correção (coeficiente do tanque, "kt") a ser determinado para as condições locais. Dentro das determinações indiretas, há, ainda, segundo JENSEN et al. (1990), uma série de modelos teóricos e empíricos utilizados para estimar a evapotranspiração de referência, como os de Penman, Penman-Monteith, Radiação, Blaney e Criddle, Hargreaves, Priestley e Taylor, entre outros.

Ao longo dos anos tem sido desenvolvido um grande número de métodos para o cálculo da evapotranspiração de referência, a partir de dados meteorológicos e testados em diferentes condições climatológicas e geográficas. Estes métodos variam de uma simples relação empírica até métodos complexos baseados em processos físicos, como o método combinado de Penman (1948). Monteith (1965) modificou o método original de Penman, incorporando o termo da resistência estomatal (r_c) para cada tipo específico de cultura, em adicional ao termo já existente de resistência aerodinâmica. Esta formulação é o modelo de evapotranspiração de referência de Penman-Monteith (PM), que estima a evapotranspiração considerando as características da cultura de referência e do meio ao seu redor (AMATYA et al., 1995).

Em 1990, pesquisadores especialistas em evapotranspiração, de vários países, concluíram que o conceito de evapotranspiração de referência (ET_o), até então empregado, apresentava problemas, principalmente

relacionados com a variabilidade das culturas de referência atualmente em uso, levando a erros de sub e superestimações dos principais métodos indiretos utilizados para estimativa da ETo e à existência de dificuldades experimentais para contrastá-los. Essas condições dificultavam a determinação padronizada da ETo em grande escala; por isso, os pesquisadores decidiram propor um novo conceito de cultura de referência, baseado na equação de Penman-Monteith padronizada para os termos de resistência aerodinâmica e da cultura às perdas no processo evaporativo (SMITH et al., 1991).

ALLEN et al. (1994) apresentam considerações teóricas e práticas, no intuito de encorajar a adoção do novo conceito da cultura de referência, em que a ETo é redefinida como a taxa de evapotranspiração de uma cultura hipotética, com altura de 0,12 m, resistência aerodinâmica da superfície de 70 sm^{-1} e albedo de 0,23, sendo a equação de Penman-Monteith recomendada como representante do novo conceito de ETo.

Estudos conduzidos por diferentes pesquisadores, em diferentes localidades e condições climáticas, indicam que o modelo de Penman-Monteith tem apresentado estimativas de ETo para a grama de forma consistente e bem correlacionadas com valores medidos em lisímetros, tanto na escala diária, decenal, quanto na mensal, indicando que este modelo pode ser utilizado com sucesso na determinação das necessidades de água das culturas como padrão para calibração de outros modelos empíricos, na ausência de dados de lisímetros (ALLEN, 1986; JENSEN et al., 1990; PERES, 1994).

A integridade do método de PM para estimar a ETo tem sido extensivamente estudada. JENSEN et al. (1990) constataram, comparando com uma série de 19 outros métodos mundialmente utilizados, que o método de PM apresentou, em média, o melhor desempenho para a estimativa da ETo para valores diários e mensais, em relação a dados de lisímetros para 11 diferentes condições climatológicas.

Em locais com disponibilidade suficiente de dados climáticos (temperatura de bulbo seco e úmido, velocidade do vento e radiação líquida), a estimativa da evapotranspiração por meio de um método mais completo que pondere as diferentes variáveis climáticas que influenciam na

evapotranspiração, como o de Penman-Monteith, é preferível. Porém, em condições de manejo de irrigação e em locais distantes de estações meteorológicas completas, a utilização de métodos simplificados, baseados em dados de tanques de evaporação ou temperatura do ar, justifica-se em virtude de sua fácil utilização e interpretação dos resultados e do custo relativamente baixo, quando comparados a outras possibilidades.

Embora numerosos estudos tenham mostrado que o método de PM seja o mais apropriado para estimativa da ETo, a obtenção dos dados é difícil e o custo é elevado. Em condições em que se dispõe apenas de dados de temperatura máxima e mínima do ar, freqüentemente são usados os métodos de Hargreaves e Samani (1985) ou de Thornthwaite (1948) para estimar a ETo (AMATYA et al., 1995). Entretanto, o primeiro método superestima a ETo e o segundo a subestima para locais de clima úmido, segundo observaram JENSEN et al. (1990) e AMATYA et al. (1995).

Com base no novo conceito da cultura de referência e na recomendação de utilização da equação de Penman-Monteith, devido ao fato de esta apresentar o melhor desempenho de estimativa da ETo para locais onde não se dispõe de dados lisimétricos, alguns pesquisadores (AMATYA et al., 1995; ALVES SOBRINHO et al., 1998) têm avaliado a integridade de métodos de estimativa da ETo, comparando-os com o método de Penman-Monteith, tomado como padrão.

Um importante fator a ser observado na estimativa da evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith é que sua definição foi estabelecida para uma condição que requer um gramado com crescimento ativo e sombreamento completo do solo, além de suprimento adequado de água. A maior parte dos métodos de referência presume que as medidas dos dados meteorológicos são tomadas sobre este mesmo tipo de superfície. Todavia, muitos locais irrigados são circundados por áreas secas. Freqüentemente, elas são irrigadas depois que a vegetação já tenha sofrido estresse. O uso de dados de umidade relativa e temperatura do ar obtidos de estações meteorológicas instaladas em locais não-irrigados ou irrigados inadequadamente pode introduzir um erro nos valores calculados da ETo. Quando os valores de ETo, calculados a partir de dados obtidos sob as

condições descritas, são utilizados para representar condições de áreas irrigadas ou com referência a solo úmido, pode ser, então, necessário um procedimento para corrigir os valores de ETo (JENSEN et al., 1997).

2.2. Estimativa da evapotranspiração da cultura

Conforme já salientado, a estimativa da evapotranspiração de uma cultura de interesse específico envolve a multiplicação da ETo pelo coeficiente da cultura (Kc). Estimativas de Kc, para cafeeiros cultivados em várias regiões do mundo, apresentam uma faixa típica de 0,7 a 0,8. Em geral, estas estimativas têm sido obtidas por métodos indiretos, como modelos hidrológicos, ou avaliando a variação da umidade do solo. Pereira (1957), citado por GUTIERREZ e MEINZER (1994), usando um modelo de balanço de água no solo, reporta que os valores de Kc para cafeeiros cultivados no Quênia variaram sazonalmente de 0,5 durante a estação seca a 0,8 na estação úmida. Segundo os mesmos autores, Wallis (1963) e depois Blore (1966) usaram a mudança de umidade no solo para estimar o requerimento de irrigação do cafeeiro no Quênia e encontraram Kc de 0,6 e 0,7 para culturas não-irrigada e irrigada, respectivamente.

Em um trabalho realizado no Havaí, GUTIERREZ e MEINZER (1994) determinaram o coeficiente de cultura (Kc) para plantações de café de 0,7 a 0,8 para todas as idades, exceto para os baixos valores de índice de área foliar, e verificaram que a cultura apresenta diferenças sazonal e de ano a ano no uso de água e Kc. CAMARGO e PEREIRA (1990) recomendam o uso da porcentagem de cobertura do terreno pela folhagem da cultura como uma estimativa do Kc para o cafeeiro. Entretanto, no Brasil, ainda não existem pesquisas que estabelecem de forma precisa valores de Kc para a cafeicultura, e a validação destas estimativas para condições locais são desejáveis, devido às relativamente grandes variações no clima e nas práticas agronômicas entre as regiões cafeeiras.

2.3. Distribuição espacial da evapotranspiração

Os valores de evapotranspiração, imprescindíveis no dimensionamento e monitoramento da agricultura irrigada, podem ser apresentados em mapas temáticos, facilitando a utilização e o entendimento pelo usuário. Segundo BURROUGH (1986), com a necessidade crescente de combinar informações provenientes de diferentes mapas, pesquisadores desenvolveram os sistemas de informações geográficas, possibilitando a manipulação e o armazenamento destas informações.

Vários pesquisadores têm empregado as técnicas de sistemas informações geográficas (SIG) como ferramenta para regionalização da evapotranspiração e da demanda de irrigação pelas culturas. HASHMI et al. (1995) empregaram técnicas de interpolação disponíveis em um sistema de informações geográficas a partir de mapas climáticos pontuais e de uso do solo, agregando parâmetros de solo e topografia para estimar a evapotranspiração regional da bacia do “Cache la Poudre”, no Colorado, Estados Unidos. BELTRAME et al. (1994) estimaram, para o Rio Grande do Sul, as isolinhas de evapotranspiração calculadas pela equação de Penman-Monteith, utilizando 34 estações meteorológicas distribuídas por aquele estado. CARVALHO et al. (1998) espacializaram, para a bacia do rio Verde Grande localizado na região norte do Estado de Minas Gerais, para duas épocas de plantio, a demanda máxima de irrigação suplementar e a duração do ciclo para cultura do milho. Já FARIA (1998) espacializou a demanda máxima diária de irrigação necessária para a cultura do milho no Estado de Minas Gerais, considerando ou não a precipitação dependente, para solos de diferentes texturas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)

Este trabalho foi realizado utilizando-se dados climatológicos diários de estações meteorológicas localizadas nas regiões do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais. Estes dados, utilizados na estimativa da evapotranspiração, foram cedidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). O período adotado foi de 1961 a 1978, e as estações selecionadas foram aquelas que apresentavam série histórica mínima de seis anos. Dentre as estações das regiões do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais, foi possível selecionar seis estações que atendessem as características necessárias. No Quadro 1 é apresentada a localização das diversas estações meteorológicas selecionadas, com as respectivas coordenadas geográficas e altitude.

Os dados climatológicos diários disponíveis, para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), foram os seguintes: temperaturas máxima e mínima do ar; horas de brilho solar; temperaturas do bulbo seco e do bulbo molhado; umidade relativa média diária do ar; e velocidade média do vento.

A ET_o foi estimada pelos métodos de Penman-Monteith (PM); Kimberley - Penman (KPen); Penman FAO (FcPn); Penman 63 (63Pn); Hargreaves e Samani (Harg); Radiação - FAO (FRad); Blaney e Criddle

Quadro 1 - Estações do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) selecionadas

Código INMET	Estação	Latitude	Longitude	Altitude	Série	Nº anos utilizados
83579	Araxá	19,57	47,00	1003,8	1971-1978	8
83514	Capinópolis	18,68	49,68	620,6	1970-1978	8
83481	João Pinheiro	17,70	46,18	760,4	1973-1978	6
83479	Paracatu	17,22	46,83	711,4	1973-1978	6
83531	Patos de Minas	18,60	46,60	940,3	1961-1978	12
83577	Uberaba	19,75	48,00	742,9	1966-1978	12

FAO (FB-C); e Thornthwaite simplificado por Camargo (Camargo). Calculou-se a ETo, para valores diários, tomando-se como referência a nova conceituação de ETo padrão (Penman-Monteith). A descrição completa dos métodos pode ser obtida nos trabalhos de DOORENBOS e PRUITT (1977), JENSEN et al. (1990) e CAMARGO e PEREIRA (1990). Para os diferentes métodos de estimativa da ETo, exceto Thornthwaite simplificado por Camargo (Camargo), foi empregado nos cálculos o programa computacional REF-ET v. 2.1, apresentado por JENSEN et al. (1990).

A estimativa da ETo padrão foi feita utilizando-se a equação de Penman-Monteith, com base no conceito de uma cultura hipotética, que apresenta altura de 0,12 m, resistência aerodinâmica do dossel de 69 s m^{-1} e poder refletor (albedo) de 0,23 (SMITH, 1991).

A seguir são apresentados os modelos e procedimentos para a estimativa da ETo, da forma apresentada por JENSEN et al. (1990) e CAMARGO e PEREIRA (1990), e empregados neste trabalho; maiores detalhes podem ser obtidos nos trabalhos anteriormente citados. Os valores de ETo determinados por todos os métodos descritos a seguir são para a grama como cultura de referência, exceto KPen, que tem alfafa como referência e teve seus valores corrigidos para grama multiplicando-se os valores encontrados pelo fator 1,25.

PENMAN - MONTEITH (PM)

A equação combinada, com base na equação Penman-Monteith, é proposta na seguinte notação:

$$ET_o = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} K_1 \frac{0,622 \lambda \rho}{P} \frac{1}{r_a} (e_s - e_d) \quad (1)$$

$$\gamma^* = \gamma (1 + r_c r_a^{-1}) \quad (2)$$

$$r_c = 100 (0,5 \text{ IAF})^{-1} \quad (3)$$

$$\text{IAF} = 0,24 h_c \quad (4)$$

$$r_a = \frac{\ln \left[\frac{z_w - d}{z_{om}} \right] \ln \left[\frac{z_p - d}{z_{ov}} \right]}{(0,41)^2 u_z} \quad (5)$$

$$z_{om} = 0,123 h_c \quad (6)$$

$$z_{ov} = 0,1 z_{om} \quad (7)$$

$$d = 2/3 h_c \quad (8)$$

em que

ET_o - evapotranspiração de referência, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$;

R_n - saldo de radiação à superfície, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$;

G - fluxo de calor no solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$;

K_1 - coeficiente de conversão de unidades ($K_1 = 8,64 \cdot 10^4$, se a velocidade do vento medida a 2 m de altura (U_2) é expressa em m s^{-1} , e $K_1 = 10^3$, se U_2 é expresso em km d^{-1} ;

U_2 - velocidade do vento à altura de 2 metros, m s^{-1} ;

P - pressão atmosférica média estimada, kPa;

$(e_s - e_d)$ - déficit de pressão de vapor, kPa;

r_a - resistência aerodinâmica, s m^{-1} ;

λ - calor latente de evaporação, MJ kg^{-1} ;

ρ - densidade do ar seco, kg m^{-3} ;

Δ - declividade da curva de pressão de vapor de saturação, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$;

γ^* - constante psicrométrica modificada, kPa °C⁻¹;

γ - constante psicrométrica, kPa °C⁻¹;

r_c - resistência do dossel, m s⁻¹;

IAF - índice de área foliar;

h_c - altura do cultivo de referência, cm;

z_w - altura da medição da velocidade do vento, m;

z_p - altura das medições da umidade (psicrômetro) e temperatura, m;

d - altura do plano zero, m;

z_{om} - comprimento de rugosidade para transferência de momentum, m;

z_{oh} - comprimento da rugosidade para transferência de calor sensível e calor latente, m; e

u_z - velocidade do vento a altura z_w , m s⁻¹.

O cálculo do saldo de radiação à superfície (R_n) foi estimado por procedimentos de Wright (1982), da seguinte forma:

$$R_n = (1 - \alpha)R_s - R_b \quad (9)$$

em que

R_s - saldo de radiação de ondas curtas;

R_b - saldo de emissão efetiva de ondas longas; e

α - reflectância de ondas curtas ou albedo.

$$R_b = \left(a \frac{R_s}{R_{so}} + b \right) R_{bo} \quad (10)$$

em que

R_{bo} - saldo de radiação de ondas longas emitida para o espaço para dias claros;

R_{so} - radiação solar para dias claros, sem nuvens;

$a = 1,126$ e $b = -0,07$, para $R_s R_{so}^{-1} > 0,7$; e

$a = 1,017$ e $b = -0,06$, para $R_s R_{so}^{-1} \leq 0,7$.

O saldo de radiação de ondas longas emitida para o espaço para dias claros (R_{bo}) pode ser estimado como segue:

$$R_{bo} = [a_1 + b_1 \sqrt{e_d}] [4,903 \times 10^{-9}] (T_x^4 + T_n^4)/2 \quad (11)$$

em que

e_d - pressão de saturação de vapor à temperatura do ponto de orvalho médio, kPa;

$4,903 \times 10^{-9}$ - constante de Stefan-Boltzmann, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1} \text{K}^{-4}$;

T_x e T_n - temperaturas máxima e mínima médias à altura do abrigo para o período considerado, K;

$a_1 = 0,26 + 0,1 \exp\{-[0,0154(30 \text{ m} + N - 207)]^2\}$; e

$b_1 = -0,139$, para e_d em kPa.

O fluxo de calor no solo para períodos curtos pode ser estimado pela seguinte expressão:

$$G = 4,2 \frac{(T_{i+1} - T_{i-1})}{\Delta t} \quad (12)$$

em que

G - média diária do fluxo de calor no solo, $\text{MJ m}^{-3} \text{d}^{-1}$;

T - temperatura média do ar para o período de tempo i, °C; e

t - tempo entre os pontos médios dos dois períodos, dia.

Para a determinação do déficit de pressão de vapor, foram utilizadas as equações 13, 14 e 15 (JENSEN et al., 1990), a seguir:

$$\text{DPV} = (e_s - e_d) \quad (13)$$

$$e_s = (e_{s(T_{\text{max}})} + e_{s(T_{\text{min}})})/2 \quad (14)$$

$$e_d = e_{T_w} - 0,000661 P (T_d - T_w) (1 + 0,00115 T_w) \quad (15)$$

em que

$e_{s(T_{\text{max}})}$ - pressão de saturação de vapor à temperatura máxima diária, kPa;

$e_{s(T_{\text{min}})}$ - pressão de saturação de vapor à temperatura mínima diária, kPa;

e_d - pressão de vapor de saturação à temperatura do ponto de orvalho, kPa;

e_s - pressão de vapor de saturação do ar; kPa;

T_d - temperatura do bulbo seco, °C;

T_w - temperatura do bulbo molhado, °C;

P - pressão atmosférica, kPa; e
 e_{tw} - pressão de vapor de saturação à temperatura do bulbo molhado,
kPa.

KIMBERLEY - PENMAN (KPen)

$$ET_o = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}(R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} 6,43 w_f U_2(e_s - e_d) \quad (17)$$

em que

ET_o - evapotranspiração de referência, MJ m⁻² d⁻¹;

R_n - saldo de radiação à superfície, MJ m⁻² d⁻¹;

G - fluxo de calor no solo, MJ m⁻² d⁻¹;

T - temperatura, °C;

($e_s - e_d$) - déficit de pressão de vapor, kPa;

λ - calor latente de evaporação, MJkg⁻¹;

Δ - declividade da curva de pressão de vapor de saturação, kPa °C⁻¹;

$w_f = a_w - b_w U_2$;

$a_w = 0,4 + 1,4 \exp\{-(D - 173/58)^2\}$;

$b_w = 0,605 + 0,345 \exp[-(D - 243)/80]^2$;

U_2 - velocidade do vento à altura de 2 metros, m s⁻¹; e

D - dia juliano. Para latitudes do hemisfério sul, substituir D por D', sendo D' = (D - 182) para D > 182 e D' = (D + 182) para D < 182.

PENMAN 63 (63Pn)

$$ET_o = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}(R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} 6,43 w_f(e_s - e_d) \quad (18)$$

em que

ET_o - evapotranspiração de referência, MJ m⁻² d⁻¹;

R_n - saldo de radiação à superfície, MJ m⁻² d⁻¹;

G - fluxo de calor no solo, MJ m⁻² d⁻¹;

T - temperatura, °C;

($e_a - e_d$) - déficit de pressão de vapor, kPa;

λ - calor latente de evaporação, MJkg⁻¹;

Δ - declividade da curva de pressão de vapor de saturação, kPa °C⁻¹;

w_f - função do vento ($w_f = 1 + 0,536 U_2$); e

U_2 - velocidade do vento à altura de 2 metros, m s⁻¹.

FAO - 24 PENMAN CORRIGIDO (FcPn)

$$ET_o = c \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} 2,7 (1 + 0,864 U_2) (e_s - e_d) \right] \quad (19)$$

em que

ET_o - evapotranspiração de referência, mm d⁻¹;

c - fator de correção;

R_n - saldo de radiação à superfície, mm d⁻¹;

G - fluxo de calor no solo, mm d⁻¹;

U_2 - velocidade do vento à altura de 2 metros, m s⁻¹;

($e_a - e_d$) - déficit de pressão de vapor, kPa;

Δ - declividade da curva de pressão de vapor de saturação, kPa °C⁻¹; e

γ - constante psicrométrica, kPa °C⁻¹.

O valor de “c”, tabela 16 da FAO-24, foi expresso como uma polinomial por Frevert et al. (1983) e arredondado por Cuenca:

$$c = 0,68 + 0,0028RH_{\max} + 0,018R_s - 0,068U_d + 0,013\frac{U_d}{U_n} + 0,0097U_d\frac{U_d}{U_n} + 0,430 \times 10^{-4} RH_{\max} R_s U_d \quad (20)$$

sendo RH_{\max} a umidade relativa máxima em porcentagem; R_s , o saldo de radiação à superfície em mm d⁻¹; e U_d e U_n , as médias da velocidade do vento para os períodos diurno e noturno, respectivamente, em m s⁻¹.

FAO - 24 RADIAÇÃO (FRad)

$$ET_o = b \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_s \right] - 0,3 \quad (21)$$

em que

ET_o - evapotranspiração de referência, mm d^{-1} ;

b - fator de correção; e

R_s - radiação solar global, mm d^{-1} .

O fator de correção b , proposto por DOORENBOS e PRUITT (1977), foi calculado pela equação polinomial de Fevert et al. (1983) e Cuenca (1989):

$$b = 1,066 - 0,13 \times 10^{-2} RH_{\text{med}} + 0,045 U_d - 0,20 \times 10^{-3} (RH_{\text{med}} U_d) - 0,315 \times 10^{-4} (RH_{\text{med}})^2$$

sendo RH_{med} a umidade relativa média em porcentagem e U_d a média da velocidade do vento para o período diurno, em m s^{-1} . DOORENBOS e PRUITT (1977) calcularam a RH_{med} como a média das umidades relativas máxima e mínima diárias.

FAO - 24 BLANEY e CRIDDLE (FB-C)

$$ET_o = a + b [p (0,46 T + 8,13)] \quad (22)$$

em que

ET_o - evapotranspiração de referência, mm d^{-1} ;

a e b - fatores de ajuste local;

p - porcentagem diária média de horas anuais de brilho solar (p mensal/ dias do mês); e

T - temperatura média, $^{\circ}\text{C}$.

Os fatores de ajuste a e b podem ser calculados como (Allen e Pruitt, 1986; Fevert et al., 1983):

$$a = 0,0043 RH_{\text{min}} - n/N - 1,41$$

$$b = a_0 + a_1 RH_{\text{min}} + a_2 n/N + a_3 U_d + a_4 RH_{\text{min}} n/N + a_5 RH_{\text{min}} U_d$$

sendo RH_{\min} a umidade relativa mínima em porcentagem; n/N , a fração do brilho solar; e U_d , a média da velocidade do vento para o período diurno, em ms^{-1} . Os coeficientes da regressão de Frevert a_i arredondados por Cuenca (1987) são: $a_0 = 0,82$, $a_1 = - 0,0041$, $a_2 = 1,07$, $a_3 = 0,066$, $a_4 = -0,0060$ e $a_5 = - 0,00060$.

HARGREAVES E SAMANI (Harg)

$$ET_o = 0,0023 R_a \left(T_{\max} - T_{\min} \right)^{1/2} \left(T_{\text{med}} + 17,8 \right) \quad (23)$$

em que

ET_o - evapotranspiração de referência, $mm\ d^{-1}$;

T_{med} - temperatura média, $^{\circ}C$, [$T_{\text{med}} = 0,5 (T_{\max} + T_{\min})$];

T_{\max} - temperatura máxima, $^{\circ}C$;

T_{\min} - temperatura mínima, $^{\circ}C$; e

R_a - radiação solar no topo da atmosfera, $mm\ d^{-1}$.

THORNTHWAITTE SIMPLIFICADO POR CAMARGO (Camargo)

$$ET_o = R_a T F \quad (24)$$

em que

ET_o - evapotranspiração de referência, $mm\ d^{-1}$;

R_a - radiação solar no topo da atmosfera, $mm\ d^{-1}$;

T - temperatura média, $^{\circ}C$; e

F - fator de ajuste que varia com a temperatura média anual (T_m) do local. CAMARGO e PEREIRA (1990) apresentam os seguintes valores para F : $F = 0,01$ para T_m até $23\ ^{\circ}C$; $F = 0,0105$ para $T_m = 24\ ^{\circ}C$; $F = 0,011$ para $T_m = 25^{\circ}C$; $F = 0,0115$ para $T_m = 26\ ^{\circ}C$; e $F = 0,012$ para $T_m = 27\ ^{\circ}C$.

3.2. Comparação entre os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)

A determinação dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência que melhor se ajustam às condições locais das áreas irrigadas foi feita comparando-se os resultados obtidos para os diferentes métodos com aqueles determinados pelo método de Penman-Monteith, considerado como padrão, seguindo procedimentos empregados por JENSEN et al. (1990) e MANTOVANI (1993). Este estudo foi realizado para valores diários de ET_o e, também, valores agrupados em decêndios.

Com os valores de ET_o para o ano todo, para o período de temperaturas mais baixas do ano (abril a setembro) e o período de temperaturas mais altas do ano (outubro a março), que coincidem, respectivamente, com os períodos secos e chuvosos para a região, foram ajustadas equações de regressão utilizando-se uma planilha de cálculo, a fim de analisar as relações da ET_o estimadas entre o modelo tomado como padrão (PM) e os outros modelos em estudo. A equação de regressão ajustada foi da seguinte forma:

$$Y = a + bX \quad (25)$$

em que

Y - ET_o estimada pelo método-padrão de referência (PM);

X - ET_o estimada para cada um dos outros métodos avaliados; e

a e b - coeficientes da equação de regressão.

A metodologia utilizada para comparação dos resultados baseou-se no erro-padrão da estimativa do método avaliado (SEE) e no grau de dispersão dos pontos com a equação da reta gerada pela regressão (r^2), utilizando-se o erro-padrão de estimativa ajustado pela regressão (ASEE), apresentados a seguir (JENSEN et al., 1990):

$$SEE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{p_i} - Y_{met_i})^2}{n - 1} \right)^{1/2} \quad (26)$$

em que

SEE - erro-padrão da estimativa, mm dia⁻¹;

Y_p - ETo estimada pelo método-padrão (PM), mm dia⁻¹;

Y_{met} - ETo estimada pelo método a ser avaliado, mm dia⁻¹; e

n - número de observações.

Para a determinação do ASEE, empregou-se a mesma equação 26, porém o valor da ETo estimada pelo método a ser avaliado (Y_{met}) foi substituído pelo valor da ETo recalculado a partir da equação ajustada, ou seja, Y_{met}', na equação 26, foi estabelecido igual a: Y_{met}' = a + b ETo(método).

A comparação entre modelos de estimativas da evapotranspiração foi feita com base nos valores do erro-padrão da estimativa (SEE), do erro-padrão de estimativa ajustado pela regressão (ASEE), do coeficiente de regressão (r²) e dos coeficientes linear (a) e angular (b) das respectivas regressões. A melhor alternativa é aquela que apresenta maior (r²), menores SEE e ASEE e (a) próximo de zero e (b) próximo da unidade.

Foi ajustada também uma classificação dos métodos de estimativa da ETo, baseada nos valores para dados diários de SEE e ASEE ponderados, sendo uma para os métodos de temperatura e outra para os demais. Esta classificação foi feita por ordem crescente de valores de SEE_{ponderado} estimados da seguinte forma:

$$SEE_{ponderado} = 0,67 SEE + 0,33 ASEE \quad (27)$$

3.3. Regionalização dos resultados

A regionalização da evapotranspiração de referência (ETo) para os meses do ano, estimada pelo método de Penman-Monteith, e a elaboração de mapas temáticos mostrando as diferenças totais dos valores de ETo estimados pelos métodos de Penman-Monteith e Camargo, para os períodos de abril a setembro, outubro a março e o ano todo, foram feitas a partir de estimativas de

ETo calculadas para as localidades apresentadas no Quadro 1; adicionalmente, foram incluídas mais duas localidades, representativas da região, que possuíam série mínima de dados meteorológicos de seis anos, sendo elas: Monte Alegre de Minas (lat. 18,52 sul e long. 48,52 oeste) e Catalão (lat. 18,17 sul e long. 47,93 oeste).

A regionalização da evapotranspiração de referência (ETo) e os mapas temáticos de diferenças foram feitos utilizando-se o programa computacional de informações geográficas IDRISI, desenvolvido pelo Departamento de Geografia da Clark University, EUA.

Os mapas vetoriais das mesorregiões do Triângulo e Noroeste do Estado de Minas Gerais foram obtidos por meio da importação de arquivos disponíveis no “site” Geominas (www.mg.gov.br/geominas), de responsabilidade da Secretaria de Estado da Casa Civil do Governo de Minas Gerais. Estes mapas estão na escala 1:1.500.000, com sistema de referência latitude/longitude.

Foi feita a interpolação dos valores pontuais georreferenciados da evapotranspiração de referência para cada mês do ano e das diferenças totais dos valores de ETo estimados pelos métodos de Penman-Monteith e Camargo para os períodos de abril a setembro, outubro a março e o ano todo. Nessa interpolação, trabalhou-se com o interpolador linear com um raio de busca dos seis pontos mais próximos amostrados do ponto interpolado e com o expoente da função de distância igual a 3.

Em seguida, conforme procedimentos empregados por FARIA (1998), foram gerados os mapas da região em estudo, por meio da rotina de reclassificação (RECLASS). Após esse procedimento, foi executado o módulo OVERLAY entre as imagens interpoladas e a imagem de contorno das regiões. Finalmente, as imagens resultantes foram reclassificadas (RECLASS), a fim de apresentar uma legenda compatível com os valores existentes nos mapas.

4.RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Estimativas da evapotranspiração de referência (ET_o)

Os valores mínimo, máximo e médio da evapotranspiração de referência mensal (ET_o), para os anos analisados, estimada pelo método Penman-Monteith (PM), para todos os seis locais, estão apresentados no Quadro 2. Observa-se que os valores mínimos da média mensal da ET_o estimada variaram de 2,3 mm d⁻¹ no mês de junho, em Araxá, a 4,7 mm d⁻¹ no mês de janeiro, em João Pinheiro. Os valores máximos da média mensal variaram de 2,9 mm d⁻¹ no mês de junho, em Paracatu, a 5,9 mm d⁻¹ em João Pinheiro, no mês de outubro. Quanto à média dos valores mensais da ET_o, verifica-se que, em termos gerais para a região, os maiores valores são observados nos meses de janeiro e fevereiro e setembro e outubro, e os menores valores no mês de junho, existindo, portanto, dois picos anuais de maior demanda hídrica e um de menor, para a região.

Em relação à média anual da E_o, verifica-se que João Pinheiro apresenta a maior média anual, caracterizando-se como o local de maior demanda hídrica anual dos seis analisados. Por outro lado, Araxá e Paracatu apresentaram as menores médias anuais de ET_o.

No Quadro 3 estão apresentados os valores de precipitação média mensal para os seis locais. Verifica-se que, para a região, o período chuvoso vai de outubro a março e o seco de abril a setembro, e, neste período, os

Quadro 2 - Estimativa média mensal da evapotranspiração de referência (ET_o, mm d⁻¹) pelo método de Penman-Monteith para os seis locais

Local		Mês do ano												anual
		jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	
		ET _o (mm d ⁻¹)												
Araxá	mínimo	3,6	3,3	3,1	3,2	2,7	2,3	2,5	3,3	2,9	3,5	3,3	2,6	3,0
	máximo	4,7	4,7	4,6	4,3	3,4	3,5	3,4	4,8	5,3	4,9	4,6	4,5	4,4
	média	4,0	4,0	3,9	3,6	3,0	2,8	3,0	3,9	4,0	4,0	3,7	3,4	3,6
Capinópolis	mínimo	3,3	3,2	2,6	3,0	2,6	2,6	3,0	3,5	3,3	4,2	3,7	3,3	3,2
	máximo	4,6	5,1	4,5	4,1	3,8	3,8	3,9	4,8	5,4	5,2	5,2	5,0	4,6
	média	4,3	4,3	3,9	3,7	3,3	3,1	3,5	4,1	4,6	4,7	4,3	3,9	4,0
João	mínimo	4,7	4,0	3,3	3,6	3,2	2,6	3,3	3,9	4,3	3,5	3,9	3,7	3,7
Pinheiro	máximo	4,9	5,0	4,4	4,4	3,6	3,4	3,5	5,0	5,0	5,9	4,2	4,2	4,5
	média	4,8	4,7	3,9	4,0	3,4	3,1	3,4	4,4	4,6	4,7	4,1	3,9	4,1
Paracatu	mínimo	3,3	3,6	2,9	3,2	2,7	2,5	2,8	3,4	4,0	3,5	3,4	3,4	3,2
	máximo	4,9	4,6	4,7	3,6	3,1	2,9	3,3	3,9	4,6	4,4	4,6	4,5	4,1
	média	4,2	4,1	3,9	3,4	2,9	2,7	3,0	3,7	4,2	3,9	3,7	3,7	3,6
Patos	mínimo	3,7	2,9	3,2	3,1	2,6	2,4	2,6	3,3	3,4	3,7	3,3	3,0	3,1
de Minas	máximo	4,7	5,2	4,5	3,9	3,4	3,1	3,5	4,5	5,2	5,0	4,9	4,7	4,4
	média	4,2	4,1	3,9	3,5	3,0	2,8	3,1	4,1	4,5	4,2	3,8	3,6	3,7
Uberaba	mínimo	4,2	3,4	3,8	3,4	2,9	2,6	2,7	3,6	3,7	4,4	4,0	3,2	3,5
	máximo	4,8	5,5	5,1	4,2	3,5	3,3	3,6	4,9	5,6	5,1	5,7	4,4	4,7
	média	4,6	4,3	4,3	3,7	3,1	2,9	3,1	4,0	4,5	4,8	4,5	3,9	4,0

Quadro 3 - Precipitação média mensal (1961-1990, em mm d⁻¹) para os seis locais

Local	Mês do ano												anual
	jan.	fev.	mar.	abr.	Maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	
precipitação (mm d ⁻¹)													
Araxá	9,6	6,7	5,5	3,3	1,4	1,5	0,7	0,7	2,2	5,0	6,9	9,4	4,4
Capinópolis	9,4	7,2	6,1	3,8	1,3	1,4	0,4	0,4	1,7	5,1	6,0	8,6	4,3
João	8,8	6,9	5,1	2,3	0,7	0,7	0,3	0,2	1,1	5,1	7,7	9,0	4,0
Pinheiro													
Paracatu	8,4	6,4	4,8	2,2	0,9	1,0	0,5	0,5	1,2	4,3	7,5	10,5	4,0
Patos de Minas	8,8	6,9	5,4	2,5	0,8	0,8	0,4	0,4	1,6	5,1	6,8	9,6	4,1
Uberaba	8,3	8,2	6,1	3,5	1,6	1,6	0,6	0,5	2,0	5,2	6,9	9,1	4,5

Fonte: Normais Climatológicas.

valores de evapotranspiração superam, em média, os de precipitação, caracterizando o período do ano de maior necessidade de irrigação. No período chuvoso, de outubro a março, embora as precipitações superem a evapotranspiração, essa época está sujeita a períodos sem que ocorram as precipitações normais esperadas, caracterizando um fenômeno climático denominado “veranico”, que poderá ter efeito sobre o cafeeiro, por coincidir com as fases críticas desta cultura no que se refere ao déficit de umidade, havendo, portanto, a necessidade de irrigação suplementar.

A evapotranspiração de referência média mensal, em mm por dia, para cada mês do ano, estimada usando o método Penman-Monteith para todas as estações, foi espacializada e está apresentada nas Figuras 1 e 2.

A análise dos mapas das Figuras 1 e 2 permite melhor visualizar o que já foi discutido anteriormente, ou seja, os períodos de valores máximos de evapotranspiração média mensal, em mm por dia, para a região ocorrem nos meses de janeiro e fevereiro e setembro e outubro, e o período de valores mínimos, no mês de junho, observando-se também que os maiores valores de ETo estão situados nas partes norte e oeste dos mapas. Outro aspecto a ser observado, ao se analisar individualmente cada mês, é a relativa homogeneidade dos valores de ETo para a região, sendo as diferenças máximas observadas, em geral, inferiores a 1 mm por dia.

Apesar de se considerar apenas um determinado número de estação dentro da região, a espacialização permitiu identificar os valores de evapotranspiração média mensal para qualquer ponto no interior da região, constituindo-se numa importante ferramenta auxiliar a ser utilizada no dimensionamento de projetos de cafeicultura irrigada.

Apesar de Penman-Monteith ser o método mais recomendável, ainda ocorre na prática a utilização de outros métodos, alguns com as mesmas exigências de dados de entrada e outros utilizando informações mais simples. Nesta fase de transição, é importante oferecer subsídios para que se possa comparar a precisão de cada um dos métodos utilizados. Também é importante considerar que, apesar do grande avanço relacionado com as estações meteorológicas automáticas (qualidade, facilidade e custo), ainda existe grande potencial para sistemas mais simples, com base em dados de

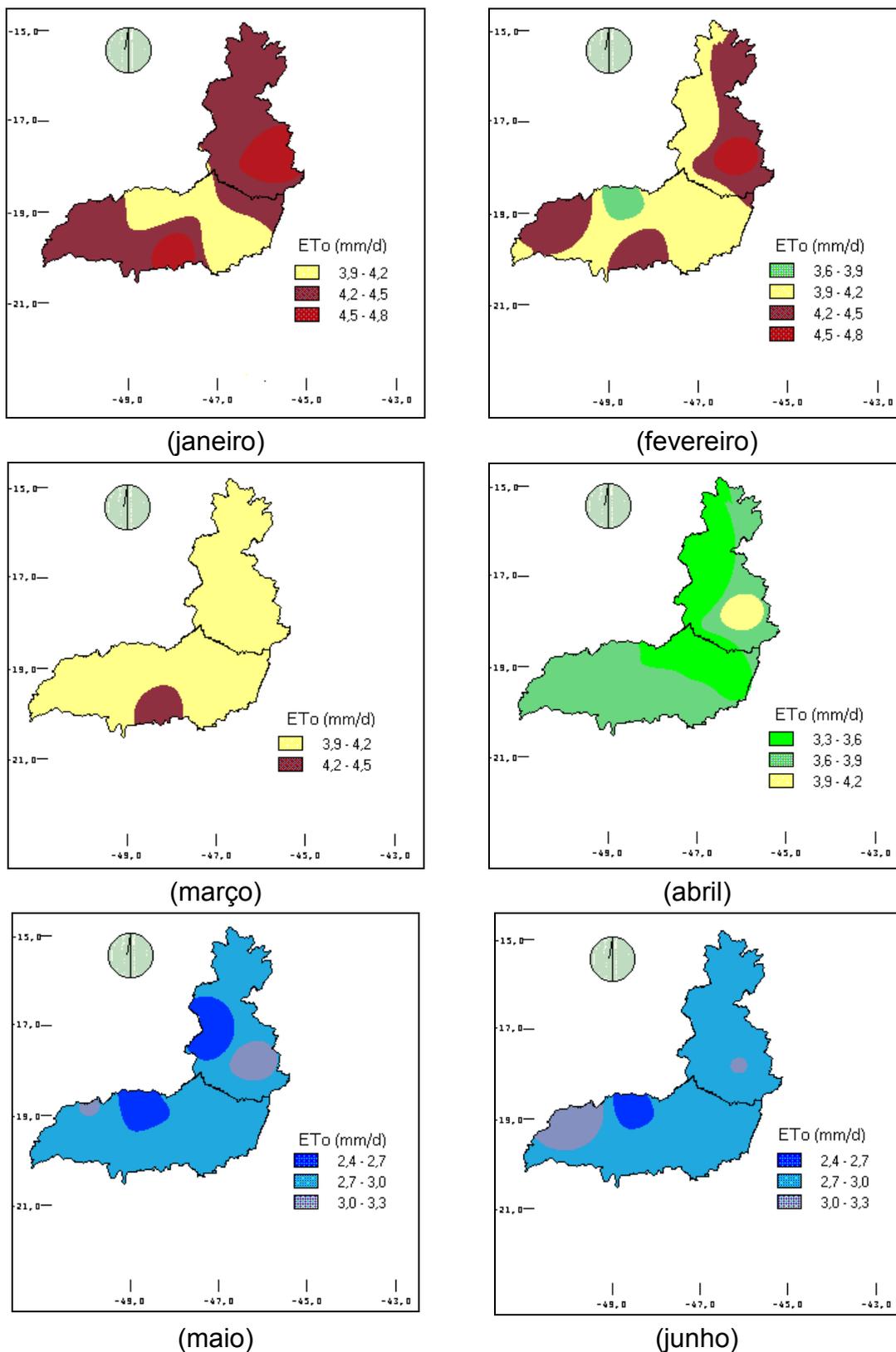


Figura 1 - Regionalização da estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), em mm d⁻¹, estimada pelo método de Penman-Monteith, para os meses de janeiro a junho.

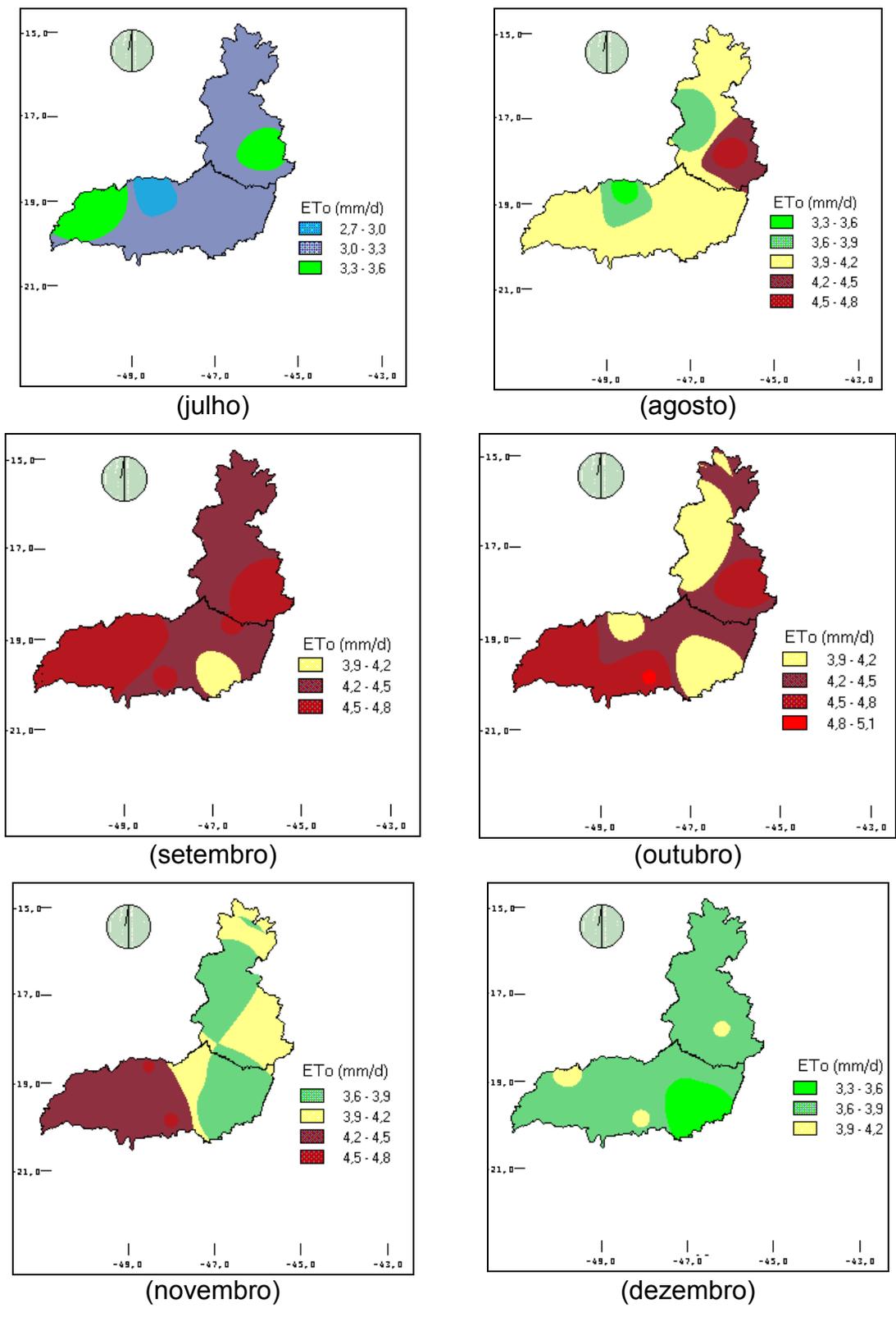


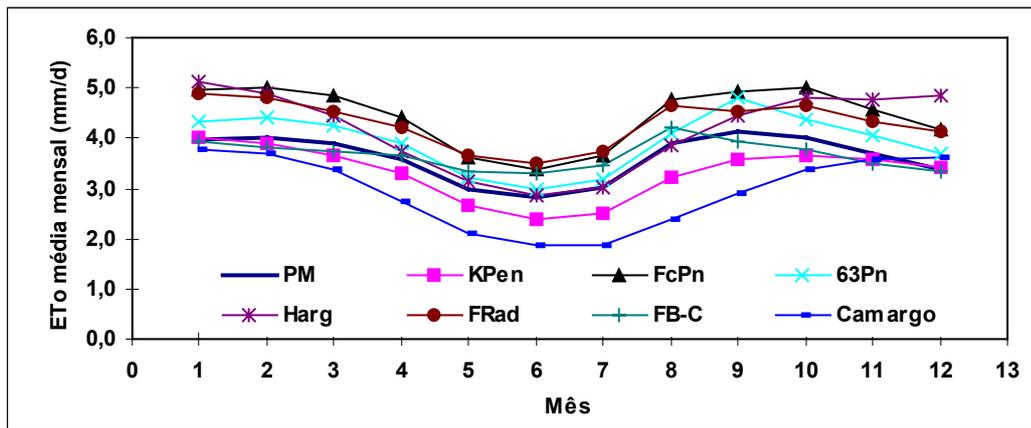
Figura 2 - Regionalização da estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), em mm d⁻¹, estimada pelo método de Penman-Monteith, para os meses de julho a dezembro.

temperatura e precipitação, devido à falta de conscientização para a necessidade e os benefícios do manejo da irrigação.

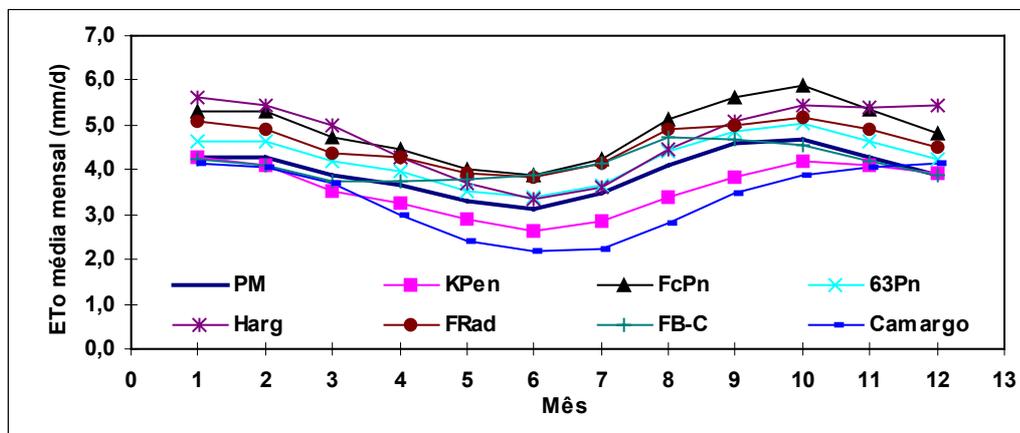
4.2. Análise comparativa dos métodos de estimativa da ETo

A comparação dos métodos de estimativa da ETo mais complexos justifica-se nessa interface, em que PM está em processo de aceitação como método-padrão, somente para permitir aos usuários de outros métodos a comparação e o posicionamento. No caso dos métodos baseados em dados de temperatura, justifica-se pela demora e dificuldade na implantação e utilização de dados meteorológicos mais completos. Assim, a comparação dos métodos foi realizada separando-se os métodos em dois grupos, sendo o primeiro envolvendo KPen, 63Pn, FcPn e FRad, que são mais complexos, com exigências semelhantes ao método-padrão (PM), e o segundo grupo de métodos mais simples, envolvendo FB-C, Harg e Camargo, que exigem somente a temperatura do ar como informação de entrada. É importante ressaltar que o método de FB-C, além da temperatura do ar, exige outras informações meteorológicas, como velocidade do vento, umidade relativa do ar, e brilho solar expresso como n/N, para a determinação dos fatores de ajuste local.

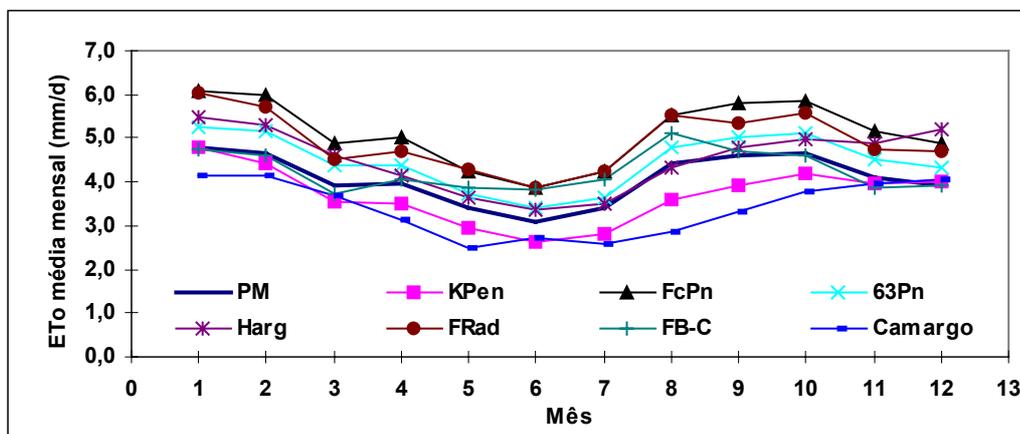
As médias diárias dos valores da evapotranspiração de referência (ETo), para cada mês do ano, estimada pelos diferentes métodos, para todos os seis locais, estão representadas nas Figuras 3 e 4. Observa-se, entre os métodos baseados em dados de temperatura, que o método de Camargo subestima a média diária mensal da ETo no período de janeiro a novembro em todos os locais e superestima no mês de dezembro, quando comparado ao método PM. Verifica-se ainda que esta subestimativa pelo método Camargo é mais acentuada no período de abril a setembro. O método de Harg apresenta uma tendência de superestimar a ETo para o período de setembro a março, para Araxá, Capinópolis, João Pinheiro e Patos de Minas, e uma tendência de concordância de valores para os meses de abril a agosto para estes locais. Por outro lado, em Paracatu e Uberaba o método Harg superestima a ETo para



(a)

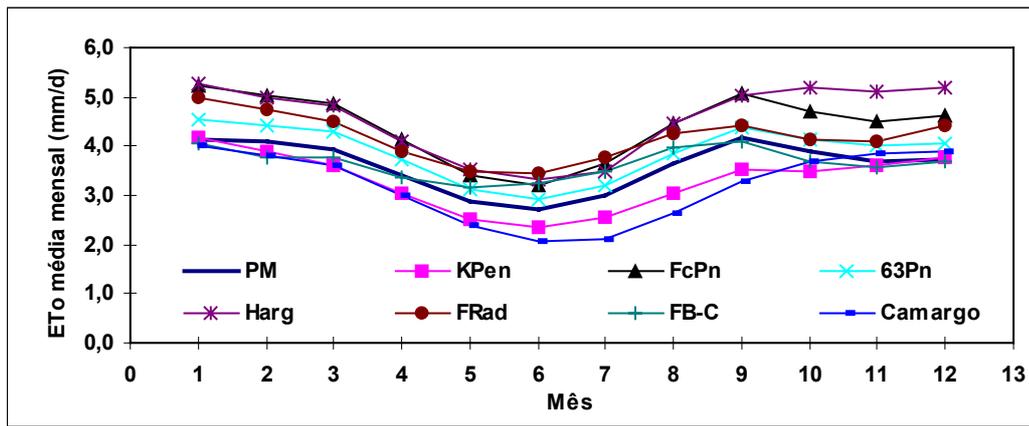


(b)

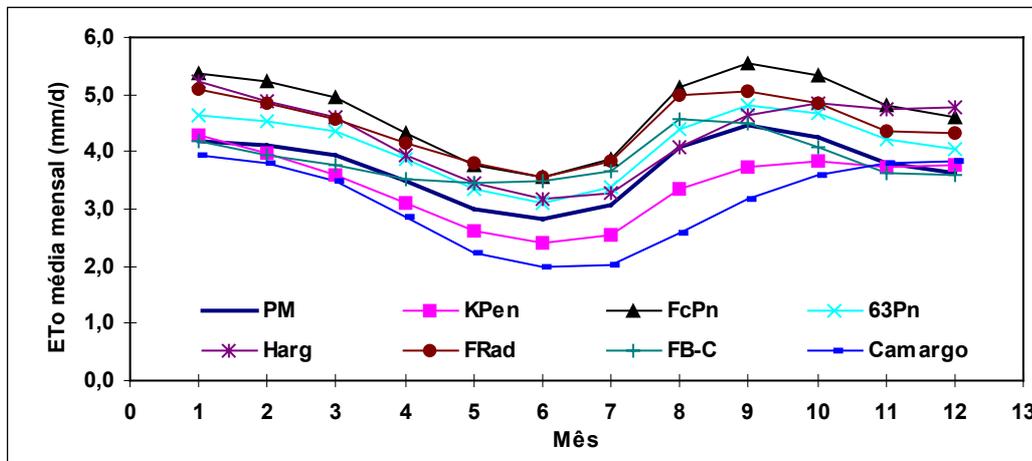


(c)

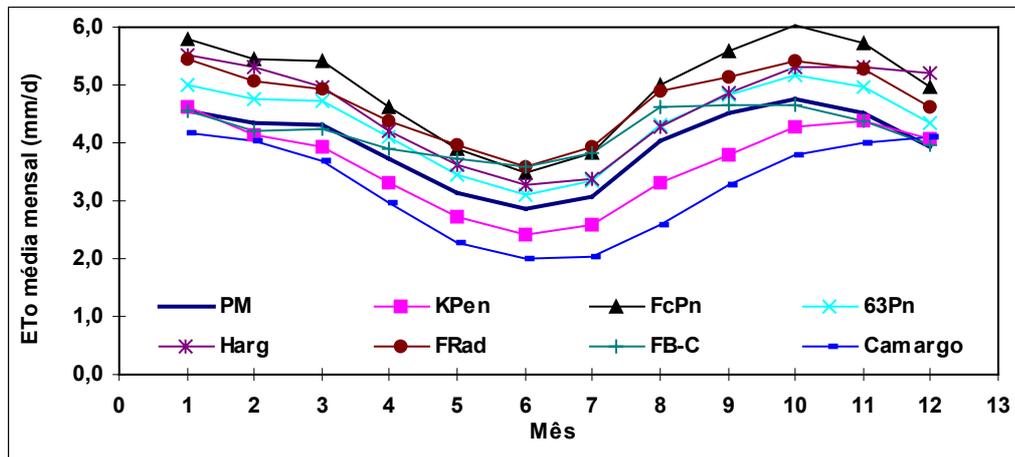
Figura 3 - Comparação da média diária mensal da ETo estimada pelos sete métodos em relação ao método Penman-Monteith (PM), para: (a) Araxá, (b) Capinópolis e (c) João Pinheiro.



(a)



(b)



(c)

Figura 4 - Comparação da média diária mensal da ETo estimada pelos sete métodos em relação ao método Penman-Monteith (PM), para: (a) Paracatu, (b) Patos de Minas e (c) Uberaba.

todos os meses do ano. O método FB-C apresenta, em geral, para todos os locais, uma tendência de superestimar a ETo no período de maio a agosto e de concordância de valores para os demais meses do ano.

Em relação aos métodos mais exigentes em dados de entrada, o método KPen subestima a ETo para todos os locais, porém com menor desvio que o método Camargo. Os métodos FcPn e FRad apresentam uma tendência consistente de superestimarem a ETo para todos os meses do ano e locais. O método 63Pn também superestima a ETo para todos os meses e locais, porém com menor desvio do que o apresentado pelos métodos FcPn e FRad.

Nos Quadros 4 a 9 estão apresentados os resumos das análises estatísticas dos métodos avaliados para valores de ETo diários e agrupados em decêndios. O estudo comparativo dos métodos de estimativa da ETo foi realizado considerando-se valores de todos os meses do ano e valores para o período de abril a setembro e para o período de outubro a março.

As estimativas de ETo expressas como percentagem das estimativas em relação ao método tomado como padrão (PM) para valores do ano todo, períodos seco e chuvoso do ano, apresentadas nos Quadros 4 a 9, mostram, para o grupo de métodos mais complexos, uma tendência de superestimativa para os métodos 63Pn, FcPn e FRad e uma tendência clara de subestimativa para o método KPen. Dentre os métodos de temperatura, o método Harg apresenta uma tendência de superestimar, e o Camargo, de subestimar a ETo. Por outro lado, o método FB-C foi o que, em média, mais se aproximou do método PM, mesmo quando se englobam todos os sete métodos analisados, havendo, porém, uma certa tendência de superestimar no período seco e subestimar no período chuvoso do ano.

O método Camargo tem sido indicado por pesquisadores e técnicos que atuam na região de cafeicultura do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais e empregado pelos cafeicultores na elaboração de balanços hídricos, visando o manejo de irrigação na cultura do cafeeiro. Este método apresentou, conforme mostram os resultados, uma tendência clara de subestimar a ETo, sendo mais acentuada para o período seco do ano, de abril a setembro, período este mais freqüente de irrigação do cafeeiro na região, chegando a subestimar em até 32% a ETo média, como são os casos de Patos de Minas e

Quadro 4 - Resumo das análises estatísticas para valores diários e decendiais: (1) evapotranspiração média diária do período, mm d⁻¹; (2) percentagem em relação ao método-padrão (PM); (3) erro-padrão de estimativa em relação ao método-padrão, mm d⁻¹; (4) e (5) coeficientes da equação de regressão ajustada; (6) coeficiente de determinação para a regressão; e (7) erro-padrão de estimação em relação à regressão, mm d⁻¹, para Araxá-MG

Método	Classif. 1	ETo (1)	% (2)	SEE (3)	a (4)	b (5)	r ² (6)	ASEE (7)	SEE (3)	a (4)	b (5)	r ² (6)	ASEE (7)
Diário							Decendial						
Todos os meses do ano													
63Pn	1	3,9	108	0,34	-0,04**	0,94**	0,98	0,15	0,33	0,07**	0,90**	0,98	0,11
KPen	2	3,3	92	0,41	0,33**	0,99**	0,93	0,29	0,39	0,46**	0,95**	0,91	0,25
FRad	3	4,3	119	0,89	0,62**	0,69**	0,91	0,33	0,80	0,24 ^{ns}	0,79**	0,79	0,38
FcPn	4	4,4	123	1,00	0,57**	0,68**	0,97	0,18	0,93	0,40**	0,72**	0,87	0,30
FB-C	a	3,7	101	0,38	0,23**	0,92**	0,89	0,36	0,41	-0,06 ^{ns}	1,00**	0,76	0,41
Harg	b	4,1	115	1,05	0,78**	0,68**	0,40	0,83	0,95	1,35**	0,54**	0,34	0,67
Camargo	c	2,9	81	1,20	1,71**	0,64**	0,21	0,96	1,04	2,00**	0,55**	0,24	0,72
de abril a setembro													
63Pn	1	3,6	107	0,27	-0,13**	0,97**	0,97	0,15	0,28	0,09**	0,91**	0,98	0,12
KPen	2	2,9	86	0,53	-0,02 ^{ns}	1,17**	0,95	0,20	0,51	0,11**	1,12**	0,96	0,18
FRad	4	4,0	119	0,83	0,46**	0,72**	0,85	0,37	0,80	-0,19**	0,89**	0,67	0,48
FcPn	3	4,1	121	0,86	0,43**	0,71**	0,96	0,20	0,84	0,13**	0,79**	0,77	0,40
FB-C	a	3,6	107	0,45	0,18**	0,88**	0,88	0,33	0,54	-0,28**	1,01**	0,66	0,49
Harg	b	3,5	103	0,69	0,17 ^{ns}	0,92**	0,50	0,67	0,62	0,22**	0,91**	0,47	0,61
Camargo	c	2,3	68	1,33	0,93**	1,06**	0,30	0,79	1,28	0,77 ^{ns}	1,14**	0,39	0,65
de outubro a março													
63Pn	2	4,2	110	0,39	-0,08**	0,93**	0,99	0,12	0,38	-0,07 ^{ns}	0,93**	0,99	0,07
KPen	1	3,7	97	0,25	0,11**	1,00**	0,96	0,22	0,22	0,16 ^{ns}	0,99**	0,94	0,18
FRad	3	4,5	119	0,95	0,78**	0,67**	0,95	0,27	0,80	0,55**	0,72**	0,94	0,19
FcPn	4	4,8	125	1,13	0,67**	0,66**	0,98	0,15	1,01	0,54**	0,69**	0,99	0,08
FB-C	a	3,7	96	0,28	0,34**	0,94**	0,96	0,24	0,20	0,19 ^{ns}	0,99**	0,97	0,14
Harg	c	4,8	126	1,33	-0,77**	0,95**	0,42	0,87	1,20	0,27 ^{ns}	0,74**	0,27	0,65
Camargo	b	3,6	93	1,04	-2,41**	1,75**	0,28	0,98	0,72	-0,72 ^{ns}	1,27**	0,22	0,67

¹ - ordem alfabética para métodos de temperatura e numérica para os demais métodos.

** = significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 5 - Resumo das análises estatísticas para valores diários e decendiais: (1) evapotranspiração média diária do período, mm d⁻¹; (2) percentagem em relação ao método-padrão (PM); (3) erro-padrão de estimativa em relação ao método-padrão, mm d⁻¹; (4) e (5) coeficientes da equação de regressão ajustada; (6) coeficiente de determinação para a regressão; e (7) erro-padrão de estimação em relação à regressão, mm d⁻¹, para Capinópolis-MG

Método	Classif. 1	ETo	%	SEE	a	b	r ²	ASEE	SEE	a	b	r ²	ASEE
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Diário							Decendial						
todos os meses do ano													
63Pn	1	4,3	108	0,39	0,05**	0,92**	0,96	0,23	0,34	0,04 ^{ns}	0,92**	0,97	0,13
KPen	2	3,6	91	0,52	0,49**	0,97**	0,91	0,35	0,47	0,66**	0,92**	0,89	0,28
FRad	3	4,6	115	0,88	0,72**	0,71**	0,86	0,44	0,70	0,22 ^{ns}	0,82**	0,87	0,29
FcPn	4	4,9	123	1,11	0,68**	0,67**	0,95	0,27	0,98	0,46**	0,72**	0,97	0,14
FB-C	a	4,2	104	0,54	0,38**	0,87**	0,83	0,48	0,43	0,17 ^{ns}	0,92**	0,78	0,39
Harg	b	4,8	120	1,23	0,64**	0,71**	0,40	0,91	1,09	1,26**	0,57**	0,39	0,64
Camargo	c	3,4	85	1,23	1,65**	0,70**	0,23	1,04	0,97	1,99**	0,59**	0,31	0,68
de abril a setembro													
63Pn	1	4,0	107	0,38	0,03 ^{ns}	0,93**	0,93	0,27	0,30	-0,04 ^{ns}	0,95**	0,95	0,17
KPen	2	3,1	85	0,63	-0,09**	1,21**	0,97	0,19	0,61	-0,17**	1,23**	0,97	0,14
FRad	4	4,3	117	0,88	0,57**	0,73**	0,75	0,53	0,72	-0,12 ^{ns}	0,89**	0,80	0,35
FcPn	3	4,5	122	0,97	0,52**	0,70**	0,92	0,30	0,87	0,27**	0,76**	0,96	0,16
FB-C	a	4,2	112	0,70	0,25**	0,83**	0,78	0,49	0,59	-0,14 ^{ns}	0,92**	0,77	0,37
Harg	b	4,1	110	0,91	0,48**	0,80**	0,39	0,82	0,73	0,82**	0,71**	0,40	0,60
Camargo	c	2,7	72	1,36	0,94**	1,04**	0,30	0,88	1,18	1,05**	0,99**	0,44	0,58
de outubro a março													
63Pn	1	4,6	108	0,41	0,02 ^{ns}	0,92**	0,98	0,18	0,36	0,02 ^{ns}	0,92**	0,99	0,08
KPen	2	4,0	95	0,38	0,34**	0,96**	0,93	0,32	0,30	0,36**	0,96**	0,92	0,22
FRad	3	4,8	114	0,87	0,90**	0,69**	0,93	0,33	0,69	0,56**	0,76**	0,93	0,21
FcPn	4	5,2	124	1,23	0,81**	0,65**	0,97	0,23	1,08	0,63**	0,69**	0,98	0,10
FB-C	a	4,1	98	0,33	0,53**	0,90**	0,95	0,28	0,19	0,41**	0,92**	0,96	0,16
Harg	c	5,4	128	1,46	-1,08**	0,99**	0,45	0,92	1,33	-0,53 ^{ns}	0,88**	0,35	0,64
Camargo	b	4,0	95	1,10	-3,53**	1,94**	0,31	1,02	0,73	-1,94 ^{ns}	1,54**	0,28	0,67

¹ - ordem alfabética para métodos de temperatura e numérica para os demais métodos.

** = significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 6 - Resumo das análises estatísticas para valores diários e decendiais: (1) evapotranspiração média diária do período, mm d⁻¹; (2) percentagem em relação ao método-padrão (PM); (3) erro-padrão de estimativa em relação ao método-padrão, mm d⁻¹; (4) e (5) coeficientes da equação de regressão ajustada; (6) coeficiente de determinação para a regressão; e (7) erro-padrão de estimação em relação à regressão, mm d⁻¹, para João Pinheiro-MG

Método	Classif. 1	ETo (1)	% (2)	SEE (3)	a (4)	b (5)	r ² (6)	ASEE (7)	SEE (3)	a (4)	b (5)	r ² (6)	ASEE (7)
Diário							Decendial						
todos os meses do ano													
63Pn	1	4,5	110	0,44	-0,11**	0,94**	0,98	0,16	0,42	-0,06 ^{ns}	0,92**	0,98	0,09
KPen	2	3,7	90	0,50	0,36**	1,01**	0,92	0,31	0,48	0,63**	0,93**	0,87	0,28
FRad	3	5,0	122	1,07	0,86**	0,65**	0,88	0,38	0,92	0,56**	0,72**	0,90	0,25
FcPn	4	5,2	127	1,16	0,45**	0,71**	0,96	0,21	1,09	0,27**	0,74**	0,98	0,11
FB-C	a	4,3	105	0,50	0,40**	0,87**	0,84	0,45	0,40	0,34 ^{ns}	0,88**	0,78	0,36
Harg	b	4,5	110	1,03	0,88**	0,71**	0,34	0,90	0,84	1,47**	0,58**	0,33	0,62
Camargo	c	3,4	83	1,23	1,77**	0,69**	0,22	0,97	0,98	2,03**	0,61**	0,31	0,63
de abril a setembro													
63Pn	1	3,9	109	0,40	-0,30**	0,99**	0,96	0,18	0,38	-0,20 ^{ns}	0,96**	0,98	0,10
KPen	2	4,3	85	0,63	-0,14**	1,22**	0,97	0,17	0,61	-0,13 ^{ns}	1,21**	0,96	0,13
FRad	4	3,3	122	1,03	0,61**	0,69**	0,76	0,46	0,91	0,06 ^{ns}	0,81**	0,85	0,27
FcPn	3	4,7	125	1,05	0,24**	0,75**	0,94	0,24	1,02	0,12**	0,77**	0,97	0,12
FB-C	A	4,2	111	0,63	0,20 ^{ns}	0,86**	0,77	0,45	0,54	-0,13 ^{ns}	0,93**	0,77	0,34
Harg	B	4,9	103	0,73	0,32 ^{ns}	0,89**	0,43	0,71	0,50	0,49**	0,84**	0,55	0,47
Camargo	c	4,0	71	1,36	0,94**	1,06**	0,32	0,78	1,20	0,73**	1,13**	0,58	0,46
de outubro a março													
63Pn	2	4,8	110	0,47	-0,06**	0,92**	0,99	0,12	0,46	-0,02 ^{ns}	0,91**	0,99	0,07
KPen	1	4,1	95	0,34	0,06 ^{ns}	1,04**	0,95	0,26	0,30	0,20**	1,00**	0,91	0,23
FRad	3	5,1	119	1,11	1,06**	0,63**	0,95	0,27	0,93	0,94**	0,65**	0,95	0,17
FcPn	4	5,4	126	1,25	0,57**	0,69**	0,98	0,18	1,15	0,41**	0,72**	0,99	0,09
FB-C	a	4,2	98	0,32	0,56**	0,89**	0,95	0,26	0,20	0,52**	0,90**	0,96	0,15
Harg	c	5,0	117	1,26	0,11 ^{ns}	0,83**	0,27	1,02	1,07	1,51**	0,55**	0,14	1,15
Camargo	b	4,0	92	1,10	-3,32**	1,92**	0,30	1,00	0,71	-2,08 ^{ns}	1,60**	0,33	0,62

¹ - ordem alfabética para métodos de temperatura e numérica para os demais métodos.

** = significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 7 - Resumo das análises estatísticas para valores diários e decendiais: (1) evapotranspiração média diária do período, mm d⁻¹; (2) percentagem em relação ao método-padrão (PM); (3) erro-padrão de estimativa em relação ao método-padrão, mm d⁻¹; (4) e (5) coeficientes da equação de regressão ajustada; (6) coeficiente de determinação para a regressão; e (7) erro-padrão de estimação em relação à regressão, mm d⁻¹, para Paracatu-MG

Método	Classif. 1	ETo (1)	% (2)	SEE (3)	a (4)	b (5)	r ² (6)	ASEE (7)	SEE (3)	a (4)	b (5)	r ² (6)	ASEE (7)
Diário							Decendial						
todos os meses do ano													
63Pn	1	3,9	108	0,32	-0,04**	0,94**	0,98	0,15	0,30	0,01 ^{ns}	0,93**	0,98	0,09
KPen	2	3,3	91	0,42	0,44**	0,97**	0,94	0,27	0,40	0,66**	0,90**	0,91	0,22
FRad	3	4,2	116	0,80	0,67**	0,70**	0,87	0,37	0,67	0,44 ^{ns}	0,76**	0,86	0,27
FcPn	4	4,4	122	0,94	0,57**	0,69**	0,97	0,18	0,85	0,45**	0,72**	0,98	0,09
FB-C	a	3,7	102	0,40	0,15**	0,94**	0,86	0,39	0,33	-0,03**	0,99**	0,80	0,32
Harg	c	4,5	125	1,22	0,50**	0,69**	0,48	0,75	1,08	0,81**	0,62**	0,61	0,45
Camargo	b	3,2	87	1,06	1,52**	0,67**	0,24	0,91	0,81	1,77**	0,59**	0,36	0,58
de abril a setembro													
63Pn	1	3,5	107	0,29	-0,09**	0,96**	0,97	0,17	0,25	-0,10**	0,97**	0,97	0,10
KPen	2	2,9	86	0,49	0,44**	0,99**	0,93	0,24	0,49	-0,12 ^{ns}	1,21**	0,98	0,10
FRad	4	3,9	118	0,81	0,53**	0,72**	0,79	0,42	0,67	-0,03 ^{ns}	0,86**	0,75	0,31
FcPn	3	4,0	120	0,83	0,45**	0,72**	0,95	0,20	0,72	0,30 ^{ns}	0,75**	0,98	0,09
FB-C	a	3,6	108	0,43	-0,05 ^{ns}	0,95**	0,85	0,35	0,38	-0,37**	1,03**	0,81	0,26
Harg	b	4,0	120	0,99	0,59**	0,68**	0,54	0,61	0,80	0,70 ^{ns}	0,66**	0,71	0,33
Camargo	c	2,5	77	1,05	1,14**	0,86**	0,37	0,72	0,89	1,09**	0,88**	0,52	0,42
de outubro a março													
63Pn	1	4,3	108	0,36	-0,07**	0,94**	0,99	0,13	0,34	-0,05**	0,93**	0,99	0,07
KPen	2	3,8	96	0,30	0,23**	0,98**	0,95	0,25	0,27	0,41**	0,94**	0,92	0,21
FRad	3	4,5	114	0,83	0,92**	0,67**	0,95	0,26	0,68	0,90**	0,67**	0,95	0,16
FcPn	4	4,9	123	1,09	0,68**	0,67**	0,98	0,15	0,98	0,57**	0,69**	0,99	0,08
FB-C	a	3,8	96	0,35	0,49**	0,91**	0,93	0,30	0,27	0,54**	0,90**	0,92	0,21
Harg	c	5,1	129	1,47	-0,23 ^{ns}	0,82**	0,42	0,87	1,32	0,55**	0,66**	0,41	0,56
Camargo	b	3,8	96	1,06	-1,63**	1,47**	0,17	1,04	0,71	1,19 ^{ns}	0,72**	0,07	0,70

[†] - ordem alfabética para métodos de temperatura e numérica para os demais métodos.

** = significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 8 - Resumo das análises estatísticas para valores diários e decendiais: (1) evapotranspiração média diária do período, mm d⁻¹; (2) percentagem em relação ao método-padrão (PM); (3) erro-padrão de estimativa em relação ao método-padrão, mm d⁻¹; (4) e (5) coeficientes da equação de regressão ajustada; (6) coeficiente de determinação para a regressão; e (7) erro-padrão de estimação em relação à regressão, mm d⁻¹, para Patos de Minas-MG

Método	Classif. 1	ETo (1)	% (2)	SEE (3)	a (4)	b (5)	r ² (6)	ASEE (7)	SEE (3)	a (4)	b (5)	r ² (6)	ASEE (7)
Diário							Decendial						
todos os meses do ano													
63Pn	1	4,1	110	0,41	-0,22**	0,96**	0,98	0,16	0,39	-0,16**	0,95**	0,99	0,08
KPen	2	3,4	91	0,46	0,43**	0,97**	0,91	0,32	0,43	0,66**	0,90**	0,88	0,27
FRad	3	4,4	119	0,93	0,59**	0,71**	0,87	0,39	0,80	0,27**	0,78**	0,92	0,23
FcPn	4	4,7	126	1,10	0,40**	0,71**	0,96	0,22	1,02	0,20**	0,75**	0,99	0,09
FB-C	a	3,9	104	0,47	0,25**	0,90**	0,84	0,44	0,37	0,05 ^{ns}	0,95**	0,80	0,35
Harg	b	4,3	115	0,95	0,20**	0,83**	0,51	0,77	0,73	0,30 ^{ns}	0,81**	0,64	0,47
Camargo	c	3,1	83	1,19	1,63**	0,69**	0,23	0,96	0,96	1,83**	0,62**	0,35	0,64
de abril a setembro													
63Pn	1	3,8	109	0,37	-0,43**	1,03**	0,97	0,17	0,34	-0,31**	0,99**	0,99	0,08
KPen	2	3,0	85	0,58	-0,14**	1,22**	0,97	0,16	0,56	-0,14**	1,22**	0,98	0,11
FRad	4	4,2	121	0,92	0,18**	0,78**	0,79	0,46	0,79	-0,30**	0,89**	0,90	0,23
FcPn	3	4,4	125	0,95	0,07**	0,78**	0,95	0,22	0,91	-0,05 ^{ns}	0,81**	0,99	0,09
FB-C	a	3,9	111	0,59	-0,11**	0,93**	0,81	0,43	0,49	-0,46**	1,02**	0,84	0,30
Harg	b	3,8	108	0,77	-0,04 ^{ns}	0,95**	0,47	0,73	0,45	-0,57**	1,09**	0,76	0,37
Camargo	c	2,5	71	1,33	0,72**	1,13**	0,32	0,83	1,15	0,61**	1,17**	0,55	0,50
de outubro a março													
63Pn	2	4,4	111	0,45	-0,15**	0,94**	0,99	0,11	0,44	-0,16**	0,94**	1,00	0,05
KPen	1	3,9	97	0,30	0,23**	0,97**	0,94	0,27	0,26	0,30**	0,96**	0,91	0,22
FRad	3	4,7	117	0,95	0,93**	0,65**	0,95	0,25	0,80	0,81**	0,68**	0,97	0,14
FcPn	4	5,0	127	1,23	0,63**	0,37**	0,97	0,19	1,12	0,41**	0,71**	0,99	0,07
FB-C	a	3,9	97	0,31	0,58**	0,88**	0,96	0,24	0,20	0,50**	0,90**	0,97	0,13
Harg	b	4,8	122	1,09	-1,04**	1,05**	0,57	0,74	0,92	-1,45**	1,13**	0,64	0,44
Camargo	c	3,7	94	1,04	-3,07**	1,90**	0,27	0,96	0,72	-1,53 ^{ns}	1,49**	0,22	0,65

[†] - ordem alfabética para métodos de temperatura e numérica para os demais métodos.

** = significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 9 - Resumo das análises estatísticas para valores diários e decendiais: (1) evapotranspiração média diária do período, mm d⁻¹; (2) percentagem em relação ao método-padrão (PM); (3) erro-padrão de estimativa em relação ao método-padrão, mm d⁻¹; (4) e (5) coeficientes da equação de regressão ajustada; (6) coeficiente de determinação para a regressão; e (7) erro-padrão de estimação em relação à regressão, mm d⁻¹, para Uberaba-MG

Método	Classif. 1	ETo (1)	% (2)	SEE (3)	a (4)	b (5)	r ² (6)	ASEE (7)	SEE (3)	a (4)	b (5)	r ² (6)	ASEE (7)
Diário							Decendial						
todos os meses do ano													
63Pn	1	4,3	109	0,39	-0,12**	0,95**	0,98	0,17	0,36	-0,03 ^{ns}	0,93**	0,99	0,09
KPen	2	3,6	91	0,49	0,50**	0,96**	0,92	0,33	0,46	0,77**	0,89**	0,89	0,27
FRad	3	4,7	118	0,94	0,67**	0,71**	0,88	0,40	0,78	0,09**	0,83**	0,91	0,24
FcPn	4	5,0	125	1,14	0,52**	0,70**	0,97	0,21	1,05	0,30**	0,74**	0,98	0,10
FB-C	a	4,2	105	0,51	0,24**	0,89**	0,84	0,45	0,42	-0,32 ^{ns}	1,03**	0,80	0,36
Harg	b	4,6	115	0,98	0,25**	0,82**	0,56	0,76	0,77	0,46**	0,77**	0,70	0,44
Camargo	c	3,2	81	1,25	1,61**	0,74**	0,30	0,96	1,00	1,78**	0,69**	0,49	0,58
de abril a setembro													
63Pn	1	3,8	107	0,33	-0,26**	1,00**	0,97	0,19	0,29	-0,18 ^{ns}	0,98**	0,98	0,10
KPen	2	3,0	86	0,61	-0,09**	1,21**	0,97	0,18	0,58	-0,07 ^{ns}	1,20**	0,97	0,14
FRad	4	4,3	118	0,92	0,44**	0,73**	0,80	0,45	0,78	-0,26 ^{ns}	0,89**	0,88	0,26
FcPn	3	4,4	121	0,94	0,31**	0,74**	0,94	0,24	0,88	0,09 ^{ns}	0,79**	0,98	0,11
FB-C	a	4,0	107	0,66	0,13**	0,85**	0,82	0,44	0,57	-0,52 ^{ns}	1,01**	0,83	0,31
Harg	b	3,9	103	0,77	-0,03 ^{ns}	0,93**	0,53	0,70	0,51	-0,30 ^{ns}	0,99**	0,74	0,39
Camargo	c	2,5	68	1,36	0,70**	1,16**	0,38	0,80	1,18	0,70 ^{ns}	1,15**	0,61	0,47
de outubro a março													
63Pn	2	4,8	110	0,44	-0,16**	0,95**	0,99	0,12	0,42	-0,18 ^{ns}	0,95**	0,99	0,05
KPen	1	4,2	96	0,32	0,20**	0,99**	0,94	0,28	0,29	0,35 ^{ns}	0,96**	0,86	0,24
FRad	3	5,1	116	0,97	1,04**	0,66**	0,94	0,28	0,79	0,79**	0,70**	0,94	0,16
FcPn	4	5,6	126	1,31	0,69**	0,67**	0,98	0,17	1,20	0,48**	0,71**	0,99	0,07
FB-C	a	4,3	98	0,29	0,58**	0,88**	0,96	0,24	0,16	0,50**	0,90**	0,96	0,13
Harg	b	5,3	120	1,15	-0,90**	1,01**	0,54	0,77	0,97	-0,90 ^{ns}	1,01**	0,56	0,43
Camargo	c	4,0	90	1,14	-1,26**	1,43**	0,16	1,04	0,77	1,26 ^{ns}	0,79**	0,09	0,62

[†] - ordem alfabética para métodos de temperatura e numérica para os demais métodos.

** = significativo a 1% de probabilidade.

tendência de subestimativa apresentada pelo método Camargo pode levar, quando este método é empregado no manejo de irrigação na região, à aplicação de lâminas de irrigação inferiores à lâmina real necessária, podendo ocasionar desenvolvimento e produção do cafeeiro menores do que o potencial regional da cafeicultura irrigada.

A tendência de subestimar a ETo pelo método de Thornthwaite, do qual o método Camargo foi derivado, também foi observada por JENSEN et al. (1990), em relação a dados de lisímetros para vários locais, e por AMATYA et al. (1995), que comparou valores de ETo obtidos pelo método de Thornthwaite com valores obtidos pelo método de Penman-Monteith.

Determinaram-se também os valores diários de ETo estimados pelo método PM versus cada um dos sete métodos avaliados para cada uma das seis localidades, considerando-se o ano todo, o período seco e o chuvoso (Figuras 1A a 18A).

Em relação ao erro-padrão de estimativa (SEE), que indica quão bem se adaptam as estimativas da ETo obtidas pelos diferentes métodos às estimativas do método tomado como padrão (PM) sem ajuste ou calibração, verifica-se, ao analisar os resultados, para valores diários, referentes a todos os meses do ano e a todos os locais, que os valores variaram de um mínimo de 0,34 mm d⁻¹ para o método 63Pn, em Araxá, até um máximo de 1,25 mm d⁻¹ para o método Camargo, em Uberaba. Para o período seco do ano, os valores de SEE variaram de 0,27 mm d⁻¹ para o método 63Pn até 1,36 mm d⁻¹ para o método Camargo. Já para o período chuvoso os valores de SEE variaram de 0,25 mm d⁻¹ para o método 63Pn até 1,46 mm d⁻¹ para o método Harg. Observa-se uma tendência geral de elevados valores de SEE para o método Camargo, resultante da consistente subestimativa da ETo para a região, sendo mais acentuada para o período seco do ano.

As análises de regressões feitas para valores diários, com os valores de ETo estimados pelo método tomado como padrão (PM) como variável dependente e as estimativas de ETo obtidas pelos demais métodos como variável independente, mostram que, para todos os locais estudados e períodos, ocorreram boas estimativas de ETo para todos os métodos avaliados com r² acima de 0,75, à exceção de Harg e Camargo, que apresentaram r²

inferiores a 0,57 e 0,38, respectivamente. Tal fato indica a necessidade de ajuste regional para estes dois métodos. Os métodos FcPn, 63Pn e FRad podem ser utilizados para a estimativa da ETo na região, desde que utilizem fatores que ajustem a superestimação observada; já KPen necessita de ajuste, devido à subestimação. Dentre os sete métodos analisados e os diferentes locais, o método 63Pn foi o que apresentou, em média, valores do coeficiente linear (a) da equação de regressão ajustada que mais se aproximaram de zero e do coeficiente angular (b) que mais se aproximaram da unidade, indicando concordância estreita entre os valores estimados por este método e os estimados pelo método-padrão. O método Camargo foi o que apresentou, em média, os maiores desvios do coeficiente linear (a) em relação ao zero e do coeficiente angular (b) em relação à unidade.

Comparando-se ainda, para valores diários, os erros-padrões de estimativa (SEE) com os ajustados (ASEE), observa-se que em todos os casos ocorre decréscimo nos desvios com o ajuste feito pela regressão, indicando que se pode obter melhoria de estimativa da ETo para todos os métodos por meio de uma calibração local. Nesta comparação, observa-se ainda que o maior decréscimo nos desvios ocorre para o método Penman-FAO com correção (FcPn), indicando que o fator de correção “c” na forma como empregada neste trabalho não se mostrou efetivo para a melhoria da estimativa da ETo, havendo, portanto, necessidade de ajuste local.

Nos Quadros 4 a 9 está apresentada também a classificação dos métodos de estimativa da ETo, com base nos valores para dados diários de SEE e ASEE ponderados, sendo os valores alfabéticos para os métodos de temperatura e os numéricos para os demais. O método 63Pn apresentou, para todas as condições de agrupamento dos dados no ano e em todos os locais, o melhor índice entre os métodos mais complexos, seguido por KPen, à exceção de Araxá, João Pinheiro, Patos de Minas e Uberaba, no período de outubro a março, em que ocorreu troca de posições entre 63Pn e KPen. O método FRad apresentou melhor índice que FcPn para a análise com todos os meses do ano e o período de outubro a março e pior índice para o período de abril a setembro.

No que se refere aos métodos de temperatura, o método FB-C apresentou a melhor classificação entre os três analisados, para todas as condições e todos os locais em estudo. Com relação aos outros dois métodos, o Harg apresentou melhor desempenho que o Camargo para a análise com todos os meses do ano e o período de abril a setembro, para todos os locais. Já o método Camargo superou o Harg apenas em Araxá, Capinópolis, João Pinheiro e Paracatu, para o período de outubro a março.

Para valores decendiais, verifica-se que os valores de SEE, considerando todos os locais e meses do ano, variaram de um mínimo de 0,30 mm d⁻¹ para o método 63Pn até um máximo de 1,09 mm d⁻¹ para os métodos Harg e FcPn. Para o período seco do ano, os valores de SEE variaram de 0,25 mm d⁻¹ para o método 63Pn até um máximo de 1,28 mm d⁻¹ para o método Camargo. Já para o período chuvoso, a variação dos valores de SEE foi de um mínimo de 0,25 mm d⁻¹ para o método KPen até um máximo de 1,46 mm d⁻¹ para o método Harg. Quando comparado aos resultados referentes aos valores diários, verifica-se que ocorreu redução dos SEEs ao se trabalhar com valores de ETo em base decendial. Isso era esperado, devido à redução dos desvios ao se trabalhar com valores médios de períodos.

As análises de regressões feitas para valores decendiais de ETo, estimadas pelo método tomado como padrão (PM) como variável dependente e as estimadas pelos demais métodos como variável independente apresentaram resultados semelhantes aos obtidos para valores diários. Por outro lado, os valores de ASEE para dados decendiais, de maneira semelhante aos de SEE, apresentaram-se menores quando comparados aos obtidos para valores diários, ou seja, houve menores desvios dos métodos testados em relação ao método-padrão.

Para fins práticos, dentre os três métodos que apresentam basicamente requerimento de dados medidos de temperatura do ar, ou seja, Harg, FB-C e Camargo, as melhores estimativas da ETo foram dadas pelo método FB-C, indicando que este pode ser utilizado sem outros ajustes locais para a estimativa da ETo em toda a região estudada. Porém, cabe lembrar que os valores dos coeficientes “a” e “b” do método FB-C, na forma empregada neste trabalho, são calculados em função da velocidade do vento, da umidade

relativa do ar e do brilho solar expresso como n/N , e estes parâmetros nem sempre são disponíveis ou fáceis de serem obtidos para todos os locais. Com relação aos outros dois métodos, o método Harg mostrou-se preferível ao método Camargo, pois embora, em geral, superestime a ETo em relação ao método-padrão, esta tende a ser menor para o período seco do ano, que coincide com o período de irrigação do cafeeiro na região, além de apresentar maiores valores de r^2 e menores de SEE, quando comparado ao método Camargo.

4.3. Mapas de diferenças entre as estimativas da evapotranspiração de referência (ETo) calculadas pelos métodos Penman-Monteith e Camargo

Por ser o método Camargo o mais indicado por pesquisadores e técnicos para ser empregado pelos cafeicultores na elaboração de balanços hídricos visando o manejo de irrigação na cultura do cafeeiro nas regiões do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais e por ter apresentado tendência de subestimar a ETo para estas regiões, neste item serão apresentadas, de forma regionalizada, as diferenças entre os valores totais de evapotranspiração de referência estimadas usando os métodos Penman-Monteith e Camargo para os períodos de abril a setembro, outubro a março e o ano todo, nas Figuras 5, 6 e 7, respectivamente.

Verifica-se que as diferenças totais de estimativas de ETo (mm) pelo método Penman-Monteith em relação ao método Camargo, considerando o ano todo (Figura 7), estão acima de 100 mm por ano, e para a maior parte da região esta diferença é superior a 200 mm. Por outro lado, observando as Figuras 5 e 6, verifica-se que estas diferenças concentram-se no período seco do ano, onde na maior parte da região as diferenças são superiores a 160 mm no período, correspondentes a uma diferença média de $0,87 \text{ mm d}^{-1}$. Conforme já salientado em itens anteriores deste capítulo, a utilização do método de Camargo para a estimativa do consumo de água do cafeeiro nesta região no período seco do ano, que coincide com o período de irrigação, pode levar a

uma significativa subestimativa das lâminas de irrigação, podendo comprometer o efeito esperado da irrigação no crescimento, no desenvolvimento e na produção do cafeeiro.

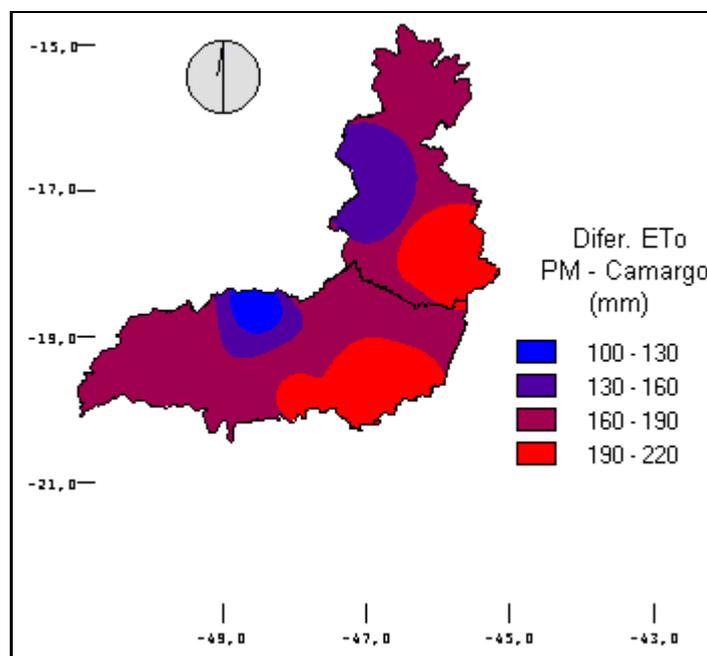


Figura 5 - Mapas das diferenças totais de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), em mm, pelo método de Penman-Monteith versus Camargo, para o período seco do ano (abril a setembro).

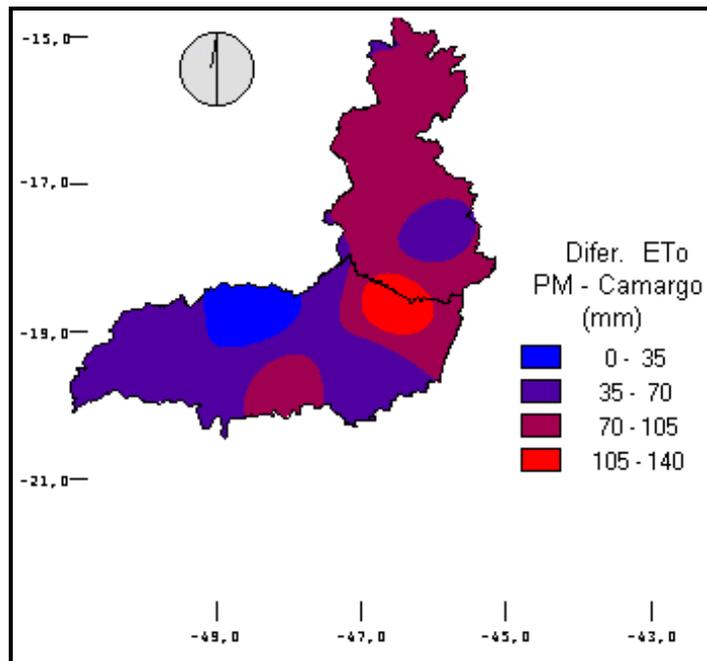


Figura 6 - Mapas das diferenças totais de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), em mm, pelo método de Penman-Monteith versus Camargo, para o período chuvoso do ano (outubro a março).

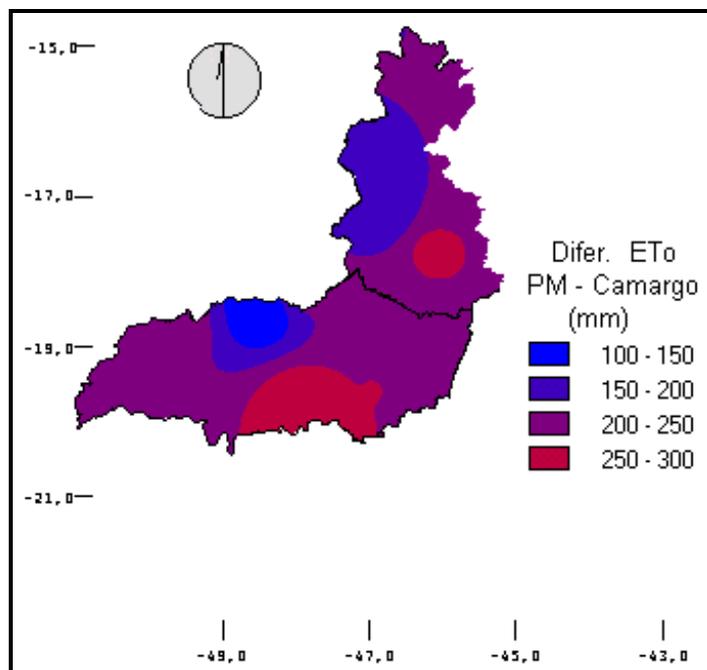


Figura 7 - Mapas das diferenças totais de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), em mm, pelo método de Penman-Monteith versus Camargo, para o ano todo.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

No presente trabalho avaliou-se a ETo estimada pelos métodos de Penman-Monteith (PM), Kimberley - Penman (KPen), Penman FAO (FcPn), Penman 63 (63Pn), Hargreaves e Samani (Harg), Radiação-FAO (FRad), Blaney e Criddle FAO (FB-C) e Thornthwaite simplificado por Camargo (Camargo) para as regiões cafeeiras do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais, utilizando-se dados climáticos fornecidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Os valores de ETo foram analisados em base diária e decenal, e a determinação dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência que melhor se ajustam às condições locais das áreas irrigadas foi feita comparando-se os resultados obtidos para os diferentes métodos com os determinados pelo método de Penman-Monteith, considerado como padrão. Este estudo foi realizado considerando-se os valores de ETo para o ano todo, para o período de temperaturas mais baixas do ano (abril a setembro) e período de temperaturas mais altas do ano (outubro a março), que coincidem, respectivamente, com os períodos secos e chuvosos para a região.

A metodologia utilizada para comparação dos resultados baseou-se no erro-padrão da estimativa do método avaliado (SEE) e na concordância dos pontos com a equação da reta gerada pela regressão (r^2), utilizando-se o erro-padrão de estimativa ajustado pela regressão (ASEE).

Como informação complementar, foi feita a regionalização da evapotranspiração de referência (ET_o) para os meses do ano, estimada pelo método de Penman-Monteith, e a elaboração de mapas temáticos mostrando as diferenças totais dos valores de ET_o estimados pelos métodos de Penman-Monteith e Camargo para os períodos de abril a setembro, outubro a março e o ano todo.

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Em termos gerais, para a região, os maiores valores das médias mensais da ET_o são observados nos meses de janeiro e fevereiro e setembro e outubro, e os menores no mês de junho, caracterizando, portanto, dois picos anuais de maiores demandas hídricas e um de menor.

- O método Camargo apresenta uma tendência clara de subestimar a ET_o, sendo mais acentuada para o período seco do ano, de abril a setembro, chegando a subestimar a ET_o em média até 32%, como são os casos de Patos de Minas e Uberaba.

- O método FB-C foi o que, em média, mais se aproximou do método PM, havendo certa tendência de superestimar no período seco e subestimar no período chuvoso do ano.

- Os menores valores de erro-padrão de estimativa (SEE), maior concordância dos pontos com a equação da reta gerada pela regressão (r^2) e menor erro-padrão de estimativa ajustado pela regressão (ASEE) foi apresentado, em média, pelo método 63Pn.

- Quando se dispõe apenas de dados de temperatura do ar, o método Harg mostrou-se preferível ao método Camargo para a estimativa da ET_o, pois apresenta maiores valores de r^2 e menores de SEE e ASEE, quando comparado ao método Camargo.

- O emprego do método Camargo no manejo de irrigação na região pode levar à aplicação de lâminas de irrigação inferiores à lâmina real necessária, podendo comprometer o efeito esperado da irrigação no crescimento, no desenvolvimento e na produção do cafeeiro.

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO PRESSURIZADOS EMPREGADOS NA CAFEICULTURA EM ÁREAS DE CERRADO DE MINAS GERAIS

1. INTRODUÇÃO

Na agricultura irrigada, o recurso água é o fator principal, e ele tem se tornado limitante por causa da implementação de novas áreas irrigadas ou por falta da disponibilidade de recursos hídricos; torna-se imprescindível a adoção de medidas que possibilitem o uso adequado dos recursos hídricos disponíveis, com ênfase, em irrigação, na melhoria da eficiência do uso da água.

A avaliação do desempenho de um sistema de irrigação é uma etapa fundamental antes que qualquer estratégia de manejo de irrigação seja implementada, pois é com base nesses resultados que será possível avaliar e adequar o equipamento e a sua utilização, em relação aos requerimentos de água dos cultivos utilizados, considerando-se a eficiência e a uniformidade de aplicação de água do sistema.

A uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação é um parâmetro de grande importância. A baixa uniformidade da lâmina de água

aplicada ao longo da área leva a resultados insatisfatórios, com redução da eficiência de aplicação de água. A uniformidade de distribuição da água em sistemas de irrigação por aspersão é influenciada principalmente pelo tipo de perfil de distribuição do aspersor, pela relação entre a pressão e o diâmetro do bocal, pelo espaçamento entre aspersores, pela variação de pressão no sistema e pela velocidade e direção do vento. Para sistemas de irrigação localizada, os principais fatores que afetam a uniformidade de distribuição de água estão relacionados à variação da vazão ao longo da linha lateral, que é principalmente afetada pelo projeto hidráulico, pelo coeficiente de variação de fabricação dos emissores, pela temperatura e pelo entupimento dos emissores, incluindo entupimentos parciais.

A eficiência de irrigação é função das perdas de água que ocorrem na condução da água do ponto de captação até o de emissão; das perdas por evaporação e deriva da água a partir da saída do emissor até alcançar a superfície do solo, para os sistemas por aspersão; das perdas por escoamento superficial para fora da área irrigada; e das perdas por percolação abaixo do sistema radicular.

Nas áreas de cerrado de Minas Gerais, vários sistemas de irrigação têm sido usados em cafezais, destacando-se a irrigação localizada por gotejamento e tubos de polietileno flexível perfurado, irrigação por aspersão por autopropelido e pivô central. Porém, o emprego destes sistemas de irrigação nem sempre tem seguido padrões corretos de dimensionamento e manejo.

Tal situação motivou a realização do presente trabalho, cujos objetivos gerais consistiram em avaliar, do ponto de vista da engenharia e do manejo, os principais sistemas pressurizados de irrigação empregados na cafeicultura da região, determinando-se a uniformidade de aplicação de água, a eficiência de irrigação, as perdas por vazamentos na condução, por evaporação e arraste e por percolação, e também a área adequadamente irrigada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Irrigação por aspersão (canhão, autopropelido e pivô central)

Nos métodos de irrigação por aspersão, a água é aspergida sobre a superfície do solo, assemelhando-se a uma chuva, com certa uniformidade, com o objetivo de infiltrar no mesmo ponto onde atinge a superfície do solo.

As unidades básicas que compõem o sistema são o conjunto motobomba, as tubulações de recalque, as linhas principal e secundárias, as linhas laterais e os emissores. Estes últimos podem ser tubos perfurados, difusores fixos e aspersores. De todos, os mais utilizados são os aspersores, que podem ser constituídos de um ou mais bocais, cujos jatos formam um ângulo, em geral de 25° a 28°, com a superfície horizontal (TARJUELO MARTÍN-BENITO, 1995).

É fundamental que, antes que qualquer estratégia de manejo de irrigação seja implementada, se proceda a uma avaliação de desempenho do sistema de irrigação. A partir desses resultados, será possível avaliar a adequação do equipamento, em relação aos requerimentos de água dos cultivos utilizados, e a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação (SILVA et al., 1998).

Os objetivos principais da avaliação de um sistema de irrigação são: (a) determinar com qual eficiência de irrigação o sistema vem sendo utilizado; (b)

determinar como efetivamente o sistema pode ser operado e se ele pode ser aperfeiçoado; (c) obter informações que vão auxiliar na assistência e elaboração de outros projetos; e (d) obter informações para possibilitar a comparação entre vários métodos, sistemas e procedimentos de manejo, como bases para decisões de ordem econômica (MERRIAM et al., 1983).

Em sistemas de irrigação por aspersão, a avaliação visa determinar o padrão de distribuição de água no campo e a eficiência de irrigação relacionada com as perdas de água por evaporação e por arrastamento pelo vento e com as perdas por percolação.

2.1.1. Perdas de água por evaporação e por arrastamento e eficiência de aplicação

A eficiência de sistemas de irrigação por aspersão está diretamente relacionada com a uniformidade com que a água é aplicada sobre a superfície do solo, com as perdas d'água que ocorrem por evaporação e arrastamento pelo vento e com as perdas d'água por vazamento no sistema de condução.

A eficiência de aplicação é um dos parâmetros mais importantes que deve ser considerado quando da elaboração de projetos de irrigação. Para tanto, é necessário conhecer o padrão da cultura durante o ciclo, o sistema de irrigação, uma previsão das práticas de cultivos, as características do solo e, provavelmente, o mais importante de todos, o manejo de irrigação. Valores acima e abaixo da eficiência efetivamente requerida para o projeto podem provocar total insucesso deste (PAZ, 1995).

A eficiência em potencial de aplicação é a estimativa da porcentagem total de água aplicada na irrigação por aspersão que atinge a superfície do solo e, ou, as plantas. Quando não houver perdas por percolação, a eficiência em potencial de aplicação é igual à eficiência de aplicação (E_a). Ela reflete a perda d'água por evaporação e arrastamento pelo vento, no trajeto das gotas d'água. Estas perdas são principalmente afetadas pela velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura do ar (BERNARDO, 1995).

As perdas de água por evaporação e arrastamento pelo vento são influenciadas por elementos climáticos como velocidade do vento, umidade

relativa, temperatura do ar e radiação solar. Além dos elementos climáticos, existem outros fatores que afetam estas perdas, como a distribuição do tamanho das gotas, que por sua vez é função do tamanho e da pressão do bocal; a distância do percurso da gota no ar; e a intensidade de aplicação (Hermsmeier, citado por PAZ, 1990; CHRISTIANSEN e DAVIS, 1974). Tais perdas têm sido estimadas na faixa de 2 a 8% do volume total de água aplicado pelos aspersores, segundo CHRISTIANSEN e DAVIS (1974), e de 1 a 2% com limite de 6%, dependendo do tamanho das gotas e das condições atmosféricas, segundo HEERMANN e KOHL (1983). Porém, há trabalhos que apresentam valores bem superiores para estas perdas, dando um limite superior de até 48%.

A evaporação da água no ar é uma perda que influencia diretamente a eficiência de aplicação. Muitos pesquisadores quantificaram as perdas por evaporação. Clark e Finkely (1975), citados por EDLING (1985), estimaram perdas por evaporação médias que excederam a 15%, sob condições de velocidade média do vento maior que 6 m/s, e perdas menores que 10% para condições de velocidade média do vento menor que 4 m/s. ALI e BAREFOOT (1981) mediram perdas por evaporação e arraste pelo vento variando de 0 a 48%, sob diferentes combinações de condições de operação. Estas perdas variaram de 20 a 47%, 0 a 20%, 29 a 48% e 13 a 45% para condições de vento fraco e umidade relativa do ar baixa, vento fraco e umidade relativa do ar alta, vento forte e umidade relativa do ar baixa e vento forte e umidade relativa do ar alta, respectivamente.

Em trabalho desenvolvido com objetivo de estudar as perdas por evaporação e arraste pelo vento em irrigação por aspersão, PEREIRA (1995) observou que, quanto menor o diâmetro das gotas, maior é a porcentagem de perda de água por evaporação e arrastamento pelo vento. Ele notou, nos testes realizados, que estas perdas variaram de 9,25 a 11,50% do volume de água aplicado, sendo as perdas por evaporação praticamente desprezíveis quando comparadas com as perdas por arrastamento pelo vento, que aumentaram com a velocidade do vento.

PAZ (1990), em estudo realizado em condições de campo no Nordeste brasileiro, para avaliar as perdas de água de um aspersor de média pressão,

observou que as perdas por evaporação e arrastamento pelo vento variaram de 16 a 43% do volume aplicado, com a variação da umidade relativa média entre 24 e 68%; da velocidade do vento, entre 0,5 e 4,6 m s⁻¹; e da temperatura média do ar, entre 25 e 35°C. Já AZEVEDO et al. (1998), trabalhando com aspersor de alta pressão, na região norte fluminense, observou que o elemento do clima que mais influenciou as perdas de água foi a umidade relativa do ar, seguida pelos elementos radiação solar e velocidade do vento, verificando-se um intervalo de variação de 7,0; 3,7 e 3,7% nas perdas de água produzidas pela umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, respectivamente.

KOHL et al. (1987), estudando perdas por evaporação sob condições de campo, em sistemas operando com difusores em baixa pressão, similares aos empregados em sistemas de pivô central de baixa pressão, utilizando o íon potássio como traçador químico em água de irrigação, verificaram que estas perdas variaram de 0,5 a 1,4% para difusores com placa plana e de 0,4 a 0,6% para placa estriada. Porém, STEINER et al. (1983) determinaram, em sistemas de pivô central equipado com difusores, perdas médias de 15% por evaporação e arraste pelo vento e verificaram que estas perdas estavam correlacionadas significativamente com as variáveis do clima déficit de pressão de vapor, temperatura do ar e velocidade do vento.

As perdas por evaporação e deriva pelo vento são controladas pela faixa de gotas de menor tamanho, e a energia de impacto das gotas no solo é praticamente determinada pela faixa de maiores tamanhos de gotas. Portanto, é importante um correto conhecimento da distribuição dos tamanhos de gotas emitidos pelos aspersores. A seleção de um específico pacote de aspersores para um sistema de irrigação por aspersão operando em um particular tipo de solo, declividade, cultura e condições climáticas vai ser auxiliada pelo conhecimento dos tamanhos de gotas (KINCAID et al., 1997).

De modo geral, o efeito das perdas por evaporação no processo de aplicação de água por aspersão é pequeno em comparação com a distorção da uniformidade de distribuição de água que o vento produz (TARJUELO MARTÍN-BENITO, 1995).

2.1.2. Uniformidade de aplicação de água

A uniformidade de distribuição de água para irrigação é um importante fator de projeto que afeta a produção das culturas, a eficiência de uso de água e a lixiviação de fertilizantes. Um outro fator a ser considerado é que, se o sistema de irrigação for também utilizado para a aplicação de produtos químicos via água de irrigação, a uniformidade de distribuição destes produtos na área vai estar diretamente ligada à uniformidade de aplicação da água, afetando, desse modo, tanto a produtividade das culturas como os problemas relacionados à lixiviação de produtos químicos (EVANS et al., 1995).

A aplicação de água num sistema de irrigação por aspersão, seja ele estacionário ou com mecanismo de locomoção, não é totalmente uniforme sobre a área irrigada. Muitos fatores afetam a uniformidade de aplicação de água, incluindo o tipo do aspersor, o espaçamento, as condições ambientais e as características do tubo de subida (LI e KAWANO, 1997).

O padrão de aplicação de água dos aspersores é distorcido pelo vento, levando a uma menor uniformidade de aplicação de água. Se o efeito da velocidade e o da direção do vento não forem suficientemente considerados no projeto de um sistema de irrigação, o desempenho deste poderá não ser satisfatório (EDLING, 1985; SEGNER et al., 1991; VORIES e Von BERNUTH, 1986).

ALI e BAREFOOT (1981) verificaram que a pressão de operação e a velocidade do vento têm significativo efeito no padrão de distribuição de água de aspersores. Baixa pressão resultou em um padrão de distribuição tipo rosca; com o aumento da pressão, aproximou-se para um padrão de distribuição mais uniforme para condições de vento fraco; porém, com o aumento da velocidade do vento, este padrão de uniformidade foi afetado, produzindo um padrão distorcido.

Um fator a ser considerado no manejo de sistemas por aspersão é a freqüente redução da velocidade do vento durante a noite. Por isso, é aconselhável alternar as irrigações diurnas e noturnas para uma mesma posição, a fim de aumentar a uniformidade de aplicação d'água acumulada de várias irrigações (TARJUELO MARTÍN-BENITO, 1995).

Os sistemas com laterais com movimento contínuo, seja pivô central ou lateral móvel, têm algumas vantagens sobre os sistemas estacionários em relação à ação do vento, pois as laterais ocupam infinitas posições ao longo do seu percurso e, portanto, cada ponto será irrigado normalmente sob distintas condições de vento em irrigações sucessivas, compensando-se as distorções produzidas pelo vento; também o espaçamento entre os aspersores na lateral é bastante pequeno. Entretanto, nestes sistemas os aspersores situam-se mais altos em relação à superfície do solo, em comparação com os sistemas estacionários, estando mais sujeitos à ação do vento (TARJUELO MARTÍN-BENITO, 1995).

Em sistemas de pivô central de baixa pressão, ASSIS e CASTRO (1993) observaram que a ação do vento, em especial no período diurno, provoca a distorção do perfil de distribuição, através do arrastamento do jato de água. Isso, porém, não implicou perdas e sim desuniformidade de distribuição da lâmina d'água na superfície do solo. Contudo, quando a alta velocidade do vento estava associada à elevada temperatura ambiente e ao déficit de pressão de vapor, ocorreu maior perda por evaporação.

SOLOMON (1990) define intervalos de velocidade de vento, para efeito de irrigação por aspersão, como baixa, de 0 a 7 km h⁻¹ (0 a 1,9 m s⁻¹); moderada, de 7 a 14 km h⁻¹ (1,9 a 3,9 m s⁻¹); e alta, para valores de 14 km h⁻¹ (3,9 m s⁻¹) ou mais.

A uniformidade de aplicação de água decresce com o aumento da não-uniformidade de rotação dos aspersores, porém essa redução é muito pequena, nunca excedendo a 3% para aspersores comerciais com espaçamento dentro da faixa de uso recomendada pelo fabricante. Assim, a variação na rotação do aspersor não é um fator importante para instalações comerciais (LI e KAWANO, 1997).

CHRISTIANSEN (1942) foi o primeiro pesquisador a propor um coeficiente para caracterizar a uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por aspersão. O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) é expresso da seguinte forma:

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |L_i - L_m|}{n L_m} \right) \quad (1)$$

em que

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

L_i - lâmina coletada no coletor i , mm;

L_m - lâmina média, considerando todos os coletores, mm; e

n - número de coletores.

Outra medida de uniformidade utilizada é o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), definido como a razão entre a média dos 25% dos menores valores de lâminas de irrigação e a lâmina média aplicada sobre a superfície do solo (KRUSE, 1978), ou

$$CUD = 100 \left(\frac{L_{1/4}}{L_m} \right) \quad (2)$$

em que

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

$L_{1/4}$ - lâmina média de $\frac{1}{4}$ do total de pluviômetros com as menores lâminas, mm; e

L_m - lâmina média, considerando todos os coletores, mm.

A definição de uniformidade de Christiansen requer que cada coletor represente áreas de mesmo tamanho. Isto não é verdadeiro para dados coletados sob um sistema de pivô central onde os coletores são equidistantemente espaçados ao longo de uma linha radial que parte do ponto do pivô para o extremo. HEERMANN e HEIN (1968) redefiniram o coeficiente de uniformidade de Christiansen para sistemas tipo pivô central ponderando as lâminas coletadas em relação à área representada por cada coletor, da seguinte forma:

$$CUC_p = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i \left| L_i - \frac{\sum_{i=1}^n L_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right|}{\sum_{i=1}^n L_i S_i} \right) \quad (3)$$

em que

L_i - lâmina total coletada no ponto i , mm;

S_i - distância do centro de rotação ao ponto i , m; e

n - número total de pontos.

De maneira semelhante, o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), proporcionalizando as lâminas de água coletadas, para sistemas por pivô central, é expresso por

$$CUD_p = 100 \left(\frac{\left[\frac{\sum_{i=p}^q L_i S_i}{\sum_{i=p}^q S_i} \right]}{\left[\frac{\sum_{i=1}^n L_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right]} \right) \quad (4)$$

em que

p - primeiro elemento da série crescente de lâminas coletadas; e

q - elemento da série crescente correspondente à soma de $\frac{1}{4}$ da área total.

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), que foi o primeiro coeficiente desenvolvido para descrever a uniformidade de aplicação de água em aspersores, é baseado na média dos desvios absolutos em relação à média dos valores e foi desenvolvido antes do uso das calculadoras de mão e do desenvolvimento da estatística na agricultura. O CUC concede maior valor de uniformidade para uma distribuição de irrigação que o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e é utilizado até hoje pela indústria de irrigação para descrever a uniformidade de irrigação por aspersão. Porém, a falta de uma base estatística para o CUC, por exemplo, impede combinar os resultados de sobreposição de lâminas de aspersores, descritas tradicionalmente com o CUC, com alguma descrição de uniformidade da distribuição de pressão em uma lateral. Por esta e outras razões, o CUD já está, mundialmente, sendo mais adotado, ao passo que o uso do CUC está declinando (BURT et al., 1997).

Em sistemas de irrigação por aspersão com linhas laterais móveis, existem questões relativas à escala espacial e ao número de coletores necessários para caracterizar as condições reais de campo. Diferentes procedimentos de avaliação recomendam diferentes disposições e espaçamentos de coletores no que se refere à localização do aspersor e modelo de sobreposição. Cada um destes diferentes procedimentos introduz um diferente desvio na estimativa da uniformidade e pode levar a resultados substancialmente diferentes (CLEMMENS e SOLOMON, 1997).

Um fator a ser considerado na avaliação da uniformidade de distribuição de água sobre a superfície do solo, por um sistema de irrigação, está relacionado à redistribuição da água aplicada que ocorre no perfil do solo. ROCHA et al. (1998) observaram, em ensaio de campo, pequenas variações nos elevados coeficientes de uniformidade no perfil do solo ao longo do tempo, após o término da irrigação, mesmo quando a uniformidade superficial foi aquém da convencionalmente aceitável, mostrando o efeito positivo da redistribuição da água no perfil do solo na uniformidade subsuperficial.

Em sistemas por aspersão e microaspersão, o perfil de distribuição de pressão no campo é influenciado pela presença ou não de reguladores de pressão individual por aspersor; pela topografia suave ou acidentada; e pelo comprimento das linhas laterais. Ele também depende da existência de reguladores de pressão no início das linhas laterais e principal. Estes fatores dificultam a caracterização do padrão de uniformidade, exigindo um grande número de medidas. Erros nestas medidas, como, por exemplo, de medição de pressão com o manômetro ou de vazão com válvulas volumétricas, influenciam a estimativa do valor da uniformidade e são difíceis de serem estimados (CLEMMENS e SOLOMON, 1997).

2.1.3. Parâmetros de desempenho

Em sistemas de irrigação por aspersão, inevitavelmente, uma parte da superfície irrigada vai receber lâminas d'água acima da real necessária, enquanto outra se apresentará com deficiência hídrica, o que poderá prejudicar o desenvolvimento potencial da cultura. É de fundamental

importância estabelecer o nível máximo em que se poderá suprir a área irrigada e o retorno econômico que se poderá ter quando se compara com o aumento de produção.

A eficiência de aplicação de água no solo (E_a) é o termo mais utilizado na definição da eficiência de irrigação por aspersão, sendo definida como a razão entre a lâmina de água armazenada na zona radicular e a lâmina média de água aplicada (MERRIAM et al., 1983). Entretanto, a eficiência de aplicação fornece apenas uma idéia das perdas, já que mostra a fração da água aplicada que é armazenada na zona radicular. Em conseqüência, a E_a não indica a adequabilidade de irrigação e, em condições de irrigação deficiente, poderá alcançar valores de até 100%.

O conceito de área adequadamente irrigada e a sua adição ao de eficiência de irrigação, por meio da eficiência de distribuição, tendo-se dessa forma a eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada, veio satisfazer a necessidade de se dar melhor interpretação ao significado do termo coeficiente de uniformidade.

Conceitualmente, considera-se uma área adequadamente irrigada a porcentagem da superfície irrigada que durante o evento da irrigação recebe uma quantidade de água igual ou maior que a lâmina real necessária, podendo ser externada por meio da eficiência de distribuição (KELLER e BLIESNER, 1990).

A eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada combina os valores obtidos para a uniformidade de aplicação de água, a adequação da irrigação e as perdas que normalmente ocorrem no sistema. Desse modo, a eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada engloba os efeitos das perdas devido à não-uniformidade de aplicação de água, as perdas por percolação, as perdas por evaporação e deriva e as perdas na condução, representadas pela eficiência de distribuição, eficiência de aplicação e eficiência de condução, respectivamente (KELLER e BLIESNER, 1990).

A determinação dos valores da eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada pode ser feita por meio de funções de densidade de distribuição normal, ou também pode ser estimada, com adequada aproximação, pela equação desenvolvida por R. G. Allen (KELLER e

BLIESNER, 1990). Segundo estes autores, os valores obtidos para a eficiência de distribuição, considerando-se uma área adequadamente irrigada de 80 e 90%, correspondem aproximadamente aos valores obtidos para os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e uniformidade de distribuição (CUD), respectivamente.

SOARES (1998) apresenta o cálculo da eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada, com base no método Keller (1984), denominando de eficiência do menor quartil (Eq) quando a eficiência de distribuição é substituída pelo valor do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), sendo indicada para culturas de alto valor comercial. Para culturas de baixo valor comercial, esse autor recomenda a utilização da eficiência da menor mediana (Em), em que a eficiência de distribuição é substituída pelo valor do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

A eficiência de condução expressa as perdas por vazamentos no sistema, as quais, geralmente, podem ser superiores a 99% para sistemas com adequado nível de manutenção. Porém, em instalações com insuficiente manutenção, esta eficiência pode cair para valores inferiores a 90% (TARJUELO MARTÍN-BENITO, 1995).

A consideração das perdas por vazamento no sistema vai depender de onde será utilizado o valor da eficiência de irrigação obtido. Para o cálculo da vazão do projeto de irrigação, a sua utilização é necessária, porém, para o caso da estimativa da lâmina de irrigação a ser aplicada no manejo de irrigação, em sistemas equipados com reguladores de pressão, a sua consideração deixa de ser adequada.

2.2. Irrigação localizada (gotejamento e tubo de polietileno perfurado)

A irrigação localizada é caracterizada pela aplicação da água no solo em uma região mais ou menos restrita do volume radicular. A água é aplicada a baixa pressão e vazão nas proximidades das plantas, por meio de um número variável de pontos de emissão. Em geral, não se molha a totalidade do solo, diminuindo a área de superfície umedecida, o que possibilita minimizar a evaporação d'água diretamente da superfície. A irrigação localizada é

caracterizada pela alta frequência de irrigação, pois, ao reduzir o volume de solo molhado e, portanto, a quantidade de água armazenada no solo, faz-se necessário trabalhar com uma frequência que mantenha alto conteúdo de umidade no solo.

Devido ao elevado custo de implantação, o uso da irrigação localizada está mais restrito a culturas nobres, ou seja, culturas com alta capacidade de retorno, em geral fruteiras e alguns hortigranjeiros de maior valor comercial (BERNARDO, 1995).

A irrigação por gotejamento compreende os sistemas de irrigação nos quais a água é aplicada ao solo, diretamente sobre a região radicular, por meio de peças especiais denominadas gotejadores, conectadas às tubulações de polietileno, com a pressão de serviço da maioria dos tipos de gotejadores estando em torno de 100 kPa (BERNARDO, 1995).

No sistema de tubos perfurados flexíveis de polietileno, a água é aspergida através de orifícios na forma de pequenas gotas, formando uma faixa molhada contínua. O sistema consta, basicamente, de linhas laterais de polietileno flexível em forma de fita com orifícios perfurados a *laser*, de tamanho reduzido e pouco espaçados. Trabalham em baixa pressão (20 a 100 kPa), porém o entupimento é dificultado porque os orifícios não possuem arestas, por serem feitos por meio de raios *laser* (ANDRADE, 1990). Este sistema apresenta, quando dimensionado adequadamente, altos valores de uniformidade de emissão ao longo do tubo, indicando boa adequação para uso em irrigação localizada de culturas perenes, onde se utiliza uma linha para duas fileiras de plantas (BONOMO et al., 1998), tal como o cafeeiro.

A água é um bem cada vez mais escasso não só em quantidade como também em qualidade, logo, os principais usuários, os agricultores, se vêem obrigados a usá-la com a maior “eficiência” possível, dentro das considerações econômicas que toda atividade produtiva requer. Mesmo em locais considerados até agora como de água de irrigação suficiente, uma aplicação com baixo controle poderá traduzir-se em problemas de contaminação do aquífero, que repercutirá negativamente nas áreas irrigadas situadas a jusante. O uso de água além do necessário para o desenvolvimento ótimo dos cultivos pode impedir que se coloquem em funcionamento outras áreas e, ou,

provocar um sobredimensionamento das obras hidráulicas que as servem (RODRIGO LÓPEZ et al. 1992).

De acordo com BERNARDO (1995), é de grande importância determinar a uniformidade de distribuição de água em qualquer método de irrigação, e na irrigação localizada, apesar de ser esse o método de irrigação em que se tem melhor controle da lâmina aplicada, é recomendável, após a instalação do sistema e a cada dois anos de funcionamento, determinar a uniformidade de irrigação do sistema.

Existe uma diferença fundamental em avaliar sistemas de irrigação localizada, quando comparado com sistemas de irrigação por superfície e por aspersão. O conceito de aplicação de uma lâmina de água uniforme sobre toda a área entra em conflito com as vantagens da irrigação localizada. Uma das mais distintas vantagens da irrigação localizada é a de diminuir a área de superfície umedecida, possibilitando minimizar a evaporação da superfície do solo. A água é aplicada junto à fração da área que concentra o sistema radicular da cultura, e isto ajuda a minimizar o crescimento de plantas daninhas na área livre entre as plantas, por manter esta área não-produtiva seca. Desse modo, a uniformidade para sistemas de irrigação localizada está geralmente limitada à uniformidade de descarga dos emissores para suprir a água requerida pelas plantas individualmente (HEERMANN et al., 1992).

A uniformidade física é um parâmetro para se avaliar um sistema de irrigação; porém, o propósito de um sistema de irrigação não é exatamente aplicar água, mas sim potencializar o crescimento das plantas para um maior valor estético ou produção. A produção biológica da área como um todo é importante, sendo geralmente considerada em conjunto com o retorno econômico versus o custo adicional no sistema de irrigação para se obter maior uniformidade. A produção resulta das interações com a cultura, a fertilidade, as diferenças de solo e o manejo, não podendo ser expressa como uma simples função da uniformidade de irrigação. Um valor de uniformidade desejável é muito mais subjetivo que objetivo (HEERMANN et al., 1992).

Em uma avaliação completa de instalações de irrigação localizada em operação, são muitos os temas a analisar, desde os puramente agronômicos, como dose e frequência de irrigação, profundidade umedecida e relação com a

profundidade radicular, superfície molhada, etc., até a comprovação do funcionamento dos aparatos, como filtros, reguladores de pressão, etc. (PIZARRO CABELO, 1990).

A baixa uniformidade de distribuição levará a um aumento da quantidade de água aplicada, uma vez que, para que as plantas que recebem menor lâmina d'água recebam a quantidade suficiente, a lâmina de irrigação deverá ser aumentada; com isso, a maior parte das demais plantas receberá um excesso de água que se perderá (RODRIGO LÓPEZ et al., 1992). CAMP et al. (1997) salientam que, além de maior produtividade, uma maior uniformidade é importante para se preservar a qualidade da água quando o sistema de irrigação é também utilizado para a quimigação.

A uniformidade de emissão de vazão depende da variação da vazão ao longo da linha lateral, que é principalmente afetada pelo projeto hidráulico do sistema de irrigação por gotejamento, pelo coeficiente de variação de fabricação dos emissores, pela temperatura, e pelo entupimento dos emissores, incluindo entupimentos parciais (WU e GITLIN, 1983).

A uniformidade deve-se a muitas razões, que, para efeito de avaliação, podem ser agrupadas, de acordo com PIZARRO CABELO (1990), em duas classes: a) *causas hidráulicas* - são todas as que afetam a pressão de funcionamento dos emissores e podem consistir de um projeto inadequado, falta de reguladores de pressão, desajuste destes, etc.; e b) *baixa uniformidade de vazão dos emissores*, devido a entupimento ou a um inadequado coeficiente de uniformidade de fabricação (cv_f).

Em sistemas recém-implantados, as principais causas de uma baixa uniformidade de irrigação estão relacionadas a um baixo coeficiente de uniformidade de fabricação ou a um dimensionamento inadequado (HEERMANN et al., 1992).

Conforme já mencionado anteriormente, o primeiro coeficiente de uniformidade de irrigação foi definido por Christiansen para irrigação por aspersão e é utilizado para medir a uniformidade das precipitações de um aspersor ou de um sistema. Este coeficiente foi adotado também para irrigação localizada, substituindo-se os valores de precipitações pelos de vazão dos emissores, assumindo a seguinte forma (PIZARRO CABELO, 1990):

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{n \bar{q}} \right] \quad (5)$$

em que

q_i - vazão de cada emissor, $L h^{-1}$;

\bar{q} - vazão média dos emissores, $L h^{-1}$; e

n - número de emissores.

Na atualidade, é mais freqüente, segundo RODRIGO LÓPEZ et al. (1992), o uso do coeficiente de uniformidade de emissão, por alguns autores denominado coeficiente de uniformidade de distribuição, na forma apresentada por KELLER e KARMELI (1975), que compara a média de 25% das observações de valores mais baixos com a média total. Esta medida é mais restrita, já que, ao melhorar as técnicas de manejo de irrigação, preocupa-se mais com as plantas que podem receber menos água.

$$CUE = 100 \left(\frac{q_n}{\bar{q}} \right) \quad (6)$$

em que q_n é a média de 25% das vazões, com menores valores.

KELLER e KARMELI (1975) propuseram também uma forma modificada da equação de CUE, denominada emissão absoluta (CUEa), que inclui as razões das vazões máxima e mínima dos emissores com a média, no qual se tem em conta o excesso de irrigação.

$$CUEa = 100 \frac{1}{2} \left(\frac{q_n}{\bar{q}} + \frac{\bar{q}}{q_x} \right) \quad (7)$$

em que q_x é a média das 12,5 % maiores vazões observadas.

De acordo com BRALTS et al. (1987), uma abordagem estatística idêntica àquela primeiramente apresentada por Wilcox e Swailles (1947) na avaliação de equipamentos de irrigação por aspersão, com base no coeficiente de variação (cv) da lâmina aplicada, pode ser feita para os sistemas de irrigação localizada, bastando a substituição das lâminas, na conceituação

original, pela vazão dos emissores, resultando em

$$U_s = 100 \left(1 - CV_q\right) = 100 \left(1 - \frac{S_q}{\bar{q}}\right) \quad (8)$$

em que

U_s - coeficiente de uniformidade estatística;

CV_q - coeficiente de variação da vazão do emissor; e

S_q - desvio-padrão da vazão do emissor.

Para determinar a uniformidade de irrigação de uma instalação, de irrigação localizada, começa-se por selecionar um determinado número de plantas. MERRIAM e KELLER (1978) recomendam o número de 16 plantas. Para isto, pode-se seguir o seguinte critério: escolhe-se a subunidade a estudar e nela selecionam-se quatro linhas laterais, a primeira, a situada a 1/3 da origem, a situada a 2/3 e a última. Em cada linha lateral selecionam-se quatro plantas com o mesmo critério (primeira, 1/3, 2/3 e última) e mede-se a vazão total que recebe cada planta, isto é, toma-se o somatório de todos os emissores que abastecem cada planta em questão. Além disso, para poder determinar o coeficiente de uniformidade de pressão, convém medir a pressão em cada emissor.

A determinação do CUE com os emissores que irrigam 16 plantas, previamente selecionadas, impede a aplicação de critérios estatísticos e, portanto, a definição dos limites de confiança para uma determinada probabilidade, com a qual se têm obtido os valores anteriores. O número “mágico” de 16 plantas poderá ser ou não suficiente, em função dos valores reais de CUE. Quanto mais baixo forem estes, maior deverá ser o número de observações realizadas, de onde se tem comprovado que, a partir de 24 localizações, os valores anteriores praticamente não variam (RODRIGO LÓPEZ et al., 1992).

Para contornar a limitação devido ao pequeno número de pontos amostrados pelo método proposto por MERRIAM e KELLER (1978), DENÍCULI et al. (1980) sugerem a coleta de dados em oito plantas por lateral e em quatro laterais, ou seja, a primeira lateral, a situada a 1/3, a 2/3 da origem e a última. Em cada linha lateral selecionam-se oito plantas com o mesmo critério

(primeira, a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 e última) e mede-se a vazão total que recebe cada planta. Para o cálculo das metodologias propostas por MERRIAM e KELLER (1978) e DENÍCULI et al. (1980), utiliza-se a expressão do coeficiente de uniformidade de emissão.

MERRIAM e KELLER (1978) apresentam o seguinte critério geral para interpretação dos valores de CUE 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.

FAVETTA et al. (1993) correlacionaram coeficientes de uniformidade obtidos por simulação a partir de três diferentes métodos de avaliação da uniformidade de distribuição em irrigação localizada: coeficiente de uniformidade de emissão (CUE), coeficiente de uniformidade de emissão absoluta (CUEa) e uniformidade estatística (Us). Os valores de coeficiente de correlação foram maiores que 0,99; em função disso, esses autores concluem que as equações obtidas pelas regressões, baseadas em 34 pontos de observação, permitem a determinação de um coeficiente de uniformidade a partir do coeficiente calculado por outro método previamente conhecido. Isto é particularmente interessante para avaliação de campo de sistemas já instalados, uma vez que as metodologias de escolha dos pontos de coleta para as medições de vazão são totalmente distintas entre o conceito de uniformidade de emissão e o de uniformidade estatística. Os autores concluem que, a partir da uniformidade de emissão, é possível estimar a uniformidade de emissão absoluta e estatística a partir das seguintes equações:

$$Us = 27,41242 + 0,72094 CUE \quad (9)$$

$$CUEa = 9,37365 + 0,88840 CUE \quad (10)$$

Segundo PINTO et al. (1988), os coeficientes de uniformidade obtidos através do CUEa foram os que mais se aproximaram dos valores calculados pela metodologia de Christiansen (1942), para sistemas de irrigação localizada. Por outro lado, a metodologia recomendada por KELLER e KARMELI (1975) foi a que apresentou valores mais baixos para os coeficientes

de uniformidade. Os autores sugerem o uso da metodologia proposta por DENÍCULI et al. (1980) para irrigação por gotejamento, e para a microaspersão indicam a metodologia desenvolvida por MERRIAM e KELLER (1978), em decorrência das vantagens para o teste de campo.

Sistemas de irrigação por gotejamento têm potencial para uma maior eficiência de aplicação que outros sistemas de irrigação, como sulco e aspersão. A eficiência de aplicação, que foi definida por Hansen et al. (1979) como a relação entre a lâmina de água requerida armazenada na zona radicular e a quantidade total aplicada, depende da uniformidade de descarga nos emissores no campo, da lâmina de irrigação requerida e da lâmina de irrigação em déficit permitida no manejo da irrigação. A eficiência de aplicação é um fator fundamental na determinação da programação da irrigação e do tempo de irrigação (WU e GITLIN, 1983).

De acordo com MERRIAM e KELLER (1978), existe uma certa dificuldade na determinação da eficiência de aplicação em sistemas de irrigação localizada, pois em avaliações onde as irrigações são aplicadas diariamente fica praticamente impossível estimar o déficit de água no solo. Por outro lado, quando é utilizado um intervalo de vários dias entre irrigações, pode-se determinar, antes de se iniciar a irrigação, o déficit de água no solo, no volume de solo umedecido próximo a algumas plantas representativas da subunidade a ser avaliada, para se determinar a eficiência de aplicação. Os autores acrescentam ainda que esta é uma determinação difícil e requer amostras médias retiradas de várias posições em torno da planta.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização geral dos sistemas avaliados

Este estudo foi realizado, no período de julho a setembro de 1998, em um total de 21 sistemas de irrigação localizados em propriedades cafeicultoras representativas das regiões cafeeiras do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais, compreendidos entre as latitudes de 17 a 19° sul e longitude de 47 a 49° a oeste de Greenwich, abrangendo seis sistemas pivô central, cinco autopropelido, um canhão, um minicanhão, quatro gotejamento e quatro tubo de polietileno perfurado. A determinação das propriedades avaliadas foi realizada a partir de um levantamento feito nas associações e cooperativas de cafeicultores da região.

No Quadro 1 são apresentados a localização e os dados gerais de cada sistema avaliado por autopropelido, canhão e minicanhão. No Quadro 2 são mostradas as informações referentes aos sistemas por pivô central, e no Quadro 3 são mostrados os sistemas de irrigação localizada (gotejamento e tubo de polietileno perfurado).

Quadro 1 - Sistema, localização, modelo, área média irrigada pelo conjunto e idade da lavoura

Sistema	Localização	Denominação	Modelo	Área irrigada (ha)	Idade lavoura (anos)
Autopropelido	Patrocínio	auto 1	turbomaq	60,0	3,5
Autopropelido	Patrocínio	auto 2	chuisco	40,0	8,0
Autopropelido	Guimarãnea	auto 3	turbomaq	40,0	15,0
Autopropelido	Irai de Minas	auto 4	chuisco	72,0	1,5
Autopropelido	Irai de Minas	auto 5	chuisco	72,0	12,0
Canhão	Paracatu	canhão	plona	60,0	10,0
Minicanhão	Paracatu	minicanhão	chuva-técnica	32,5	1,5

Quadro 2 - Localização, fabricante, área total irrigada pelo equipamento, área irrigada cultivada com cafeeiro e idade da lavoura para cada sistema de pivô central avaliado

Pivô	Localização	Fabricante	Área total irrigada (ha)	Área cultivada com cafeeiro (ha)	Idade lavoura (anos)
Pivô 1	Paracatu	Carborundun	116,5	116,5	1,5
Pivô 2	Patrocínio	Carborundun	65,0	54,0	7,5
Pivô 3	Coromandel	Krebsfer	126,7	126,7	8,0
Pivô 4	Araguari	Krebsfer	55,4	38,0	12,0
Pivô 5	Irai de Minas	Carborundun	126,7	126,7	2,5
Pivô 6	Paracatu	Asbrasil	90,0	45,0	15,0

Quadro 3 - Sistema, localização, área irrigada pelo conjunto e idade da lavoura de cada sistema de irrigação localizada avaliado

Sistema	Localização	Fazenda	Área irrigada (ha)	Idade lavoura (anos)
Gotejamento	Bonfinópolis	Gotejo-A	120,0	12,0
Gotejamento	Araguari	Gotejo-B	24,0	12,0
Gotejamento	Araguari	Gotejo-C	80,0	10,0
Gotejamento	Paracatu	Gotejo-D	10,0	3,5
Tubo perfurado	Coromandel	Tubop-A	16,0	6,0
Tubo perfurado	Araguari	Tubop-B	90,0	12,0
Tubo perfurado	Araguari	Tubop-C	70,0	12,0
Tubo perfurado	Paracatu	Tubop-D	32,0	8,0

3.2. Irrigação por aspersão

Os sistemas autopropelidos denominados auto 1 e 3 eram equipados com mangueira de polietileno de alta densidade e apresentavam mecanismo propulsor estacionário. Já os sistemas auto 2, 4 e 5 eram equipados com mangueira de elastômero reforçada com fibras têxteis e apresentavam mecanismo propulsor móvel.

Todos os sistemas por pivô central testados eram de baixa pressão, operando com válvulas reguladoras de pressão e emissores tipo difusores com placa estriada, e apenas um deles apresentava canhão na extremidade da lateral.

3.2.1. Uniformidade de aplicação de água

A determinação da uniformidade de distribuição de água para sistemas tipo autopropelido foi baseada na metodologia proposta por MERRIAM e KELLER (1978) e consistiu em coletar as precipitações por meio de pluviômetros colocados em três linhas perpendiculares à direção de deslocamento do autopropelido. A primeira e a última linha ficaram afastadas do início e do final da faixa, respectivamente, a uma distância tal que as precipitações do autopropelido, quando no início e no final da faixa, não atingiram as linhas dos pluviômetros. Os coletores, nas linhas, ficaram afastados entre si 3 metros, equidistantes em relação à linha de deslocamento do autopropelido, de modo a cobrir toda a faixa irrigada.

Para determinar a uniformidade de distribuição d'água dos sistemas de irrigação por canhão e minicanhão, foi adotada a metodologia proposta por MERRIAM e KELLER (1978), que consistiu, para minicanhão, na instalação de um conjunto de pluviômetros, equidistantes 4 metros entre si, entre dois minicanhões consecutivos da linha lateral do sistema avaliado, de forma a cobrir toda a faixa molhada. Para o sistema tipo canhão, foi instalado um conjunto de pluviômetros, formando uma malha, de forma a cobrir toda a área molhada pelo canhão de 6,0 x 5,0 m. Foi adotada esta malha para ajustar as condições locais de espaçamento da lavoura. Os sistemas foram ligados por

um período correspondente ao tempo normal de irrigação adotado por cada irrigante, sendo de duas horas e dezessete minutos para o minicanhão e duas horas e meia para o canhão.

Para sistemas do tipo pivô central, a determinação da uniformidade de distribuição de água foi baseada na metodologia proposta também por MERRIAM e KELLER (1978) e consistiu em coletar as precipitações por meio de pluviômetros colocados ao longo de dois raios. A disposição da linha de coletores para os testes foi feita ao longo da estrada de acesso ao centro do pivô, devido ao fato de a cultura do cafeeiro ser de porte alto, não possibilitando a melhor disposição, que seria aquela em que a linha de coletores fosse colocada em uma posição onde as diferenças de elevações no terreno fossem máximas.

Em cada um dos raios dos pivôs, os coletores foram numerados em ordem crescente, a partir do centro, e afastados entre si 5 metros.

Na coleta das precipitações, para os sistemas por aspersão, foram utilizados, como pluviômetros, recipientes de PVC com seção de captação de $51,32 \text{ cm}^2$, instalados num suporte com 15 cm de altura, procurando-se nivelar a seção de captação.

As pressões de serviço dos aspersores tipo canhão hidráulico, dos sistemas tipo autopropelido e canhão, foram medidas utilizando-se um manômetro de Bourdon. A vazão do menor bocal do aspersor foi medida pelo método direto, e a do maior, estimada pelas curvas de pressão-vazão fornecidas pelos catálogos dos fabricantes (MERRIAM et al., 1983).

Não se dispôs, nos testes, de um equipamento com precisão e exatidão satisfatória para medir a vazão de entrada da lateral do pivô, seu valor foi considerado como o valor da vazão de projeto do equipamento.

Nos sistemas do tipo autopropelido, a velocidade de deslocamento foi determinada estabelecendo-se, com estacas, um comprimento de 10 m ao longo do carreador e, com um cronômetro, o tempo necessário para que o equipamento fizesse o percurso entre as estacas. Para sistemas por pivô central, foi determinada a velocidade de deslocamento da torre da extremidade de maneira semelhante ao autopropelido, também estabelecendo-se, com estacas, um comprimento de 10 metros, porém ao longo da trilha da roda da

torre externa da linha lateral do pivô.

Para determinar as perdas por evaporação de água nos pluviômetros, durante os testes, foram colocados três pluviômetros com volumes conhecidos de água próximo à área dos testes. No final do teste, foram determinadas, por diferenças, as perdas ocorridas. Para obter a precipitação de cada ponto, tomou-se a média da evaporação, medida nos três pluviômetros, separados para esta finalidade, somando-se à precipitação medida no coletor daquele ponto.

Para caracterizar as condições de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento no momento e no dia dos testes, utilizou-se uma estação meteorológica automática de aquisição de dados, instalada em local próximo à área do teste. A velocidade e direção do vento foram obtidas a 2 metros de altura.

A partir dos dados de precipitação, foram feitas as sobreposições das lâminas coletadas em função do espaçamento entre aspersores, para canhão e minicanhão, e entre faixas, para o sistema do tipo autopropelido. A partir dessas lâminas, determinaram-se os valores da lâmina média coletada (L_{col}).

Para sistemas do tipo autopropelido, com a vazão do sistema, estimou-se a lâmina aplicada (L_{apl}), em cada teste, por meio da seguinte equação:

$$L_{apl} = 1000 Q T L^{-1} C^{-1} \quad (12)$$

em que

L_{apl} - lâmina aplicada, mm;

Q - vazão do sistema, m^3h^{-1} ;

T - tempo necessário para irrigar uma faixa, h;

L - largura da faixa, m; e

C - comprimento da faixa, m.

Para sistemas dos tipos canhão e minicanhão, a lâmina aplicada (L_{apl}) foi estimada por meio da equação

$$L_{apl} = 1000 Q T S_1^{-1} S_2^{-1} \quad (13)$$

em que

L_{apl} - lâmina aplicada, mm;

Q - vazão do sistema, m^3h^{-1} ;

T - tempo de irrigação, h;

S1 - espaçamento entre posições ao longo da linha lateral, m; e

S2 - espaçamento entre linhas laterais, m.

Já para sistemas pivô central, com a vazão do sistema estimou-se a lâmina média aplicada (L_{apl}), em cada teste, por meio da equação

$$L_{apl} = 1000 Q T A^{-1} \quad (14)$$

em que

L_{apl} - lâmina aplicada, mm;

Q - vazão do sistema, m^3h^{-1} ;

T - tempo necessário para dar uma volta completa, h; e

A - área irrigada pelo pivô, m^2 .

E, ainda para sistemas pivô central, a partir dos dados de precipitação, a lâmina média ponderada (L_p) foi calculada da seguinte forma:

$$L_p = \frac{\sum_{i=1}^n (L_i S_i)}{\sum_{i=1}^n (S_i)} \quad (15)$$

em que

L_p - lâmina média coletada ponderada, mm;

L_i - lâmina total coletada no ponto i, mm;

S_i - distância do centro de rotação ao ponto i, m; e

n - número total de pontos.

Utilizando-se os dados de precipitação, foi estimada, para sistemas dos tipos autopropelido, canhão e minicanhão, a uniformidade de distribuição de água por meio dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e uniformidade de distribuição (CUD), equações 1 e 2, respectivamente. Para pivô central a uniformidade de distribuição de água foi estimada utilizando-se os dados de precipitação de cada um dos raios, por meio dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC_p) e uniformidade de distribuição (CUD_p), equações 3 e 4 respectivamente, sendo considerada como coeficientes de uniformidade do sistema a média dos coeficientes dos dois raios.

3.2.2. Avaliação de irrigação

A coleta de amostras de solos para avaliação do manejo da irrigação dos sistemas do tipo autopropelido foi realizada em três locais, situados em uma posição mediana em relação ao comprimento da faixa, e em um dos lados da faixa, de acordo com a seguinte disposição: o primeiro a 1/6 da metade da largura da faixa, tomado a partir do carreador; o segundo a 3/6; e o terceiro a 5/6. Em cada um desses locais foram retiradas amostras de solos em três pontos, sendo o primeiro a 1/6 da metade da distância entre as fileiras do cafeeiro, tomado a partir da linha de cafeeiros; o segundo a 3/6; e o terceiro a 5/6. Em cada ponto foram retiradas amostras de solos, imediatamente antes da irrigação, nas camadas de 0-20, 20-60 e 60-100 cm, sendo a umidade determinada pelo método-padrão de estufa.

Para o sistema de canhão e o de minicanhão, os locais para coleta das amostras de solo foram tomados em uma reta, a partir do aspersor, formando um ângulo reto em relação à direção da linha lateral, seguindo a seguinte disposição: o primeiro a 1/6 da metade do espaçamento entre laterais, tomado a partir do aspersor; o segundo a 3/6; e o terceiro a 5/6. Os pontos de amostragens a e as camadas amostradas seguem a mesma descrição empregada para autopropelido.

A avaliação do manejo da irrigação para sistemas do tipo pivô central foi realizada em apenas um dos raios de cada pivô. Três locais de coleta de amostras de solos, para a avaliação do manejo, foram escolhidos em uma direção radial, de forma que cada um dos locais representasse 1/3 da área total coberta pelo equipamento. Os pontos de amostragens a e as camadas amostradas seguem a mesma descrição empregada para autopropelido.

Para a obtenção da massa específica do solo e da curva de retenção de água, o procedimento empregado foi o mesmo para todos os sistemas de irrigação por aspersão avaliados, conforme será descrito a seguir.

Considerando a homogeneidade do solo da região em estudo, em cada um dos locais de coletas de amostras de solo para determinação de umidade e em cada camada foram retiradas subamostras, que depois foram misturadas

com a dos outros dois locais, a fim de formar uma amostra composta por camadas, para a determinação da curva de retenção de água.

Em cada um dos locais também foram retiradas amostras indeformadas de solo nas camadas de 0-20 e 20-100 cm, para a determinação da massa específica do solo (M_e) ou densidade aparente do solo. Estas amostras indeformadas foram extraídas com trado tipo Uhland e depois foram secas em estufa a 105°C por 24 h, sendo utilizados os valores do seu peso seco e do volume do anel da sonda de Uhland para determinação da massa específica. Não foram retiradas amostras indeformadas por camadas de 20-60 e 60-100cm devido à já mencionada homogeneidade dos solos e à extrema dificuldade de retirada destas amostras em maiores profundidades no campo.

A profundidade do sistema radicular do cultivo, para o cálculo da lâmina real de irrigação necessária, foi determinada a partir de valores da literatura. A lâmina real de irrigação necessária foi determinada utilizando a seguinte expressão:

$$IRN = (C_c - U_a) 10^{-1} M_e Z \quad (16)$$

em que

IRN - irrigação real necessária, mm;

C_c - umidade de capacidade de campo, % em peso;

U_a - umidade do solo antes da irrigação, % em peso;

M_e - massa específica do solo, $g\ cm^{-3}$; e

Z - profundidade efetiva do sistema radicular, cm.

A partir dos dados de precipitação obtidos, determinou-se o perfil de distribuição das lâminas de irrigação para os sistemas tipo autopropelido, canhão e minicanhão. As lâminas de precipitações, coletadas em cada pluviômetro, foram ordenadas crescentemente, junto com as correspondentes frações de área irrigada. A partir desses gráficos, foram determinadas a porcentagem de área adequadamente irrigada (P_{ad}), a lâmina armazenada (L_{arm}), a lâmina de déficit (L_{def}) e a lâmina percolada (L_{per}).

Para os sistemas tipo pivô central, a partir dos dados de precipitação obtidos do raio do pivô, onde foram determinados os parâmetros de água no solo, determinou-se o perfil de distribuição das lâminas de irrigação. As

lâminas de irrigação coletadas em cada pluviômetro foram ordenadas crescentemente, junto com as correspondentes frações de área irrigada. A partir desses gráficos, foram determinadas a porcentagem de área adequadamente irrigada (Pad), a lâmina armazenada (Larm), a lâmina de déficit (Ldef) e a lâmina percolada (Lper).

Utilizando os parâmetros obtidos da forma anteriormente apresentada, determinou-se a avaliação do desempenho da irrigação, para os sistemas por aspersão, estimando-se a eficiência em potencial de aplicação de água (EPa), eficiência de aplicação (Ea), eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada de projeto (EDad), eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto (Eipad), o coeficiente de déficit (Cd) e as perdas por percolação (Pp).

Uma medida correta da vazão do sistema é necessária para se determinar a eficiência de aplicação e em potencial de aplicação; contudo, se esta medida da vazão não pode ser realizada corretamente, os valores de eficiência podem apenas ser estimados. Em razão disso, os valores de eficiência de aplicação (Ea) e em potencial de aplicação de água (EPa), para os sistemas, na forma aqui determinada, são apenas uma estimativa, porém não deixando de ser uma referência.

A eficiência de aplicação de água (Ea) foi calculada na forma conceitual apresentada por BURT et al. (1997):

$$Ea = 100 Larm Lapl^{-1} \quad (17)$$

em que

Ea - eficiência de aplicação de água (Ea), %;

Larm - lâmina média armazenada, mm; e

Lapl - lâmina aplicada, mm;

A eficiência em potencial de aplicação de água (EPa) foi calculada segundo equação apresentada por BERNARDO (1995):

$$EPa_{Bernardo} = 100 Lcol Lapl^{-1} \quad (18)$$

em que

EPa_{Bernardo} - eficiência em potencial de aplicação de água (EPa), %;

Lcol - lâmina média coletada, mm; e

Lapl - lâmina aplicada, mm.

A determinação da eficiência potencial de aplicação diretamente no campo, por meio dos valores das perdas por evaporação direta e arraste pelo vento, durante a realização dos testes de uniformidade, fornece um valor momentâneo para as condições em que o teste foi realizado. A metodologia descrita por KELLER e BLIESNER (1990), apresentada nas equações 19 e 20 a seguir, permite a estimativa da EPa para as condições médias do dia da avaliação, representando, portanto, um valor mais abrangente das condições gerais:

$$EPa_{Keller} = 0,976 + 0,005 ETo - 0,00017 ETo^2 + 0,0012 Vv - \\ - CI (0,00043 ETo + 0,00018 Vv + 0,000016 ETo Vv) \quad (19)$$

$$CI = 0,032 P^{1/3} Db^{-1} \quad (20)$$

em que

ETo - evapotranspiração de referência, mm d⁻¹;

Vv - velocidade do vento, km h⁻¹;

CI - coeficiente adimensional que caracteriza o potencial de evaporação e arraste;

Db - diâmetro do orifício do aspersor, mm; e

P - pressão de serviço, kPa.

Valores de CI entre 7 e 17 podem ser substituídos diretamente na equação 20. Para valores de CI < 7, considerar CI = 7, e para CI > 17, considerar CI = 17. De acordo com os mesmos autores, para equipamentos do tipo pivô central de baixa pressão equipados com difusores com placa estriada, deve-se considerar CI = 12.

A eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada de projeto (EDad) foi estimada, para uma condição projetada de manejo adequado do sistema, com a aplicação de uma lâmina de irrigação que possibilitasse atingir uma porcentagem de área adequadamente irrigada preestabelecida. Adotou-se um índice de 80% para área adequadamente irrigada, por se tratar o cafeeiro de um cultivo de médio valor econômico e

sistema radicular bem desenvolvido, sendo os valores da EDad obtidos por meio da metodologia apresentada por KELLER e BLIESNER (1990), na seguinte forma:

$$EDad = 100 + [606 - 24,9Pad + 0,349Pad^2 - 0,00186Pad^3] (1 - CUC 100^{-1}) \quad (21)$$

em que

EDad - eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada, %;

Pad - porcentagem de área adequadamente irrigada, %; e

CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, %.

A eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto (Eipad), valor este a ser utilizado na estimativa da lâmina a ser aplicada em uma condição de manejo adequado do sistema com a aplicação de uma lâmina de irrigação que possibilite atingir uma porcentagem de área adequadamente irrigada preestabelecida, foi estimada, a partir dos valores da eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada de projeto (EDad) e eficiência potencial de aplicação (EPa) obtidos pelas metodologias apresentadas por KELLER e BLIESNER (1990), pela seguinte expressão:

$$Eipad = EDad EPa_{Keller} Ec \quad (22)$$

em que

EDad - eficiência de distribuição para uma porcentagem de área adequadamente irrigada, decimal;

EPa_{Keller} - porcentagem efetiva de água que alcança a superfície do solo, ou eficiência potencial de aplicação, decimal; e

Ec - eficiência de condução, decimal.

O coeficiente de déficit (Cd) pode ser expresso pela razão entre a lâmina de água deficitária e a lâmina de irrigação real necessária (HART et al. 1979):

$$Cd = 100 Ldef IRN^{-1} \quad (23)$$

em que

Cd - coeficiente de déficit, %;

Ldef - lâmina de déficit, mm; e

IRN - Irrigação real necessária, mm.

A perda por percolação (Pp) é a parte da água aplicada que se movimenta para a região abaixo da profundidade de atuação das raízes, podendo ser expressa pela razão entre a lâmina percolada e a lâmina coletada:

$$Pp = 100 L_{per} L_{col}^{-1} \quad (24)$$

em que

Pp - perdas por percolação, %;

Lper - lâmina percolada, mm; e

Lcol - lâmina coletada, mm.

3.3. Irrigação localizada

No Quadro 4 são apresentadas as características básicas dos sistemas de irrigação localizada referentes a espaçamento entre fileiras de plantas, espaçamento entre linhas laterais e espaçamento entre gotejadores.

Os três primeiros sistemas por gotejamento, na ordem apresentada no Quadro 4, tinham como emissores gotejadores do tipo autocompensante, marca Katif, com vazão nominal de 2,3 L h⁻¹, pressão máxima de 351,6 kPa e pressão mínima de 62,1 kPa, valores fornecidos pelo catálogo do fabricante; e o quarto gotejadores do tipo longo percurso integrado, marca asbrasil. Todos os sistemas por gotejamento apresentavam sistema de filtragem com filtros de areia e de tela e válvulas reguladoras de pressão no início da linha de derivação.

Os sistemas por tubo perfurado eram do tipo semiportáteis, de modo que as linhas laterais eram mudadas para uma nova posição assim que fosse completado o tempo irrigação. Apresentavam sistema de filtragem com filtros de tela ou ciclone e válvulas reguladoras de pressão no início de cada linha

lateral. Tanto nos sistemas por gotejamento como nos por tubo perfurado, as linhas laterais funcionavam em condições de declividade nula.

Quadro 4 - Características dos sistemas localizados: espaçamento entre fileiras de plantas (Efp), espaçamento entre linhas laterais (Eli) e espaçamento entre gotejadores (Eg)

Unidade		Sistema							
		Got-A	Got-B	Got-C	Got-D	Tubop-A	Tubop-B	Tubop-C	Tubop-D
Efp	m	4,2	4,0	4,0	4,0	4,2	4,0	4,0	4,2
Eli	m	4,2	4,0	4,0	4,0	8,4	8,0	8,0	8,4
Eg	m	1,0	1,0	1,0	1,0	-	-	-	-

3.3.1. Uniformidade de aplicação de água

A determinação da uniformidade de distribuição de água para sistemas de irrigação localizada foi baseada na metodologia apresentada por MERRIAM e KELLER (1978), com modificação proposta por DENÍCULI et al. (1980), e consistiu na coleta de dados em oito plantas e em quatro laterais, ou seja, a primeira lateral, a situada a 1/3 da origem, a situada a 2/3 e a última. Em cada linha lateral, selecionaram-se oito plantas (primeira, a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 e última) e mediu-se a vazão total que cada planta recebe.

As pressões do início das linhas laterais para os sistemas de tubo perfurado foram medidas utilizando-se um manômetro de Bourdon, acoplado à linha lateral. Para sistemas do tipo gotejamento, essa determinação foi realizada no final das linhas laterais, devido à impossibilidade, encontrada no campo, de acoplamento do manômetro ao início da linha lateral, em razão de as linhas de derivação serem enterradas.

Para a medição de vazão em sistemas por gotejamento, foi coletado em cada emissor, previamente selecionado, o volume aplicado em um tempo de três minutos. Já para sistemas do tipo tubo perfurado, a vazão foi medida, em

cada local previamente selecionado, utilizando-se um segmento, de 1 metro de comprimento, de tubo de PVC, com diâmetro superior ao do tubo perfurado, seccionado ao meio ao longo de sua extensão e formando uma calha dupla. Em cada local de medição de vazão, o tubo perfurado era colocado no interior da dupla calha de forma que a água fosse direcionada para uma das extremidades, onde, após estabilizado o escoamento, era feita a determinação da vazão, pelo método direto, com um tempo de coleta de três minutos.

A área molhada em cada avaliação foi medida segundo metodologia adaptada a partir da apresentada em MERRIAM e KELLER (1978) e consistiu em se determinar a área molhada, após concluído o tempo total de irrigação, em três plantas próximas, em cada uma das quatro linhas laterais, onde havia sido feito a medição de vazão, seguindo-se o seguinte critério: início da primeira lateral, a 1/3 da segunda, a 2/3 da terceira e no final da última. Foi utilizado um trado para permitir estimar melhor a real extensão da zona úmida em torno de cada planta. A porcentagem de área molhada foi determinada dividindo-se a área molhada pelo emissor pela área total coberta por ele.

Para sistemas por gotejamento com os dados de vazão média medida, tempo total de irrigação e área representada por emissor, estimou-se a lâmina aplicada (L_{apl}) em cada teste, por meio da equação:

$$L_{apl} = Q T A^{-1} \quad (25)$$

em que

L_{apl} - lâmina aplicada, mm;

Q - vazão média do emissor, $L h^{-1}$;

T - tempo total de irrigação, h; e

A - área representada por emissor, m^2 .

Já para sistemas do tipo tubo perfurado, a lâmina média aplicada (L_{apl}), em cada teste, foi estimada por meio da seguinte equação:

$$L_{apl} = Q T E^{-1} \quad (26)$$

em que

L_{apl} - lâmina aplicada, mm;

Q - vazão média por metro de tubo perfurado, $L h^{-1} m^{-1}$;

T - tempo total de irrigação, h; e

E - espaçamento entre linhas laterais, m.

Utilizando-se os dados de vazão, foi estimada a uniformidade de distribuição de água, ou uniformidade de emissão de água, por meio das equações 6 e 7, e, a partir do coeficiente de uniformidade de emissão de água (CUE), foi estimado o coeficiente de uniformidade estatística (U_s), por meio da equação 9.

3.3.2. Avaliação de irrigação

Para os sistemas por gotejamento, a coleta de amostras de solos para avaliação do manejo de irrigação foi realizada em três linhas laterais, seguindo a seguinte disposição: primeira linha lateral, lateral situada no meio e última da linha de derivação. Em cada um dessas laterais, foram retiradas amostras de solos próximo a três plantas, sendo a primeira planta da linha lateral, uma planta situada no meio e a última planta da linha lateral. Os pontos de coleta de solo foram tomados a cerca de 15 cm de um emissor que aplicaria água naquela planta. Em cada um destes pontos foram retiradas amostras de solos, imediatamente antes da irrigação, nas camadas de 0-20, 20-60 e 60-100 cm, sendo a umidade determinada pelo método-padrão de estufa.

A coleta de amostras de nos sistemas do tipo tubo perfurado foi realizada em três locais, situados em uma posição mediana em relação ao comprimento da linha lateral, seguindo a seguinte disposição: primeira linha lateral, lateral situada no meio e última lateral da linha de derivação. Em cada um desses locais foram retiradas amostras de solos em três pontos, em um dos lados da faixa molhada, sendo o primeiro a $1/6$ da faixa molhada, tomado a partir da linha lateral; o segundo a $3/6$; e o terceiro a $5/6$, respectivamente. As profundidades de amostragem e a metodologia de determinação de umidade foram as mesmas utilizadas para gotejamento.

Para a obtenção da curva de retenção de água e da massa específica do solo, o procedimento empregado foi o mesmo nos dois sistemas de irrigação. Considerando a homogeneidade do solo da região em estudo, em

cada um dos locais e em cada camada foram retiradas subamostras que depois foram misturadas às dos outros dois locais, a fim de formar uma amostra composta por camadas, para a determinação da curva de retenção de água.

Em cada um dos locais, foram retiradas amostras indeformadas de solo nas camadas de 0-20 e 20-100 cm para a determinação da massa específica do solo (Me). Estas amostras indeformadas foram extraídas com trado tipo Uhland e depois foram secas em estufa a 105°C por 24 h, sendo utilizados os valores do seu peso seco e do volume do anel da sonda de Uhland para determinação da massa específica.

A determinação da profundidade do sistema radicular do cultivo e da lâmina real de irrigação necessária seguiu os mesmos procedimentos e cálculos empregados para os sistemas de irrigação por aspersão.

A metodologia para determinação dos parâmetros de desempenho do manejo de irrigação foi baseada na metodologia empregada por BRALTS e EDWARDS (1986). O perfil de distribuição das lâminas de irrigação foi traçado a partir dos dados de vazão e tempo de irrigação obtidos no campo. As lâminas aplicadas em cada ponto foram ordenadas crescentemente, junto com as correspondentes frações de áreas irrigadas. A partir desses gráficos, foram determinadas a porcentagem de área adequadamente irrigada (Pad), a lâmina armazenada (Larm), a lâmina de déficit (Ldef) e a lâmina percolada (Lper).

Utilizando os parâmetros obtidos da forma anteriormente apresentada, determinou-se a avaliação do desempenho da irrigação estimando-se a eficiência de aplicação (Ea), a eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto (Eipad), o coeficiente de déficit (Cd) e as perdas por percolação (Pp).

A eficiência de aplicação de água (Ea), para irrigação localizada, foi calculada pela equação 17, na forma apresentada por BURT et al. (1997).

A eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada (EDad), para uma condição projetada de manejo adequado do sistema, com a aplicação de uma lâmina que possibilitasse atingir uma preestabelecida porcentagem de área adequadamente irrigada de 80%, foi estimada com o emprego da equação 21, sendo o valor do coeficiente de uniformidade de

Christiansen obtido pela seguinte relação (TARJUELO MARTÍN-BENITO, 1995):

$$CUC = 100 - 0,63 (100 - CUE) \quad (27)$$

em que

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %; e

CUE - coeficiente de uniformidade de emissão, %.

A eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto (E_{iad}) foi estimada com o emprego da equação 22.

O coeficiente de déficit (C_d) e as perdas por percolação (P_p) foram estimados, da mesma forma descrita para irrigação por aspersão, pelas equações 23 e 24, respectivamente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Irrigação por aspersão

4.1.1. Características e condições de operação dos sistemas avaliados

No Quadro 5 são apresentadas as características de funcionamento dos sistemas por autopropelido e canhão avaliados, e, no Quadro 6, os valores referentes aos sistemas por pivô central, assim como as condições de velocidade do vento e evapotranspiração de referência do dia da realização dos testes em cada sistema. Os valores relativos aos sistemas por pivô central (Quadro 6) referem-se ao raio onde foi realizada a avaliação do manejo de irrigação.

Em nenhum dos sistemas de irrigação por aspersão avaliados foi observada a ocorrência de escoamento superficial durante a aplicação das lâminas de irrigação. A ocorrência de escoamento superficial está relacionada à aplicação de uma lâmina de irrigação com intensidade superior à velocidade de infiltração d'água do solo.

Quadro 5 - Velocidade do vento (Vv), evapotranspiração de referência (ETo), diâmetro dos bocais (D), pressão de serviço (Ps), vazão média (Qmed) e velocidade de deslocamento (Vdes), nos sistemas autopropelido e canhão hidráulico

Parâmetro	Un.	Sistema						
		auto 1	auto 2	auto 3	auto 4	auto 5	canhão	minic.
Vv dia ¹	km h ⁻¹	8,4	8,4	8,02	9,6	9,6	4,4	5,3
ETo ¹	mm d ⁻¹	5,1	5,1	5,5	4,2	4,1	3,5	4,5
D _{maior bocal}	mm	46,0	30,0	32,0	39,8	40,0	27,7	13,8
D _{menor bocal}	mm	8,0	0,0	6,0	6,7	0,0	6,0	8,0
Ps	kPa	600,0	423,0	600,0	565,0	550,0	460,0	340,0
Qmed	L s ⁻¹	44,7	22,2	20,7	36,3	35,1	13,4	5,5
Vdes	m h ⁻¹	58,3	39,2	42,2	41,8	54,6	-	-

¹valores referentes à média diária.

Quadro 6 - Raio molhado (Rm), raio até a última torre (Rut), regulagem do percentímetro (Rp), velocidade de deslocamento (Vdes), tempo total por volta (Tpv), declividade (dec), pressão no ponto do pivô (Ppt), velocidade do vento (Vv), evapotranspiração potencial de referência (ETo), pressão de serviço (Ps) e vazão de projeto (Qprj), nos sistemas pivôs centrais

Parâmetro	un.	Sistema					
		pivô 1	pivô 2	pivô 3	pivô 4	pivô 5	pivô 6
Rm	m	609,0	455,0	635,2	420,0	635,0	535,0
Rut	m	573,0	421,0	617,2	394,0	604,5	525,0
Rp	%	50,0	50,0	10,0	10,0	49,0	30,0
Vdes	m h ⁻¹	51,3	61,9	19,2	27,5	52,5	41,6
Tpv	h	70,2	46,3	201,7	90,1	72,4	79,3
dec	%	1,9	3,9	0,5	2,9	-0,2	2,2
Ppt	kPa	552	450	100	300	400	350
Vv ¹	km h ⁻¹	6,0	8,2	8,4	5,0	8,1	4,1
ETo ¹	mm d ⁻¹	3,0	5,1	5,1	6,7	5,0	4,6
Ps	kPa	138,0	138,0	138,0	138,0	138,0	138,0
Qprj	L s ⁻¹	102,5	49,7	? ²	30,6	119,4	47,2

¹valores referentes à média diária.

²sistema operando fora das condições de projeto.

4.1.2. Uniformidade de aplicação de água

No Quadro 7 são apresentados os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) para sistemas autopropelido, canhão e minicanhão, assim como os valores de velocidade do vento e umidade relativa médios no momento do teste.

Os valores médios de velocidade do vento, para os sistemas autopropelido e canhão, foram inferiores a $2,7 \text{ m s}^{-1}$, caracterizando condições de velocidade do vento de moderada a fraca para irrigação por aspersão, segundo critério apresentado por SOLOMON (1990). Por outro lado, os valores de umidade relativa do ar variaram de 32 a 55%, podendo ser considerados baixos, favorecendo as perdas por evaporação.

Pelos resultados, observa-se que os valores de CUC para sistemas do tipo autopropelido são superiores a 74,7%, com média de 81,9%, valores estes similares aos obtidos por CHARMELO (1990). Estes valores de CUC determinados indicam boa uniformidade de irrigação para estes sistemas, tendo em vista a recomendação apresentada por KELLER e BLIESNER (1990), segundo a qual, sob condições de vento moderado a fraco, os valores típicos de CUC para autopropelido devem estar acima de 70%. Os valores de CUD acompanham o comportamento do CUC, porém sempre com valores inferiores, devido ao fato de o CUD ser mais rigoroso, por estar baseado na média das lâminas de 1/4 da área que recebe as menores lâminas.

Para sistemas de aspersão equipados com canhão hidráulico (canhão e minicanhão), os valores obtidos foram superiores a 78%, estando os valores típicos de CUC para este sistema na faixa de 60 a 75% para condições de vento fraco a moderado, segundo os mesmos autores anteriormente citados.

Os resultados referentes à uniformidade de aplicação de água em sistemas por pivô central são apresentados no Quadro 8, assim como os valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) para cada teste, coeficiente de uniformidade médio por equipamento, e as condições de declividade, velocidade do vento e umidade relativa. Observa-se que os sistemas

Quadro 7 - Coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) e condições de velocidade do vento e umidade relativa do ar, nos sistemas autopropelido e canhão hidráulico

Sistema	Veloc.vento (m s ⁻¹)	Umid.rel. (%)	CUC (%)	CUD (%)
auto 1	1,3	42	79,3	72,3
auto 2	fraco	37	85,2	82,2
auto 3	0,8	32	74,7	64,5
auto 4	2,7	-	89,0	82,7
auto 5	1,8	-	81,4	77,4
canhão	2,7	55	84,7	74,5
minicanhão	2,1	34	78,1	63,8

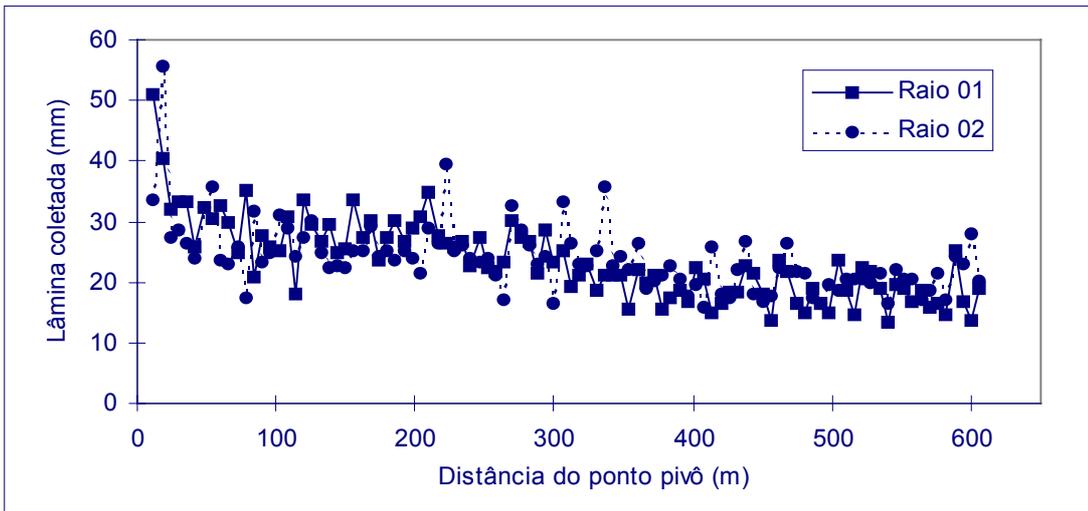
Quadro 8 - Coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD), para cada raio e média dos raios, para todos os pivôs, e condições de declividade, velocidade do vento e umidade relativa do ar

Pivô	Raio	Declividade (%)	Veloc.vento (m s ⁻¹)	Umid.rel. (%)	CUC (%)	CUD (%)
pivô 1	1	+1,9	1,4	48	80,9	73,3
	2	-1,8	1,6	43	82,2	78,2
	média				81,6	75,8
pivô 2	1	+3,9	1,3	-	80,8	71,0
	2	-4,9	1,5	-	82,3	71,6
	média				81,6	71,3
pivô 3	1	+0,5	2,2	33	85,7	73,7
	2					
	média				85,7	73,7
pivô 4	1	+2,9	3,1	27	89,3	82,5
	2	+2,9	3,1	22	90,8	84,8
	média				90,1	83,7
pivô 5	1	-4,4	1,8	-	88,0	81,4
	2	-0,2	3,0	-	83,1	77,0
	média				85,6	79,2
pivô 6	1	+2,2	0,4	73	78,6	72,7
	2	+2,2	0,9	33	82,5	77,9
	média				80,6	75,3
média geral					84,2	76,5

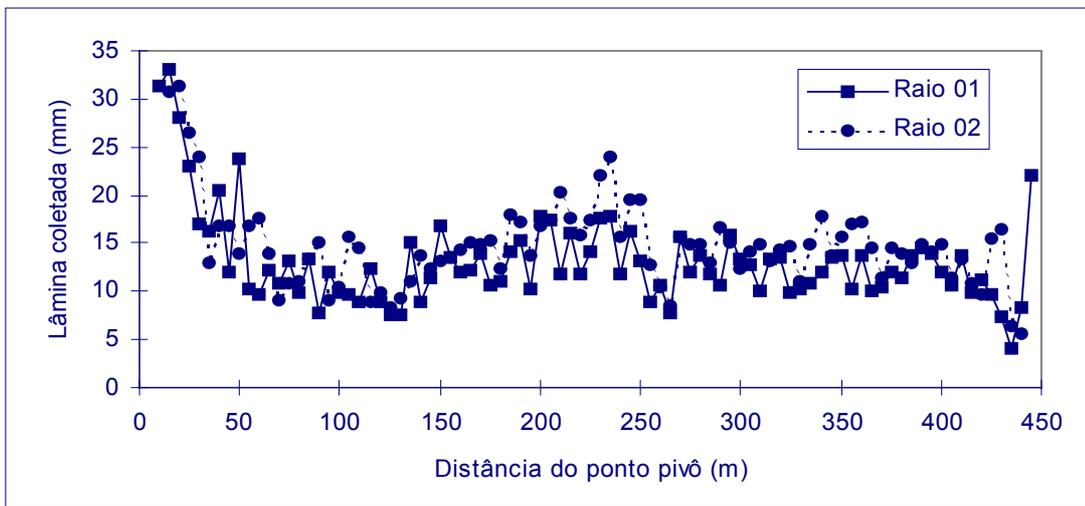
operavam em declividades inferiores a 5% e que os testes foram realizados sob condições de vento inferiores a $3,1 \text{ m s}^{-1}$, caracterizando condições de velocidade do vento de fraco a moderado pelo mesmo critério empregado anteriormente, e com a umidade relativa do ar baixa, com a maior parte dos valores inferior a 50%.

Os valores de CUC, média dos dois raios por equipamento, determinados para sistemas por pivô central (Quadro 8), foram superiores a 80%, chegando, no pivô 4, a atingir valores acima de 90%, estando dentro de uma faixa adequada de uniformidade, considerando-se que, segundo BERNARDO (1995), para pivô central em cultura com sistema radicular profundo, como o cafeeiro, os valores de CUC normalmente recomendados estão na faixa de 75 a 85%. Esta faixa de valores obtidos para CUC são concordantes com valores obtidos por FURUKAWA et al. (1994) e SOARES et al. (1993) para sistema de pivô central. Observa-se também que o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) foi sempre menor que o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), de modo semelhante a autopropelido e canhão. Isso ocorre porque o primeiro coeficiente dá um tratamento mais rigoroso a problemas de distribuição que ocorrem ao longo da linha lateral do pivô, agrupando as menores lâminas aplicadas em um quarto da área total.

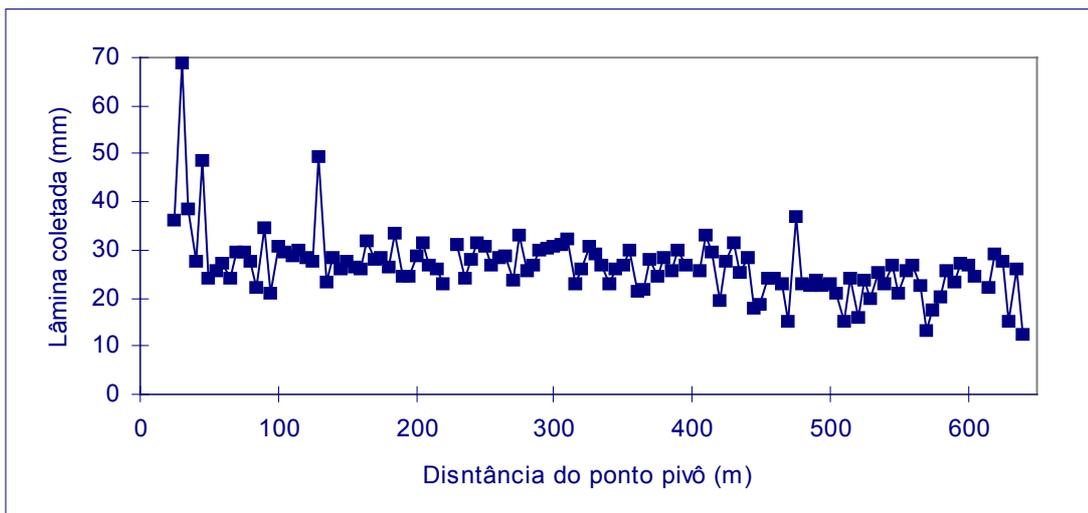
Nas Figuras 1 e 2 estão apresentados os perfis de distribuição de água sobre o solo para sistemas por pivô central. Observa-se, no pivô 5 (Figura 2b), que ocorre uma tendência de concentração de maiores lâminas na parte inicial do pivô e de menores lâminas na parte final, sendo mais acentuado para condições do raio com menor declive, indicando uma possível ineficácia dos reguladores de pressão, conforme observado também por FURUKAWA et al. (1994).



(a)

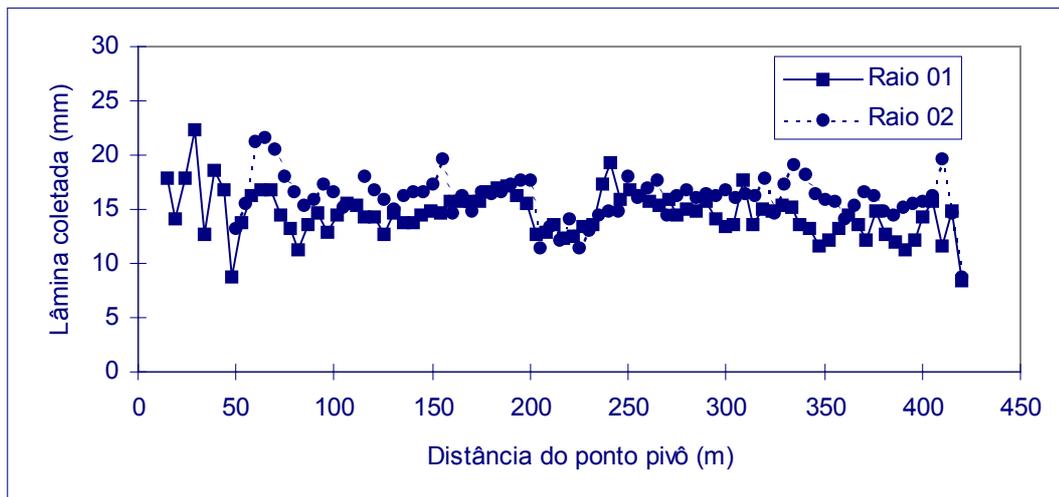


(b)

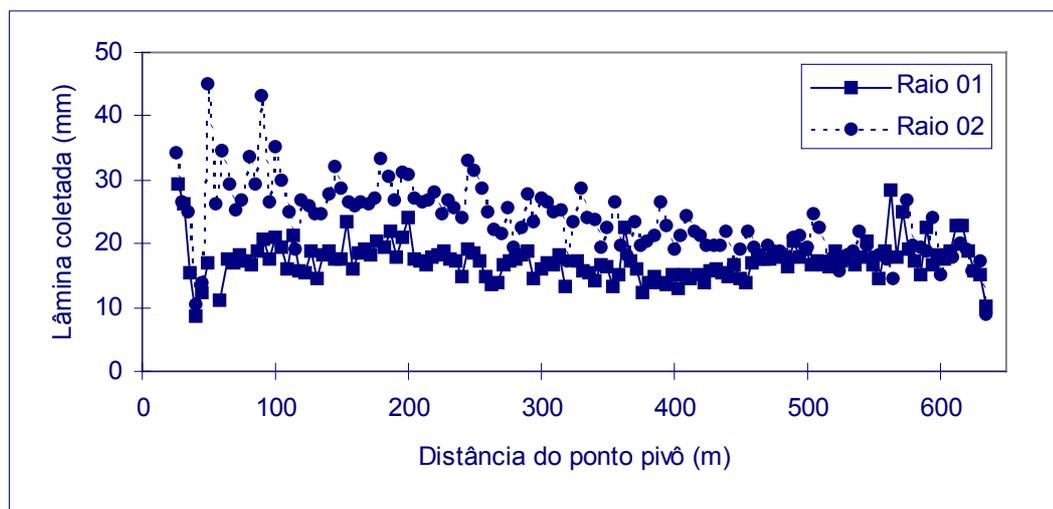


(c)

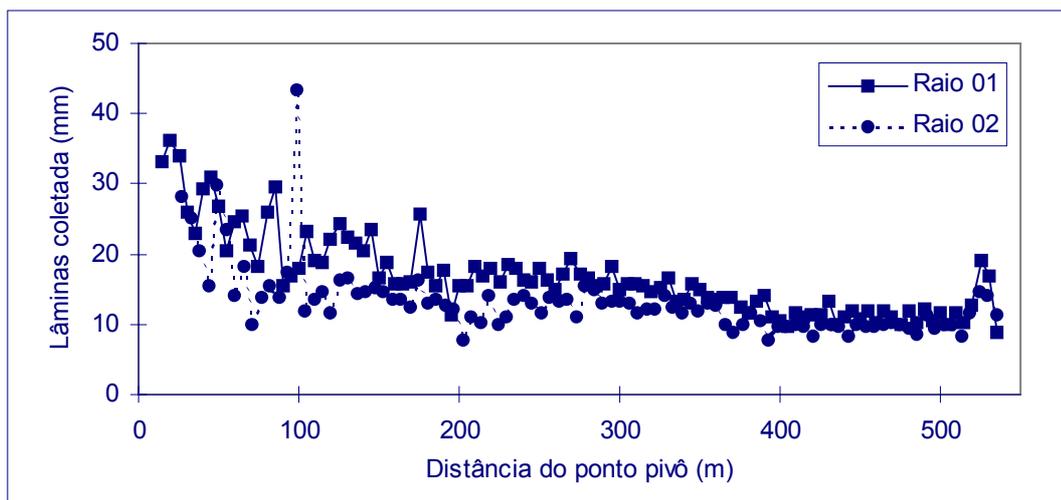
Figura 1 - Representação gráfica da distribuição das lâminas de irrigação ao longo da linha lateral dos pivôs: (a) pivô 1; (b) pivô 2; e (c) pivô 3.



(a)



(b)



(c)

Figura 2 - Representação gráfica da distribuição das lâminas de irrigação ao longo da linha lateral dos pivôs: (a) pivô 4; (b) pivô 5; e (c) pivô 6.

4.1.3. Avaliação do manejo de irrigação

Embora seja recomendado fazer a determinação do limite superior de água disponível por meio de procedimentos de campo, neste trabalho optou-se pela estimativa desse parâmetro a partir da curva de retenção de água, devido à limitação dos métodos de campo quanto ao tempo demandado para esta determinação em cada local. Os solos das áreas analisadas possuem classificação textural muito argilosa, e, em razão desta característica, utilizou-se a tensão de 33 kPa para a determinação da umidade correspondente à capacidade de campo.

No Quadro 9 estão apresentados os valores dos parâmetros físico-hídricos dos solos para os sistemas avaliados de irrigação por autopropelido e canhão, e, no Quadro 10, por pivô central. Observa-se, para os sistemas por aspersão, que a capacidade de campo variou de 27,4 a 36,1%, e o ponto de murcha, de 18,0 a 23,4%. Os valores de massa específica encontrados variaram de 0,85 a 1,22 g cm⁻³, estando dentro da faixa de valores de massa específica para solos cultivados das classes argilosos e francos apresentadas por PREVEDELLO (1996), caracterizando solos leves comuns nos cerrados.

Os valores de disponibilidade total de água (DTA) variaram de 0,8 a 1,4 mm cm⁻¹ de solo (Quadros 9 e 10), indicando níveis de baixa a moderada capacidade de retenção de água para as plantas, de acordo com a classificação de níveis de “água disponível” para solos sob “cerrado” apresentada em LOPES (1984).

Na avaliação do manejo de irrigação, há dois parâmetros básicos a serem avaliados: se a irrigação foi realizada no momento certo; e se a lâmina aplicada foi adequada para atender às necessidades da cultura. Um dos critérios utilizados para se avaliar a necessidade ou não de irrigação naquele momento é por meio do fator de disponibilidade de água no solo (f), o qual indica se, àquela dada umidade do solo, a cultura está sob uma condição de estresse hídrico ou não. Para o cafeeiro, o limite máximo da disponibilidade de água do solo recomendado é de 60%, considerando-se que o cafeeiro pertence ao grupo IV, segundo a classificação proposta por DOORENBOS e KASSAM (1979). Para os sistemas por autopropelido, verifica-se (Quadro 11),

Quadro 9 - Valores de capacidade de campo (Cc), ponto de murcha (Pm), umidade atual (Ua), massa específica do solo (Me) e disponibilidade total de água (DTA) para diferentes camadas amostradas, em cada sistema avaliado de irrigação por autopropelido e canhão

Sistema	Camadas (cm)	Cc (%)	Pm (%)	Ua (%)	Me (g cm ⁻³)	DTA (mm cm ⁻¹)
auto 1	0-20	29,4	22,5	24,4	1,22	0,8
	20-60	29,7	20,7	25,1	0,98	0,9
	60-100	29,3	20,3	24,7	0,98	0,9
auto 2	0-20	34,0	22,5	23,3	1,06	1,2
	20-60	32,6	22,3	26,5	1,07	1,1
	60-100	33,8	22,4	24,4	1,07	1,2
auto 3	0-20	34,6	22,9	29,8	0,96	1,1
	20-60	33,8	23,0	28,1	0,91	1,0
	60-100	34,1	23,2	28,2	0,91	1,0
auto 4	0-20	30,7	18,8	26,7	0,97	1,2
	20-60	30,0	18,7	27,0	0,96	1,1
	60-100	-	-	-	-	-
auto 5	0-20	30,7	18,8	24,3	0,97	1,2
	20-60	30,0	18,7	25,2	0,96	1,1
	60-100	29,9	18,7	25,7	0,96	1,1
canhão	0-20	33,5	22,5	27,8	0,94	1,0
	20-60	31,0	22,2	27,6	0,85	0,8
	60-100	31,9	23,3	28,7	0,85	0,7
minicanhão	0-20	33,8	22,3	25,7	0,99	1,1
	20-60	31,8	22,4	27,5	0,92	0,9
	60-100	-	-	-	-	-

Quadro 10 - Valores de capacidade de campo (Cc), ponto de murcha (Pm), umidade atual (Ua), massa específica do solo (Me) e disponibilidade total de água (DTA) para diferentes camadas amostradas, em cada sistema de irrigação por pivô central avaliado

Pivô	Camadas (cm)	Cc (%)	Pm (%)	Ua (%)	Me (g cm ⁻³)	DTA (mm cm ⁻¹)
pivô 1	0-20	34,5	23,0	30,7	1,08	1,2
	20-60	32,5	23,2	31,8	1,06	1,0
	60-100	33,5	23,4	31,8	1,06	1,1
pivô 2	0-20	32,7	22,5	29,2	1,09	1,1
	20-60	32,6	22,5	31,9	0,94	1,0
	60-100	31,5	23,0	31,5	0,94	0,8
pivô 3	0-20	32,8	19,9	20,4	1,05	1,4
	20-60	30,3	20,1	22,3	1,02	1,0
	60-100	29,3	19,4	24,8	1,02	1,0
pivô 4	0-20	28,8	19,3	27,1	1,02	1,0
	20-60	27,5	18,6	24,1	0,97	0,9
	60-100	27,4	18,3	25,2	0,97	0,9
pivô 5	0-20	29,0	18,2	22,9	1,05	1,1
	20-60	27,6	18,0	24,0	1,07	1,0
	60-100	29,6	18,2	25,8	1,07	1,2
pivô 6	0-20	36,1	21,9	36,2	0,97	1,4
	20-60	34,1	21,7	32,6	0,91	1,1
	60-100	32,7	21,8	30,0	0,91	1,0

Quadro 11 - Resultados dos parâmetros de avaliação de manejo de irrigação para sistemas autopropelidos e canhão hidráulico: profundidade efetiva do sistema radicular (Z), capacidade total de armazenamento de água (CTA), irrigação real necessária (IRN), déficit de água do solo (Def) e lâmina coletada(Lcol)

Sistema	Z (cm)	CTA (mm)	IRN (mm)	Def (%)	Lcol (mm)
auto 1	100	87,1	47,9	55,0	27,1
auto 2	100	117,6	89,3	75,9	21,5
auto 3	100	101,8	51,9	51,0	23,8
auto 4	60	66,5	19,4	29,2	25,7
auto 5	100	109,5	47,1	43,0	23,7
canhão	100	80,0	33,2	41,5	69,9
minicanhão	60	57,2	31,8	55,6	29,3

pelo critério citado, que em apenas um dos sistemas avaliados a irrigação foi iniciada com a umidade do solo abaixo do limite recomendado de disponibilidade de água do solo. Nos demais sistemas por autopropelido, assim como nos sistemas por canhão e minicanhão, o valor do déficit de água no solo (Def) estava abaixo do máximo recomendado, de 60%.

Pelo mesmo critério citado anteriormente, o déficit de água no solo antes da irrigação ainda não havia atingido o limite máximo recomendado para cinco dos pivôs avaliados (Quadro 12); e no pivô 3 havia ultrapassado este valor, podendo ser um indicativo de que as irrigações são realizadas antes do momento necessário. Entretanto, é necessário considerar que o sistema pivô central é projetado para aplicar irrigações freqüentes aplicando uma lâmina menor que a capacidade de retenção de água do solo, mesmo sendo, geralmente, operado pelos cafeicultores, conforme verificado em nível de campo, a uma velocidade percentual menor que 50%. Os resultados apresentados retratam apenas o momento dos testes, podendo haver erro de amostragem, bem como mudança desse comportamento de uma irrigação para outra numa mesma propriedade.

Quadro 12 - Resultados dos parâmetros de avaliação de manejo de irrigação para todos os pivôs: profundidade efetiva do sistema radicular (Z), capacidade total de armazenamento de água (CTA), irrigação real necessária (IRN), déficit de água do solo (Def) e lâmina coletada (Lcol)

Pivô	Z (cm)	CTA (mm)	IRN (mm)	Def (%)	Lcol (mm)
pivô 1	100	107,3	18,2	17,0	20,7
pivô 2	100	92,3	10,4	11,3	12,3
pivô 3	100	109,0	77,2	70,8	25,0
pivô 4	100	89,3	25,0	28,0	14,2
pivô 5	100	112,9	45,0	39,9	21,6
pivô 6	100	112,2	15,2	13,5	11,6

4.1.4. Eficiência de irrigação

Os resultados referentes aos parâmetros de avaliação do desempenho de irrigação, para sistemas de irrigação por aspersão, são apresentados nos Quadros 13 e 14. Verifica-se, para todos os sistemas por autopropelido testados, à exceção do auto 4 (Quadro 13), a tendência de aplicação de lâminas de irrigação inferiores às lâminas requeridas, com uma porcentagem de área adequadamente irrigada igual a 0; esse comportamento pode ser visualizado nas Figuras 3 e 4. Para o caso particular do sistema auto 4, a adoção de uma lâmina de irrigação superior à lâmina requerida está, provavelmente, relacionada à adoção de um mesmo manejo de lâmina de irrigação para toda a área coberta por aquele conjunto, e nesta parte da área a lâmina requerida é menor em razão de a idade da lavoura ser inferior, com menor profundidade do sistema radicular.

No sistema por canhão avaliado, a lâmina aplicada foi muito superior à lâmina requerida, levando a uma condição de 100% de área adequadamente irrigada (Pad), porém com excessiva perda por percolação. Já no sistema por minicanhão observa-se melhor adequação da lâmina de irrigação, mas com porcentagem de área adequadamente irrigada (Pad) inferior ao limite recomendado de 80%. Na Figura 5 estão ilustrados os perfis de distribuição de água e a irrigação real necessária em função da porcentagem de área irrigada, para os sistemas por canhão e minicanhão.

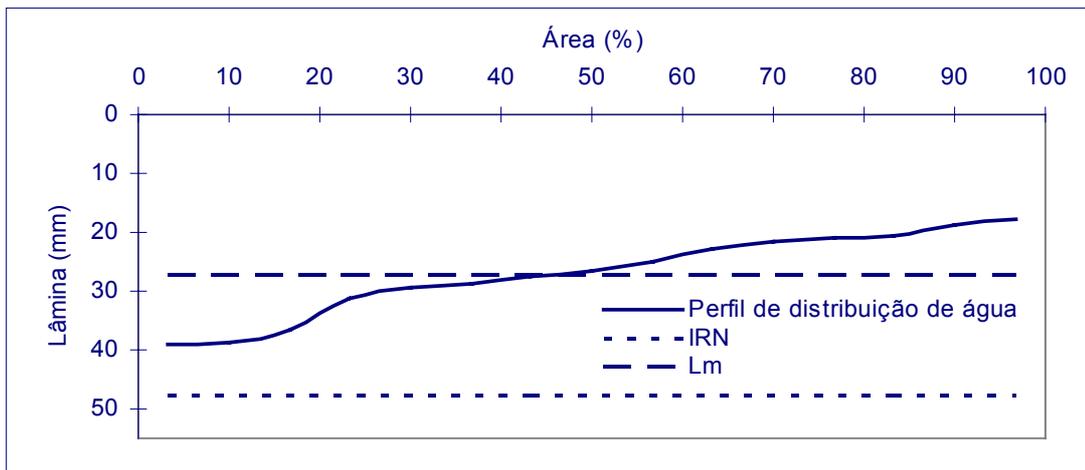
Nota-se (Quadro 14) que, nas irrigações efetuadas nos pivôs 3, 4 e 5, as porcentagens de áreas adequadamente irrigadas (Pad) foram aproximadamente iguais a 0. Isso ocorreu por causa da aplicação de uma lâmina de irrigação menor que a necessária para elevar o solo à capacidade de campo, ao longo de toda a área. Por outro lado, isso implicou alta eficiência de aplicação, devido ao fato de as perdas por percolação profunda serem nulas. As Figuras 6 e 7 ilustram os perfis de distribuição de água, irrigação real necessária (IRN) e lâmina média coletada (Lm) em função da porcentagem de área irrigada, para os pivôs avaliados. Nota-se que a lâmina máxima coletada foi inferior à lâmina requerida para os pivôs 3, 4 e 5.

Quadro 13 - Resultados dos parâmetros de avaliação de eficiência de irrigação para sistemas por autopropelido e canhão: lâmina de irrigação requerida (IRN), lâmina aplicada (Lapl), lâmina coletada (Lcol), lâmina armazenada (Larm), lâmina deficitária (Ldef), lâmina percolada (Lper), coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), porcentagem de área adequadamente irrigada (Pad), eficiência potencial de aplicação (EPa), coeficiente de déficit (Cd), perdas por percolação (Pp), eficiência de condução (Ec), eficiência de distribuição de projeto (ED₈₀), eficiência para área adequadamente irrigada de projeto (Eip₈₀) e eficiência de aplicação (Ea)

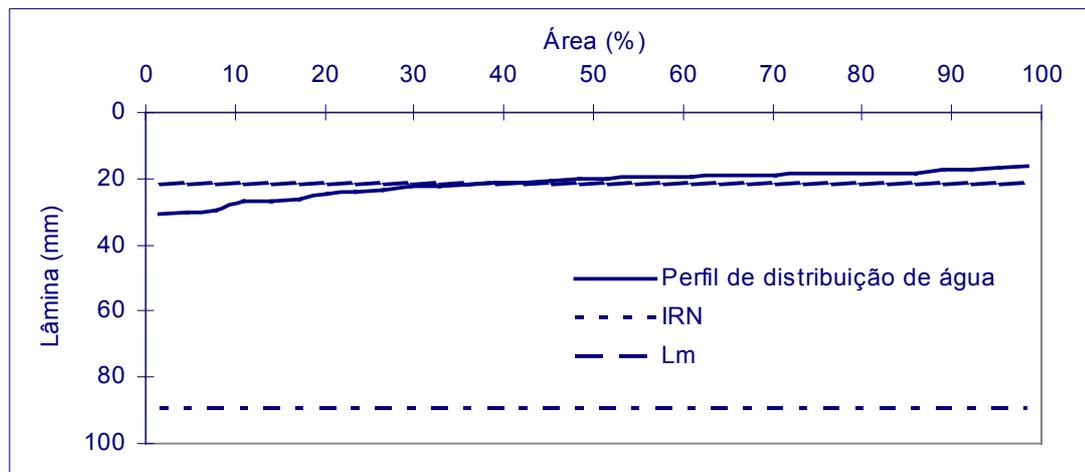
Parâmetro	Un.	Sistema						
		auto 1	auto 2	auto 3	auto 4	auto 5	canhão	minic.
IRN	mm	47,9	89,3	51,9	19,4	47,1	33,2	31,8
Lapl	mm	38,3	25,4	26,8	33,3	25,4	76,1	39,5
Lcol	mm	27,1	21,5	23,8	25,7	23,7	69,9	29,3
Larm	mm	27,1	21,5	23,8	19,4	23,7	33,2	27,2
Ldef	mm	20,8	67,8	28,1	0,0	23,4	0,0	4,6
Lper	mm	0,0	0,0	0,0	6,3	0,0	36,7	2,1
CUC	%	79,3	85,2	74,7	89,0	81,4	84,7	78,1
Pad	%	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0	32,7
EPa _{Keller}	%	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,9	97,8
EPa _{Bernardo}	%	70,6	84,5	88,8	77,0	93,5	91,8	74,1
Cd	%	43,5	75,9	54,2	0,0	49,6	0,0	14,5
Pp	%	0,0	0,0	0,0	24,5	0,0	52,5	7,2
Ec	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100
ED ₈₀	%	78,3	84,5	73,5	88,5	80,5	84,0	77,1
Eip ₈₀	%	76,4	82,5	71,7	86,4	78,6	82,2	75,4
Ea	%	70,8	84,6	88,8	58,3	93,3	43,6	68,9

Quadro 14 - Resultados dos parâmetros de avaliação de eficiência de irrigação para sistemas por pivô central: lâmina de irrigação requerida (IRN), lâmina aplicada (Lapl), lâmina coletada (Lcol), lâmina armazenada (Larm), lâmina deficitária (Ldef), lâmina percolada (Lper), coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), porcentagem de área adequadamente irrigada (Pad), eficiência potencial de aplicação (EPa), coeficiente de déficit (Cd), perdas por percolação (Pp), eficiência de condução (Ec), eficiência de distribuição de projeto (ED₈₀), eficiência para área adequadamente irrigada de projeto (Eip₈₀) e eficiência de aplicação (Ea)

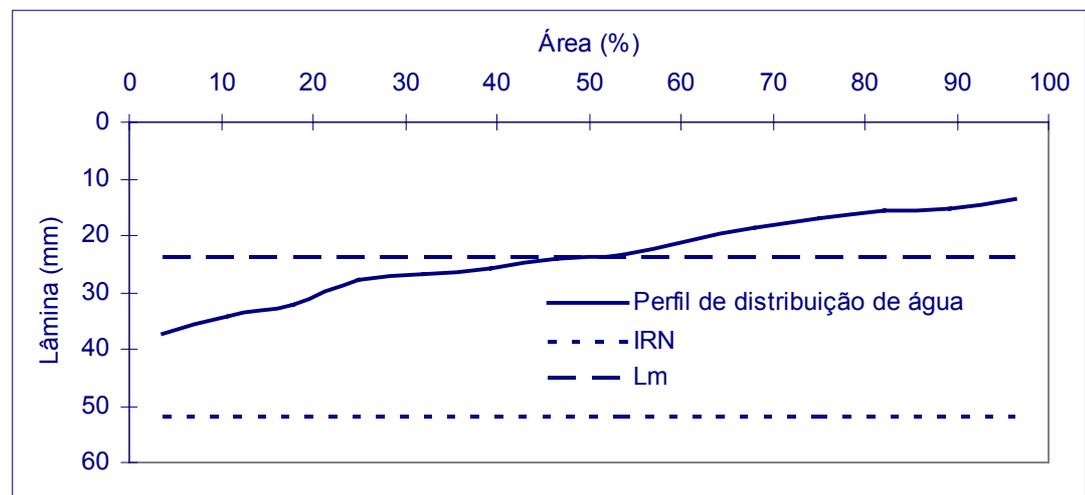
Parâmetro	Un.	Pivô					
		pivô 1	pivô 2	pivô 3	pivô 4	pivô 5	pivô 6
IRN	mm	18,2	10,4	72,2	25,0	45,0	15,2
Lapl	mm	22,2	12,7	-	17,9	24,6	15,0
Lcol	mm	20,7	12,3	25,0	14,2	21,6	11,6
Larm	mm	17,4	9,9	25,0	14,2	21,6	11,3
Ldef	mm	0,8	0,4	52,2	10,8	23,4	3,7
Lper	mm	3,4	2,3	0,0	0,0	0,0	0,3
CUC	%	80,9	80,8	85,7	89,3	83,1	82,5
Pad	%	68,1	71,7	0,0	0,0	0,1	8,3
EPa _{Keller}	%	96,6	95,5	95,5	95,6	95,5	96,4
EPa _{Bernardo}	%	93,2	96,3	-	79,5	87,8	77,6
Cd	%	4,5	3,9	72,3	43,2	52,1	24,3
Pp	%	16,4	18,7	0,0	0,0	0,0	2,2
Ec	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
ED ₈₀	%	80,0	79,9	85,0	88,8	82,3	81,7
Eip ₈₀	%	77,3	76,3	81,2	84,9	78,6	78,7
Ea	%	78,1	78,0	-	79,5	87,8	75,4



(a)

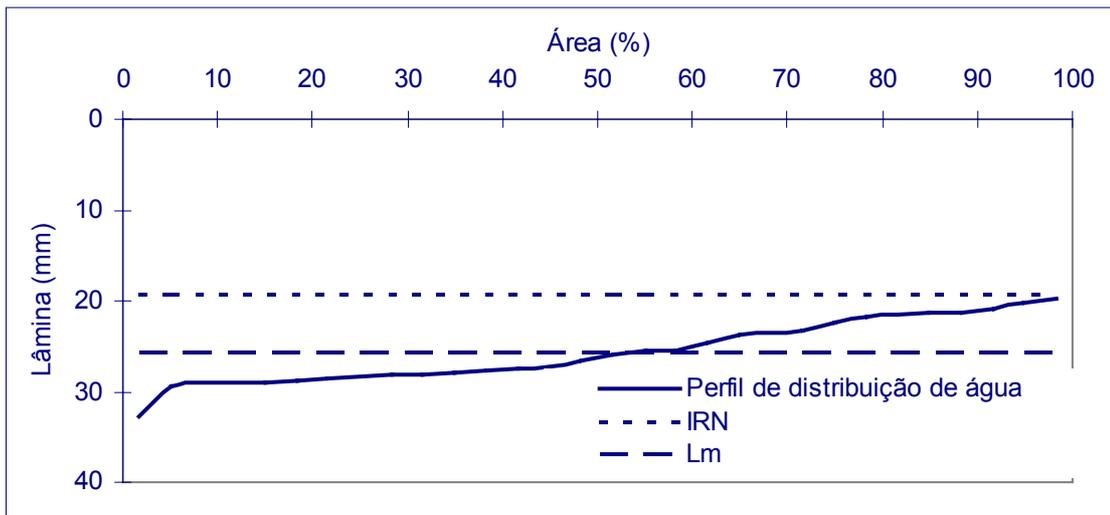


(b)

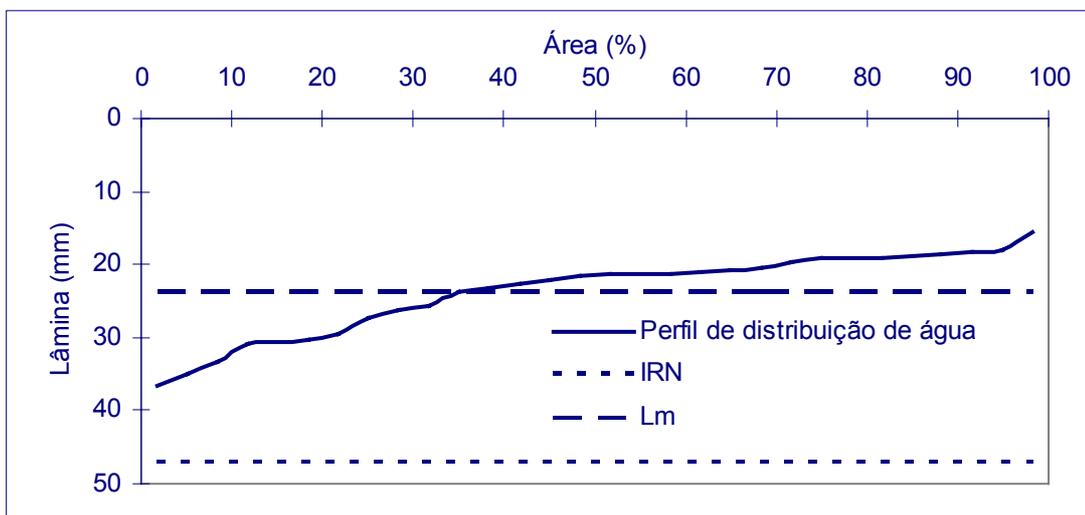


(c)

Figura 3 - Lâmina média coletada e irrigação real necessária em função da porcentagem de área irrigada para os sistemas autopropelido: (a) auto 1; (b) auto 2; e (c) auto 3.

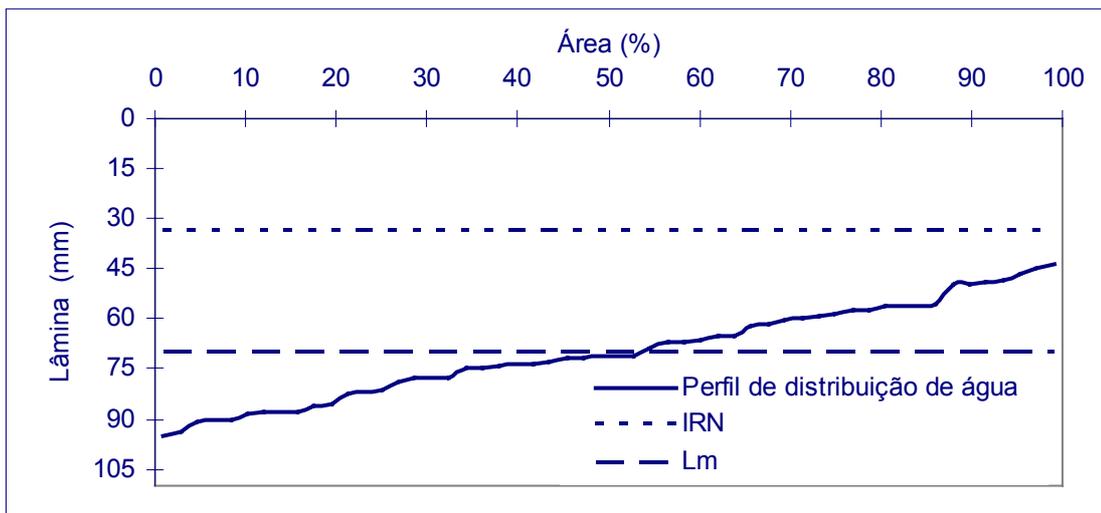


(a)

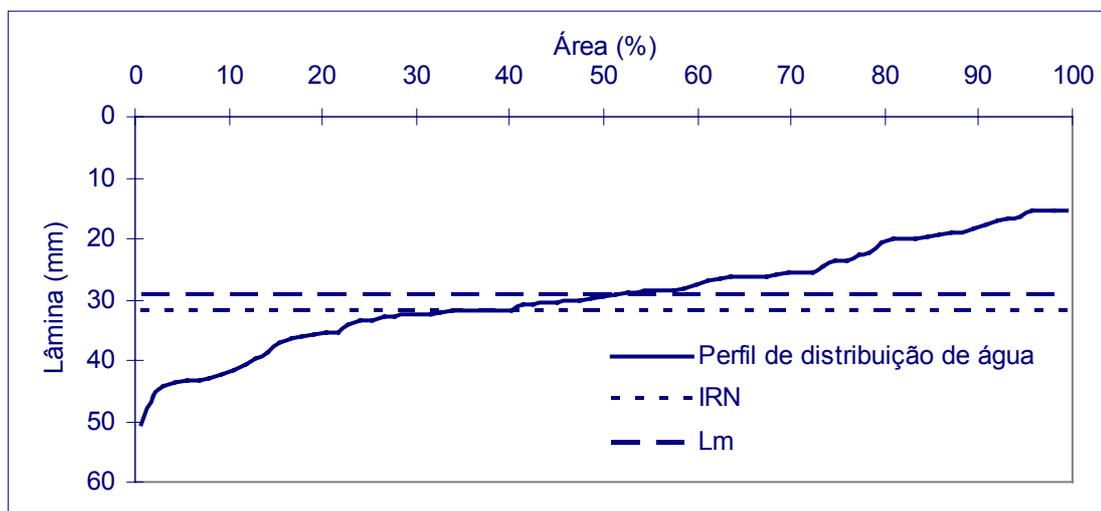


(b)

Figura 4 - Lâmina média coletada e irrigação real necessária em função da porcentagem de área irrigada, para os sistemas: (a) auto 4; e (b) auto 5.

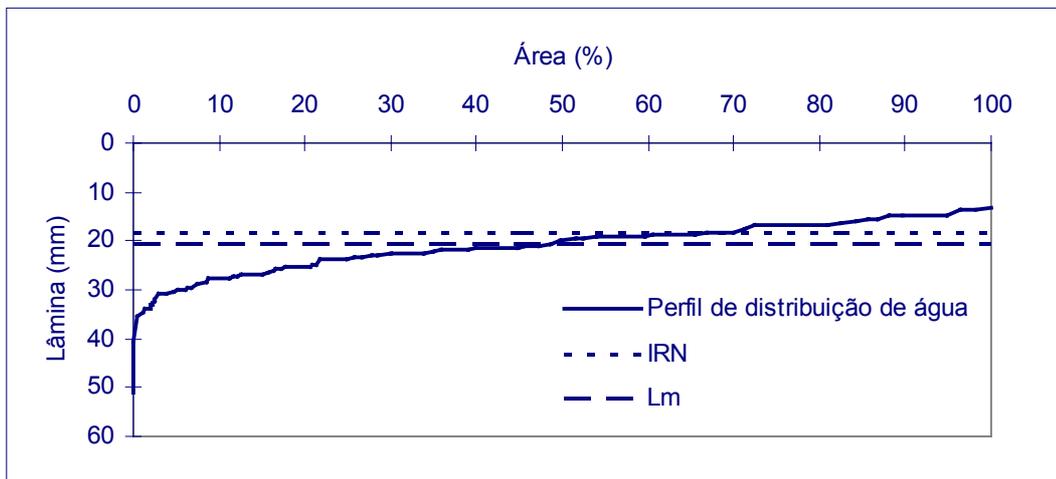


(a)

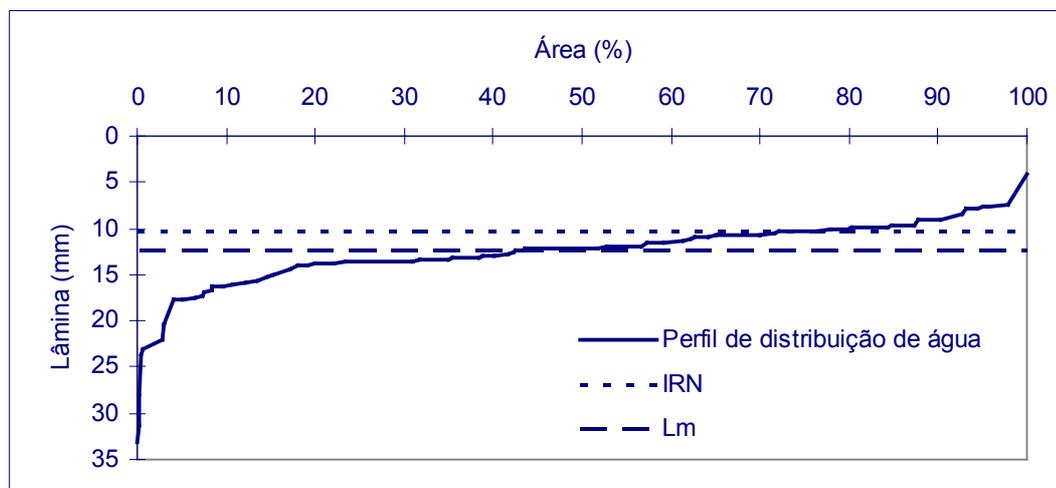


(b)

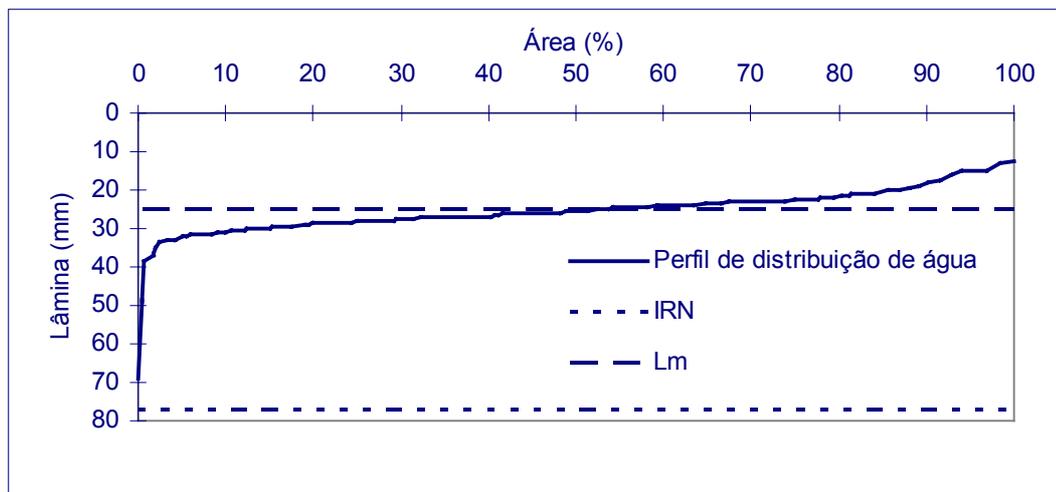
Figura 5 - Lâmina média coletada e irrigação real necessária em função da porcentagem de área irrigada, para os sistemas: (a) canhão; e (b) minicanhão.



(a)

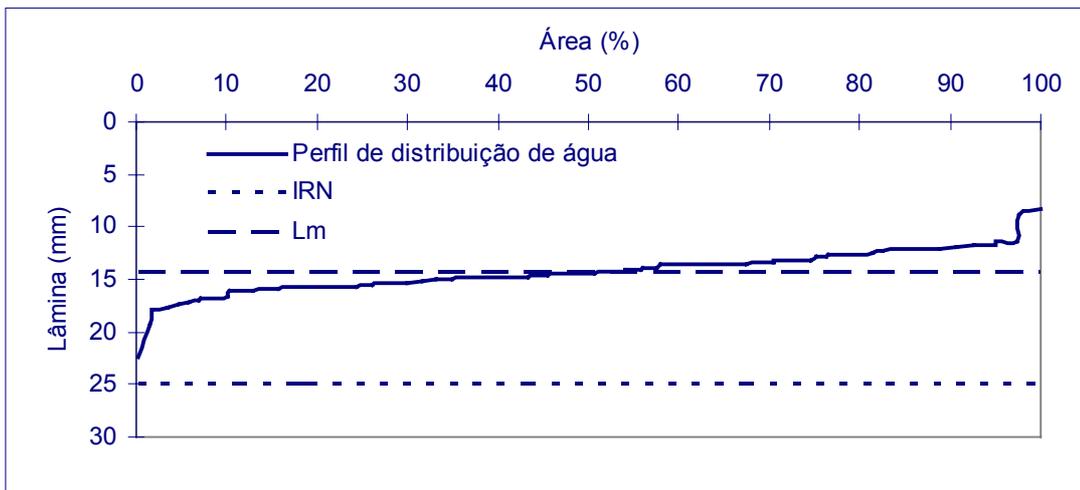


(b)

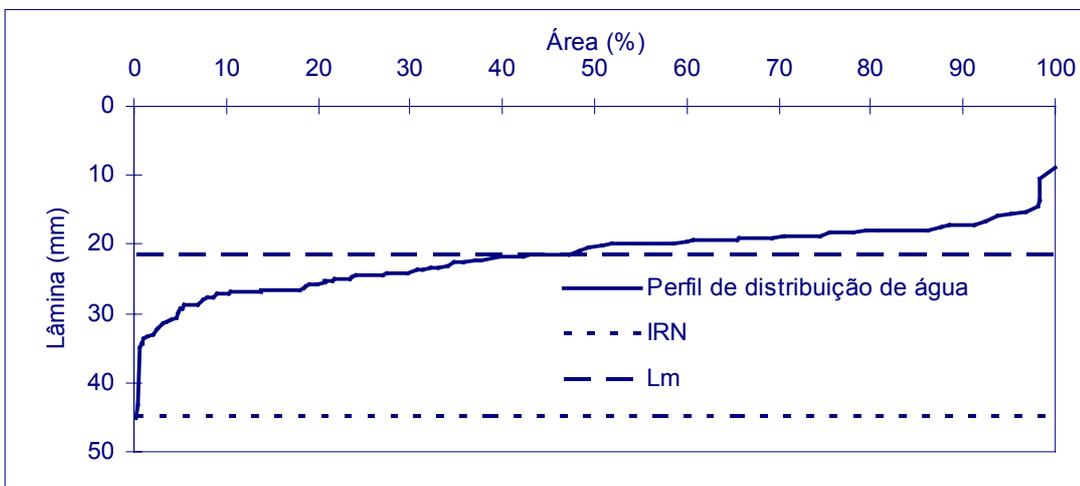


(c)

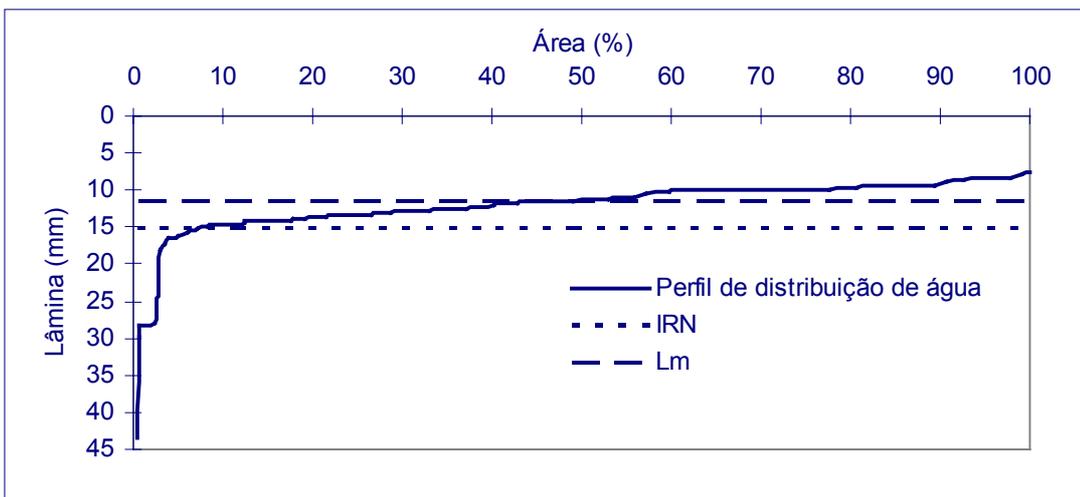
Figura 6 - Perfil de distribuição de água, irrigação real necessária (IRN) e lâmina média coletada (Lm) em função da porcentagem de área irrigada, para o pivô: (a) pivô 1; (b) pivô 2; e (c) pivô 3.



(a)



(b)



(c)

Figura 7 - Perfil de distribuição de água, irrigação real necessária (IRN) e lâmina média coletada (Lm) em função da porcentagem de área irrigada, para os pivôs: (a) pivô 4; (b) pivô 5; e (c) pivô 6.

As irrigações efetuadas nos pivôs 1 e 2 mostraram os melhores resultados em termos de adequação da lâmina aplicada, apresentando baixos valores de coeficiente de déficit, 4,5% para o pivô 1 e 3,9% para o pivô 2, com perdas por percolação de 16,4 e 18,7%, respectivamente, em razão do padrão de uniformidade de aplicação de água desses sistemas. A área adequadamente irrigada correspondeu a 68,1 e 71,7% do total para os pivôs 1 e 2, respectivamente, estando abaixo do valor de 80%, recomendado por KELLER e BLIESNER (1990) para culturas de médio a alto valor comercial, porém com sistema radicular bem desenvolvido, como o cafeeiro.

No caso da irrigação efetuada no pivô 6, a lâmina de irrigação aplicada foi menor que a necessária para elevar o solo à capacidade de campo de maneira similar aos pivôs 3, 4 e 5. Entretanto, uma pequena parte da área, cerca de 8% do total, foi adequadamente irrigada. De forma semelhante aos pivôs 3, 4 e 5, isso implicou alta eficiência de aplicação, devido ao fato de as perdas por percolação profunda serem pequenas, cerca de 3%. Por outro lado, a porcentagem de área adequadamente irrigada está muito aquém do valor de 80%, recomendado pelos autores anteriormente citados.

Os valores de eficiência em potencial de aplicação, com base em valores de vazão estimados do sistema (EP_{Bernardo}), estão, para sistemas de autopropelido e canhão, na faixa de 70,6 a 93,5%, tendo-se, então, perdas por evaporação e deriva pelo vento variando de 29,4 a 6,5%. Estes valores refletem as condições climáticas para o momento do teste e são concordantes com os valores encontrados por CHARMELO (1990). Por outro lado, os valores da eficiência em potencial de aplicação, estimados pela metodologia apresentada por KELLER e BLIESNER (1990), foram superiores aos de EP_{Bernardo} , variando de 97,6 a 97,9%.

Para sistemas por pivô central, os valores de eficiência em potencial de aplicação (EP_{Bernardo}), estimados a partir da vazão de projeto dos sistemas, estão na faixa de 77,6 a 96,3%, ou seja, as perdas por evaporação e deriva pelo vento variaram de 22,4 a 3,7% da lâmina aplicada, valores estes similares aos determinados por SOARES et al. (1993). Entretanto, estes valores obtidos estão condicionados à confiabilidade dos dados de vazão de projeto utilizada nos cálculos. Por outro lado, os valores de eficiência em potencial de

aplicação ($E_{Pa_{Keller}}$), estimados a partir da metodologia proposta por KELLER e BLIESNER (1990), apresentaram valores de 95,5 a 96,6%, isto é, as perdas por evaporação e deriva pelo vento variaram de 4,5 a 3,4% da lâmina aplicada.

Observou-se que a eficiência em potencial de aplicação (E_{Pa}), que representa as perdas por evaporação e deriva pelo vento, para os sistemas por aspersão, estimadas pela metodologia proposta por KELLER e BLIESNER (1990) ($E_{Pa_{Keller}}$), apresentou valores bem menores aos obtidos pelo método convencional, aqui denominado método BERNARDO (1995) ($E_{Pa_{Bernardo}}$). Essas diferenças, em parte, eram esperadas, em razão de a $E_{Pa_{Keller}}$ representar as condições médias do dia da avaliação, representando, portanto, um valor mais amplo das condições gerais, ao passo que a $E_{Pa_{Bernardo}}$ fornece o valor momentâneo para as condições em que o teste foi realizado; e, os testes foram realizados no período diurno, que apresenta condições que proporcionam maiores perdas por evaporação e arraste. Por outro lado, vale ressaltar que a metodologia proposta por KELLER e BLIESNER (1990) ($E_{Pa_{Keller}}$) foi desenvolvida para sistemas por aspersão convencional e depois expandida, pelos mesmos autores, para sistemas com aspersores de maior tamanho e sistemas por pivô central, e também que os valores da $E_{Pa_{Bernardo}}$ estão condicionados à confiabilidade dos dados de vazão de projeto utilizada nos cálculos da lâmina total aplicada.

Devido ao fato de que toda a lâmina de irrigação que atingiu o solo nos sistemas auto 1, 2, 3 e 5 e pivôs 3 e 5 ficou armazenada na zona radicular, não tendo, portanto, perdas por percolação profunda, os valores de eficiência de aplicação (E_a) foram iguais aos de eficiência em potencial de aplicação ($E_{Pa_{Bernardo}}$) para esses sistemas. Já para os sistemas auto 4, canhão, minicanhão e pivôs 1, 2 e 6, os valores de eficiência de aplicação (E_a) foram inferiores aos de eficiência em potencial de aplicação ($E_{Pa_{Bernardo}}$), em razão da ocorrência de perdas por percolação.

A eficiência de condução foi estimada como tendo um valor de 100%, para os sistemas de irrigação por aspersão, com base em observações de campo.

Em razão da ausência das perdas na condução, os valores da eficiência de aplicação (E_a) representam os valores da eficiência de irrigação (E_i) para os eventos de irrigação avaliados, ou seja, quanto da água desviada da fonte será armazenada na zona radicular da cultura. Observa-se, portanto, que a eficiência de irrigação (E_i), para os sistemas por autopropelido, variaram de 58,3 a 93,3%, com média de 79,1%; para canhão, de 43,6 a 68,9%, com média igual a 56,2%; e para sistemas por pivô central, de 76,7 a 87,8%, com média igual a 79,5%.

Em virtude dos valores encontrados de $EP_{aKeller}$, E_c e ED_{80} , determinou-se a eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto ($E_{ip_{80}}$), considerando-se um ajuste na lâmina aplicada para o valor referente ao déficit de água no solo em 80% da área. Para os sistemas por autopropelido e canhão, os valores de $E_{ip_{80}}$ apresentam-se na faixa de 75,4 a 86,4%, com média de 79,0%. Para sistemas tipo pivô central, os valores de $E_{ip_{80}}$ tiveram variação de 76,3 a 84,9%, com média de 79,5%. Os valores de $E_{ip_{80}}$ são fundamentais para definição do tempo de irrigação, pois determinam, juntamente com o déficit de água no solo, a lâmina bruta a ser aplicada. Por exemplo, para as condições de valores médios de $E_{ip_{80}}$ de 79,5%, a lâmina bruta de irrigação deve ser de cerca de 1,26 vez o valor da lâmina requerida, garantindo que 80% da área receba uma lâmina igual ou maior que a requerida. A melhoria desses valores de $E_{ip_{80}}$ está basicamente relacionada com a melhoria dos coeficientes de uniformidade de aplicação de água, que, embora estejam na faixa de 80%, estão abaixo de valores possíveis para sistemas de pivô central bem dimensionados, indicados por KELLER e BLIESNER (1990), da ordem de 90 a 94%.

As práticas de manejo de irrigação até então adotadas pelos cafeicultores, com sistemas de irrigação por aspersão, nas regiões cafeeiras em estudo, estão baseadas no fato de se ter uma irrigação suplementar com ênfase para início das irrigações no período de floração do cafeeiro, correspondendo ao mês de agosto, estendendo-se até o período chuvoso. O manejo da irrigação é, em geral, baseado em critérios pessoais do irrigante e em balanços hídricos mensais, calculados a partir de dados das normais climatológicas, levando a distorções em relação ao momento de se irrigar e de

a lâmina de irrigação a ser aplicada, conforme pode ser observado nos resultados obtidos neste estudo. A adoção de métodos mais modernos de manejo, mesmo que simplificados, certamente trará melhoria das condições atuais. Como exemplo, tem-se o caso dos pivôs 1 e 2, que, adotando manejo de irrigação baseado em balanço hídrico diário, a partir de dados de temperatura e precipitação, apresentaram, assim, os melhores índices de adequação de irrigação dentre os sistemas por aspersão avaliados.

4.2.Irrigação localizada

4.2.1.Uniformidade de aplicação de água

No Quadro 15 são apresentados os valores de coeficiente de uniformidade de emissão (CUE), coeficiente de uniformidade de emissão absoluta (CUEa) e uniformidade estatística (Us), para cada sistema de irrigação localizada avaliado.

Quadro 15 - Coeficiente de uniformidade de emissão (CUE), coeficiente de uniformidade de emissão absoluta (CUEa) e uniformidade estatística (Us), para cada sistema e local avaliado

Sistema	Local	CUE (%)	CUEa (%)	Us (%)
Gotejamento	Gotejo-A	53,5	58,8	66,0
Gotejamento	Gotejo-B	65,0	70,3	74,2
Gotejamento	Gotejo-C	52,1	54,5	65,0
Gotejamento	Gotejo-D	70,6	75,3	78,3
Tubo perfurado	Tubop-A	91,9	90,9	93,7
Tubo perfurado	Tubop-B	77,2	75,6	83,1
Tubo perfurado	Tubop-C	75,5	76,3	81,8
Tubo perfurado	Tubop-D	84,1	80,5	88,1

Observa-se que, para os sistemas por gotejamento, três dos sistemas avaliados apresentam valores de CUE menores que 70%, podendo ser

considerados operando em condições de uniformidade ruim pelo critério apresentado por MERRIAM e KELLER (1978); e apenas um pode ser considerado regular, gotejo-D, pelo mesmo critério. Estes baixos valores de uniformidade já eram esperados, em razão da constatação, na avaliação no campo, de número excessivo de gotejadores entupidos e da presença de bolsas de ar na parte final das linhas laterais. A melhoria destes valores de uniformidade pode ser obtida pela adoção de práticas de manejo, como 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.

Os sistemas do tipo tubo perfurado apresentaram valores de uniformidade de emissão superiores a 75,5%, podendo dois serem classificados como regular, um como bom e o outro como ótimo, pelo mesmo critério apresentado por MERRIAM e KELLER (1978). Esses sistemas apresentaram, em média, valores superiores de uniformidade, quando comparados aos sistemas por gotejamento; a razão para isto está, provavelmente, relacionada à substituição periódica das linhas laterais, devido ao fato de a vida útil destas estar em torno de três anos, segundo informação dos irrigantes, e em virtude da presença de reguladores de pressão no início de cada linha lateral nos sistemas tubo A, C e D.

4.2.2. Avaliação do manejo de irrigação

Os solos das áreas analisadas também possuem classificação textural muito argilosa; em razão desta característica, utilizou-se a tensão de 33 kPa para a determinação do teor de umidade correspondente à capacidade de campo. No Quadro 16 estão apresentados os valores dos parâmetros físico-hídricos dos solos para os sistemas testados de irrigação por gotejamento e tubo perfurado. Observa-se que a capacidade de campo variou de 20,9% a 32,1%, e o ponto de murcha, de 15,8% a 21,1%. Os valores de massa específica encontrados variaram de 0,93 a 1,22 g cm⁻³, estando dentro da faixa de valores de massa específica para solos cultivados das classes argilosos e francos, apresentada por PREVEDELLO (1996), caracterizando solos leves

Quadro 16 - Valores de capacidade de campo (Cc), ponto de murcha (Pm), umidade atual (Ua), massa específica do solo (Me) e disponibilidade total de água (DTA), para diferentes camadas amostradas em cada sistema avaliado

Sistema	Camadas (cm)	Cc (% peso)	Pm (% peso)	Ua (% peso)	Me (g cm ⁻³)	DTA (mm cm ⁻¹)
Gotejo-A	0-20	20,9	15,8	23,8	1,20	0,6
	20-60	22,3	16,0	23,6	1,22	0,8
	60-100	21,0	15,9	22,5	1,22	0,6
Gotejo-B	0-20	28,8	19,9	30,2	1,05	0,9
	20-60	27,8	19,7	26,8	0,96	0,8
	60-100	27,4	19,6	27,6	0,96	0,7
Gotejo-C	0-20	24,8	17,9	25,4	0,96	0,7
	20-60	26,5	18,0	25,2	0,97	0,8
	60-100	27,3	18,0	26,4	0,97	0,9
Tubop-A	0-20	32,1	21,1	24,2	1,06	1,2
	20-60	30,4	20,9	25,3	0,93	0,9
	60-100	30,6	20,8	26,2	0,93	0,9
Tubop-B	0-20	27,0	19,1	20,7	1,04	0,8
	20-60	27,8	19,4	23,2	0,96	0,8
	60-100	27,0	19,4	24,4	0,96	0,7
Tubop-C	0-20	30,0	19,4	22,6	1,08	1,1
	20-60	29,1	19,2	24,3	0,96	1,0
	60-100	27,5	19,6	25,9	0,96	0,8

comuns em solos de cerrados. Os valores de disponibilidade total de água variaram de 0,6 a 1,2 mm cm⁻¹ de solo, indicando níveis de baixa a moderada capacidade de retenção de água para as plantas, de acordo com a classificação de níveis de “água disponível” para solos sob “cerrado” apresentada em LOPES (1984).

Os resultados referentes aos parâmetros de avaliação de manejo de irrigação, que são indicativos da necessidade ou não de se efetuar a irrigação naquele momento e da quantidade de água a ser aplicada, para os sistemas por gotejamento e tubo perfurado, estão apresentados no Quadro 17. Observa-se que, para os sistemas por gotejamento, em dois dos sistemas avaliados a irrigação foi realizada quando a umidade do solo estava igual ou superior à capacidade de campo, indicando descontrole muito grande com relação ao manejo de irrigação, pois, sob tais condições, toda a lâmina de irrigação

Quadro 17 - Resultados dos parâmetros de avaliação de manejo de irrigação para sistemas por gotejamento e tubo perfurado: profundidade efetiva do sistema radicular (Z), porcentagem de área molhada (Pam), capacidade total de armazenamento de água (CTA), irrigação real necessária (IRN), déficit de água do solo (Def) e lâmina aplicada (Lapl)

Sistema	Z (cm)	Pam (%)	CTA (mm)	IRN (mm)	Def (%)	Lapl (mm)
Gotejo-A	100	11,8	8,0	-2,5	0,0	5,3
Gotejo-B	100	20,6	16,5	0,0	0,0	9,2
Gotejo-C	100	16,2	13,3	1,2	9,0	32,3
Tubop-A	100	35,7	34,0	18,7	55,0	17,1
Tubop-B	100	34,5	26,9	14,0	52,2	52,5
Tubop-C	100	40,3	40,1	16,2	40,5	20,7

aplicada será perdida por percolação profunda. No sistema Gotejo-C, apesar de haver déficit de água no solo antes da irrigação, o seu valor ainda não havia atingido o limite máximo recomendado de disponibilidade de água do solo para o cafeeiro, considerando-se que o cafeeiro pertence ao grupo IV, com fator de disponibilidade de água do solo igual a 60%, segundo a classificação proposta por DOORENBOS e KASSAM (1979). Para os sistemas por tubo perfurado, as irrigações foram realizadas dentro dos limites aceitáveis para o déficit de água do solo.

4.2.3. Avaliação de irrigação

Os resultados dos parâmetros de avaliação de desempenho de irrigação, para sistemas por gotejamento e tubo perfurado, estão apresentados no Quadro 18. Os valores de pressão no final das linhas laterais da subunidade avaliada na fazenda Gotejo-B encontravam-se abaixo do valor mínimo da escala do manômetro utilizado nas medições, ou seja, 40 kPa, sendo este valor também inferior à pressão mínima, de 62,1 kPa, recomendada pelo fabricante para o funcionamento desses gotejadores. Observa-se também que os sistemas Gotejo-B e Gotejo-C apresentaram valores de vazão média superiores à vazão nominal do gotejador de 2,3 L h⁻¹.

Isto pode, em parte, ser devido a uma perda das características de autocompensação do gotejador com o tempo de uso.

Em dois dos sistemas avaliados, Gotejos A e B, a irrigação foi iniciada, conforme já discutido anteriormente, com a umidade do solo acima da capacidade de campo, levando a uma perda total da lâmina de irrigação aplicada por percolação profunda. No sistema Gotejo-C, a lâmina aplicada foi muito maior que a lâmina requerida, levando a uma baixa eficiência de aplicação devido a uma altíssima perda por percolação, com a lâmina percolada tendo um valor cerca de 25 vezes superior ao da lâmina armazenada. Os valores obtidos nas avaliações de sistemas por gotejamento indicam, além de falhas na decisão de quando irrigar, a adoção de tempo de irrigação muito grande levando a lâminas percoladas muito elevadas; essas distorções podem ser visualizadas com clareza na Figura 8. Caso estas condições de manejo com altos valores de perdas por percolação sejam adotadas por um longo período de tempo, poderá haver, além da perda inerente de água, o empobrecimento do solo em função da lixiviação dos nutrientes para camadas mais profundas, podendo ter como agravante a baixa capacidade de troca catiônica efetiva, comum nestes solos de cerrados, relatada por LOPES (1984).

Nos sistemas Gotejo-A e Gotejo-C (Quadro 18), os valores de porcentagem de área molhada estão inferiores ao valor mínimo de 20% para regiões de clima úmido, recomendado por MERRIAM e KELLER (1978). Já para os sistemas de tubo perfurado, os valores de porcentagem de área molhada são superiores a 34,5%, estando, portanto, acima do valor mínimo de 20%.

A eficiência de condução foi estimada como tendo um valor de 100%, para os sistemas de irrigação por gotejamento e tubo perfurado, baseando-se em observações de campo.

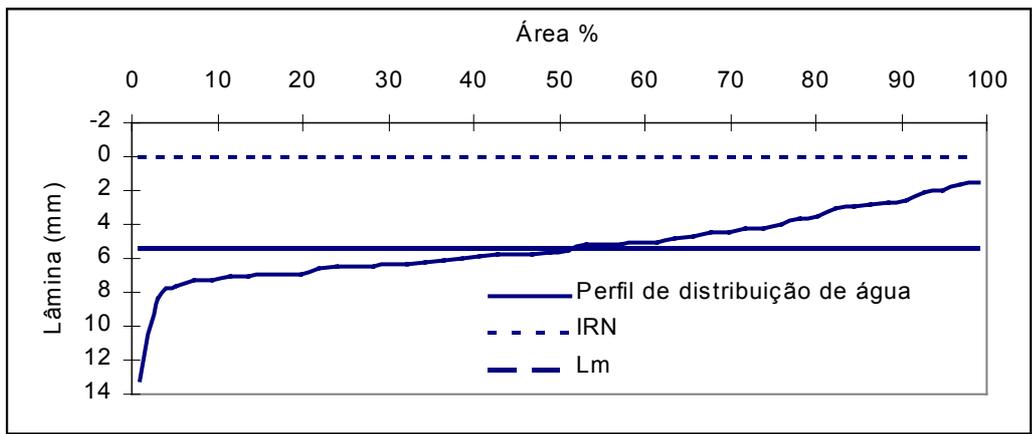
Considerando aspectos relacionados ao fato de o café apresentar valor de mercado de médio a alto e ser, no entanto, uma cultura com sistema radicular bem desenvolvido, a recomendação da necessidade de área adequadamente irrigada, de acordo com recomendação apresentada por KELLER e BLIESNER (1990), é de 80%. Os valores de porcentagem de área

Quadro 18 - Resultados dos parâmetros de avaliação de desempenho de irrigação para sistemas por gotejamento e tubo perfurado: pressão média (Pmed), vazão média (Qmed), tempo de irrigação (Ti), porcentagem de área molhada (Pam), irrigação real necessária (IRN), lâmina aplicada (Lapl), lâmina armazenada (Larm), lâmina deficitária (Ldef), lâmina percolada (Lper), coeficiente de uniformidade de emissão (CUE), porcentagem de área adequadamente irrigada (Pad), coeficiente de déficit (Cd), perdas por percolação (Pp), eficiência de condução (Ec), eficiência de distribuição de projeto (ED₈₀), eficiência para área adequadamente irrigada de projeto (Eip₈₀) e eficiência de aplicação (Ea)

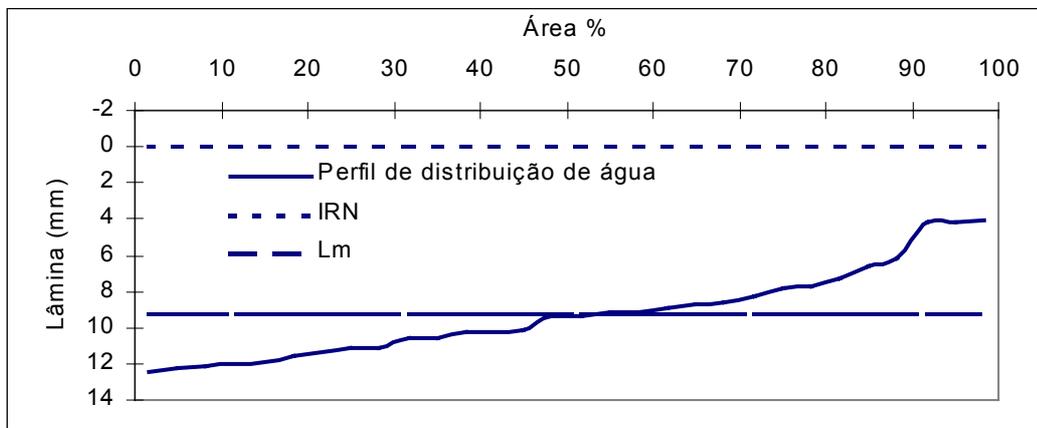
Parâmetro	Un.	Sistema por gotejamento			Sistema por tubo perfurado		
		Gotejo-A	Gotejo-B	Gotejo-C	Tubop-A	Tubop-B	Tubop-C
Pmed ¹	kPa	198,0	< 40,0	84,0	48,0	43,0	55,0
Qmed ²	L h ⁻¹	2,3	3,1	2,7	6,2	8,9	7,2
Ti	h	10,0	12,0	47,0	23,0	47,0	23,0
Pam	%	11,8	20,6	16,2	35,7	34,5	40,3
IRN	mm	0,0	0,0	1,2	18,7	14,0	16,2
Lapl	mm	5,4	9,2	31,6	17,1	52,5	20,7
Larm	mm	0,0	0,0	1,2	17,0	14,0	16,0
Ldef	mm	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	0,3
Lper	mm	5,4	9,2	30,4	0,0	38,5	4,7
CUE	%	53,5	65,0	52,1	91,9	77,2	75,5
Pad	%	100,0	100,0	100,0	12,0	100,0	87,0
Cd	%	0,0	0,0	0,0	8,8	0,0	1,6
Pp	%	total	total	96,2	0,0	73,3	22,7
Ec	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
ED ₈₀	%	69,3	76,9	68,4	94,7	85,0	83,8
Eip ₈₀	%	69,3	76,9	68,4	94,7	85,0	83,8
Ea	%	0,0	0,0	3,8	99,8	26,7	77,2

¹ pressão medida no final das linhas laterais nos sistemas por gotejamento e pressão medida no início das linhas laterais nos sistemas por tubo perfurado.

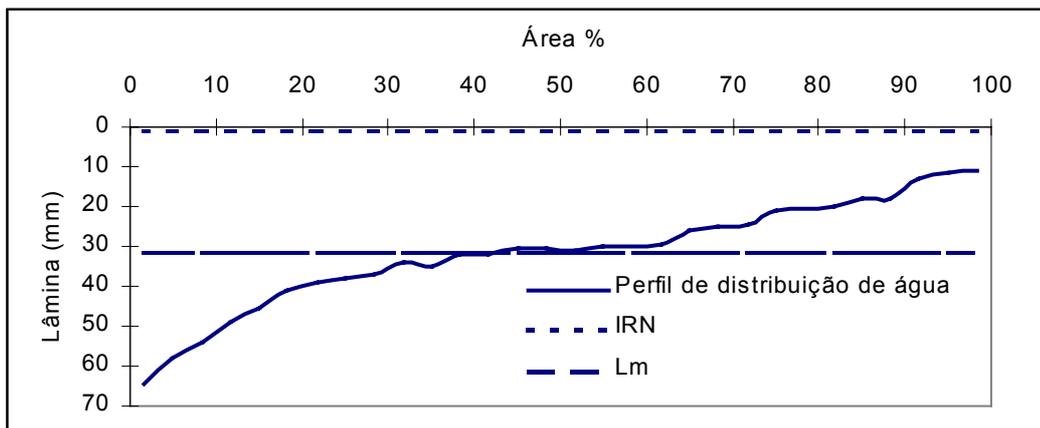
² valores correspondentes a 1 metro de tubo perfurado.



(a)



(b)



(c)

Figura 8 - Perfil de distribuição de água, irrigação real necessária (IRN) e lâmina média coletada (Lm) em função da porcentagem de plantas irrigadas, para o sistema por gotejamento: (a) Gotejo-A; (b) Gotejo-B; e (c) Gotejo-C.

adequadamente irrigada, nos sistemas Tubop-A e Tubop-C, foram inferiores a 80%. Entretanto, o valor da porcentagem de área adequadamente irrigada na fazenda Tubop-C foi superior a 80% e, na fazenda Tubop-A, apesar de o valor da porcentagem de área adequadamente irrigada ser relativamente baixo, o valor do coeficiente de déficit também foi baixo, em razão do alto valor da uniformidade de emissão.

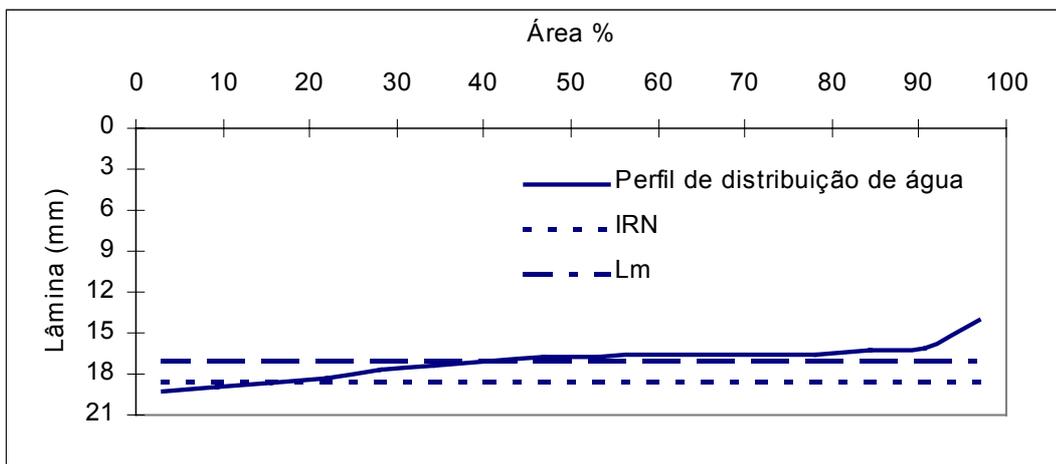
No sistema Tubop-A, ocorreu excessiva perda por percolação, sendo a lâmina percolada 2,7 vezes superior à lâmina armazenada, em razão de um tempo excessivo de irrigação. Os aspectos referentes ao perfil de distribuição de água, irrigação real necessária (IRN) e lâmina média coletada (Lmed) em função da porcentagem de área irrigada, para o sistema por tubo perfurado, nos testes realizados nas fazendas Tubop-A, Tubop-B e Tubop-C, podem ser visualizados na Figura 9.

Os resultados indicam baixos valores de eficiências de aplicação (Ea) para os sistemas por gotejamento, inferiores a 3,8%, com elevadas perdas por percolação, em razão de a irrigação ser iniciada no momento inadequado e devido aos excessivos tempos de irrigação empregados. Um correto manejo de irrigação, com determinação da lâmina de irrigação necessária em cada irrigação, impediria a ocorrência dos elevados níveis de perdas observados, possibilitando um ajuste desses parâmetros para níveis mais aceitáveis.

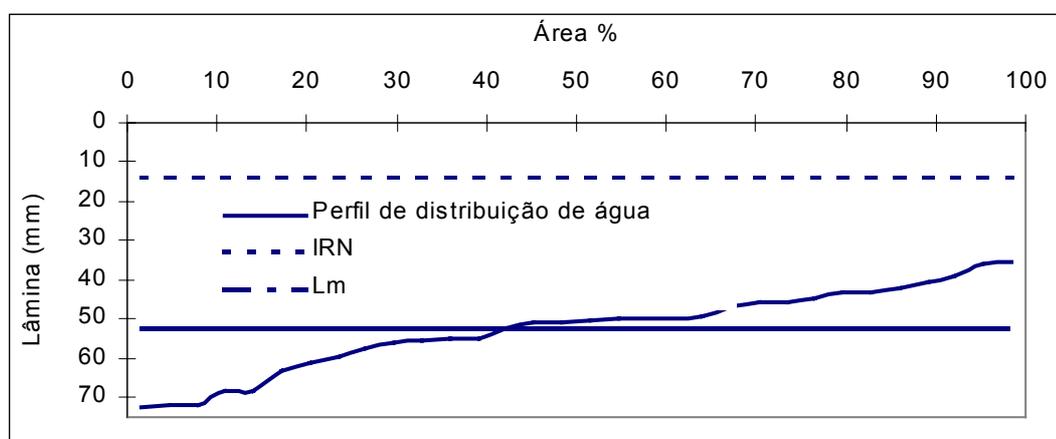
Os sistemas por tubo perfurado, Tubos A e C, apresentaram valores mais elevados de Ea, em razão dos menores valores de perdas por percolação; porém, no sistema Tubo-B, a Ea foi baixa, em virtude de uma elevada perda por percolação.

A eficiência de condução foi estimada como tendo um valor de 100%, para os sistemas de irrigação localizada, com base em observações de campo.

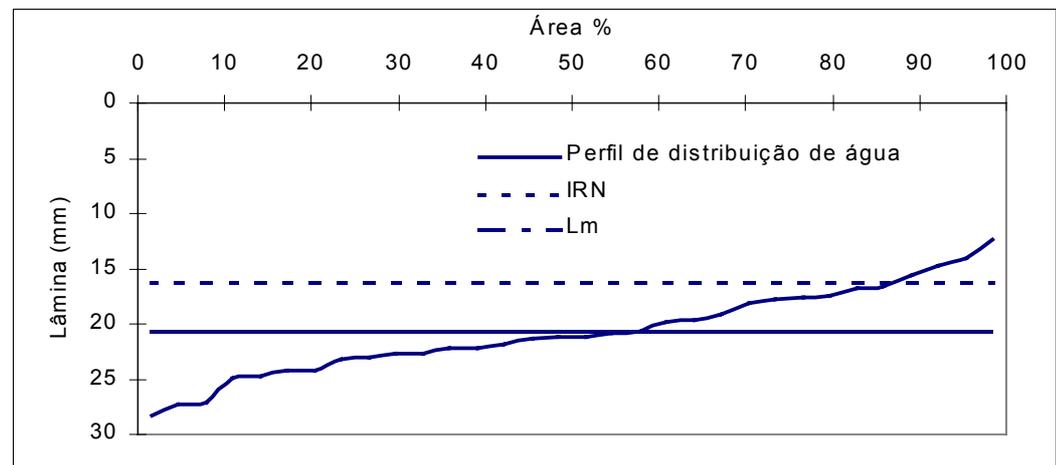
Em razão da ausência das perdas na condução, os valores da eficiência de aplicação (Ea) representam os valores da eficiência de irrigação (Ei) para os eventos de irrigação avaliados. Observa-se, portanto, que a eficiência de irrigação (Ei), para os sistemas por gotejamento, variaram de 0 a 3,8%, com média de 1,3%, e, para tubo perfurado, variaram de 26,7 a 99,8%, com média de 67,9%.



(a)



(b)



(c)

Figura 9 - Perfil de distribuição de água, irrigação real necessária (IRN) e lâmina média coletada (Lm) em função da porcentagem de plantas irrigadas, para o sistema por tubo perfurado: (a) Tubop-A; (b) Tubop-B; e (c) Tubop-C.

A partir dos valores da eficiência de condução (E_c) e da eficiência de distribuição, para uma condição projetada de manejo adequado, com uma área adequadamente irrigada de 80% (ED_{80}), determinaram-se os valores de eficiência de irrigação ($E_{ip_{80}}$) que poderia ser utilizada na estimativa da lâmina total de irrigação, para uma condição adequada de manejo em que 80% da área receberia uma lâmina de irrigação igual ou maior que a lâmina requerida. O valor de $E_{ip_{80}}$ médio obtido para os sistemas por gotejamento foi de 71,5%, refletindo diretamente os baixos valores de uniformidade de emissão de água observados para este sistema. A melhoria da $E_{ip_{80}}$ destes sistemas depende da melhoria da uniformidade de emissão de água.

Os sistemas por tubo perfurado apresentaram $E_{ip_{80}}$ médio de 87,8%, refletindo os melhores valores de uniformidade de emissão de água, quando comparados aos sistemas por gotejamento.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O trabalho foi conduzido, no período de julho a setembro de 1998, em um total de 21 sistemas de irrigação, localizados em propriedades cafeicultoras representativas das regiões cafeeiras do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais, compreendidos entre as latitudes de 17 a 19° sul e longitude de 47 a 49° a oeste de Greenwich, abrangendo seis sistemas pivô central, cinco autopropelido, um canhão, um minicanhão, quatro gotejamento e quatro tubo de polietileno perfurado.

Foram determinados os parâmetros físico-hídricos do solo e os parâmetros de desempenho correspondentes a uniformidade de aplicação de água e eficiência de irrigação, visando caracterizar as condições atuais do uso da irrigação na cafeicultura da região.

Os resultados obtidos, nas condições em que os trabalhos foram conduzidos, possibilitaram as seguintes conclusões:

- Os valores de coeficientes de distribuição foram superiores a 52% para gotejamento e 75% para tubos de polietileno flexíveis perfurados; e os coeficientes de uniformidade de Christiansen foram superiores a 75% para autopropelido, 78% para canhão e 81% para pivô central. Estes valores indicam boa uniformidade para os sistemas de tubos de polietileno flexíveis perfurados, autopropelido, canhão e pivô central e baixa uniformidade para gotejamento, na forma como empregados atualmente na região em estudo.

- Os baixos valores de massa específica do solo refletem a boa estrutura física dos solos de cerrado, porém com valores de baixa a moderada capacidade de armazenamento de água.

- As irrigações foram feitas, à exceção dos sistemas auto 2 e pivô 3, dentro do limite máximo recomendado de disponibilidade água no solo, que é de 60% para o cafeeiro, nas condições avaliadas.

-Observou-se, na maior parte dos sistemas por pivô central e autopropelido, a aplicação de uma lâmina de irrigação inferior à lâmina requerida, proporcionando elevados valores de coeficientes de déficit (Cd). Já nos sistemas por gotejamento, foram observados excessos de aplicação de água, com elevados valores de perdas por percolação profunda.

- As perdas por evaporação e deriva pelo vento, estimadas pela metodologia de BERNARDO (1995), variaram de 29,4 a 6,5% da lâmina aplicada, para sistemas do tipo autopropelido e canhão, e de 22,4 a 3,7%, para pivô central, estando, porém, condicionadas aos valores da vazão que foram estimados. Por outro lado, os valores das perdas por evaporação e deriva pelo vento, estimadas pela metodologia apresentada por KELLER e BLIESNER (1990), variaram de 2,4 a 2,1%, para sistemas do tipo autopropelido e canhão, e de 4,5 a 3,4%, para pivô central.

- Os valores da eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto (E_{ip80}), considerando-se um ajuste na lâmina aplicada para o valor referente ao déficit de água no solo em 80% da área, foram, em média: 79,0% para os sistemas por autopropelido e canhão, 79,5% para pivô central, 71,5% para gotejamento e 87,8% para tubo perfurado de polietileno.

- Os valores de eficiência de aplicação (E_a), ou seja, a relação entre a lâmina armazenada e a lâmina aplicada, para aquele evento de irrigação avaliado, que correspondem aos valores de eficiência de irrigação (E_i), devido à ausência de perdas na condução, conforme observado, foram, em média, de: 79,1% para os sistemas por autopropelido, 56,2% para canhão, 79,5% para pivô central, 1,3% para gotejamento e 67,9% para tubo perfurado de polietileno.

CAPÍTULO 3

COMPARAÇÃO DE CUSTOS E VIABILIDADE ECONÔMICA PARA DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO EMPREGADOS NA CAFEICULTURA EM ÁREAS DE CERRADO DE MINAS GERAIS

1. INTRODUÇÃO

A irrigação é uma tecnologia que requer investimentos consideráveis e está associada à utilização intensiva de insumos, tornando-se imprescindível a análise dos componentes de custos dos sistemas empregados, visando determinar a viabilidade de um empreendimento que se inicia.

Com o aumento da competitividade no setor cafeeiro, torna-se necessária a otimização dos custos de produção, e o cafeicultor necessita aumentar a sua produtividade, demandando tecnologias em máquinas, insumos e irrigação. Há atualmente, no mercado brasileiro, uma boa disponibilidade de equipamentos de irrigação que podem atender adequadamente a cultura do café nos aspectos técnicos. No entanto, não se pode esquecer dos fatores relacionados ao valor de investimento em equipamento de irrigação e ao período de pagamento destes, bem como à comparação econômica entre diferentes equipamentos.

A agricultura irrigada exige alto investimento em obras e aquisição de equipamentos para captação, condução, controle e distribuição da água, além

de gastos com energia e mão-de-obra para operação e manejo do sistema, que representam importantes custos adicionais à produção. Diante disso, existe a necessidade de identificar os custos relacionados ao sistema de irrigação adotado e os reais benefícios que poderão ser alcançados.

Dentre os diferentes sistemas de irrigação que podem ser utilizados para irrigar o cafeeiro, cada um deles apresenta características específicas de aplicação de água, necessidade de mão-de-obra, energia, custos etc., podendo ser adequado às mais diferentes situações. A opção por um determinado sistema vai depender, então, da análise de cada um desses fatores para as condições específicas da lavoura cafeeira a ser irrigada, e na literatura nacional sobre irrigação são poucas as informações disponíveis acerca de aspectos econômicos da irrigação.

O principal objetivo deste trabalho foi comparar os custos e a viabilidade econômica para diferentes sistemas de irrigação empregados na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Revisão geral

No processo de produção agrícola irrigada, é necessário distinguir agricultura irrigada de irrigação. Os custos associados à primeira dizem respeito à produção agrícola obtida com uso da irrigação, abrangendo todos os elementos necessários à produção agrícola, inclusive a água suprida por irrigação. Já os custos pertinentes à irrigação decorrem apenas dos fatores e insumos utilizados para suprir a água a ser, por sua vez, utilizada na produção agrícola. No caso da irrigação, portanto, tem-se tipicamente um problema de cálculo de custos de um insumo - água - a ser empregado na produção de outros bens (MELO, 1993).

Segundo esse mesmo autor, um sistema de irrigação consiste de diversos componentes, que variam com as exigências e condições existentes em cada propriedade para a qual foram projetados. Os custos são influenciados pelo tamanho e tipo de componentes exigidos, que por sua vez são função do tamanho da área a irrigar, da sua localização em relação à fonte de água, da própria fonte de água, do tipo de solo e de outros fatores físicos e econômicos.

De acordo com BRITO e SCALOPPI (1986), ao analisar os custos de sistemas de irrigação, deve-se ter em mente os vários sistemas utilizados e, em cada sistema, a variabilidade operacional existente no País.

O custo da água para irrigação pode variar muito, dependendo da fonte de água disponível. O simples desvio a partir de um curso d'água pode ser a maneira mais barata, porém a necessidade de represamento implica aumento no custo. A irrigação com água de poços, em que a água do subsolo é disponível, é mais cara. Ela envolve os gastos iniciais para construção do poço e instalação de um conjunto motobomba e, em alguns casos, a construção de uma linha de energia para a alimentação do motor (CLARK, 1970).

2.2.Custos de irrigação

De acordo com THOMPSON et al. (1983), os custos anuais de irrigação devem incluir todos os custos associados com a compra do equipamento, operação e manutenção do sistema de irrigação. Adicionalmente ao custo do sistema de irrigação, devem ser acrescentados outros custos associados com a produção da cultura irrigada. Desse modo, o custo anual de um empreendimento de irrigação pode ser determinado a partir da seguinte lista de itens de custos:

- 1 - Custo da água, o qual pode incluir os custos de obtenção dos direitos e permissão de uso de água, ou a tarifa anual de distribuição de água de um distrito de irrigação.
- 2 - Custo fixo anual de compra ou aluguel do sistema de irrigação, que vai incluir o custo da depreciação do investimento em todas as oportunidades e em todos os interesses do investimento.
- 3 - Custo em energia para a operação do sistema.
- 4 - Custo para reparo, operação e manutenção do sistema, incluindo a mão-de-obra.
- 5 - Taxas e seguros.
- 6 - Outros custos com a cultura irrigada e custos de produção da empresa agrícola.

A depreciação dos componentes de um sistema de irrigação é baseada em uma esperada vida útil do elemento. A variabilidade da vida útil esperada de um componente pode ocorrer em razão das diferenças de condições físicas de operação, do nível de reparo, operação e manutenção praticada e do número total de horas em que o sistema é usado em cada ano (THOMPSON et

al., 1983). De acordo com FRANCISCO (1981), vários são os métodos utilizados para o cálculo da depreciação, e os principais são: (a) método linear, (b) método da taxa constante; (c) método da taxa variável; (d) método da Cole; (e) método da capitalização; e (f) método das anuidades. A escolha de um ou outro método depende do bem que se está depreciando, além de outros fatores.

Dentre os custos de operação de um sistema de irrigação, um dos componentes principais é aquele devido ao consumo de energia. Porém, segundo SCALOPPI (1985), tem sido extensivamente reconhecido que não existe sistema de irrigação ideal, em relação à utilização de energia. A quantidade total de energia requerida por unidade de área irrigada depende da quantidade de água aplicada, da energia para fornecer a quantidade de água requerida na área a ser irrigada (perdas de carga + altura geométrica), da energia hidráulica requerida pelo sistema de irrigação (pressão de serviço + energia para locomoção) e da eficiência total do sistema de bombeamento.

Basicamente, o consumo de energia que entra diretamente nos custos de operação de um sistema de irrigação é devido à energia para a condução da água à área a ser irrigada, à energia para adequação da qualidade da água e à energia para a distribuição da água na área de irrigação.

Quanto à fonte de energia para irrigação, em geral, os trabalhos mostram maior custo para sistemas com motores diesel, em relação a motores elétricos (BRITO e SCALOPPI, 1986; MELO, 1993). FRIZZONE et al. (1994), estudando o emprego de eletricidade e diesel em sistemas de irrigação por pivô central, observaram que o sistema com motor diesel apresentou custo energético sempre maior do que aquele que utiliza energia elétrica e que essa diferença de valores cresce com o aumento da lâmina de água aplicada e, conseqüentemente, com o número de horas de irrigação.

Os custos anuais com manutenção e reparos correspondem aos gastos para manter o sistema de irrigação em condições adequadas de uso. Estes custos são muito variáveis, por causa das condições locais de uso, sendo de difícil estimativa. Em razão disso, é usual estimá-los como um percentual do investimento inicial no equipamento de irrigação (THOMPSON et al., 1983; KELLER e BLIESNER, 1990).

O requerimento de mão-de-obra e o conseqüente custo com esta para a irrigação são influenciados, segundo esses últimos autores, pelas características e pelo grau de automação do sistema usado, pela cultura irrigada, pela quantidade de água aplicada por irrigação e pelo número de irrigações realizadas.

2.3. Avaliação da viabilidade econômica

A avaliação da viabilidade econômica de um sistema de irrigação requer a estimativa de todos os custos e benefícios (retornos) esperados do desenvolvimento daquele empreendimento. Este estudo econômico poderá incluir comparação de custos e benefícios para as alternativas viáveis de sistemas de irrigação e de cultivo e ser parte de um relatório de viabilidade para uma fazenda ou um projeto em desenvolvimento. Os resultados do estudo de viabilidade econômica vão trazer ao fazendeiro as informações necessárias referentes aos procedimentos no desenvolvimento da irrigação, como a seleção do sistema de irrigação e de cultivo (THOMPSON et al., 1983).

A determinação da viabilidade ou do mérito de um projeto é o ponto culminante de todas as tarefas anteriores à sua execução. A sua finalidade é determinar se um projeto, cuja consistência já foi comprovada, deve ser executado. A viabilidade de um projeto é função de uma análise em que se determinam relações entre os benefícios gerados e os custos imputados e as oportunidades alternativas de obter melhores resultados com estes mesmos custos em outros projetos (BUARQUE, 1991).

A avaliação de um projeto de irrigação, do ponto de vista privado, tem a conotação em termos de produção ou produtividade, em que o desempenho é medido pela eficiência com que os insumos utilizados são transformados em produto e este produto convertido em receita, a qual irá gerar uma margem desejável de lucro. Por outro lado, um projeto público tem forte componente social, em que o bem-estar do público-meta tem caráter essencial e constitui meta prioritária (BRITO, 1986).

O mérito, ou a rentabilidade privada, de um projeto pode ser medido por diferentes formas, como: a rentabilidade simples, o tempo de retorno do capital,

a taxa interna de retorno e o valor atual líquido. A taxa interna de retorno (TIR) e o valor atual líquido (VAL), ou também denominado valor presente líquido (VPL), ambos baseados no conceito de atualização, são considerados, modernamente, os dois melhores instrumentos para determinar o mérito privado do projeto. Como regra geral, quando se trata do estudo de alternativas entre investimentos de valores aproximados, é conveniente tomar a taxa de retorno como o indicador principal do mérito privado do projeto (BUARQUE, 1991).

A característica essencial do critério do valor atual líquido (VAL) é que os benefícios e os custos são referenciados ao presente. A subtração destes fornecerá o valor presente dos benefícios líquidos. O valor atual líquido de um projeto é definido pela seguinte expressão (FRIZZONE e SILVEIRA, 1996):

$$VAL = \sum_{t=0}^n \frac{L_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

em que

L_t - valor do fluxo líquido do projeto;

n - horizonte do projeto, anos;

t - tempo, ano; e

i - taxa anual de desconto.

A taxa interna de retorno (TIR) é a taxa (i) que anula o saldo de valores atuais do fluxo de caixa, ou seja (FRANCISCO, 1981):

$$TIR = i, \text{ tal que } \sum_{t=0}^n \frac{L_t}{(1+i)^t} = 0 \quad (2)$$

Numa análise de investimentos, a escolha recai na alternativa de maior taxa de retorno. Uma alternativa é vantajosa se a taxa de retorno é maior que a taxa mínima de atratividade, ou seja, a taxa mínima de juros que convém ao investidor quando opta por determinado projeto de investimento (FRANCISCO, 1981).

Na avaliação do projeto, a taxa interna de retorno deve ser comparada com o custo financeiro do País, ou seja, com o custo de oportunidade do capital (COC). O custo de oportunidade do capital pode ser definido como a maior rentabilidade que poderá ter o capital, caso não seja investido no projeto

em questão, ou, em outras palavras, a melhor rentabilidade de investimento do capital requerido pelo projeto, fora do próprio projeto. A impossibilidade de determinar exatamente qual é a melhor alternativa de investimento e a sua rentabilidade obriga a considerar o custo de oportunidade do capital como equivalente à taxa de juros vigente no País, ajustada aos custos de administração e supervisão específicas do empréstimo (BUARQUE, 1991).

A taxa interna financeira de retorno (TIRF) é a TIR que um projeto apresenta do ponto de vista do empresário. Segundo BUARQUE (1991), para esse cálculo toma-se, em geral, a precaução de não incluir os gastos não-efetivos ou imputados por conceitos de remuneração do capital, como juros, amortização e depreciação, devido, dentre outros, às seguintes razões: (a) se os custos financeiros fossem incluídos para fins da determinação da TIR (financeira ou econômica), um projeto apresentaria diferentes taxas, conforme fosse a estrutura de seu financiamento; e (b) no que se refere à depreciação, para fins de cálculo da TIRF, ela não é considerada um gasto, uma vez que o próprio conceito de desconto já envolve todos os aspectos de recuperação do capital; apenas, em vez de tomá-los como o correspondente financeiro à deterioração física do equipamento, toma-se como o custo de oportunidade do capital. Além disso, a depreciação não representa um custo efetivo, e por isso sua exclusão do fluxo é justificada.

No caso de financiamento, é necessário considerar que este deve ser obtido a taxas de juros inferiores à taxa de retorno calculada. Neste caso, a diferença entre a taxa de juros e a taxa de retorno será uma rentabilidade adicional, gerada pela empresa, sobre o capital que lhe foi emprestado.

Com essas considerações, pode-se ver que o cálculo da taxa interna financeira de retorno consiste em: a) estruturar os fluxos de fundos do projeto, tomando como base os custos e as receitas da empresa e eliminando destes os gastos por conceito de pagamentos financeiros ou de depreciação, incluindo o valor residual no último ano de vida útil do projeto; e b) fazer com que a taxa interna de retorno calculada com base nesses fluxos, para toda a vida útil estimada do projeto, corresponda à taxa interna financeira de retorno.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho, determinou-se o custo de irrigação do cafeeiro, para as regiões do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais, para lavouras irrigadas por aspersão pelos sistemas de pivô central e autopropelido e por sistemas localizados do tipo gotejamento e tubo flexível de polietileno perfurado, sendo todos os sistemas acionados por energia elétrica.

Dentro destas regiões, foram escolhidas três localidades com diferentes necessidades de irrigação suplementar para o cafeeiro; e para cada sistema de irrigação foram analisados diferentes tamanhos de áreas irrigadas, tendo-se escolhido uma forma quadrada para elas com a finalidade de se poder comparar os sistemas.

3.1. Características básicas de projeto adotadas

Na determinação da demanda de irrigação do cafeeiro, foram estimadas as necessidades líquidas de irrigação suplementar, para o ano do plantio, primeiro ano, segundo ano e a partir do terceiro, por meio de simulações realizadas com o auxílio do programa computacional SISDA V. 2.0 (Sistema de Suporte à Decisão Agrícola) para diversas cidades, localizadas na região em estudo, que possuíssem séries suficientes de dados meteorológicos. Dentre estas cidades, foram então selecionadas as três que apresentaram condições de menor, média e maior demanda de irrigação suplementar entre as

analisadas, sendo elas Araxá, Paracatu e João Pinheiro, respectivamente.

Para as três cidades selecionadas, determinaram-se a capacidade requerida pelo sistema e o consumo mensal e anual de energia elétrica para irrigação a partir dos valores de demanda máxima de irrigação e lâminas mensais de irrigação.

Nas simulações, foram consideradas as características físico-hídricas médias dos solos, determinadas no estudo de avaliação de irrigação realizado na região em estudo e apresentadas no capítulo anterior deste trabalho, bem como os valores de coeficiente de cultura (K_c) citados na literatura (DOORENBOS e PRUITT, 1977; GUTIÉRREZ e MEINZER, 1994) e as variáveis em função da idade da cultura e do sistema de irrigação. Para os sistemas de irrigação por aspersão, adotou-se um fator de disponibilidade de água no solo (f) de 20% para sistemas por pivô central, por este sistema apresentar facilidade para a aplicação mais freqüente das lâminas de irrigação, e de 40% para autopropelido. Já para os sistemas de irrigação localizada, adotou-se um turno de rega fixo de três dias, para gotejamento, e de sete dias, para tubo perfurado. Os resultados referentes às simulações estão apresentados no Apêndice B.

Para caracterizar as áreas irrigadas pelos diferentes sistemas, foram consideradas áreas de 25, 50, 75, 100 e 125 ha de formas circulares para pivô central e quadradas para os outros sistemas com declividade de 1%. A captação de água foi feita de rio ou córrego, com altura geométrica até o início das áreas de 30 metros e com linhas de recalque até a entrada da área irrigada de 300 m.

3.2. Determinação de custos de irrigação do cafeeiro

O custo total de irrigação (CT) foi expresso pela soma dos custos fixos (CF) e dos custos variáveis (CV), ou seja:

$$CT = CF + CV \quad (3)$$

Os custos fixos com irrigação envolvem os gastos com a compra e instalação dos equipamentos de irrigação; e os custos variáveis envolvem os custos com energia, mão-de-obra, lubrificantes, manutenção e reparos, bem

como máquinas e equipamentos auxiliares.

No presente trabalho, foi considerada a média dos preços praticados na região. Os preços considerados foram os vigentes em julho de 1998, obtidos de fabricantes e revendedores de equipamentos de irrigação, bem como da concessionária de energia elétrica e das firmas prestadoras de serviços. No Quadro 1 são apresentados os custos médios de investimento nos sistemas de irrigação, não estando incluídos obras civis e rede elétrica de alta tensão.

Quadro 1 - Custo inicial médio de implantação, por hectare, dos sistemas de irrigação, segundo o tamanho da área, valores em reais (R\$)

Sistema	Tamanho da área (ha)				
	25	50	75	100	125
Pivô central	2.025,34	1.514,94	1.278,30	1.133,17	1.032,05
Autopropelido	1.636,25	1.412,44	1.296,00	1.219,25	1.162,86
Gotejamento	2.600,00	2.440,00	2.340,00	2.240,00	2.175,00
Tubo Perfurado	1.200,00	1.100,00	1.000,00	900,00	800,00

3.2.1.Custos fixos

A determinação do custo fixo foi feita para cada sistema de irrigação, considerando-se a vida média dos sistemas. Para o seu cálculo, foi adotado o método das anuidades empregado por BRITO e SCALOPPI (1986) e MELO (1993), no qual os valores anuais de reposição do investimento, calculados em função da vida útil e da taxa de juros, incorporam depreciação e remuneração do capital investido, tendo a seguinte expressão geral (FRANCISCO, 1981):

$$T = [C (1 + i)^n - R] Fc \quad (4)$$

em que

$$Fc = Fa - i, \quad e \quad (5)$$

$$Fa = i (1 + i)^n [(1 + i)^n - 1]^{-1} \quad (6)$$

em que

T – quota anual de depreciação, R\$;

C – valor do investimento, R\$;

i – taxa anual de juros, decimal;

n – vida útil, anos;

R – valor residual, R\$;

Fc – fator de capitalização; e

Fa – fator de recuperação do capital.

A taxa anual de juros adotada foi de 8%, sendo um valor médio adotado para financiamentos privados do setor agrícola. Foi considerado um valor residual de 10% do valor inicial dos equipamentos dos sistemas de irrigação.

Para a vida útil, foram adotados valores encontrados na literatura (KELLER e BLIESNER, 1990; TARJUELO MARTÍN-BENITO, 1986; FRIZZONE e SILVEIRA, 1996), sendo 15 anos para pivô central e 10 anos para autopropelido, gotejamento e tubo perfurado.

3.2.2.Custos variáveis

No cálculo dos custos variáveis da irrigação, estão envolvidos os custos de manutenção e reparos, mão-de-obra e energia elétrica.

3.2.2.1.Manutenção e reparos

Os custos com manutenção e reparos dos sistemas de irrigação foram estimados como um percentual do investimento inicial em equipamento de irrigação, considerando uma média anual de funcionamento em torno de 2.000 horas, conforme sugerido na literatura (THOMPSON et al., 1983; KELLER e BLIESNER, 1990), ou seja: 5% ao ano para sistemas por pivô central, 3% para gotejamento e 6% para autopropelido e tubo perfurado.

3.2.2.2. Energia elétrica

Parâmetros de irrigação:

Eficiência de irrigação

Tendo-se em conta os ensaios de avaliação de irrigação realizados na região em estudo, apresentados no capítulo 2 deste trabalho, e as características dos sistemas envolvidos neste estudo, determinou-se a eficiência de irrigação para uma área adequadamente irrigada de 80%, para todos os sistemas de irrigação. Os valores de eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada (E_{ad}) foram determinados pela metodologia apresentada por KELLER e BLIESNER (1990), considerando-se um coeficiente de uniformidade de Christiansen de 90% para pivô central, 95% para gotejamento e 80% para autopropelido e tubo perfurado.

Vazão do sistema

As vazões dos sistemas foram determinadas considerando-se as máximas de demanda de irrigação diárias do cultivo, a área irrigada, a eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada e o tempo diário de funcionamento dos equipamentos, sendo considerado de 20 horas diárias para o período de máxima demanda.

Altura manométrica total na bomba

Para a determinação da altura manométrica necessária na bomba, considerou-se que:

- A estação de bombeamento está localizada a 300 m a partir do ponto médio de um dos lados dos quadrados, para os sistemas por autopropelido, gotejamento e tubo perfurado, ou da circunferência externa do pivô central.

- As tubulações de alimentação para os sistemas por pivô central, gotejamento e tubo perfurado são de PVC, e as do autopropelido, de aço galvanizado.

- As velocidades médias nestas tubulações são próximas a $1,5 \text{ m s}^{-1}$, que correspondem normalmente às velocidades mais econômicas.

- As perdas de carga localizadas foram estimadas em 10% das contínuas.

- A pressão requerida no ponto do pivô foi de 350 kPa, considerando-se sistemas de pivô central de baixa pressão.

- O sistema tipo autopropelido foi equipado com canhão hidráulico com pressão de operação do 500 kPa e perda de carga na mangueira e turbina de 150 kPa, segundo valores médios apresentados por TARJUELO MARTÍN-BENITO (1995).

- Sistemas por tubo perfurado e gotejamento tiveram pressão média de operação de 100 kPa, perdas de carga de 100 kPa na válvula reguladora de pressão, 50 kPa no filtro de tela e, apenas para gotejamento, 50 kPa no filtro de areia.

A partir destas considerações, a altura manométrica da bomba foi estimada para cada sistema, somando-se a pressão requerida mais as perdas de carga ocorridas nas tubulações, nos dispositivos de locomoção, nos reguladores de pressão e filtragem e a altura geométrica até o centro da área.

Potência requerida pela bomba

A potência requerida pela bomba foi calculada pela seguinte expressão:

$$P_{\text{bomba}} = (\gamma Q H_m) / (75 \eta_b) \quad (7)$$

em que

P_{bomba} - potência requerida pela bomba, cv;

γ - peso específico da água, kgf m^{-3} ($\gamma = 1.000 \text{ kgf m}^{-3}$, água à temperatura ambiente);

Q - vazão, $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$;

H_m - altura manométrica, mca; e

η_b - rendimento da bomba, decimal (neste trabalho adotou-se $\eta_b = 65\%$).

A potência absorvida pelo motor elétrico foi determinada pela seguinte expressão:

$$P_{\text{abs}} = 0,736 P_{\text{bomba}} / \eta_m \quad (8)$$

em que

P_{abs} - potência absorvida pelo motor, kW; e

η_m - rendimento do motor, decimal (neste trabalho adotou-se $\eta_m = 90\%$).

Custo com energia elétrica:

- Custo do consumo:

O custo do consumo de energia elétrica pelo conjunto motobomba foi calculado por

$$C_C = P_{abs} Nt Tf \quad (9)$$

em que

C_C - custo do consumo de energia elétrica, R\$;

P_{abs} - potência absorvida pelo motor, kW;

Nt - número total de horas de funcionamento da bomba, horas; e

Tf - tarifa de energia elétrica, R\$ kWh⁻¹.

Para os sistema por pivô central, além do consumo de energia pelo conjunto motobomba, existe o consumo adicional de energia requerido pelo sistema de locomoção do equipamento. Para este sistema, foi considerado um espaçamento médio entre torres de 38 metros, com cada torre possuindo um motor elétrico com potência de $\frac{3}{4}$ cv. Segundo TARJUELO MARTÍN-BENITO (1986), com base em trabalhos realizados por L. E. Stetson e S. O. Nelson, a demanda média de potência para o sistema de locomoção dos sistemas por pivô central é de 1 kva por cv instalado, e a potência ativa ou absorvida a ser considerada é em torno de 0,4 kW por cv instalado, considerando-se um fator de potência médio de 0,4.

-Custo da demanda de potência:

A utilização de energia elétrica é também avaliada pela demanda de potência, em kW, nas instalações com transformadores acima de 75 kVA. A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), para efeito de faturamento mensal sobre a demanda de potência, considera o maior valor dentre os seguintes: a) demanda registrada nos medidores, integralizada no intervalo de 15 minutos, durante o período de fornecimento; e b) dez por cento da maior demanda verificada em qualquer dos 11 meses imediatamente anteriores ao do faturamento.

Um procedimento para o cálculo da demanda de potência registrada nos medidores da concessionária é apresentado por Mamede Filho (1986), citado por MELO (1993), e consiste no emprego das seguintes equações:

$$P_{at} = 3^{1/2} T I_p \cos \phi_p \quad (10)$$

em que

P_{at} - potência ativa desenvolvida na partida do motor, kW;

T - tensão do motor, volts;

I_p - corrente de partida do motor, em Amperes (tabelado); e

ϕ_p - fator de potência durante a partida do motor (valor típico = 0,4).

Para um tempo de acionamento t , o consumo de energia pelo motor pode ser estimado por

$$P_{cp} = P_{at} (t \ 3600^{-1}) \quad (11)$$

em que

P_{cp} - energia consumida durante a partida, em kwh; e

t - tempo de partida, s.

Após cessadas as condições de partida, o consumo de energia pelo motor pode ser calculado por

$$P_{ca} = 0,736 P_m (0,25 - t \ 3600^{-1}) \quad (12)$$

em que

P_{ca} - energia consumida pelo motor, após o intervalo de partida, kWh; e

P_m - potência nominal do motor, cv.

O consumo total no intervalo de 15 minutos é dado por

$$P_{tc} = P_{cp} + P_{ca} \quad (13)$$

em que P_{tc} é a potência total consumida, em kWh, no período de integração de 15 minutos.

A demanda de potência, enfim, é expressa por

$$D = P_{tc} \ 0,25^{-1} \quad (14)$$

em que D é a potência integralizada, em kw, no intervalo de 15 minutos.

O custo de demanda de potência é, então, calculado como

$$CDP = D \ TDA \quad (15)$$

em que

CDP - custo da demanda de potência elétrica, R\$;

D - demanda de potência elétrica, kW; e
TDA - tarifa de demanda de energia ativa, R\$ kW⁻¹.

Cabe mencionar que, empregando tais equações, Mamede Filho (1986), citado por MELO (1993), demonstrou que a partida dos motores elétricos praticamente não afeta o valor da demanda registrada nos medidores da concessionária, pois esta é integralizada durante um período de 15 minutos, tempo excessivamente longo quando comparado com o da partida dos motores.

FRIZZONE et al. (1994), por sua vez, estimaram o custo da demanda de potência elétrica em função da potência instalada e da tarifa de demanda, da seguinte forma:

$$CDP = POT_{ins} TDA \quad (16)$$

em que

CDP - custo da demanda de potência elétrica, R\$;
POT_{ins} - potência instalada, kW; e
TDA - tarifa de demanda de energia ativa, R\$ kW⁻¹.

Em função do exposto anteriormente no presente trabalho, o valor do custo de demanda de potência elétrica foi estimado pela seguinte expressão:

$$CDP = P_{abs} TDA \quad (17)$$

em que

CDP - custo da demanda de potência elétrica, R\$;
P_{abs} - potência absorvida pelo motor, kW; e
TDA - tarifa de demanda de energia ativa, R\$ kW⁻¹.

Para os meses do ano em que não existe consumo, foi considerado um custo por demanda de potência de 10% do valor da demanda de potência calculada para os meses em que há consumo, seguindo procedimento empregado pela CEMIG.

-Custo da demanda e energia reativa:

Além dos custos com o consumo energético e a demanda, o usuário deverá incluir aquele referente ao fator de potência. Caso o valor do fator de

potência ($\cos \phi$) da instalação esteja abaixo do permitido pela companhia fornecedora, haverá uma taxa adicional.

O fator de potência (FP) de uma instalação consumidora é obtido por medição das energias ativa e reativa consumidas e é definido como o cosseno do ângulo, cuja tangente é o quociente da energia reativa indutiva ou capacitiva (kVArh) pela energia ativa (kWh), ambas verificadas por posto horário em unidades faturadas na estrutura horo-sazonal, ou durante o período de faturamento para as unidades faturadas na tarifa convencional, ou seja:

$$FP = \cos \left(\arctan \frac{\text{kVAr h}}{\text{kWh}} \right) \quad (18)$$

Estão apresentados a seguir os procedimentos de cálculo da demanda e energia reativa empregados pela COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG, 1997):

1- Faturamento da demanda e energia reativa

O faturamento correspondente à energia e demanda de potência reativas, verificado por medição apropriada, que excederem às quantidades permitidas pelo fator de potência de referência (f_r), será calculado da seguinte forma:

$$a) FER_p = \sum_{t=1}^n \left[CA_t \left(\frac{f_t}{f_r} - 1 \right) \right] TCA_p \quad (19)$$

$$b) FDR_p = \left[\max_{t=1}^n \left(DA_t - \frac{f_t}{f_r} \right) - DF_p \right] TDA_p \quad (20)$$

em que

FER_p - faturamento, por posto horário “p”, correspondente à energia reativa excedente à quantidade permitida pelo limite do fator de potência de referência “ f_r ”, no período de faturamento;

CA_t - fornecimento de energia, verificado por medição apropriada em cada intervalo de uma hora “t”, durante o período de faturamento;

f_r - fator de potência de referência igual a 0,92;

f_t - fator de potência da unidade consumidora, calculado em cada intervalo “t” de uma hora, durante o período de faturamento, observadas as

definições dispostas nos itens I e II descritos a seguir;

TCA_p - tarifa de energia ativa, aplicável ao fornecimento em cada posto horário “p”;

FDR_p - faturamento, por posto horário “p”, correspondente à demanda de potência reativa excedente à quantidade permitida pelo limite do fator de potência de referência “ f_r ”, no período de faturamento;

DA_t - fornecimento de demanda de potência ativa, verificada por medição apropriada em cada intervalo de uma hora “t”, durante o período de faturamento;

DF_p - demanda de potência ativa faturável em cada posto horário “p”, no período de faturamento;

TDA_p - tarifa de demanda de potência ativa, aplicável ao fornecimento em cada posto horário “p”;

$MAX_{t=1}^n$ - função que identifica o valor máximo da expressão dentro dos parênteses correspondentes, em cada posto horário “p”;

t - indica cada intervalo de uma hora, no período de faturamento;

p - indica o posto horário, ponta ou fora de ponta, para as tarifas horosazonais ou período de faturamento, para a tarifa convencional; e

n - número de intervalos de integralização “t”, por posto horário “p”, no período de faturamento.

Nas expressões FER_p e FDR_p , serão considerados:

I - Durante o período compreendido entre 0 e 6 horas, apenas os fatores de potência “ f_t ” inferiores a 0,92 capacitivo, definidos como o cosseno do arco tangente do quociente da energia reativa capacitiva, medida em cada intervalo de uma hora “t” pela energia CA_t correspondente.

II - Durante o período compreendido entre 6 e 24 horas, apenas os fatores de potência “ f_t ” inferiores a 0,92 indutivo, definidos como o cosseno do arco tangente do quociente da energia reativa indutiva, medida em cada intervalo de uma hora “t” pela energia CA_t correspondente.

Para as unidades consumidoras faturadas na estrutura tarifária convencional, enquanto não forem instalados equipamentos de medição que permitam a aplicação das expressões previstas anteriormente, o concessionário poderá realizar o faturamento de energia e demanda de potência reativas excedentes através das seguintes expressões:

$$a) FER = CA \left(\frac{f_r}{f_m} - 1 \right) TCA \quad (21)$$

$$b) FDR = \left(DM \frac{f_r}{f_m} - DF \right) TDA \quad (22)$$

em que

FER - faturamento total correspondente à energia reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência “f_r”, no período de faturamento;

CA - fornecimento de energia ativa, verificada por medição apropriada, durante o período de faturamento;

f_r - fator de potência de referência igual a 0,92;

f_m - fator de potência indutivo médio das instalações elétricas da unidade consumidora, calculado para o período de faturamento, definido como o cosseno do arco tangente do quociente da energia reativa indutiva no período de faturamento, pela energia ativa CA;

TCA - tarifa de energia ativa, aplicável ao fornecimento;

FDR - faturamento total correspondente à demanda de potência reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência “f_r”, no período de faturamento;

DM - máxima demanda de potência ativa, verificada por medição apropriada, em intervalo de integralização de 15 minutos, durante o período de faturamento;

DF - demanda de potência ativa faturável, no período de faturamento; e

TDA - tarifa de demanda de potência ativa aplicável ao fornecimento.

Para fins de faturamento da energia e demanda de potência reativas excedentes FER_p, FDR_p, FER e FDR, serão considerados somente valores ou parcelas positivos.

Segundo informações obtidas na CEMIG, são tarifados, atualmente, pela demanda e energia reativa apenas os consumidores com instalações com transformadores acima de 75 kVA.

O custo da demanda e energia reativa foi estimado utilizando as equações 19 e 20 e adotando-se um valor médio para o fator de potência

indutivo $f_m = 0,87$, de acordo com os valores médios típicos de fator de potência indutivos para motores elétricos com potência nominal acima de 30 cv, utilizados em estações de bombeamento para irrigação, apresentados em LEOPOLDO (1987).

As tarifas de energia elétrica praticadas pela CEMIG, em julho de 1998, conforme resolução N^o. 113 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de 15/04/98, são apresentadas a seguir:

1 - Tarifa B2-Rural (transformadores até 75kVA):

Consumo: R\$77,85 MWh⁻¹

Descontos concedidos para irrigação no horário das 23 às 5 horas:

-Vale do Jequitinhonha e Polígono das Secas: 73%

-Demais regiões de Minas Gerais: 67%

2 - Tarifa Horo-Sazonal Verde (transformadores acima de 75kVA):

Demanda: R\$4,12 kW⁻¹

Consumo na Ponta Seca: R\$366,59 MWh⁻¹

Consumo na Ponta Úmida: R\$360,58 MWh⁻¹

Consumo fora de Ponta Seca: R\$38,52 MWh⁻¹

Consumo fora de Ponta úmida: R\$34, MWh⁻¹

Descontos concedidos para o horário das 23 às 5 horas:

-Vale do Jequitinhonha e Polígono das Secas: 90%

-Demais regiões de Minas Gerais: 80%

Obs.: o período seco do ano, para efeitos da tarifa horo-sazonal (ponta seca), compreende os meses de abril a outubro.

3.2.2.3. Mão-de-obra

O preço da mão-de-obra adotado nos cálculos de custo foi de R\$1,54 por hora-homem trabalhada. Este valor foi calculado com base em um salário mensal correspondente a dois salários mínimos, valor médio praticado na região para esta categoria de trabalhador, mais os encargos trabalhistas.

Pivô Central

A necessidade média com mão-de-obra para sistemas do tipo pivô central foi estabelecida como sendo de 0,15 h ha⁻¹ por irrigação, segundo

TARJUELO MARTÍN-BENITO (1986), compreendendo o tempo necessário para acionar o sistema (equipamento de irrigação e motobomba) e a verificação das condições normais de funcionamento, para o período em que o sistema é utilizado.

Autopropelido

O custo com mão-de-obra para sistemas do tipo autopropelido foi estimado em função do tamanho da área irrigada, compreendendo o tempo necessário para acionar e desligar o conjunto motobomba, a remoção da unidade móvel entre faixas e o acompanhamento da irrigação, para os meses do ano nos quais o sistema é utilizado. Neste sistema, a mudança da unidade móvel entre carregadores, na área de irrigação, é feita com auxílio de trator. O tempo exigido para essa operação depende do porte do equipamento de irrigação, do comprimento da mangueira que o integra e da distância entre carregadores, sendo de 30 a 45 minutos por mudança, conforme observado por Melo (1993) e também em campo, nas avaliações de irrigação descritas no capítulo 2 deste trabalho. Devido ao fato de o trator ser utilizado, comumente, em outras atividades na fazenda, no intervalo entre mudanças, neste trabalho este custo foi computado a partir do preço normal de horas de trator de porte médio praticado na região, que foi de R\$ 11,00; e o tempo médio de mudança foi considerado de 30 minutos. Para o cálculo do número de mudanças por ano foram considerados faixas com tamanho médio de 4 ha e o conjunto de unidade móvel com canhão de vazão máxima de $115 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. Dessa forma, os sistemas com vazão total superiores a este valor eram então constituídos por mais de um conjunto de unidade móvel com canhão.

Gotejamento

O custo com mão-de-obra para sistemas de gotejamento foi calculado em função das atividades requeridas para o funcionamento do sistema, compreendendo o tempo necessário para acionar o conjunto motobomba e a verificação das condições normais de funcionamento, como retirada de ar das linhas laterais e desentupimento de gotejadores, para o período em que o sistema é utilizado. Considerou-se a demanda média de um homem para cada 50 ha irrigado, conforme observações de campo e SANTINATO et al. (1997).

Tubo perfurado

Para sistemas de tubo perfurado, o custo com mão-de-obra foi calculado em função das atividades requeridas para o funcionamento do sistema, compreendendo o tempo necessário para acionar o conjunto, a mudança de mangueiras entre posições de trabalho e o acompanhamento da irrigação, para o período em que o sistema é utilizado. A necessidade média com mão-de-obra foi estabelecida, conforme observações de campo, como sendo de 5,8 h ha⁻¹ por irrigação.

3.3. Determinação da viabilidade (mérito ou rentabilidade) financeira da cafeicultura irrigada

A determinação da viabilidade financeira da cafeicultura irrigada foi estimada pelos indicadores do valor atual líquido (VAL), para uma taxa anual de juros de 8%, e da taxa interna de retorno (TIR), ambos com horizonte de 10 anos para os projetos, em razão da vida útil média dos sistemas de irrigação. Para a determinação destes indicadores, foram elaborados os fluxos de caixa anuais, incluindo os custos referentes a implantação e condução da lavoura e aqueles referentes à implantação do sistema de irrigação, assim como os custos com o uso do sistema de irrigação.

Ao estruturar os fluxos de fundos do projeto, tomando como base os custos e as receitas da fazenda, foi eliminado destes, segundo considerações feitas por BUARQUE (1991), os gastos por conceito de pagamentos financeiros ou de depreciação; assim, foi incluído o valor de compra do equipamento de irrigação, como investimento no ano de implantação da lavoura, bem como o valor residual, como resgate no último ano de vida útil do projeto. O valor residual foi considerado de 10%, para sistemas por autopropelido, gotejamento e tubo perfurado, e de 40%, para sistemas por pivô central, pois este sistema teria uma vida útil esperada de 15 anos.

Os custos referentes a implantação e condução da lavoura cafeeira foram baseados na planilha de custos da Cooperativa dos Cafeicultores de São Sebastião do Paraíso, para lavouras com 3.332 plantas por hectare e uma faixa de produtividade de 30 sc ha⁻¹ de café beneficiado, e encontram-se

apresentados a seguir nos Quadros 2, 3, 4 e 5, referentes a implantação e condução no primeiro ano, condução do primeiro ao segundo ano, condução do segundo ao terceiro ano e condução a partir do terceiro ano, respectivamente. Nos Quadros 4 e 5 encontram-se apresentados também os custos para uma produtividade projetada, para uma condição de lavoura adequadamente irrigada, de 60 sc ha⁻¹ de café beneficiado. Este estudo foi elaborado para cafeicultores já estruturados; portanto, não foram levados em consideração a compra de máquinas e implementos, o custo da terra, a construção de benfeitorias e os gastos com abertura de área inicial de cerrado.

Os custos referentes a implantação do sistema de irrigação, assim como os custos anuais com o uso do sistema, foram tomados para as três cidades, para os diferentes tamanhos de áreas e para cada um dos sistemas de irrigação incluídos neste trabalho.

As receitas nos fluxos de caixa foram obtidas pelo produto da produtividade média esperada, em sacas beneficiadas por hectare, pelo preço do produto. Foram consideradas duas produtividades médias anuais, a partir do terceiro ano após o plantio, de 30 sc ha⁻¹ de café beneficiado, valor este médio dos produtores da região visitados para a execução deste trabalho, e 60 sc ha⁻¹, considerando uma produtividade a ser atingida numa condição ótima de manejo. Foi considerada também uma primeira colheita, entre o 2º e o 3º ano após o plantio, alcançando produtividade média igual à metade daquela a ser atingida após o 3º ano. Como preço do produto, foi adotado o valor médio do período de 1992 a 1998 para café do grupo I, tipo 6 fino, de R\$ 153,06 (COFFEE BUSINESS, 1998).

Para a situação projetada de 60 sc ha⁻¹, os custos com a implantação e condução da lavoura cafeeira até o 2º ano após o plantio foram considerados iguais aos apresentados para a faixa de produtividade de 30 sc ha⁻¹. Já os custos referentes a condução da lavoura do 2º ao 3º ano após o plantio e na fase de produção, a partir do 3º ano, foram ajustados para a nova condição, conforme apresentado nos Quadros 4 e 5. A estimativa dos custos com adubação, para uma produtividade de 60 sc ha⁻¹, foi realizada baseando-se nas necessidades dos nutrientes NPK, conforme critério estabelecido pelo Instituto Brasileiro do Café (IBC), na forma apresentada por MALAVOLTA (s.d.), que procura fornecer as quantidades de N, P₂O₅ e K₂O necessárias para atender as

necessidades da vegetação e da carga pendente do cafeeiro. Foram ajustados também os custos com a colheita, proporcionalmente à quantidade colhida.

Quadro 2 - Custo de implantação e condução no 1º ano, em reais por hectare de lavoura de café (3.332 pl ha⁻¹), solo de média fertilidade

Especificação	Un.	Quant.	Valor unitário (R\$)	Total (R\$)
MATERIAIS:				
Calcário dolomítico natural	t	3,00	39,44	118,32
Mudas com 10%	mil	3,60	120,00	432,00
Sulfato de amônia	kg	80,00	0,21	16,80
Superfosf. simples pó	kg	580,00	0,18	104,40
Cloreto de potássio	kg	80,00	0,29	23,20
Sulfato de zinco	kg	0,40	0,54	0,22
Esterco de curral	t	5,00	35,00	175,00
Ethion/similar	L	2,00	12,48	24,96
Formicida mirex	kg	3,00	4,67	14,01
Subtotal				908,91
SERVIÇOS:				
Distr. de calcário	DH	2,00	10,00	20,00
Aração e gradagem	HT	6,00	14,00	84,00
Marcação da lavoura	DH	2,00	10,00	20,00
Sulcamento	HT	2,00	14,00	28,00
Marcação de terraço	DH	2,00	10,00	20,00
Abertura de terraço	Ht	2,00	14,00	28,00
Dist. ad. org. + super simples	HT	2,00	14,00	28,00
Adução química de covas	DH	2,00	10,00	20,00
Acerto e preparo de covas	DH	10,00	10,00	100,00
Plantio e distr. de mudas	DH	16,00	10,00	160,00
Aduções de cobertura (2)	DH	2,00	10,00	20,00
Replante	DH	2,00	10,00	20,00
Capinas manuais (2)	DH	15,00	10,00	150,00
Capinas mecânicas	HT	6,00	14,00	84,00
Tratamento fitossanitário	DH	2,00	10,00	20,00
Transporte de fertilizantes	t	0,74	5,50	4,07
Transporte de mudas	viagem	1,00	40,00	40,00
Transporte interno	HT	1,00	14,00	14,00
Subtotal				860,07
TOTAL				1.768,98

Fonte: COOPARAÍSO.

Quadro 3 - Custos relativos à condução de lavoura cafeeira do 1º ao 2º ano após o plantio, em reais por hectare

Especificação	Un.	Quant.	Valor unitário (R\$)	Total (R\$)
MATERIAIS:				
Mudas replantio	mil	0,30	120,00	36,00
Sulfato de amônia	kg	280,00	0,21	58,80
Cloreto de potássio	kg	80,00	0,29	23,20
Sulfato de zinco	kg	1,00	0,54	0,54
Bórax cristalizado	kg	10,00	0,48	4,80
Ethion/similar	L	0,50	12,48	6,24
Formicida mirex	kg	2,00	4,67	9,34
Subtotal				138,92
SERVIÇOS:				
Manut. Cons. solo	HT	0,50	14,00	7,00
Distr. adubo	HT	2,00	14,00	28,00
Ad. química (4)	DH	4,00	10,00	40,00
Replantio	DH	3,00	10,00	30,00
Cultivo manual (4)	DH	32,00	10,00	320,00
Tratamento fitossanitário	DH	2,00	10,00	20,00
Desbrota	DH	1,00	10,00	10,00
Transporte de fertilizantes	t	0,36	5,50	1,98
Transporte interno	HT	1,00	14,00	14,00
Subtotal				470,98
TOTAL				609,90

Fonte: COOPARAÍSO.

Quadro 4 - Custos relativos à condução de lavoura cafeeira, em reais por hectare, do 2º ao 3º ano após o plantio, para produtividades de 30 e 60 sacas beneficiadas por hectare

Especificação	Un.	Valor unitário (R\$)	30 (sc ha ⁻¹)		60 (sc ha ⁻¹)	
			Quant.	Total (R\$)	Quant.	Total (R\$)
MATERIAIS:						
Calcário dolom. natural	t	39,44	1,00	39,44	1,00	39,44
Bórax cristalizado	kg	0,48	20,00	9,60	20,00	9,60
Sulfato de amônia	kg	0,21	480,00	100,80	480,00	100,80
Super simples pó	kg	0,18	160,00	28,80	160,00	28,80
Cloreto de potássio	kg	0,29	160,00	46,40	160,00	46,40
Sulfato de zinco (3)	kg	0,54	2,50	1,35	2,50	1,35
Esterco de curral	t	35,00	5,00	175,00	5,00	175,00
Oxicloreto de Cobre 50%	kg	4,67	3,00	14,01	3,00	14,01
Ethion/similar	L	12,48	4,00	49,92	4,00	49,92
Formicida mirex	kg	4,67	2,00	9,34	2,00	9,34
Subtotal:				474,66		474,66
SERVIÇOS:						
Manut. Cons. solo	HT	14,00	0,50	7,00	0,50	7,00
Distr. calcário	HT	14,00	2,00	28,00	2,00	28,00
Distr. adubo org. e quím.	DH	10,00	8,00	80,00	8,00	80,00
(4)						
Distr. adubo org. e quím.	HT	14,00	2,50	35,00	2,50	35,00
(4)						
Cultivo manual (4)	DH	10,00	32,00	320,00	32,00	320,00
Capina mecânica	HT	14,00	8,00	112,00	8,00	112,00
Tratamento fitossanitário	DH	10,00	2,00	20,00	2,00	20,00
Tratamento fitossanitário	HT	14,00	4,50	63,00	4,50	63,00
Colheita e secagem	DH	10,00	35,00	350,00	70,00	700,00
Transporte de fertilizantes	t	5,50	0,80	4,40	0,80	4,40
Transporte interno	HT	14,00	2,00	28,00	2,00	28,00
Subtotal				1.047,40		1.397,40
TOTAL				1.522,06		1.872,06

Fonte: Adaptado de COOPARAÍSO.

Quadro 5 - Custos relativos à condução da lavoura cafeeira, em reais por hectare, a partir do início do 3º ano após o plantio, para produtividades de 30 e 60 sacas beneficiadas por hectare

Especificação	Un.	Valor unitário (R\$)	30 (sc ha ⁻¹)		60 (sc ha ⁻¹)	
			Quant.	Total (R\$)	Quant.	Total (R\$)
Fertilizante 20-00-20	kg	0,25	1.500,00	375,00	2.000,00	500,00
Superf. simples	kg	0,18	500,00	90,00	880,00	158,40
Calcário dolomítico	t	39,44	1,50	59,16	1,50	38,46
Esterco de curral	t	35,00	4,00	140,00	4,00	120,00
Sulfato de zinco	kg	0,54	9,60	5,18	9,60	3,94
Ácido bórico	kg	1,00	4,80	4,80	4,80	4,22
Roundup	L	7,55	1,50	11,33	1,50	15,03
Ethion/similar	L	12,48	7,00	87,36	7,00	75,95
Oxicloreto de cobre 50%	kg	4,67	12,00	56,04	12,00	39,12
Sacaria plástica 70x100	un	0,49	90,00	44,10	180,00	88,20
Sacaria nova tipo export.	un	1,83	30,00	54,90	60,00	109,80
Utensílios p/ custeio	verba		2,4 %	22,27	2,40	27,67
Utensílios p/ colheita	verba		3,0 %	27,84	3,00	34,59
Subtotal				977,98		1.215,39
SERVIÇOS:						
Adução de solo	DH	10,00	18,00	180,00	18,00	180,00
Aplic. defensivo/ad. foliar	DH	10,00	6,00	60,00	6,00	60,00
Capina manual	DH	10,00	18,00	180,00	18,00	180,00
Capina mecânica	HT	14,00	2,00	28,00	2,00	28,00
Capina química	HT	14,00	1,00	14,00	1,00	14,00
Desbrota	DH	10,00	3,00	30,00	3,00	30,00
Arruação	DH	10,00	10,00	100,00	10,00	100,00
Aplic. de calcário	DH	10,00	1,40	14,00	1,40	14,00
Transportes	verba		10 %	60,60	10 %	60,60
Colheita	1000 L	42,99	15,00	644,85	30,00	1289,70
Esparramação	DH	10,00	5,00	50,00	5,00	50,00
Secagem	DH	10,00	15,00	150,00	30,00	300,00
Beneficiamento	un	2,50	30,00	75,00	60,00	150,00
Subtotal				1.586,45		2.456,30
TOTAL				2.564,43		3.671,69

Fonte: Adaptado de COOPARAÍSO.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Parâmetros referentes à demanda de irrigação

Nos Quadros 6, 7 e 8 estão apresentados os resumos dos resultados referentes a evapotranspiração da cultura de referência e da cultura do cafeeiro, precipitação efetiva, necessidades líquidas e totais de lâminas anuais de irrigação e número total anual de irrigações para o ano do plantio, do primeiro ao segundo ano, do segundo ao terceiro ano e a partir do terceiro ano após o plantio, para as três cidades selecionadas, ou seja, Araxá, Paracatu e João Pinheiro, e os quatro sistemas de irrigação abrangidos neste trabalho.

Nas simulações realizadas para este estudo, foi considerado um sistema de manejo de irrigação que possibilita a manutenção de um conteúdo adequado de umidade no solo para o crescimento e desenvolvimento do cafeeiro durante todo o ano, ou seja, não foi considerada a suspensão das irrigações durante o período de pré-florada do cafeeiro, que coincidiria com os meses de julho a agosto para a região, como é sugerido por alguns produtores e pesquisadores.

Observa-se que as necessidades líquidas anuais de irrigação suplementar variaram de um mínimo de 124,8 mm para Araxá, com lavoura irrigada por gotejamento no ano do plantio, a um máximo de 890,5 mm para João Pinheiro, com lavoura irrigada por pivô central a partir do 3º ano após o plantio.

Quadro 6 - Resumo da estimativa de irrigação suplementar do cafeeiro, para o ano do plantio, 1º ano, 2º ano e a partir do 3º ano após o plantio, irrigado por autopropelido, pivô central, gotejamento e tubo perfurado, para Araxá-MG: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c), precipitação efetiva (Pefet), irrigação real necessária (IRN), eficiência de irrigação (Ead), irrigação total necessária (ITN) e número anual de irrigações (n)

Sistema	ET _o mm d ⁻¹	ET _c mm d ⁻¹	Pefet mm d ⁻¹	IRN mm	Ead	ITN mm	n
ano do plantio (0 a 12 meses)							
Autopropelido	3,66	1,42	1,77	172,8	0,774	223,4	14
Pivô central	3,66	1,40	1,77	206,8	0,875	236,4	33
Gotejamento	3,66	0,88	1,77	124,8	0,948	131,6	44
Tubo perfurado	3,66	1,30	1,77	171,7	0,791	217,1	26
1º ao 2º ano após o plantio (12 a 24 meses)							
Autopropelido	3,66	1,94	1,77	254,8	0,774	329,3	13
Pivô central	3,66	1,90	1,77	318,0	0,875	363,5	33
Gotejamento	3,66	1,27	1,77	180,0	0,948	189,9	43
Tubo perfurado	3,66	1,80	1,77	249,5	0,791	315,4	26
2º ao 3º ano após o plantio (24 a 36 meses)							
Autopropelido	3,66	2,12	1,77	277,4	0,774	358,6	11
Pivô central	3,66	2,10	1,77	374,1	0,875	427,6	30
Gotejamento	3,66	1,88	1,77	290,8	0,948	306,8	55
Tubo perfurado	3,66	2,20	1,77	330,4	0,791	417,7	34
a partir do 3º ano após o plantio (> 36 meses)							
Autopropelido	3,66	2,56	1,77	401,7	0,774	519,2	14
Pivô central	3,66	2,60	1,77	522,6	0,875	597,3	37
Gotejamento	3,66	2,46	1,77	426,1	0,948	449,5	67
Tubo perfurado	3,66	2,50	1,77	435,5	0,791	550,6	39

Quadro 7 - Resumo da estimativa de irrigação suplementar do cafeeiro, para o ano do plantio, 1º ano, 2º ano e a partir do 3º ano após o plantio, irrigado por autopropelido, pivô central, gotejamento e tubo perfurado, para Paracatu-MG: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c), precipitação efetiva (Pefet), irrigação real necessária (IRN), eficiência de irrigação (Ead), irrigação total necessária (ITN) e número anual de irrigações (n)

Sistema	ET _o mm d ⁻¹	ET _c mm d ⁻¹	Pefet mm d ⁻¹	IRN mm	Ead	ITN mm	n
ano do plantio (0 a 12 meses)							
Autopropelido	3,96	1,41	0,86	269,8	0,774	290,9	22
Pivô central	3,96	1,58	0,86	346,9	0,876	396,1	57
Gotejamento	3,96	0,94	0,86	200,8	0,948	211,8	66
Tubo perfurado	3,96	1,32	0,86	272,0	0,791	343,9	40
1º ao 2º ano após o plantio (12 a 24 meses)							
Autopropelido	3,96	1,94	0,86	435,0	0,774	468,9	23
Pivô central	3,96	2,21	0,86	534,6	0,876	610,4	56
Gotejamento	3,96	1,35	0,86	297,3	0,948	313,6	73
Tubo perfurado	3,96	1,84	0,86	429,4	0,791	542,9	49
2º ao 3º ano após o plantio (24 a 36 meses)							
Autopropelido	3,96	2,10	0,86	470,6	0,774	507,3	19
Pivô central	3,96	2,54	0,86	638,1	0,876	728,6	52
Gotejamento	3,96	1,94	0,86	467,3	0,948	492,9	83
Tubo perfurado	3,96	2,18	0,86	529,9	0,791	669,9	48
a partir do 3º ano após o plantio (> 36 meses)							
Autopropelido	3,96	2,67	0,86	657,1	0,774	708,4	23
Pivô central	3,96	3,13	0,86	828,6	0,876	946,1	59
Gotejamento	3,96	2,62	0,86	681,3	0,948	718,7	84
Tubo perfurado	3,96	2,63	0,86	676,1	0,791	854,7	47

Quadro 8 - Resumo da estimativa de irrigação suplementar do cafeeiro, para o ano do plantio, 1º ano, 2º ano e a partir do 3º ano após o plantio, irrigado por autopropelido, pivô central, gotejamento e tubo perfurado, para João Pinheiro-MG: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c), precipitação efetiva (Pefet), irrigação real necessária (IRN), eficiência de irrigação (Ead), irrigação total necessária (ITN) e número anual de irrigações (n)

Sistema	ET _o mm d ⁻¹	ET _c mm d ⁻¹	Pefet mm d ⁻¹	IRN mm	Ead	ITN mm	n
ano do plantio (0 a 12 meses)							
Autopropelido	4,25	1,52	0,95	286,6	0,774	370,3	23
Pivô central	4,25	1,71	0,95	349,2	0,876	398,6	57
Gotejamento	4,25	1,01	0,95	198,8	0,948	209,7	57
Tubo perfurado	4,25	1,41	0,95	275,2	0,791	347,9	34
1º ao 2º ano após o plantio (12 a 24 meses)							
Autopropelido	4,25	2,10	0,95	447,2	0,774	577,8	23
Pivô central	4,25	2,37	0,95	558,5	0,876	637,6	58
Gotejamento	4,25	1,45	0,95	296,9	0,948	313,2	59
Tubo perfurado	4,25	1,98	0,95	430,9	0,791	544,8	41
2º ao 3º ano após o plantio (24 a 36 meses)							
Autopropelido	4,25	2,22	0,95	478,4	0,774	618,1	19
Pivô central	4,25	2,72	0,95	670,7	0,876	765,6	54
Gotejamento	4,25	2,09	0,95	461,4	0,948	486,7	69
Tubo perfurado	4,25	2,33	0,95	530,3	0,791	670,4	43
a partir do 3º ano após o plantio (> 36 meses)							
Autopropelido	4,25	2,83	0,95	710,6	0,774	918,1	25
Pivô central	4,25	3,35	0,95	890,5	0,876	1.016,6	63
Gotejamento	4,25	2,80	0,95	704,6	0,948	743,2	86
Tubo perfurado	4,25	2,80	0,95	697,5	0,791	881,8	48

4.2. Custo de irrigação do cafeeiro

A partir das necessidades de irrigação do cafeeiro e da capacidade do equipamento, para três cidades da região, sendo elas Araxá, Paracatu e João Pinheiro, com necessidades menor, média e maior de irrigação suplementar, foram calculados o custo total médio de irrigação ($\text{R\$ ha}^{-1}$) e a participação dos diversos itens para os sistemas por autopropelido, pivô central, gotejamento e tubo perfurado, segundo o tamanho da área e a idade da cultura. Os resultados estão apresentados nos Quadros 9 a 20 e nas Figuras 1 a 3.

Os custos totais médios com irrigação ($\text{R\$ ha}^{-1}$) para lavouras irrigadas por autopropelido variaram de um mínimo de R\$344,56 para Araxá, no ano de plantio e em área de 125 ha, até um máximo de R\$722,99 para João Pinheiro, a partir do 3º ano do plantio e em área irrigada de 25 ha. Para lavouras irrigadas por pivô central, a variação de custos teve um mínimo de R\$211,74 para Araxá, no ano de plantio da lavoura e em área de 125 ha, e um máximo de R\$574,16 para João Pinheiro, a partir do 3º ano do plantio e em área irrigada de 25 ha. Para lavouras irrigadas por gotejamento a variação de custos teve um mínimo de R\$428,27 para Araxá, no ano de plantio da lavoura e em área de 125 ha, e um máximo de R\$671,75 para João Pinheiro, a partir do 3º ano do plantio e em área irrigada de 25 ha. Já para lavouras irrigadas por tubo perfurado a variação de custos teve um mínimo de R\$436,87 para Araxá, no ano de plantio da lavoura e em área de 125 ha, e um máximo de R\$849,49 para João Pinheiro, a partir do 4º ano do plantio e em área irrigada de 25 ha.

Observa-se, para os diferentes sistemas de irrigação (Quadros 8 a 19 e Figuras 1 a 3), que os custos totais médios apresentam tendência de queda com o aumento da área irrigada; tal comportamento deve-se à redução do custo inicial de investimento com equipamento com o aumento da área irrigada, sendo mais acentuado para sistemas por pivô central, e também à redução dos custos com energia elétrica para sistemas acima de 75 kva, em razão do sistema de tarifas adotado. Por outro lado, ocorre aumento dos custos totais de irrigação com o aumento da lâmina de irrigação requerida, em razão do aumento do número anual de irrigações, implicando maiores gastos com mão-de-obra, para sistemas com mudanças de posições, do aumento do número de horas de irrigação, que implica maior consumo total de energia elétrica, e do

Quadro 9 - Custo total médio de irrigação (R\$ ha⁻¹ e R\$ mm⁻¹) e participação dos diversos itens (R\$ ha⁻¹) para os sistemas por autopropelido, segundo o tamanho da área e a idade da cultura, para Araxá-MG

Item	Área (ha)				
	25	50	75	100	125
ano do plantio (0 a 12 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	223,4	223,4	223,4	223,4	223,4
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	232,55	200,75	184,20	173,29	165,27
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	27,89	27,85	27,85
Energia reativa	0,00	0,00	2,41	2,41	2,41
Consumo	44,48	43,62	16,64	16,62	16,62
Mão-de-obra	91,56	55,41	67,46	55,41	62,64
Manutenção e reparos	98,17	84,75	77,76	73,15	69,77
Total (R\$ ha⁻¹):	466,77	384,52	376,36	348,72	344,56
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>2,09</i>	<i>1,72</i>	<i>1,69</i>	<i>1,56</i>	<i>1,54</i>
1 ^o ao 2 ^o ano após o plantio (12 a 24 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	329,3	329,3	329,3	329,3	329,3
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	232,55	200,75	184,20	173,29	165,27
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	27,89	27,85	27,85
Energia reativa	0,00	0,00	3,51	3,51	3,51
Consumo	85,12	83,47	35,79	35,73	35,74
Mão-de-obra	124,50	71,19	88,96	71,19	81,85
Manutenção e reparos	98,17	84,75	77,76	73,15	69,77
Total (R\$ ha⁻¹):	540,34	440,15	418,11	384,72	383,99
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,64</i>	<i>1,34</i>	<i>1,27</i>	<i>1,17</i>	<i>1,17</i>
2 ^o ao 3 ^o ano após o plantio (24 a 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	358,6	358,6	358,6	358,6	358,6
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	232,55	200,75	184,20	173,29	165,27
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	27,92	27,88	27,88
Energia reativa	0,00	0,00	3,81	3,81	3,81
Consumo	96,13	94,27	40,96	40,90	40,90
Mão-de-obra	131,07	73,10	92,42	73,10	84,69
Manutenção e reparos	98,17	84,75	77,76	73,15	69,77
Total (R\$ ha⁻¹):	557,92	452,86	427,07	392,12	392,33
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,56</i>	<i>1,26</i>	<i>1,19</i>	<i>1,09</i>	<i>1,09</i>
a partir do 3 ^o ano após o plantio (> 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	519,2	519,2	519,2	519,2	519,2
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	232,55	200,75	184,20	173,29	165,27
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	31,69	31,64	31,65
Energia reativa	0,00	0,00	5,36	5,35	5,35
Consumo	154,09	151,11	67,89	67,78	67,79
Mão-de-obra	150,38	84,81	106,67	84,81	97,93
Manutenção e reparos	98,17	84,75	77,76	73,15	69,77
Total (R\$ ha⁻¹):	635,20	521,42	473,57	436,04	437,76
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,22</i>	<i>1,00</i>	<i>0,91</i>	<i>0,84</i>	<i>0,84</i>

Quadro 10 - Custo total médio de irrigação (R\$ ha⁻¹ e R\$ mm⁻¹) e participação dos diversos itens (R\$ ha⁻¹) para os sistemas por pivô central, segundo o tamanho da área e a idade da cultura, para Araxá-MG

Item	Área (ha)				
	25	50	75	100	125
ano do plantio (0 a 12 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	236,4	236,4	236,4	236,4	236,4
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	229,16	171,41	144,63	128,21	116,77
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	21,95	21,80	21,74
Energia reativa	0,00	0,00	1,49	1,48	1,48
Consumo	35,64	34,16	12,64	12,56	12,53
Mão-de-obra	7,62	7,62	7,62	7,62	7,62
Manutenção e reparos	101,27	75,75	63,91	56,66	51,60
Total (R\$ ha⁻¹):	373,69	288,94	252,25	228,34	211,74
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,58</i>	<i>1,22</i>	<i>1,07</i>	<i>0,97</i>	<i>0,90</i>
1 ^o ao 2 ^o ano após o plantio (12 a 24 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	201,5	201,5	201,5	201,5	201,5
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	229,16	171,41	144,63	128,21	116,77
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	27,90	27,72	27,64
Energia reativa	0,00	0,00	2,55	2,53	2,52
Consumo	69,68	66,77	27,73	27,55	27,47
Mão-de-obra	7,62	7,62	7,62	7,62	7,62
Manutenção e reparos	101,27	75,75	63,91	56,66	51,60
Total (R\$ ha⁻¹):	407,73	321,55	274,36	250,29	233,63
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>2,02</i>	<i>1,60</i>	<i>1,36</i>	<i>1,24</i>	<i>1,16</i>
2 ^o ao 3 ^o ano após o plantio (24 a 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	427,7	427,7	427,7	427,7	427,7
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	229,16	171,41	144,63	128,21	116,77
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	24,94	24,77	24,71
Energia reativa	0,00	0,00	2,99	2,97	2,96
Consumo	92,79	88,92	38,66	38,40	38,30
Mão-de-obra	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93
Manutenção e reparos	101,27	75,75	63,91	56,66	51,60
Total (R\$ ha⁻¹):	430,14	343,01	282,06	257,95	241,26
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,01</i>	<i>0,80</i>	<i>0,66</i>	<i>0,60</i>	<i>0,56</i>
a partir do 3 ^o ano após o plantio (> 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	597,5	597,5	597,5	597,5	597,5
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	229,16	171,41	144,63	128,21	116,77
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	30,92	30,72	30,63
Energia reativa	0,00	0,00	4,40	4,37	4,36
Consumo	134,39	128,78	56,66	56,29	56,13
Mão-de-obra	8,55	8,55	8,55	8,55	8,55
Manutenção e reparos	101,27	75,75	63,91	56,66	51,60
Total (R\$ ha⁻¹):	473,36	384,49	309,09	284,80	268,05
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>0,79</i>	<i>0,64</i>	<i>0,52</i>	<i>0,48</i>	<i>0,45</i>

Quadro 11 - Custo total médio de irrigação (R\$ ha⁻¹ e R\$ mm⁻¹) e participação dos diversos itens (R\$ ha⁻¹) para os sistemas por gotejamento, segundo o tamanho da área e a idade da cultura, para Araxá-MG

Item	Área (ha)				
	25	50	75	100	125
ano do plantio (0 a 12 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	131,6	131,6	131,6	131,6	131,6
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	369,53	346,79	332,58	318,36	309,13
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	14,97	14,99
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	0,76	0,77
Consumo	13,55	13,24	13,17	4,24	4,25
Mão-de-obra	40,68	47,45	47,45	40,68	33,90
Manutenção e reparos	78,00	73,20	70,20	67,20	65,25
Total (R\$ ha⁻¹):	501,75	480,69	463,40	446,21	428,27
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>3,81</i>	<i>3,65</i>	<i>3,52</i>	<i>3,39</i>	<i>3,25</i>
1 ^o ao 2 ^o ano após o plantio (12 a 24 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	189,9	189,9	189,9	189,9	189,9
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	369,53	346,79	332,58	318,36	309,13
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	14,97	14,99
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	1,05	1,05
Consumo	24,84	24,28	24,15	9,16	9,17
Mão-de-obra	40,60	47,37	47,37	40,60	33,84
Manutenção e reparos	78,00	73,20	70,20	67,20	65,25
Total (R\$ ha⁻¹):	512,98	491,64	474,29	451,34	433,42
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>2,70</i>	<i>2,59</i>	<i>2,50</i>	<i>2,38</i>	<i>2,28</i>
2 ^o ao 3 ^o ano após o plantio (24 a 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	306,8	306,8	306,8	306,8	306,8
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	369,53	346,79	332,58	318,36	309,13
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	19,05	19,07
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	1,93	1,93
Consumo	52,99	51,79	51,50	22,17	22,20
Mão-de-obra	54,14	60,90	54,14	47,37	40,60
Manutenção e reparos	78,00	73,20	70,20	67,20	65,25
Total (R\$ ha⁻¹):	554,66	532,69	508,42	476,08	458,18
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,81</i>	<i>1,74</i>	<i>1,66</i>	<i>1,55</i>	<i>1,49</i>
a partir do 3 ^o ano após o plantio (> 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	449,5	449,5	449,5	449,5	449,5
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	369,53	346,79	332,58	318,36	309,13
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	21,09	21,12
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	2,91	2,92
Consumo	85,71	83,77	83,30	37,11	37,16
Mão-de-obra	60,90	60,90	54,14	47,37	40,60
Manutenção e reparos	78,00	73,20	70,20	67,20	65,25
Total (R\$ ha⁻¹):	594,14	564,66	540,22	494,05	476,17
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,32</i>	<i>1,26</i>	<i>1,20</i>	<i>1,10</i>	<i>1,06</i>

Quadro 12 - Custo total médio de irrigação (R\$ ha⁻¹ e R\$ mm⁻¹) e participação dos diversos itens (R\$ ha⁻¹) para os sistemas por tubo perfurado, segundo o tamanho da área e a idade da cultura, para Araxá-MG

Item	Área (ha)				
	25	50	75	100	125
ano do plantio (0 a 12 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	217,1	217,1	217,1	217,1	217,1
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	197,54	181,07	164,61	148,15	131,69
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	0,00	14,57
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03
Consumo	24,46	23,89	23,76	23,77	9,07
Mão-de-obra	232,51	232,51	232,51	232,51	232,51
Manutenção e reparos	72,00	66,00	60,00	54,00	48,00
Total (R\$ ha⁻¹):	526,51	503,48	480,89	458,43	436,87
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>2,43</i>	<i>2,32</i>	<i>2,22</i>	<i>2,11</i>	<i>2,01</i>
1 ^o ao 2 ^o ano após o plantio (12 a 24 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	315,4	315,4	315,4	315,4	315,4
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	197,54	181,07	164,61	148,15	131,69
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	0,00	14,57
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	0,00	1,64
Consumo	46,76	45,67	45,43	45,43	19,63
Mão-de-obra	232,51	232,51	232,51	232,51	232,51
Manutenção e reparos	72,00	66,00	60,00	54,00	48,00
Total (R\$ ha⁻¹):	548,81	525,26	502,56	480,10	448,04
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,74</i>	<i>1,67</i>	<i>1,59</i>	<i>1,52</i>	<i>1,42</i>
2 ^o ao 3 ^o ano após o plantio (24 a 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	417,7	417,7	417,7	417,7	417,7
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	197,54	181,07	164,61	148,15	131,69
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	0,00	18,54
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	0,00	2,27
Consumo	66,20	64,65	64,32	64,32	28,46
Mão-de-obra	304,06	304,06	304,06	304,06	304,06
Manutenção e reparos	72,00	66,00	60,00	54,00	48,00
Total (R\$ ha⁻¹):	639,79	615,78	592,99	570,53	533,02
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,53</i>	<i>1,47</i>	<i>1,42</i>	<i>1,37</i>	<i>1,28</i>
a partir do 3 ^o ano após o plantio (> 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	550,6	550,6	550,6	550,6	550,6
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	197,54	181,07	164,61	148,15	131,69
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	0,00	20,53
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	0,00	3,01
Consumo	90,04	87,93	87,48	87,48	39,11
Mão-de-obra	348,77	348,77	348,77	348,77	348,77
Manutenção e reparos	72,00	66,00	60,00	54,00	48,00
Total (R\$ ha⁻¹):	708,34	683,78	660,86	638,40	591,11
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,29</i>	<i>1,24</i>	<i>1,20</i>	<i>1,16</i>	<i>1,07</i>

Quadro 13 - Custo total médio de irrigação (R\$ ha⁻¹ e R\$ mm⁻¹) e participação dos diversos itens (R\$ ha⁻¹) para os sistemas por autopropelido, segundo o tamanho da área e a idade da cultura, para Paracatu-MG

Item	Área (ha)				
	25	50	75	100	125
ano do plantio (0 a 12 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	348,6	348,6	348,6	348,6	348,6
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	232,55	200,75	184,20	173,29	165,27
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	56,38	56,18	56,15	56,20
Energia reativa	0,00	2,98	2,97	2,97	2,97
Consumo	56,08	18,76	18,69	18,68	18,70
Mão-de-obra	74,80	74,80	59,95	63,66	56,98
Manutenção e reparos	98,17	84,75	77,76	73,15	69,77
Total (R\$ ha⁻¹):	461,61	438,42	399,74	387,91	369,90
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,32</i>	<i>1,26</i>	<i>1,15</i>	<i>1,11</i>	<i>1,06</i>
1º ao 2º ano após o plantio (12 a 24 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	562,0	562,0	562,0	562,0	562,0
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	232,55	200,75	184,20	173,29	165,27
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	61,36	61,13	61,11	61,16
Energia reativa	0,00	4,23	4,21	4,21	4,21
Consumo	107,81	40,36	40,21	40,19	40,23
Mão-de-obra	98,02	98,02	75,89	81,42	71,46
Manutenção e reparos	98,17	84,75	77,76	73,15	69,77
Total (R\$ ha⁻¹):	536,55	489,45	443,39	433,37	412,11
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>0,95</i>	<i>0,87</i>	<i>0,79</i>	<i>0,77</i>	<i>0,73</i>
2º ao 3º ano após o plantio (24 a 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	608,0	608,0	608,0	608,0	608,0
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	232,55	200,75	184,20	173,29	165,27
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	61,36	61,13	61,11	61,16
Energia reativa	0,00	5,01	5,00	4,99	5,00
Consumo	134,56	54,09	53,89	53,87	53,92
Mão-de-obra	94,61	94,61	71,78	77,49	67,21
Manutenção e reparos	98,17	84,75	77,76	73,15	69,77
Total (R\$ ha⁻¹):	559,89	500,56	453,75	443,90	422,34
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>0,92</i>	<i>0,82</i>	<i>0,75</i>	<i>0,73</i>	<i>0,69</i>
a partir do 3º ano após o plantio (> 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	849,0	849,0	849,0	849,0	849,0
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	232,55	200,75	184,20	173,29	165,27
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	61,36	61,13	61,11	61,16
Energia reativa	0,00	7,36	7,33	7,33	7,33
Consumo	221,06	94,83	94,47	94,43	94,52
Mão-de-obra	137,92	137,92	102,49	111,35	95,40
Manutenção e reparos	98,17	84,75	77,76	73,15	69,77
Total (R\$ ha⁻¹):	689,71	586,95	527,38	520,65	493,46
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>0,81</i>	<i>0,69</i>	<i>0,62</i>	<i>0,61</i>	<i>0,58</i>

Quadro 14 - Custo total médio de irrigação (R\$ ha⁻¹ e R\$ mm⁻¹) e participação dos diversos itens (R\$ ha⁻¹) para os sistemas por pivô central, segundo o tamanho da área e a idade da cultura, para Paracatu-MG

Item	Área (ha)				
	25	50	75	100	125
ano do plantio (0 a 12 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	396,1	396,1	396,1	396,1	396,1
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	229,16	171,41	144,63	128,21	116,77
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	41,71	41,50	41,43
Energia reativa	0,00	0,00	2,28	2,27	2,27
Consumo	51,84	49,93	17,21	17,12	17,09
Mão-de-obra	13,17	13,17	13,17	13,17	13,17
Manutenção e reparos	101,27	75,75	63,91	56,66	51,60
Total (R\$ ha⁻¹):	395,44	310,26	282,91	258,93	242,33
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,00</i>	<i>0,78</i>	<i>0,71</i>	<i>0,65</i>	<i>0,61</i>
1 ^o ao 2 ^o ano após o plantio (12 a 24 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	610,4	610,4	610,4	610,4	610,4
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	229,16	171,41	144,63	128,21	116,77
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	41,71	41,50	41,43
Energia reativa	0,00	0,00	3,58	3,56	3,55
Consumo	103,38	99,57	39,71	39,51	39,44
Mão-de-obra	12,94	12,94	12,94	12,94	12,94
Manutenção e reparos	101,27	75,75	63,91	56,66	51,60
Total (R\$ ha⁻¹):	446,75	359,67	306,48	282,37	265,73
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>0,73</i>	<i>0,59</i>	<i>0,50</i>	<i>0,46</i>	<i>0,44</i>
3 ^o ano da lavoura					
Lâmina total de irrigação (mm)	728,6	728,6	728,6	728,6	728,6
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	229,16	171,41	144,63	128,21	116,77
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	41,71	41,50	41,43
Energia reativa	0,00	0,00	4,60	4,58	4,57
Consumo	141,36	136,15	57,49	57,20	57,10
Mão-de-obra	12,01	12,01	12,01	12,01	12,01
Manutenção e reparos	101,27	75,75	63,91	56,66	51,60
Total (R\$ ha⁻¹):	483,80	395,32	324,36	300,16	283,48
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>0,66</i>	<i>0,54</i>	<i>0,45</i>	<i>0,41</i>	<i>0,39</i>
a partir do 3 ^o ano após o plantio (> 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	946,1	946,1	946,1	946,1	946,1
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	229,16	171,41	144,63	128,21	116,77
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	41,71	41,50	41,43
Energia reativa	0,00	0,00	6,53	6,50	6,49
Consumo	212,87	205,02	91,12	90,66	90,51
Mão-de-obra	13,63	13,63	13,63	13,63	13,63
Manutenção e reparos	101,27	75,75	63,91	56,66	51,60
Total (R\$ ha⁻¹):	556,92	465,81	361,54	337,16	320,42
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>0,59</i>	<i>0,49</i>	<i>0,38</i>	<i>0,36</i>	<i>0,34</i>

Quadro 15 - Custo total médio de irrigação (R\$ ha⁻¹ e R\$ mm⁻¹) e participação dos diversos itens (R\$ ha⁻¹) para os sistemas por gotejamento, segundo o tamanho da área e a idade da cultura, para Paracatu-MG

Item	Área (ha)				
	25	50	75	100	125
ano do plantio (0 a 12 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	211,8	211,8	211,8	211,8	211,8
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	369,53	346,79	332,58	318,36	309,13
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	28,32	28,37
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	1,25	1,26
Consumo	21,07	20,64	20,55	6,50	6,51
Mão-de-obra	74,55	74,55	67,77	60,99	54,22
Manutenção e reparos	78,00	73,20	70,20	67,20	65,25
Total (R\$ ha⁻¹):	543,14	515,18	491,09	482,63	464,73
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>2,56</i>	<i>2,43</i>	<i>2,32</i>	<i>2,28</i>	<i>2,19</i>
1 ^o ao 2 ^o ano após o plantio (12 a 24 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	313,6	313,6	313,6	313,6	313,6
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	369,53	346,79	332,58	318,36	309,13
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	30,61	30,67
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	1,59	1,59
Consumo	35,90	35,17	35,02	12,34	12,36
Mão-de-obra	81,21	81,21	74,44	67,67	60,90
Manutenção e reparos	78,00	73,20	70,20	67,20	65,25
Total (R\$ ha⁻¹):	564,64	536,37	512,23	497,77	479,90
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,80</i>	<i>1,71</i>	<i>1,63</i>	<i>1,59</i>	<i>1,53</i>
2 ^o ao 3 ^o ano após o plantio (24 a 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	492,9	492,9	492,9	492,9	492,9
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	369,53	346,79	332,58	318,36	309,13
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	30,61	30,67
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	2,62	2,62
Consumo	75,28	73,75	73,42	30,25	30,31
Mão-de-obra	81,33	81,33	74,55	67,77	60,99
Manutenção e reparos	78,00	73,20	70,20	67,20	65,25
Total (R\$ ha⁻¹):	604,13	575,07	550,75	516,82	498,97
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,23</i>	<i>1,17</i>	<i>1,12</i>	<i>1,05</i>	<i>1,01</i>
a partir do 3 ^o ano após o plantio (> 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	718,7	718,7	718,7	718,7	718,7
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	369,53	346,79	332,58	318,36	309,13
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	30,61	30,67
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	4,32	4,33
Consumo	137,07	134,29	133,69	59,84	59,95
Mão-de-obra	81,33	81,33	74,55	67,77	60,99
Manutenção e reparos	78,00	73,20	70,20	67,20	65,25
Total (R\$ ha⁻¹):	665,92	635,60	611,02	548,11	530,32
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>0,93</i>	<i>0,88</i>	<i>0,85</i>	<i>0,76</i>	<i>0,74</i>

Quadro 16 - Custo total médio de irrigação (R\$ ha⁻¹ e R\$ mm⁻¹) e participação dos diversos itens (R\$ ha⁻¹) para os sistemas por tubo perfurado, segundo o tamanho da área e a idade da cultura, para Paracatu-MG

Item	Área (ha)				
	25	50	75	100	125
ano do plantio (0 a 12 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	343,9	343,9	343,9	343,9	343,9
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	197,54	181,07	164,61	148,15	131,69
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	23,58	23,63
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	1,57	1,57
Consumo	37,05	36,23	36,06	13,44	13,47
Mão-de-obra	357,71	357,71	357,71	357,71	357,71
Manutenção e reparos	72,00	66,00	60,00	54,00	48,00
Total (R\$ ha⁻¹):	664,30	641,01	618,39	598,45	576,08
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,93</i>	<i>1,86</i>	<i>1,80</i>	<i>1,74</i>	<i>1,68</i>
1º ao 2º ano após o plantio (12 a 24 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	542,9	542,9	542,9	542,9	542,9
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	197,54	181,07	164,61	148,15	131,69
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	27,74	27,80
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	2,52	2,53
Consumo	73,81	72,16	71,82	30,02	30,09
Mão-de-obra	438,20	438,20	438,20	438,20	438,20
Manutenção e reparos	72,00	66,00	60,00	54,00	48,00
Total (R\$ ha⁻¹):	781,54	757,43	734,64	700,63	678,31
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,44</i>	<i>1,40</i>	<i>1,35</i>	<i>1,29</i>	<i>1,25</i>
2º ao 3º ano após o plantio (24 a 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	669,9	669,9	669,9	669,9	669,9
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	197,54	181,07	164,61	148,15	131,69
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	27,74	27,80
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	3,28	3,29
Consumo	101,79	99,52	99,06	43,21	43,31
Mão-de-obra	429,26	429,26	429,26	429,26	429,26
Manutenção e reparos	72,00	66,00	60,00	54,00	48,00
Total (R\$ ha⁻¹):	800,58	775,85	752,93	705,63	683,34
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,20</i>	<i>1,16</i>	<i>1,12</i>	<i>1,05</i>	<i>1,02</i>
a partir do 3º ano após o plantio (> 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	854,7	854,7	854,7	854,7	854,7
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	197,54	181,07	164,61	148,15	131,69
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	27,74	27,80
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	4,58	4,59
Consumo	148,48	145,16	144,49	65,83	65,98
Mão-de-obra	420,31	420,31	420,31	420,31	420,31
Manutenção e reparos	72,00	66,00	60,00	54,00	48,00
Total (R\$ ha⁻¹):	838,33	812,55	789,42	720,61	698,38
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>0,98</i>	<i>0,95</i>	<i>0,92</i>	<i>0,84</i>	<i>0,82</i>

Quadro 17 - Custo total médio de irrigação (R\$ ha⁻¹ e R\$ mm⁻¹) e participação dos diversos itens (R\$ ha⁻¹) para os sistemas por autopropelido, segundo o tamanho da área e a idade da cultura, para João Pinheiro-MG

Item	Área (ha)				
	25	50	75	100	125
ano do plantio (0 a 12 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	370,3	370,3	370,3	370,3	370,3
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	232,55	200,75	184,20	173,29	165,27
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	46,62	46,45	46,43	46,48
Energia reativa	0,00	2,45	2,44	2,44	2,45
Consumo	60,52	20,48	20,41	20,40	20,42
Mão-de-obra	72,39	72,39	58,80	62,20	56,09
Manutenção e reparos	98,17	84,75	77,76	73,15	69,77
Total (R\$ ha⁻¹):	463,64	427,44	390,06	377,92	360,47
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,25</i>	<i>1,15</i>	<i>1,05</i>	<i>1,02</i>	<i>0,97</i>
1 ^o ao 2 ^o ano após o plantio (12 a 24 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	577,8	577,8	577,8	577,8	577,8
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	232,55	200,75	184,20	173,29	165,27
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	51,62	51,43	51,41	51,45
Energia reativa	0,00	4,39	4,38	4,38	4,38
Consumo	132,78	54,27	54,07	54,05	54,10
Mão-de-obra	88,17	88,17	69,32	74,03	65,55
Manutenção e reparos	98,17	84,75	77,76	73,15	69,77
Total (R\$ ha⁻¹):	551,68	483,94	441,15	430,30	410,53
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>0,95</i>	<i>0,84</i>	<i>0,76</i>	<i>0,74</i>	<i>0,71</i>
2 ^o ao 3 ^o ano após o plantio (24 a 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	618,1	618,1	618,1	618,1	618,1
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	232,55	200,75	184,20	173,29	165,27
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	46,62	46,45	46,43	46,48
Energia reativa	0,00	5,13	5,11	5,11	5,11
Consumo	157,43	67,00	66,76	66,73	66,79
Mão-de-obra	87,36	87,36	66,95	72,05	62,86
Manutenção e reparos	98,17	84,75	77,76	73,15	69,77
Total (R\$ ha⁻¹):	575,51	491,60	447,22	436,76	416,29
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>0,93</i>	<i>0,80</i>	<i>0,72</i>	<i>0,71</i>	<i>0,67</i>
a partir do 3 ^o ano após o plantio (> 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	918,1	918,1	918,1	918,1	918,1
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	232,55	200,75	184,20	173,29	165,27
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	61,61	61,38	61,36	61,41
Energia reativa	0,00	8,30	8,27	8,27	8,27
Consumo	253,74	111,11	110,70	110,65	110,76
Mão-de-obra	138,52	138,52	103,80	112,48	96,86
Manutenção e reparos	98,17	84,75	77,76	73,15	69,77
Total (R\$ ha⁻¹):	722,99	605,02	546,10	539,20	512,35
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>0,79</i>	<i>0,66</i>	<i>0,59</i>	<i>0,59</i>	<i>0,56</i>

Quadro 18 - Custo total médio de irrigação (R\$ ha⁻¹ e R\$ mm⁻¹) e participação dos diversos itens (R\$ ha⁻¹) para os sistemas por pivô central, segundo o tamanho da área e a idade da cultura, para João Pinheiro-MG

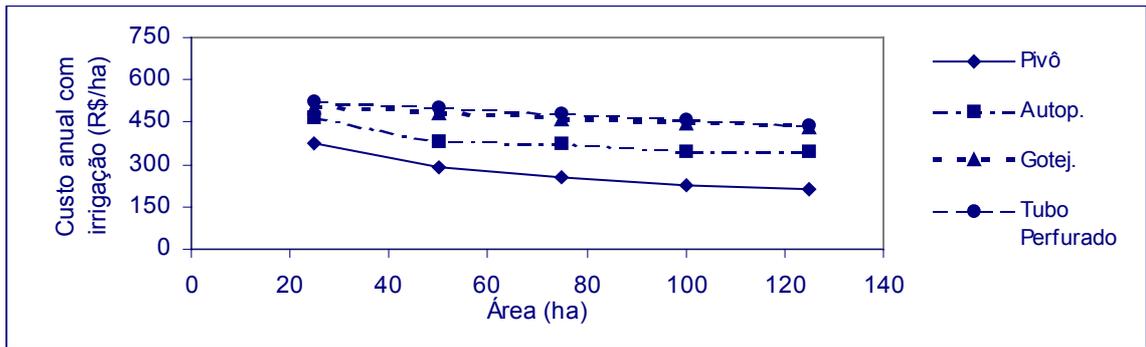
Item	Área (ha)				
	25	50	75	100	125
Ano do plantio (0 a 12 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	398,7	398,7	398,7	398,7	398,7
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	229,16	171,41	144,63	128,21	116,77
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	32,29	32,14	32,09
Energia reativa	0,00	0,00	2,09	2,08	2,07
Consumo	58,45	56,34	20,91	20,82	20,78
Mão-de-obra	13,17	13,17	13,17	13,17	13,17
Manutenção e reparos	101,27	75,75	63,91	56,66	51,60
Total (R\$ ha⁻¹):	402,04	316,67	277,01	253,07	236,49
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	1,01	0,79	0,69	0,63	0,59
1 ^o ao 2 ^o ano após o plantio (12 a 24 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	637,7	637,7	637,7	637,7	637,7
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	229,16	171,41	144,63	128,21	116,77
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	46,13	45,91	45,84
Energia reativa	0,00	0,00	4,18	4,16	4,15
Consumo	122,23	117,83	49,62	49,38	49,31
Mão-de-obra	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40
Manutenção e reparos	101,27	75,75	63,91	56,66	51,60
Total (R\$ ha⁻¹):	466,05	378,38	321,88	297,72	281,08
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	0,73	0,59	0,50	0,47	0,44
2 ^o ao 3 ^o ano após o plantio (24 a 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	765,8	765,8	765,8	765,8	765,8
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	229,16	171,41	144,63	128,21	116,77
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	46,13	45,91	45,84
Energia reativa	0,00	0,00	5,28	5,25	5,24
Consumo	163,03	157,16	68,73	68,40	68,30
Mão-de-obra	12,47	12,47	12,47	12,47	12,47
Manutenção e reparos	101,27	75,75	63,91	56,66	51,60
Total (R\$ ha⁻¹):	505,93	416,79	341,16	316,91	300,24
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	0,66	0,54	0,45	0,41	0,39
a partir do 3 ^o ano após o plantio (> 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	1.016,8	1.016,8	1.016,8	1.016,8	1.016,8
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	229,16	171,41	144,63	128,21	116,77
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	46,13	45,91	45,84
Energia reativa	0,00	0,00	6,98	6,95	6,94
Consumo	229,18	220,93	98,41	97,94	97,80
Mão-de-obra	14,55	14,55	14,55	14,55	14,55
Manutenção e reparos	101,27	75,75	63,91	56,66	51,60
Total (R\$ ha⁻¹):	574,16	482,64	374,63	350,23	333,50
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	0,56	0,47	0,37	0,34	0,33

Quadro 19 - Custo total médio de irrigação (R\$ ha⁻¹ e R\$ mm⁻¹) e participação dos diversos itens (R\$ ha⁻¹) para os sistemas por gotejamento, segundo o tamanho da área e a idade da cultura, para João Pinheiro-MG

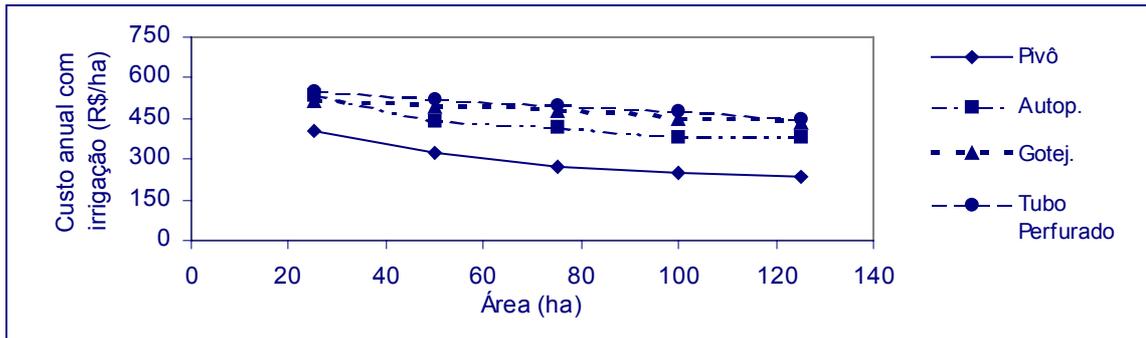
Item	Área (ha)				
	25	50	75	100	125
ano do plantio (0 a 12 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	209,7	209,7	209,7	209,7	209,7
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	369,53	346,79	332,58	318,36	309,13
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	21,98	22,02
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	0,97	0,97
Consumo	20,85	20,44	20,35	6,45	6,46
Mão-de-obra	54,14	60,90	60,90	54,14	47,37
Manutenção e reparos	78,00	73,20	70,20	67,20	65,25
Total (R\$ ha⁻¹):	522,52	501,33	484,03	469,10	451,20
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>2,49</i>	<i>2,39</i>	<i>2,31</i>	<i>2,24</i>	<i>2,15</i>
1 ^o ao 2 ^o ano após o plantio (12 a 24 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	313,2	313,2	313,2	313,2	313,2
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	369,53	346,79	332,58	318,36	309,13
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	21,98	22,02
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	1,50	1,50
Consumo	41,61	40,78	40,61	15,67	15,70
Mão-de-obra	54,14	60,90	60,90	54,14	47,37
Manutenção e reparos	78,00	73,20	70,20	67,20	65,25
Total (R\$ ha⁻¹):	543,27	521,68	504,29	478,85	460,97
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,73</i>	<i>1,67</i>	<i>1,61</i>	<i>1,53</i>	<i>1,47</i>
2 ^o ao 3 ^o ano após o plantio (24 a 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	486,7	486,7	486,7	486,7	486,7
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	369,53	346,79	332,58	318,36	309,13
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	24,33	24,38
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	2,70	2,71
Consumo	85,79	84,10	83,74	36,54	36,61
Mão-de-obra	60,90	67,67	67,67	60,90	54,14
Manutenção e reparos	78,00	73,20	70,20	67,20	65,25
Total (R\$ ha⁻¹):	594,23	571,76	554,19	510,04	492,21
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,22</i>	<i>1,17</i>	<i>1,14</i>	<i>1,05</i>	<i>1,01</i>
a partir do 3 ^o ano após o plantio (> 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	743,2	743,2	743,2	743,2	743,2
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	369,53	346,79	332,58	318,36	309,13
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	31,40	31,46
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	4,51	4,52
Consumo	143,01	140,18	139,59	62,72	62,84
Mão-de-obra	81,21	81,21	74,44	67,67	60,90
Manutenção e reparos	78,00	73,20	70,20	67,20	65,25
Total (R\$ ha⁻¹):	671,75	641,38	616,80	551,86	534,10
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>0,90</i>	<i>0,86</i>	<i>0,83</i>	<i>0,74</i>	<i>0,72</i>

Quadro 20 - Custo total médio de irrigação (R\$ ha⁻¹ e R\$ mm⁻¹) e participação dos diversos itens (R\$ ha⁻¹) para os sistemas por tubo perfurado, segundo o tamanho da área e a idade da cultura, para João Pinheiro-MG

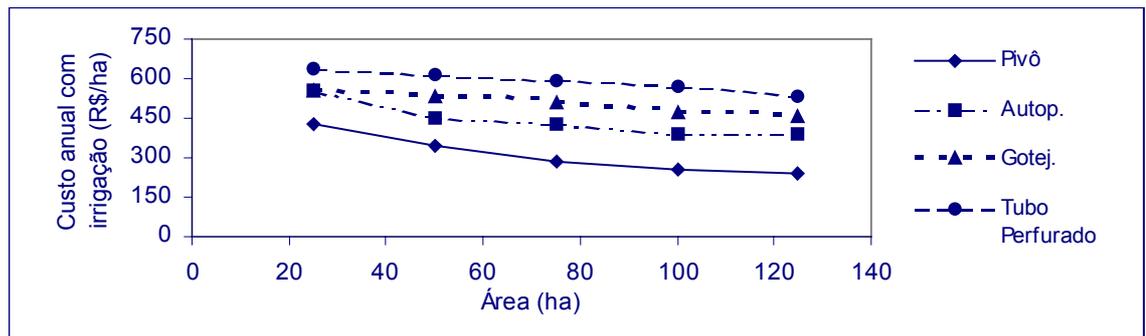
Item	Área (ha)				
	25	50	75	100	125
ano do plantio (0 a 12 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	347,9	347,9	347,9	347,9	347,9
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	197,54	181,07	164,61	148,15	131,69
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	20,89	20,94
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	1,44	1,45
Consumo	40,07	39,24	39,08	15,19	15,23
Mão-de-obra	286,17	286,17	286,17	286,17	286,17
Manutenção e reparos	72,00	66,00	60,00	54,00	48,00
Total (R\$ ha⁻¹):	595,78	572,48	549,87	525,84	503,48
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,71</i>	<i>1,65</i>	<i>1,58</i>	<i>1,51</i>	<i>1,45</i>
1 ^o ao 2 ^o ano após o plantio (12 a 24 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	544,8	544,8	544,8	544,8	544,8
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	197,54	181,07	164,61	148,15	131,69
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	25,36	25,43
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	2,67	2,68
Consumo	80,47	78,80	78,50	34,01	34,10
Mão-de-obra	366,66	366,66	366,66	366,66	366,66
Manutenção e reparos	72,00	66,00	60,00	54,00	48,00
Total (R\$ ha⁻¹):	716,67	692,53	669,77	630,85	608,56
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,32</i>	<i>1,27</i>	<i>1,23</i>	<i>1,16</i>	<i>1,12</i>
2 ^o ao 3 ^o ano após o plantio (24 a 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	670,4	670,4	670,4	670,4	670,4
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	197,54	181,07	164,61	148,15	131,69
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	25,36	25,43
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	3,42	3,43
Consumo	108,11	105,86	105,45	47,09	47,21
Mão-de-obra	384,54	384,54	384,54	384,54	384,54
Manutenção e reparos	72,00	66,00	60,00	54,00	48,00
Total (R\$ ha⁻¹):	762,19	737,48	714,61	662,57	640,31
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>1,14</i>	<i>1,10</i>	<i>1,07</i>	<i>0,99</i>	<i>0,96</i>
a partir do 3 ^o ano após o plantio (> 36 meses)					
Lâmina total de irrigação (mm)	881,8	881,8	881,8	881,8	881,8
Custos de irrigação (R\$ ha ⁻¹):					
Depreciação	197,54	181,07	164,61	148,15	131,69
Energia elétrica:					
Demanda	0,00	0,00	0,00	27,60	27,68
Energia reativa	0,00	0,00	0,00	4,70	4,71
Consumo	150,70	147,57	146,99	66,84	67,02
Mão-de-obra	429,26	429,26	429,26	429,26	429,26
Manutenção e reparos	72,00	66,00	60,00	54,00	48,00
Total (R\$ ha⁻¹):	849,49	823,90	800,86	730,55	708,35
<i>Total (R\$ mm⁻¹):</i>	<i>0,96</i>	<i>0,93</i>	<i>0,91</i>	<i>0,83</i>	<i>0,80</i>



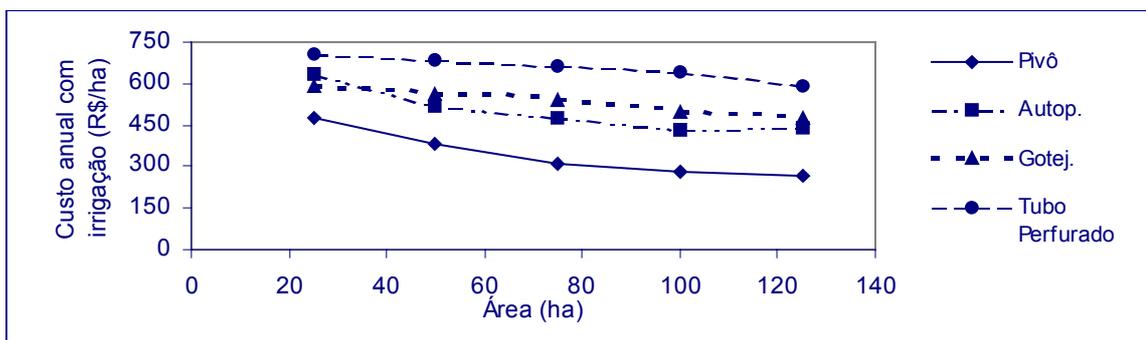
(a)



(b)

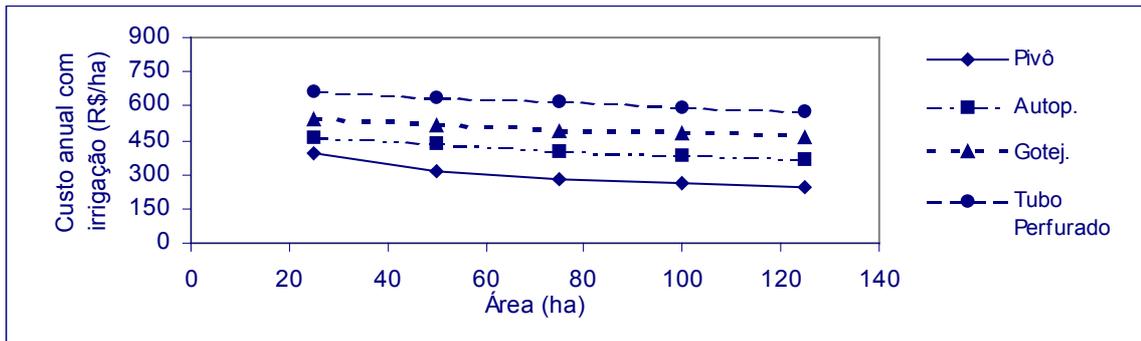


(c)

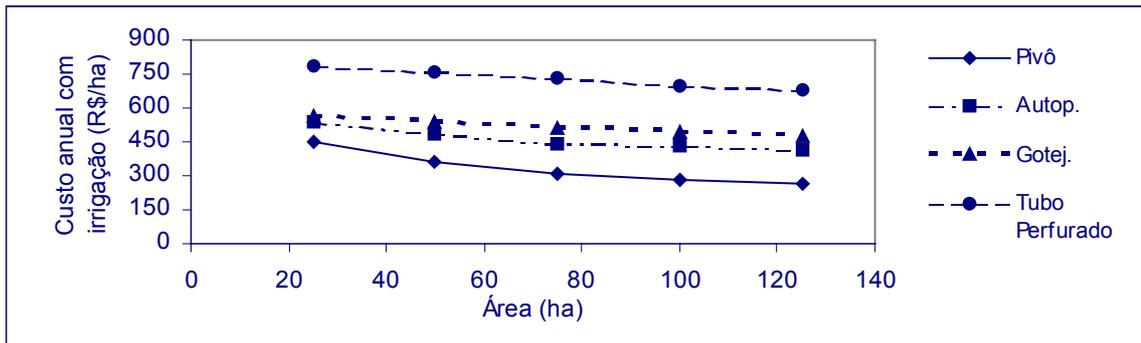


(d)

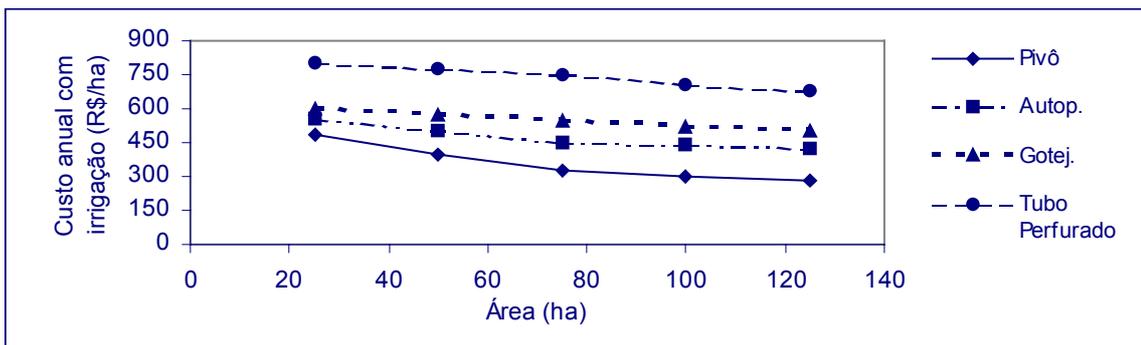
Figura 1 - Relação entre o custo anual de irrigação do cafeeiro irrigado por pivô central, autopropelido, gotejamento e tubo perfurado, para Araxá-MG, e área irrigada. (a) ano do plantio, (b) 1º ano da lavoura, (c) 2º ano da lavoura e (d) a partir do 3º ano da lavoura.



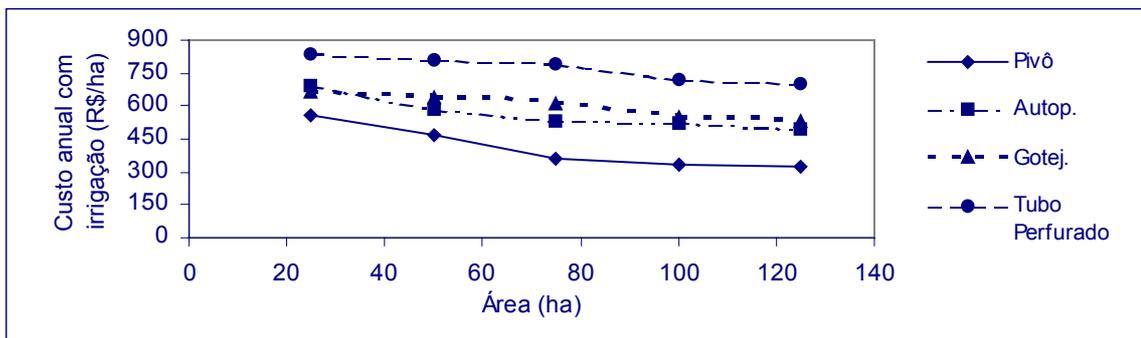
(a)



(b)

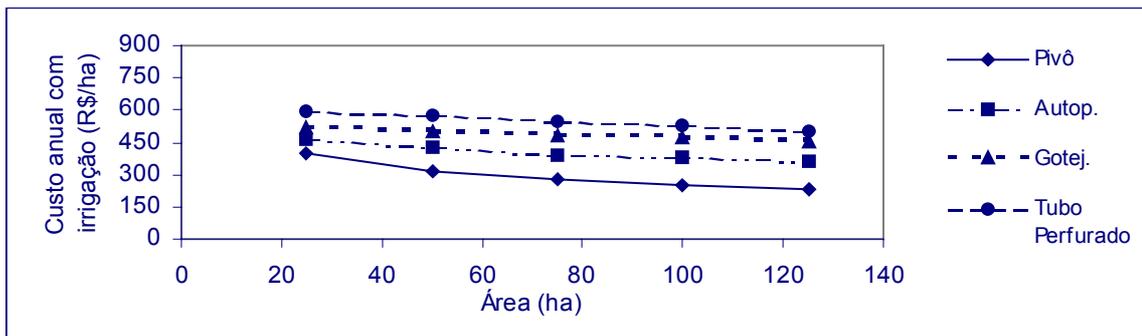


(c)

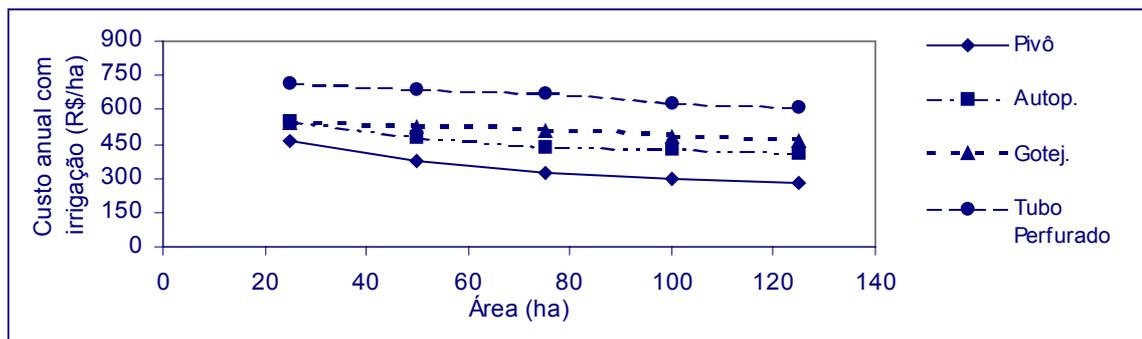


(d)

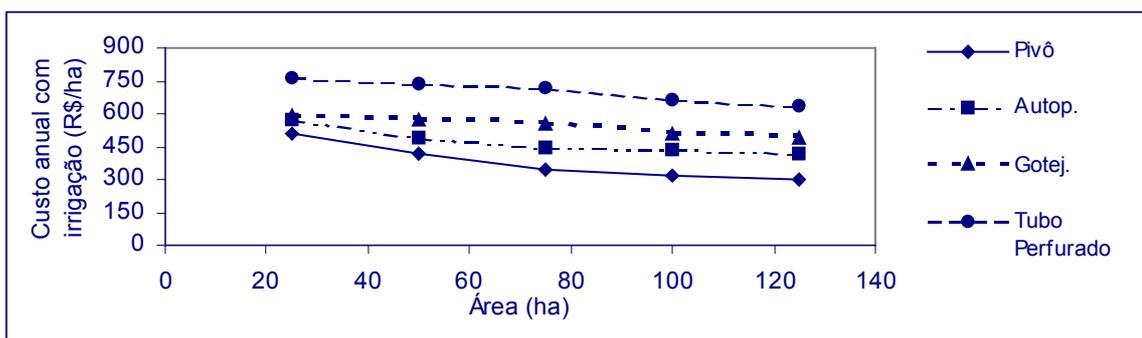
Figura 2 - Relação entre o custo anual de irrigação do cafeeiro irrigado por pivô central, autopropelido, gotejamento e tubo perfurado, para Paracatu-MG, e área irrigada. (a) ano do plantio, (b) 1º ano da lavoura, (c) 2º ano da lavoura e (d) a partir do 3º ano da lavoura.



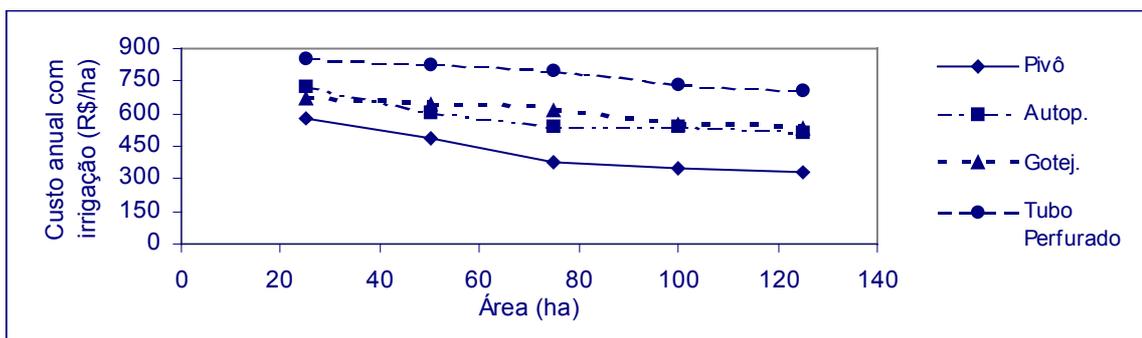
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3 - Relação entre o custo anual de irrigação do cafeeiro irrigado por pivô central, autopropelido, gotejamento e tubo perfurado, para João Pinheiro-MG, e área irrigada. (a) ano do plantio, (b) 1º ano da lavoura, (c) 2º ano da lavoura e (d) a partir do 3º ano da lavoura.

aumento do número de horas de irrigação durante o período sem desconto na tarifa de energia elétrica. É importante lembrar que a tarifa com desconto contempla o consumo compreendido entre 23 e 5 horas, o que totaliza até 180 horas mensais de funcionamento do sistema de irrigação.

Em relação aos sistemas de irrigação, observa-se, ainda nos Quadros 9 a 20 e nas Figuras 1 a 3, que, para as condições e características adotadas neste estudo, os sistemas por aspersão (pivô central e autopropelido) apresentaram os menores custos totais anuais, e, dentre estes, os sistemas por pivô central apresentaram os menores custos para todas as condições de área irrigada e lâmina de irrigação requerida. Dentre os dois sistemas de irrigação localizada analisados (gotejamento e tubo perfurado), os sistemas por tubo perfurado apresentam maiores custos totais anuais para todas as condições de tamanho de área e lâmina anual de irrigação. No entanto, a diferença de custos para sistemas por gotejamento e tubo perfurado diminui para condições de menor número e lâmina total anual de irrigação, como é o caso de Araxá nos anos iniciais de formação da lavoura.

Os custos totais anuais com irrigação para os sistemas por tubo perfurado são superiores aos dos demais sistemas, em razão da grande demanda de mão-de-obra requerida por este sistema com linhas laterais móveis. Por outro lado, os elevados custos com mão-de-obra para os sistemas por tubo perfurado podem ser reduzidos para condições de pequenas lavouras cafeeiras, onde o emprego de mão-de-obra familiar torna-se significativo.

Ao analisar os custos totais anuais com irrigação para os três locais e a lavoura a partir do quarto ano de idade, ou seja, condições de lavoura formada com maior demanda de irrigação, e considerando um preço médio por saca de 60 kg de café beneficiado de R\$153,06, pode-se determinar e verificar que o menor custo obtido foi de 1,75 saca por hectare para condições de Araxá, com cafeeiro irrigado por pivô central e área irrigada de 125 ha, e o maior custo foi de 5,55 sacas por hectare para condições de João Pinheiro, com cafeeiro irrigado por tubo perfurado e área irrigada de 25 ha.

Os maiores valores de custos fixos, que incluem a depreciação e manutenção e reparos, estão relacionados com os sistemas por gotejamento, e os menores, com os sistemas por tubo perfurado, em razão de serem os sistemas que apresentam, respectivamente, os maiores e menores valores de

custo inicial de implantação. Em relação aos custos variáveis, a análise de seus dados revela que, em termos médios, para as três condições de locais analisadas, os sistemas por autopropelido superam os demais sistemas nos gastos com energia elétrica, confirmando resultados obtidos em trabalhos semelhantes (BRITO e SCALOPPI, 1986; MELO, 1993). Entretanto, quanto aos gastos com mão-de-obra, os sistemas por tubo perfurado apresentaram custos superiores aos demais sistemas, correspondendo a cerca de 50% do custo total com irrigação para este sistema.

Nos Quadros 9 a 20, são mostrados também os custos totais anuais para aplicar um milímetro de água, para cada um dos locais, cada sistema de irrigação e cada tamanho de área irrigada. Observa-se que o custo por milímetro de água aplicada, para cada local, sistema de irrigação e tamanho de área irrigada, diminui do ano de plantio para o ano de lavoura formada, ou seja, ocorre redução dos custos por milímetro de água aplicada com o aumento da lâmina de irrigação. Por outro lado, para um mesmo sistema de irrigação e tamanho de área, ao se passar de um local de menor demanda de irrigação, Araxá, para um de maior demanda, João Pinheiro, ocorre também redução do custo por milímetro de água aplicada. Deve-se ressaltar que, nos cálculos do custo inicial com equipamentos, foram considerados valores iguais para os locais com diferentes demandas máximas de irrigação.

A análise dos custos indicou sempre resultados vantajosos para os sistemas por pivô central, porém é preciso salientar que cada sistema possui características particulares, que devem ser levadas em conta na opção por determinado equipamento, como a disponibilidade de água, energia, mão-de-obra, mobilidade, facilidade de manutenção e possibilidade de utilizar quimigação.

4.3. Determinação da viabilidade (mérito ou rentabilidade) financeira da cafeicultura irrigada

A fim de se determinar a viabilidade financeira dos sistemas de irrigação empregados na cafeicultura, foram elaborados os fluxos de caixa anuais, incluindo os custos referentes a implantação e condução da lavoura e aqueles referentes à implantação do sistema de irrigação, assim como os custos com o

uso do sistema de irrigação para os três locais estudados e os diferentes sistemas de irrigação e tamanho da área irrigada. Nos Quadros 1B a 4B, é apresentado, como exemplo, o fluxo de caixa para Paracatu, com cada um dos sistemas de irrigação incluídos neste estudo, e para uma área irrigada de 75ha.

Nos custos referentes à condução da lavoura, não foram consideradas possíveis alterações do manejo normal da lavoura, em função da utilização da irrigação e do sistema utilizado. O emprego da irrigação pode trazer aumento dos tratos culturais, normalmente das capinas. Além das capinas, o uso da irrigação pode provocar aumento de pulverizações para controle de doenças. Por outro lado, por meio da irrigação podem-se reduzir despesas com tratos culturais, como adubações e aplicação de defensivos por meio da quimigação. No presente trabalho, no entanto, optou-se por não considerar tais alterações, por não se ter, ainda, dados técnicos precisos de tais efeitos.

Os valores encontrados para a taxa interna de retorno (TIR) e o valor atual líquido (VAL), a uma taxa de juros de 8% ao ano, para as diferentes situações estudadas, encontram-se apresentados nos Quadros 21 a 24 e nas Figuras 4 e 5.

Observa-se que o indicador taxa interna de retorno (TIR), para uma produtividade de 30 sc ha⁻¹ de café beneficiado (Quadro 21 e Figura 4), apresenta tendência de aumento com o aumento do tamanho da área irrigada, independentemente do local e sistema de irrigação; este comportamento já era esperado, pois reflete o comportamento dos custos, conforme apresentado anteriormente. O aumento da demanda anual de irrigação, em geral, causa redução da rentabilidade do projeto, ou seja, ao se passar de um local de menor demanda, condição representada por Araxá, para um de maior demanda, condição representada por Paracatu e João Pinheiro, ocorre uma redução da taxa interna de retorno, em razão dos maiores gastos com irrigação. Quanto ao sistema de irrigação, pode-se observar que, para os três locais e independentemente do tamanho da área irrigada, o sistema por pivô central possibilitou os melhores índices, devido aos menores custos que os demais sistemas, de modo geral. O sistema por autopropelido possibilitou a segunda melhor rentabilidade entre os quatro analisados. Dentre os dois sistemas de irrigação localizada, o sistema por tubo perfurado possibilitou melhor rentabilidade, em relação a gotejamento, para a condição de menores

Quadro 21 - Resultados do indicador taxa interna de retorno (TIR), em %, obtidos para a atividade da cafeicultura irrigada, com produtividade de 30 sc ha⁻¹, para os três locais em estudo e os diferentes sistemas de irrigação e tamanho de área

Sistema de Irrigação	Área (ha)				
	25	50	75	100	125
Araxá					
Autopropelido	18,4	21,6	22,7	23,9	24,1
Pivô central	19,6	23,3	25,8	27,2	28,2
Gotejamento	17,3	18,0	18,7	19,6	20,1
Tubo perfurado	18,5	19,3	20,1	21,0	22,3
Paracatu					
Autopropelido	17,8	20,1	21,7	22,2	23,0
Pivô central	18,3	21,9	24,7	26,0	27,0
Gotejamento	16,0	16,9	17,5	18,6	19,1
Tubo perfurado	14,4	15,2	15,9	17,4	18,2
João Pinheiro					
Autopropelido	17,2	20,0	21,6	22,0	22,8
Pivô central	17,9	21,5	24,4	25,7	26,7
Gotejamento	16,5	16,9	17,5	18,7	19,2
Tubo perfurado	15,0	15,7	16,5	18,2	19,0

Quadro 22 - Resultados do indicador taxa interna de retorno (TIR), em %, obtidos para a atividade da cafeicultura irrigada, com produtividade projetada de 60 sc ha⁻¹, para os três locais em estudo e os diferentes sistemas de irrigação e tamanho de área

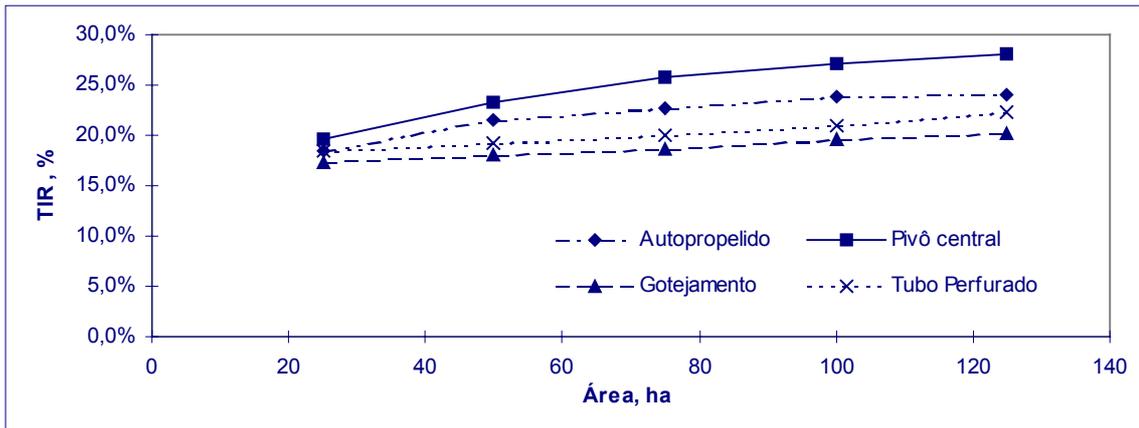
Sistema de Irrigação	Área (ha)				
	25	50	75	100	125
Araxá					
Autopropelido	58,4	62,4	64,1	65,7	66,4
Pivô central	56,5	62,8	66,6	69,1	71,0
Gotejamento	51,7	53,0	54,0	55,1	55,9
Tubo perfurado	61,9	63,5	65,2	66,9	69,1
Paracatu					
Autopropelido	58,2	61,3	63,4	64,5	65,6
Pivô central	55,7	61,9	65,8	68,2	70,0
Gotejamento	50,9	52,3	53,3	54,4	55,1
Tubo perfurado	58,5	59,9	61,4	63,4	65,1
João Pinheiro					
Autopropelido	57,9	61,3	63,5	64,5	65,7
Pivô central	55,4	61,6	65,6	68,1	69,9
Gotejamento	51,1	52,4	53,3	54,5	55,3
Tubo perfurado	59,4	60,9	62,4	64,6	66,3

Quadro 23 - Resultados do indicador valor atual líquido (VAL), em R\$ por hectare, obtidos para a atividade da cafeicultura irrigada, com produtividade de 30 sc ha⁻¹, para os três locais em estudo e os diferentes sistemas de irrigação e tamanho de área

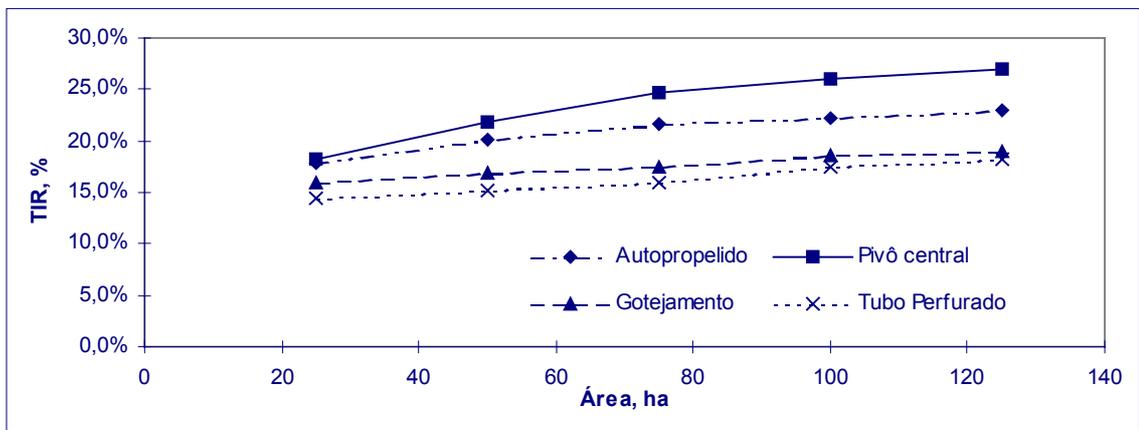
Sistema de Irrigação	Área (ha)				
	25	50	75	100	125
Araxá					
Autopropelido	2.656,44	3.319,12	3.545,70	3.765,22	3.762,59
Pivô central	3.233,51	3.859,69	4.299,48	4.472,76	4.592,63
Gotejamento	2.807,68	2.971,63	3.111,62	3.345,03	3.456,20
Tubo perfurado	2.426,06	2.562,20	2.690,05	2.815,62	3.054,13
Paracatu					
Autopropelido	2.453,82	2.947,92	3.280,04	3.331,12	3.483,33
Pivô central	2.824,68	3.461,51	4.015,89	4.189,70	4.309,47
Gotejamento	2.420,14	2.603,94	2.755,71	3.040,11	3.150,85
Tubo perfurado	1.507,55	1.649,51	1.778,41	2.106,62	2.231,00
João Pinheiro					
Autopropelido	2.301,24	2.899,15	3.223,26	3.276,40	3.424,85
Pivô central	2.721,47	3.360,96	3.946,27	4.120,20	4.239,92
Gotejamento	2.439,77	2.607,81	2.743,38	3.057,36	3.167,99
Tubo perfurado	1.603,30	1.744,56	1.873,02	2.217,88	2.342,08

Quadro 24 - Resultados do indicador valor atual líquido (VAL), em R\$ por hectare, obtidos para a atividade da cafeicultura irrigada, com produtividade de 60 sc ha⁻¹, para os três locais em estudo e os diferentes sistemas de irrigação e tamanho de área

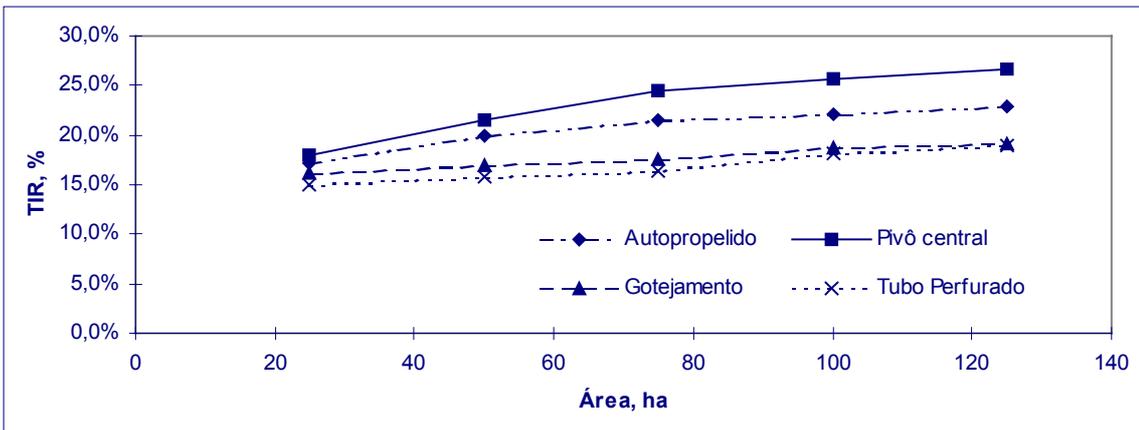
Sistema de Irrigação	Área (ha)				
	25	50	75	100	125
Araxá					
Autopropelido	21.916,07	22.578,75	22.805,32	23.024,84	23.022,22
Pivô central	22.493,14	23.119,32	23.559,11	23.732,39	23.852,26
Gotejamento	22.067,31	22.231,26	22.371,24	22.604,66	22.715,83
Tubo perfurado	21.685,69	21.821,82	21.949,68	22.075,24	22.313,76
Paracatu					
Autopropelido	21.713,45	22.207,55	22.539,67	22.590,74	22.742,96
Pivô central	22.084,30	22.721,14	23.275,52	23.449,33	23.569,10
Gotejamento	21.679,76	21.863,57	22.015,34	22.299,73	22.410,48
Tubo perfurado	20.767,17	20.909,13	21.038,04	21.366,24	21.490,63
João Pinheiro					
Autopropelido	21.560,87	22.158,78	22.482,89	22.536,03	22.684,48
Pivô central	21.981,09	22.620,59	23.205,90	23.379,82	23.499,55
Gotejamento	21.699,39	21.867,44	22.003,01	22.316,98	22.427,62
Tubo perfurado	20.862,93	21.004,19	21.132,64	21.477,50	21.601,70



(a)

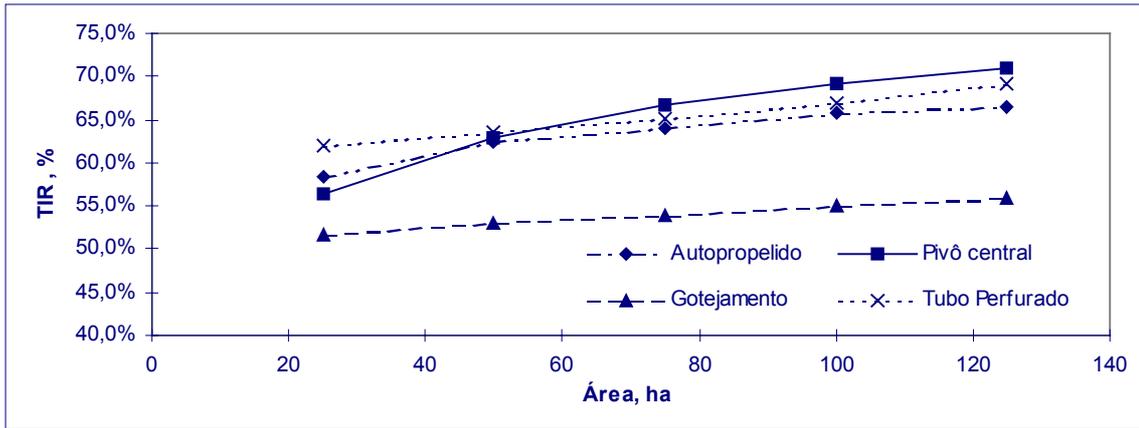


(b)

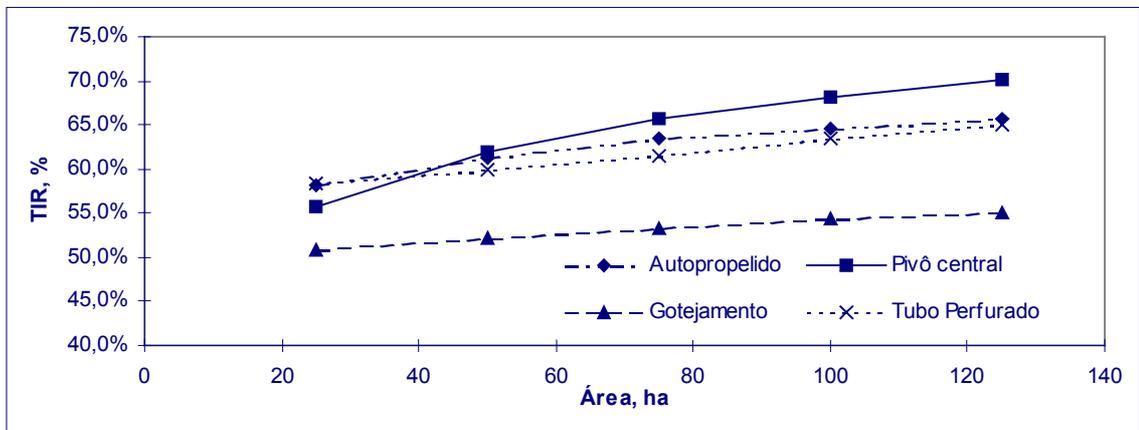


(c)

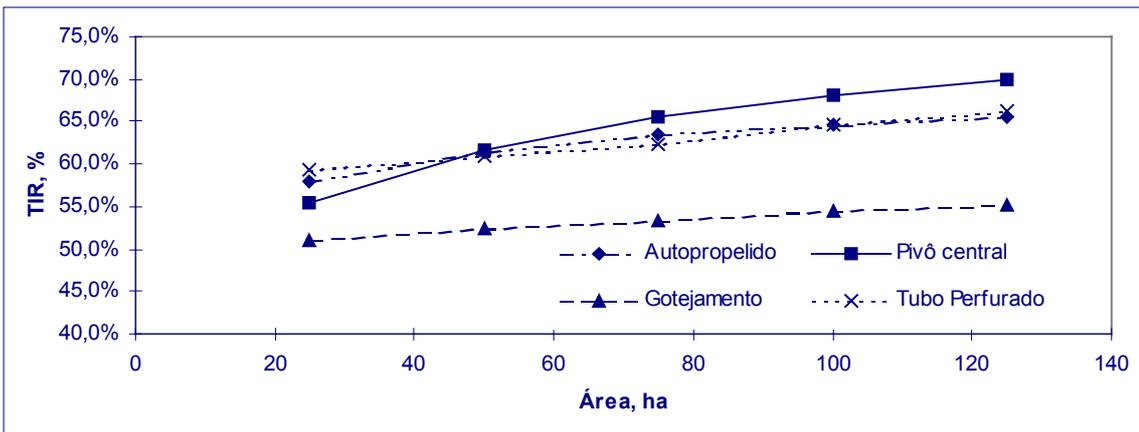
Figura 4 - Relação entre o indicador taxa interna de retorno (TIR) e o tamanho da área irrigada pelos sistemas de pivô central, autopropelido, gotejamento e tubo perfurado, para uma produtividade de 30 sc ha⁻¹ e os três locais em estudo: (a) Araxá, (b) Paracatu e (c) João Pinheiro.



(a)



(b)



(c)

Figura 5 - Relação entre o indicador taxa interna de retorno (TIR) e o tamanho da área irrigada pelos sistemas de pivô central, autopropelido, gotejamento e tubo perfurado, para uma produtividade de 60 sc ha⁻¹ e os três locais em estudo: (a) Araxá, (b) Paracatu e (c) João Pinheiro.

necessidades anuais de irrigação suplementar, representada por Araxá, em razão de seu menor custo com implantação inicial do sistema. Entretanto, ao se passar para uma condição de maiores necessidades anuais de irrigação suplementar, representada por Paracatu e João Pinheiro, o sistema por gotejamento possibilitou maior rentabilidade, em virtude do maior aumento dos custos com mão-de-obra que ocorre no sistema por tubo perfurado.

Analisando ainda os valores do indicador taxa interna de retorno (TIR), para uma produtividade de 30 sc ha⁻¹ de café beneficiado (Quadro 21), verifica-se que eles variaram de 14,4 a 28,2%, sendo superiores a 10%, que seria, segundo AZEVEDO FILHO (1988), uma taxa limite aceita convencionalmente por muitas instituições como rentabilidade mínima aceitável. Portanto, estes valores de TIR observados dão suporte à perspectiva de uma boa atratividade para a cafeicultura irrigada na região.

Ao analisar os valores do indicador TIR para a condição projetada de uma produtividade de 60 sc ha⁻¹ de café beneficiado (Quadro 22 e Figura 5), verifica-se que o sistema por pivô central não mais apresenta os melhores índices para todos os três locais e o tamanho de área irrigada, mas sim para tamanhos de área irrigada acima de 50 ha, aumentando a diferença em relação aos demais sistemas com o aumento do tamanho da área. Para o menor tamanho de área estudado, isto é, 25 ha, o sistema por tubo perfurado passa a apresentar, para esta condição de produtividade da lavoura, os maiores valores de TIR para os três locais; isto deve-se ao fato de este sistema apresentar o menor custo inicial com implantação do sistema, e, com este valor de produtividade projetada, o sistema passa então a ser pago em um tempo relativamente curto, possibilitando maior valor da TIR, embora ele possua custo variável maior que os demais sistemas. Com o aumento do tamanho da área irrigada, a diferença no custo inicial com implantação dos sistemas de irrigação torna-se menor; com isso, o sistema por tubo perfurado passa a apresentar menor TIR que o pivô central, em razão do elevado custo com mão-de-obra apresentado pelo sistema de tubo perfurado.

Os valores da TIR para autopropelido foram semelhantes aos valores para tubo perfurado para os três locais e o tamanho de área irrigada acima de 50 ha, devido a semelhanças entre os custos destes sistemas, em que um

apresenta maiores gastos com energia e o outro com mão-de-obra. Para tamanho de área de 25 ha, o sistema por tubo perfurado apresenta maiores valores da TIR, em razão da maior diferença entre o seu menor custo inicial de implantação do sistema e o do autopropelido. Dentre os quatro sistemas analisados, o sistema por gotejamento foi o que apresentou os menores valores da TIR para todos os locais e tamanhos de área irrigada, devido ao seu elevado custo inicial de implantação do sistema.

Verifica-se que uma produtividade projetada de 60 sc ha⁻¹ de café beneficiado possibilitou valores da TIR sempre superiores aos obtidos para uma produtividade de 30 sc ha⁻¹ de café beneficiado. Os valores da TIR para 60 sc ha⁻¹ de café beneficiado variaram de 50,9 a 71,0%, dando suporte à perspectiva de uma alta atratividade da cafeicultura na região, principalmente para lavouras com produtividades mais altas.

Considerando que o critério do valor atual líquido (VAL) consiste no transporte para a data zero do diagrama dos fluxos de caixa, de todos os recebimentos e desembolsos esperados, descontados à taxa de juros considerada, verificam-se, na análise do indicador VAL, a uma taxa de juros de 8% ao ano, os mesmos resultados favoráveis associados à atratividade do investimento observados pela análise da TIR para todas as condições estudadas. Os valores do valor atual líquido (VAL) a uma taxa de juros de 8% ao ano, obtidos para uma produtividade de 30 sc ha⁻¹ de café beneficiado e um horizonte de projeto de 10 anos (Quadro 23), variaram de um mínimo de 1.507,55 por hectare, para uma área de 25 ha irrigada por tubo perfurado, em Paracatu, a um máximo de 4.592,63 por hectare, para uma área de 125 ha irrigada por pivô central, em Araxá. Para a produtividade projetada de 60 sc ha⁻¹ de café beneficiado (Quadro 24), a variação foi de um mínimo de 20.767,17 por hectare, para uma área de 25 ha irrigada por tubo perfurado, em Paracatu, a um máximo de 23.852,26 por hectare, para uma área de 125 ha irrigada por pivô central, em Araxá. Estes valores podem ser interpretados como o valor médio que deveria receber o cafeicultor pela exploração da lavoura pelo período de dez anos.

Os sistemas por pivô central possibilitaram, para todos os locais, produtividades e tamanhos de área irrigada, os maiores valores de VAL dentre os sistemas de irrigação abrangidos neste estudo. Por outro lado, os sistemas

por tubo perfurado foram os que apresentaram os menores valores de VAL.

A análise conjunta dos indicadores TIR e VAL permite verificar que, em termos gerais, o sistema por pivô central possibilita os melhores retornos entre os sistemas avaliados e que, para pequeno tamanho de área irrigada e maior produtividade, o sistema por tubo perfurado possibilita maior renumeração do capital investido (maior TIR), apresentando-se como uma alternativa para pequenos produtores.

5.RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho foi realizado com o objetivo geral de determinar e analisar os custos da irrigação para a cafeicultura irrigada nas regiões do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais, para sistemas por autopropelido, pivô central, gotejamento e tubo perfurado. Foram determinados também, para três cidades da região com diferentes necessidades totais de irrigação suplementar do cafeeiro, os sistemas mais viáveis de irrigação, para projetos privados com área de lavoura de 25 a 125 hectares.

Para o estudo da demanda de irrigação do cafeeiro, foram estimadas as necessidades líquidas de irrigação suplementar, para o ano do plantio, o segundo ano e a partir do terceiro, por meio de simulações para várias cidades da região. Dentre estas, foram selecionadas três cidades, as quais apresentaram condições de menor, média e maior demanda de irrigação suplementar entre as analisadas, sendo elas Araxá, Paracatu e João Pinheiro, respectivamente.

Na determinação dos custos de irrigação, foram considerados valores médios de preços e tarifas vigentes em julho de 1998. A determinação da viabilidade financeira da cafeicultura irrigada foi estimada pelos indicadores valor atual líquido (VAL), para uma taxa anual de juros de 8 %, e taxa interna de retorno (TIR), ambos com horizonte de dez anos para os projetos.

A partir dos resultados obtidos, e com base nas condições em que foi realizado o presente trabalho, pode-se concluir que:

- Os custos totais médios anuais com irrigação (R\$ ha⁻¹) variaram de um mínimo de 344,56 para lavoura irrigada por pivô central nas condições de Araxá, no 1º ano da lavoura e em área de 125 ha, até um máximo de 849,49 para João Pinheiro, a partir do 4º ano do plantio e em área irrigada de 25 ha.

- Para os diferentes sistemas de irrigação, os custos totais médios apresentam tendência de queda com o aumento da área irrigada. Por outro lado, ocorre aumento dos custos totais de irrigação com o aumento da lâmina de irrigação requerida.

- Em relação aos sistemas de irrigação, os sistemas por aspersão (pivô central e autopropelido) apresentaram, em geral, os menores custos totais anuais, e os sistemas por pivô central apresentaram os menores custos totais. Os sistemas por tubo perfurado apresentam, em geral, os maiores custos totais anuais.

- Quanto aos custos variáveis, os sistemas por autopropelido superam os demais sistemas nos gastos com energia elétrica, e os sistemas por tubo perfurado apresentaram custos superiores aos demais nos gastos com mão-de-obra.

- O indicador taxa interna de retorno (TIR) apresentou tendência de aumento com o aumento do tamanho da área irrigada, independentemente do local e sistema de irrigação.

- Os valores do indicador taxa interna de retorno (TIR), para uma produtividade de 30 sc ha⁻¹ de café beneficiado, variaram de 14,4 a 28,2% e, para uma produtividade projetada de 60 sc ha⁻¹ de café beneficiado, variaram de 50,9 a 71,0 %, sendo bem superiores à taxa-limite aceita convencionalmente por muitas instituições como rentabilidade mínima aceitável de 10%, dando suporte à perspectiva de uma alta atratividade para a cafeicultura irrigada na região.

- O indicador valor atual líquido (VAL), a uma taxa de juros de 8% ao ano, revelou os mesmos resultados favoráveis associados à atratividade do investimento, semelhantes aos apresentados pela TIR.

RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo geral de se fazer uma análise técnica e econômica da cafeicultura irrigada em áreas de cerrado de Minas Gerais, sendo o trabalho dividido em três etapas. Na primeira, avaliou-se a evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelos métodos de Penman-Monteith (PM); Kimberley - Penman (KPen); Penman FAO (FcPn); Penman 63 (63Pn); Hargreaves e Samani (Harg); Radiação-FAO (FRad); Blaney e Criddle FAO (FB-C); e Thornthwaite simplificado por Camargo (Camargo), para as regiões cafeeiras do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais. Os valores da ET_o foram analisados em base diária e decenal, e a determinação dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência que melhor se ajustam às condições locais das áreas irrigadas foi feita comparando-se os resultados obtidos para os diferentes métodos com os determinados pelo método de Penman-Monteith, considerado como padrão. Este estudo foi realizado considerando-se os valores de ET_o para o ano todo, para o período de abril a setembro e para o período de outubro a março, que coincidem, respectivamente, com os períodos secos e chuvosos para a região. A metodologia utilizada para comparação dos resultados baseou-se no erro-padrão da estimativa do método avaliado (SEE) e no coeficiente de regressão da equação da reta gerada pela regressão (r^2), utilizando-se o erro-padrão de estimativa ajustado pela regressão (ASEE). Como informação complementar,

foi feita a regionalização da evapotranspiração de referência (ET_o) para os meses do ano, estimada pelo método de Penman-Monteith. Dentre os métodos analisados, o método Camargo apresentou tendência clara de subestimar a ET_o, sendo mais acentuada para o período seco do ano, de abril a setembro, chegando a subestimar a ET_o em média até 32%, em dois dos locais analisados. Os menores valores de erro-padrão de estimativa (SEE), maior coeficiente de regressão da equação da reta gerada (r^2) e menor erro-padrão de estimativa ajustado pela regressão (ASEE) foram apresentados, em média, pelo método 63Pn. Quando se dispõe apenas de dados de temperatura do ar, o método Harg mostrou-se preferível ao método Camargo para a estimativa da ET_o, pois apresentou maiores valores de r^2 e menores de SEE e ASEE.

Na segunda etapa, foram determinados os parâmetros físico-hídricos do solo e os parâmetros de desempenho correspondentes a uniformidade de aplicação de água e eficiência de irrigação, visando caracterizar as condições atuais do uso da irrigação na cafeicultura da região, em um total de 21 sistemas de irrigação, localizados em propriedades cafeicultoras representativas das regiões cafeeiras do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais, abrangendo seis sistemas por pivô central, cinco por autopropelido, um por canhão, um por minicanhão, quatro por gotejamento e quatro por tubo de polietileno perfurado. Verificou-se que os valores de coeficientes de distribuição foram superiores a 52% para gotejamento e 75% para tubos de polietileno flexíveis perfurados, e que os coeficientes de uniformidade de Christiansen foram superiores a 75% para autopropelido, 78% para canhão e 81% para pivô central, indicando boa uniformidade para os sistemas de tubos de polietileno flexíveis perfurados, autopropelido, canhão e pivô central e baixa uniformidade para gotejamento, na forma como empregados atualmente na região em estudo.

Quanto ao momento de se irrigar, as irrigações foram feitas, à exceção de dois sistemas avaliados, dentro do limite máximo recomendado de água disponível no solo (60% da água disponível do solo). Observou-se, na maior parte dos sistemas por pivô central e autopropelido, a aplicação de uma lâmina de irrigação inferior à lâmina requerida, proporcionando elevados valores de coeficientes de déficit (Cd). Já nos sistemas por gotejamento, observaram-se

excessos de aplicação de água com elevados valores de perdas por percolação profunda. Os valores de eficiência de aplicação (E_a), ou seja, a relação entre a lâmina armazenada e a lâmina aplicada para aquele evento de irrigação avaliado, e que correspondeu à eficiência de irrigação (E_i), por não terem sido observadas perdas na condução, foram, em média, de: 76,8% para os sistemas por autopropelido e canhão; 80,0% para pivô central; 1,3 % para gotejamento; e 67,9% para tubo perfurado de polietileno.

A terceira etapa do trabalho foi realizada com o objetivo geral de determinar e analisar os custos da irrigação para a cafeicultura irrigada nas regiões do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais, para sistemas por autopropelido, pivô central, gotejamento e tubo perfurado. Foram determinados também, para três cidades da região com diferentes necessidades totais de irrigação suplementar do cafeeiro, os sistemas mais viáveis de irrigação, para projetos privados com área de lavoura de 25 a 125 hectares. Na determinação dos custos de irrigação, foram considerados valores médios de preços e tarifas vigentes em julho de 1998. A determinação da viabilidade financeira da cafeicultura irrigada foi estimada pelos indicadores valor atual líquido (VAL), para uma taxa anual de juros de 8%, e taxa interna de retorno (TIR), ambos com um horizonte de 10 anos para os projetos.

Os custos totais médios anuais com irrigação ($R\$ \text{ ha}^{-1}$) variaram de um mínimo de R\$344,56 para lavoura irrigada por pivô central, nas condições de Araxá, no 1^o ano da lavoura e em área de 125 ha, até um máximo de R\$849,49 para João Pinheiro, a partir do 4^o ano do plantio e em área de 25 ha irrigada por tubo perfurado. Para os diferentes sistemas de irrigação, os custos totais médios apresentaram tendência de queda com o aumento da área irrigada. Por outro lado, ocorreu aumento dos custos totais de irrigação com o aumento da lâmina de irrigação requerida. Em relação aos sistemas de irrigação, os sistemas por aspersão (pivô central e autopropelido) apresentaram, em geral, os menores custos totais anuais, sendo os sistemas por pivô central os de menores custos totais. Os sistemas por tubo perfurado apresentaram, em geral, os maiores custos totais anuais. Quanto aos custos variáveis, os sistemas por autopropelido superaram os demais nos gastos com energia elétrica, e os sistemas por tubo perfurado apresentaram custos superiores aos

demais nos gastos com mão-de-obra.

O indicador taxa interna de retorno (TIR) apresentou tendência de aumento com o aumento do tamanho da área irrigada, independentemente do local e sistema de irrigação. Os valores do indicador taxa interna de retorno (TIR), para uma produtividade de 30 sc ha⁻¹ de café beneficiado, variaram de 14,4 a 28,2%, e, para uma produtividade projetada de 60 sc ha⁻¹ de café beneficiado, variaram de 50,9 a 71,0%, dando suporte à perspectiva de uma alta atratividade para a cafeicultura irrigada na região. O indicador valor atual líquido (VAL), a uma taxa de 8% ao ano, revelou os mesmos resultados favoráveis associados à atratividade do investimento, semelhantes aos apresentados pela TIR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, S. M. A., BAREFOOT, A. D. **Low trajectory sprinkler patterns and evaporation loss**. St. Joseph: ASAE, 1981. 24p. (Paper, 81-2085).
- ALLEN R. G. A Penman for all seasons. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 112, n. 4, p 348-368, 1986.
- ALLEN R. G., SMITH, M., PERRIER, A., PEREIRA, L. S. An update for the definition of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**. v. 43, n. 2, p.1-34, 1994.
- ALVES SOBRINHO T., BONOMO, R., MANTOVANI, E.C., SEDIYAMA, G. C. Estimativa mensal da evapotranspiração de referência para Dourados e Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. **Cerrados - Revista de Ciências Agrárias**, v. 1, n. 1. p. 32-34. 1998.
- ALVIM, P. T. Moisture stress as a requirement for flowering of coffee. **Science**, v. 132, p. 354, 1960.
- AMARAL, J. A. T., RENA, A. B., FÁVARO, J. R. A., BRAGA, R. P. Influência do nitrogênio na época fria sobre o crescimento de cafeeiro irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16, Espírito Santo do Pinhal, 1990. **Anais ... Espírito Santo do Pinhal**, 1990. p. 23-24.
- AMATYA, D. M., SKAGGS, R. W., GREGORY, J. D. Comparison of methods for estimating REF-ET. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 121, n. 6, p. 427-435, 1995.
- ANDRADE, D. V. **Avaliação hidráulica de tubos flexíveis de polietileno perfurados a laser utilizados na irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 1990. 147p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1990.

- ARAÚJO, J. A. C. **Análise do comportamento de uma população de café icatu (H - 4782 - 7) sob condições de irrigação por gotejamento e quebra-vento artificial**. Piracicaba: ESALQ, 1982. 87p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1982.
- ASSIS, L. L., CASTRO, P. T. Avaliação de sistema de irrigação por pivô central. **Engenharia Rural**, v.4, n.1, p.74-88, 1993.
- AZEVEDO FILHO, A. J. B. V. **Análise econômica de projetos**: "software" para situações deterministas e de risco envolvendo simulação. Piracicaba: ESALQ, 1988. 127p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1988.
- AZEVEDO, H. J., BERNARDO, S., RAMOS, M. M., SEDIYAMA, G. C., CECON, P. R. Influência de elementos do clima nas perdas de água de um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão na região Norte Fluminense RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, Poços de Caldas, 1998. **Anais...** Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. v. 1. p.325.
- BARRETO, G. B., REIS, A. J., DEMATTÊ, B. J., IGUE, T. Experiência de irrigação e modo de formação de café novo. **Bragantia**, v. 31, n.4, p. 41-50, 1972.
- BELTRAME, L. F. S., LOUZADA, J. A. S., LANNA, A. E. L. **Evapotranspiração potencial do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 1994. 49p. (Recursos hídricos, 31).
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 596 p.
- BONOMO, R., GOMES FILHO, R. R., MANTOVANI, E. C., RAMOS, M. M. Caracterização hidráulica de tubos perfurados flexíveis de polietileno. **Engenharia Agrícola**, v.17, n.3, p.60-69, 1998.
- BRALTS, V. F., EDWARDS, D. M. Field evaluation of drip irrigation submain units. **Transaction of the ASAE**, v.29, n.6, p. 1659-1654, 1986.
- BRALTS, V. F., EDWARD, D. M., WU, I. P. Drip irrigation design and evaluation based on statistical uniformity concept. In: HILLEL, D. (Ed.). **Advances in irrigation**. Orlando: Academic, 1987. v.4, p.64-117.
- BRITO, R. A. L. Avaliação do desempenho de um perímetro irrigado: proposta para um modelo conceitual. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7, 1986. Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: ABID, 1986. v. 3, p.749-776.
- BRITO, R. A., SCALOPPI, E. J. Estimativa de custos da irrigação por aspersão no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7, 1986. Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: ABID, 1986. v. 3, p.879-898.

- BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos**. 6 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1991. 266p.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resoucers assesment**. London: Claredon Press, 1986. 194p.
- BURT, C. M., CLEMMENS, A. J., STRELKOFF, T. S., SOLOMON, K. H., BLIESNER, R. D., HARDY, L. A., HOWELL, T. A. Irrigation performance mesures: efficiency and uniformity. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering**, v.123, n.6, p. 423-442, 1997.
- CAMARGO, A. P., PEREIRA, A. R. **Prescrição de rega por modelo climatológico**. Campinas: Fundação Cargil, 1990. 27p.
- CAMP, C. R., SADLER, E. J., BUSSCHER, W. J. A comparison of uniformity measures for drip irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, v.40, n.4, p.1013-1020, 1997.
- CARVALHO, D. F., BONOMO, R., GRIEBERLER, N. P., RIBEIRO, A. Estimativa da demanda máxima de irrigação para a cultura do milho (*Zea mais L.*), na bacia do rio Verde Grande. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 22, n. 1, p. 97-104, 1998.
- CHAGAS, S. J. R., CARVALHO, V. D., COSTA, L. Caracterização química e qualitativas de cafés de alguns municípios de três Regiões de Minas Gerais. **Pesq. agropec. bras.**, v. 31, n. 8, p. 555-561, 1996.
- CHARMELO, L. C. L. **Desempenho de um equipamento de irrigação autopropelido, sob diferentes condições operacionais**. Viçosa, MG: UFV, 1990. 50p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1990.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by Sprinkling**. Berkely: University of California, 1942. 124p. (Bull, 670).
- CHRISTIANSEN, J. E., DAVIS, J. R. Sprinkler irrigation systems. In: HAGAN, R. M., HAISE, H. R., EDMINSTER, T. W. (Eds.). **Irrigation of agricultural lands**. 3. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1974. p. 884-904. (Agronomy, 11)
- CLARK, C. **The economics of irrigation**. Oxford: Pergamon, 1970. 155p.
- CLEMMENS, A. J., SOLOMON, K. H. Estimation of global irrigation distribution uniformity. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering**, v.123, n.6, p. 454-461, 1997.
- COFFEE BUSINESS. Cotações e estatísticas. Rio de Janeiro, 1998. n. 373, ano VII, 14 de setembro.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. **Estudo de distribuição 5.28**: melhoria do fator de potência em instalações consumidoras. Belo Horizonte, 1997. 91p.

- DENÍCULI, W., BERNARDO, S., THIÁBAUT, J. T. L., SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo, num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, v. 27, n. 50, p. 155-162, 1980.
- DOORENBOS, J., PRUITT, J. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO Irrigation and Drainage, 24).
- DOORENBOS, J., KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193p. (irrigation and drainage Paper, 33).
- EDLING, R. J. Kinetic energy, evaporation and wind drift of droplets from low pressure irrigation nozzles. **Transaction of the ASAE**, v.28, n.5, p. 1543-1550, 1985.
- EVANS, R. G., HAN, S., KROEGER, M. W. Spatial distribution and uniformity evaluations for chemigation with center pivots. **Transaction of the ASAE**, v.38, n.1, p. 85-92, 1995.
- FARIA, R. A. **Demanda de irrigação suplementar no estado de Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 80p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- FAVETTA, G. M., BOTREL, T. A., FRIZZONE, J. A. Correlação entre três métodos de estimativa da uniformidade de distribuição em irrigação localizada. **Engenharia Rural**, v.4, n.1, p. 117-119, 1993.
- FRANCISCO, W. **Matemática financeira**. São Paulo: Atlas, 1981. 351p.
- FRIZZONE, J. A., BOTREL, T. A., FREITAS, H. A. C. Análise comparativa dos custos de irrigação por pivô central, em cultura de feijão, utilizando energia elétrica e óleo diesel. **Engenharia Rural**, v.5, n.1, p. 34-53, 1994.
- FRIZZONE, J. A., SILVEIRA, S. F. R. **Análise de viabilidade econômica de projetos hidroagrícolas**. Brasília, DF: ABEAS, 1996. 88p.
- FURUKAWA, C., BERNARDO, S., SOARES, A. A., RAMOS, M. M. Avaliação da irrigação por pivô central na região de Rio Verde, Goiás. **Revista Ceres**, v. 41, n. 233, p. 36-49, 1994.
- GUTIÉRREZ, M. V., MEINZER, F. C. Estimating water use and irrigation requirements of coffee in Hawaii. **Journal of American Society Horticultural Science**. v. 119, n. 3, p. 652-657, 1994.
- HART, W. E., PERI, G., SKOGERBOE, G. V. Irrigation performance: an evaluation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v. 105, n. IR3, p. 275-288, 1979.
- HASHMI, M. A., GARCIA, L. A., FONTANE, D. G. Espatial estimation of regional crop evapotranspiration. **Transactions of the ASAE**, v. 38, n. 5, p. 1345-1351, 1995.

- HATFIELD, J. L., ALLEN, R. G. Evapotranspiration estimates under deficient water supplies. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 122, n. 5, p. 301-308, 1996.
- HEERMANN, D. F., HEIN, P. R. Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation systems. **Transaction of the ASAE**, v.11, n.1, p.11-15, 1968.
- HEERMANN, D. F., KOHL, R. A. Fluid dynamics of sprinkler systems. In: JENSEN, M. E. (Ed.). **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1983. p.583-620. (Monograph, 3).
- HEERMANN, D. F., WALLENDER, W. W., BOS, M. G. Irrigation efficiency and uniformity. In: HOFFMAN, G. J., HOWELL, T. A., SOLOMON, K. H. **Management of farm irrigations systems**. St. Joseph: ASAE, 1992. 1040p. (Monograph, 9).
- JENSEN, D. T., HARGREAVES, G. H., TEMESGEN, B., ALLEN, R. G. Computation of ETo under nonideal conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 123, n. 5, p. 394-400, 1997.
- JENSEN, M. E., BURMAN, R. D., ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requeriments**. (Manuals and reports on engineering pratice, 70). New York: ASCE. 1990. 332p.
- KELLER, J., KARMELI, D. **Tricle irriation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975. 133 p.
- KELLER, J., BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649 p.
- KINCAID, D. C., SOLOMON, K. H., OLIPHANT, J. C. Drop size distributions for irrigations sprinklers. **Transaction of the ASAE**, v.39, n.3, p.839-845, 1997.
- KOHL, K. D., KOHL, R. A., DEBOER, D. W. Measurement of low pressure sprinkler evaporation loss. **Transaction of the ASAE**, v.30, n.4, p.1071-1074, 1987.
- KRUSE, E. G. Describing irrigation efficiency and uniformity. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v. 104, n. IR1, p. 35-41, 1978.
- LEOPOLDO, R. **Bombeamento para irrigação**. Brasília, DF: ABEAS, 1987, 73p.
- LI, J., KAWANO, H. Sprinkler rotation nonuniformity and water distribution. **Transaction of the ASAE**, v.39, n.6, p.2027-2031, 1997.
- LOPES, A. S. **Solos sob “cerrados”**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: PATAFOS, 1984. 162 p.

- LUCHIARI JÚNIOR, A., RESENDE, M., RITCHEY, K. D., FREITAS, E., SOUZA, P. I. M. Manejo de solos e aproveitamento de água. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados**. São Paulo: EMBRAPA/Nobel, 1986. p. 285-322.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição, adubação e calagem do cafeeiro**. Santo André: Companhia Paulista de Fertilizantes, [s.d.]. 43p.
- MANTOVANI, E.C. **Desarrollo y evaluacion de modelos para el manejo del riego: estimacion de la evapotranspiracion y efectos de la uniformidad de aplicacion del riego sobre la produccion de los cultivos**. Cordoba: Universidad de Cordoba, 1993. 184 p.
- MATIELLO, J. B. DANTAS, F. S. Desenvolvimento do cafeeiro e seu sistema radicular, com e sem irrigação, em Brejão (PE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, Campinas, 1987. **Anais ...** Campinas: 1987. p.165 - 166.
- MATIELLO, J. B. **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320p.
- MELO, J. F. **Custos da irrigação por aspersão em Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1993. 147p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- MERRIAM, J. L., KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.
- MERRIAM, J. L., SHEARER, M. N., BURT, C. M. Evaluating irrigation systems and practices. In: JENSEN, M. E. (Ed.). **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1983. p.721-762. Monograph, 3).
- NJOROGE, J. M. A review of some agronomic investigations on arabica coffee in Kenya. **Kenya Coffee**. v. 54, n. 629, p. 553 - 567, 1989.
- NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990). Departamento Nacional de Meteorologia, Brasília, 1992. 84p.
- PAZ, V. P. S. **Condições ótimas de operação de sistemas de irrigação por aspersão**. Piracicaba: ESALQ, 1995. 124p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Quairoz", 1995.
- PAZ, V. P. S. **Perdas de água e uniformidade de distribuição na irrigação por aspersão**. Viçosa, MG: UFV, 1990. 59p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1990.
- PEREIRA JR., J. S. Por que gerir os recursos hídricos? **Agroanalysis**, v. 18, n. 3, p.16-19, 1998.

- PEREIRA, G. M. **Simulação das perdas de água por evaporação e da uniformidade de distribuição na irrigação por aspersão**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 125p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- PERES, J. G. **Avaliação do modelo de Penman-Monteith, padrão FAO, para estimar a evapotranspiração de referência nas condições climáticas do Estado de São Paulo**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 116p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1994.
- PINTO, J. M., SOARES, J. M., NASCIMENTO, T. Análise de coeficientes de uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação localizada. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8, Florianópolis, 1988. **Anais...** Florianópolis: Imprensa Oficial de Santa Catarina, 1988. v.1. p.309-326.
- PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersion e exudacion**. Madrid: Mundi-Prensa, 1990. 471p.
- PREVEDELLO, C. L. **Física dos solos**. Curitiba: SAEAFS, 1996. 446 p.
- REIS, G. N., MIGUEL, A. E., OLIVEIRA, J. A. Efeito da irrigação, em presença e ausência da adubação NPK, em cafeeiros em produção - Resultados de 3 produções - em Caratinga - MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRAS, 16, Espírito Santo do Pinhal, 1990. **Anais...** Espírito Santo do Pinhal: 1990. p. 19-21.
- RENA, A. B., MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v. 11, n. 126, p. 26 - 40, 1985.
- ROCHA, E. M. M., MAPURUNGA, S. M. S., COSTA, R. N. T., CASTRO, P. T., AGUIAR, O. S. Uniformidade e eficiência de aplicação de água da irrigação por aspersão convencional na superfície e perfil do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, Poços de Caldas, 1998. **Anais...** Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. v. 1, p.325.
- RODRIGO LÒPEZ, J. , HERNÁNDEZ ABREU, J. M. , PÉREZ REGALADO A. , GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, J. F. **Riego localizado**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. 405p.
- SANTINATO, R., FERNANDES, A. L. T., FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. São Paulo: ARBORE, 1997. 146p.
- SCALOPPI, E. J. Exigências de energia para irrigação. **ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna**, v.12, n.2, p. 13-17, 1985.
- SCHUCH, U. K. e FUCHIGAMI, L. H. Flowering, Ethylene Production, and ion Leakage of Coffee in Response to Water Stress and Gibberellic Acid. **Journal of American Society Horticultural Science**. v. 117, n. 1, p. 158-163, 1992.

- SEDIYAMA, G. C., RIBEIRO, A., LEAL, B. G. Relações clima-água-planta. 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.46-85.
- SEGINER, I., NIR, D., Von BERNUTH, R. D. Simulation of wind-distorted. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering**, v. 117, n. 2, p. 285-308, 1991.
- SILVA, E. M., AZEVEDO, J. A., GUERRA, A. F., FIGUERÊDO, S. F., ANDRADE, L. M., ANTONINI, J. C. A. 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.
- SMITH, M., SEGEREN, A., PEREIRA, L. S., PERRIER, A., ALLEN, R. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guideline for prediction of crop water requirements**. Rome: FAO, 1991. 45 p.
- 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, Ilhéus, BA, 1993. **Anais ... Ilhéus: SBEA, 1993. p. 2688 - 2702.**
- SOARES, A. A. **Irrigação por aspersão e localizada**. Brasília, DF: ABEAS, 1998. 91p.
- SOLOMON, K. H. **Sprinkler irrigation uniformity**. Fresno: California State University, 1990. 15p. (Irrigation notes).
- STEINER, J. L., KANEMASU, E. T., CLARK, R. N. Spray losses and partitioning of water under a center pivot sprinkler system. **Transaction of the ASAE**, v.26, n.4, p.1128 -1134, 1983.
- TARJUELO MARTÍN-BENITO, J. M. **Estimación del coste de aplicación de agua con riego por aspersión en la Llanura Norte de la provincia de Albacete**. Albacete: Caja de Ahorros de Albacete, 1986. 186p.
- TARJUELO MARTÍN-BENITO, J. M. **El riego por aspersión y su tecnología**. Madrid: Mundi-Prensa, 1995. 491p.
- THOMPSON, G. T., SPIESS, L. B., KRIDER, J. N. Farm resources and system selection. In: JENSEN, M. E. (Ed.). **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1983. p.45-76. (Monograph, 3).
- VORIES, E. D., Von BERNUTH, R. D. Single nozzle sprinkler performance in wind. **Transaction of the ASAE**, v.29, n.5, p.1325-1330, 1986.
- WU, I. P., GITLIN, H. Drip irrigation application efficiency and schedules. **Transaction of the ASAE**, v.26, n.1, p. 92-99, 1983.
- ZANINI, J. R., OLIVEIRA, J. C., PAVANI, L. C., PEDROSO, P. A., VALIM, M. R. Efeito da irrigação no desenvolvimento vegetativo de cafeeiros novos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, Campinas, 1994. 30p. (manuscrito).

APÊNDICES

APÊNDICE A

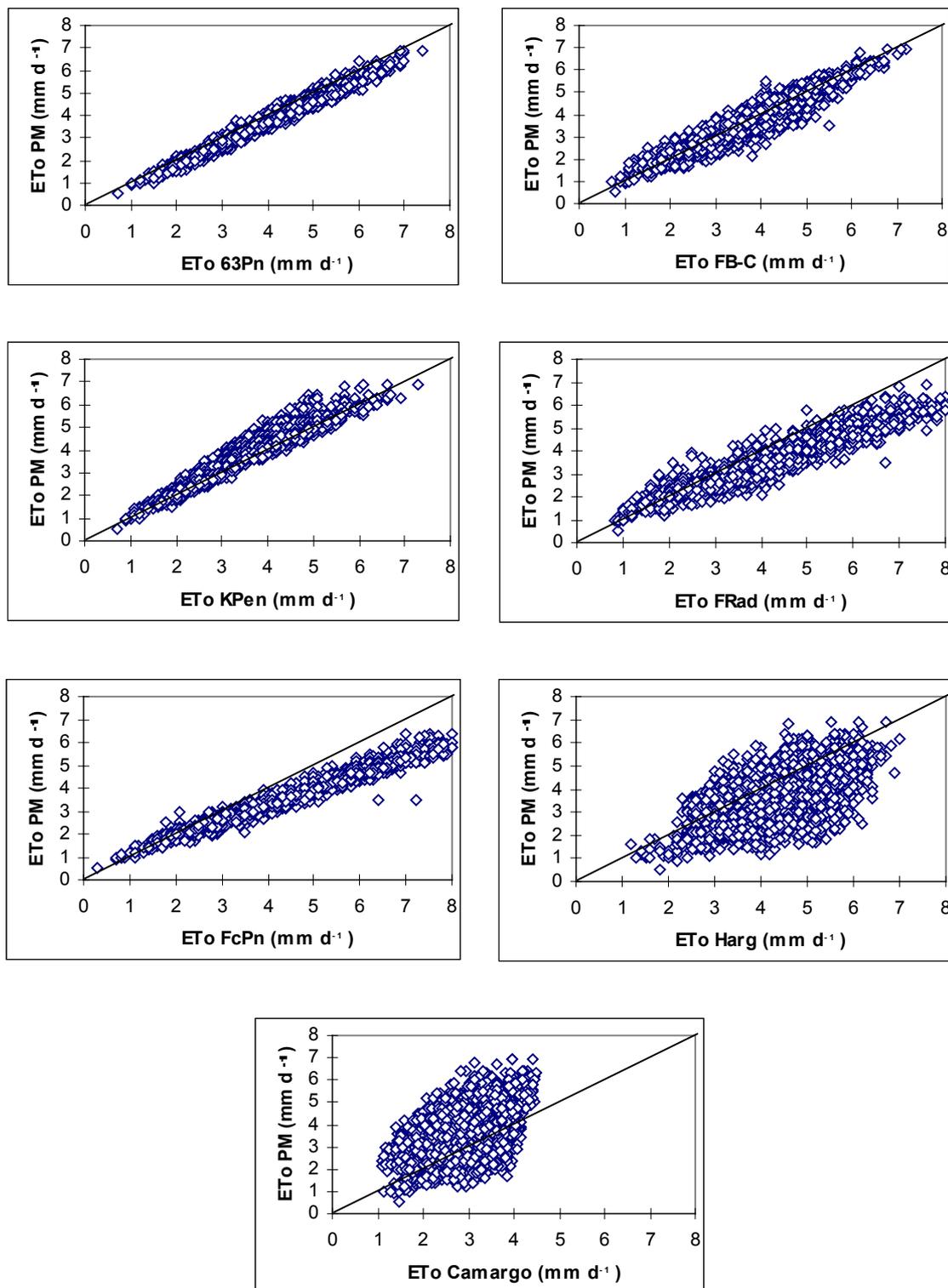


Figura 1A - Evapotranspiração diária, para o ano todo, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. Araxá.

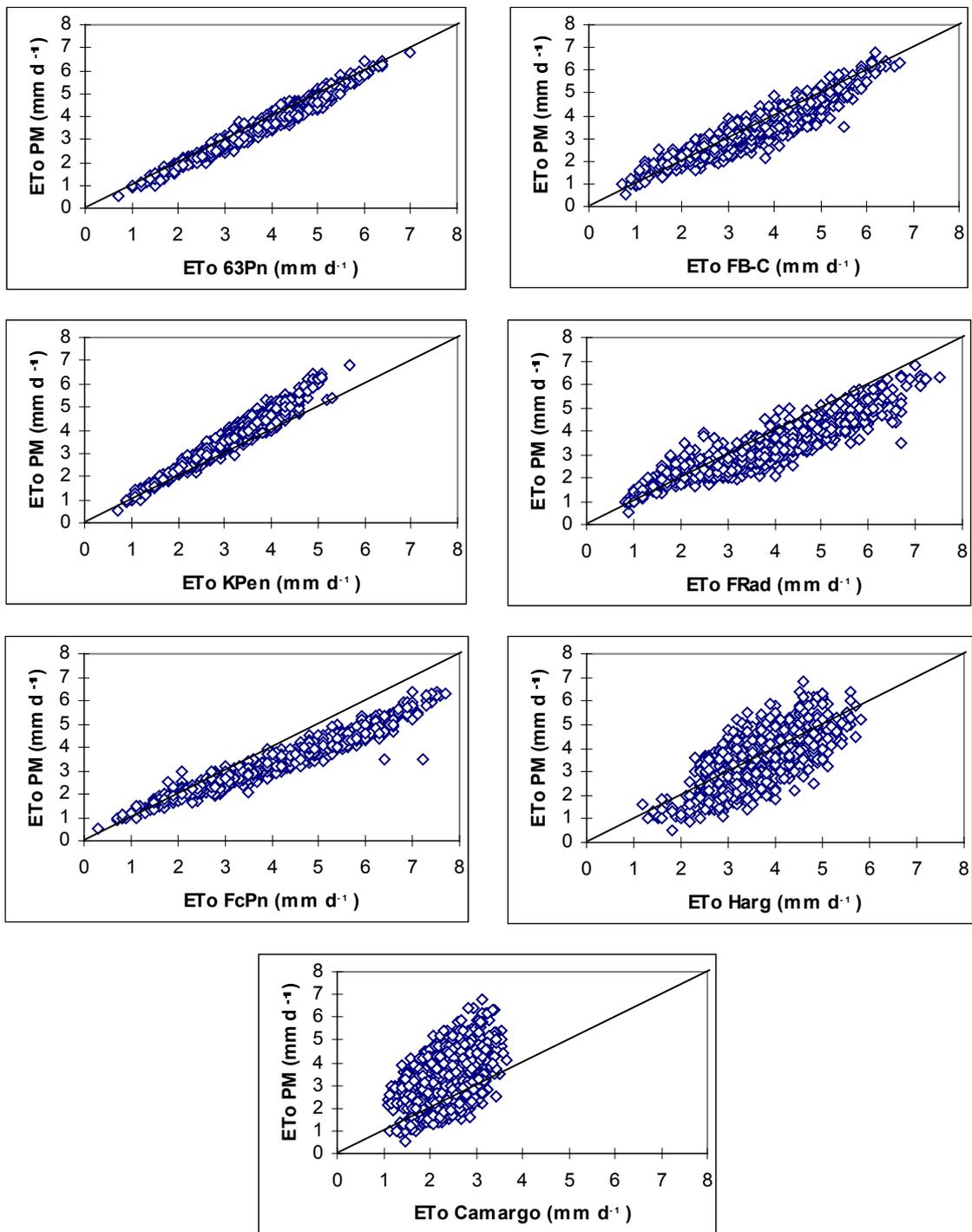


Figura 2A - Evapotranspiração diária, período de abril a setembro, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. Araxá.

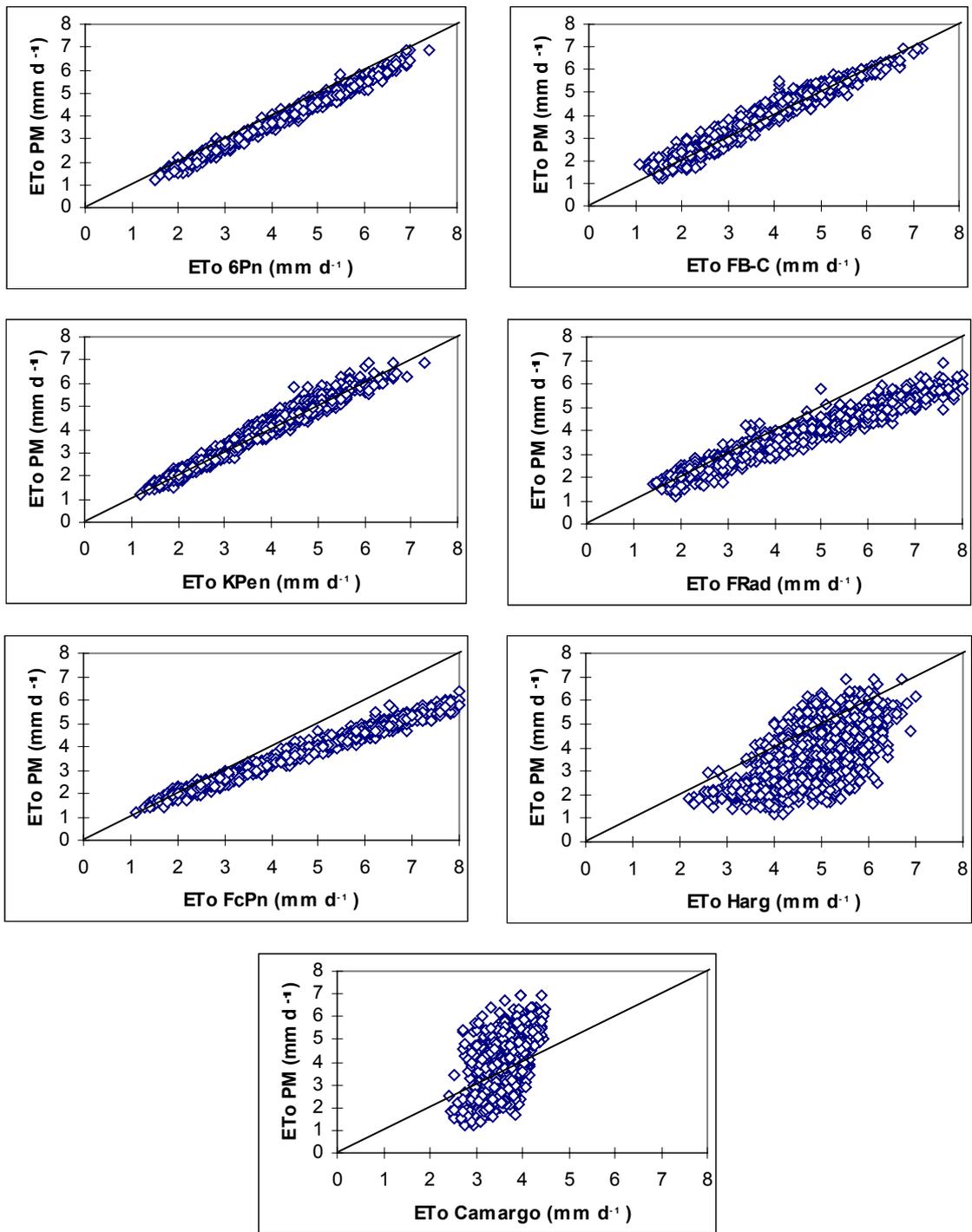


Figura 3A - Evapotranspiração diária, período de outubro a março, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. Araxá.

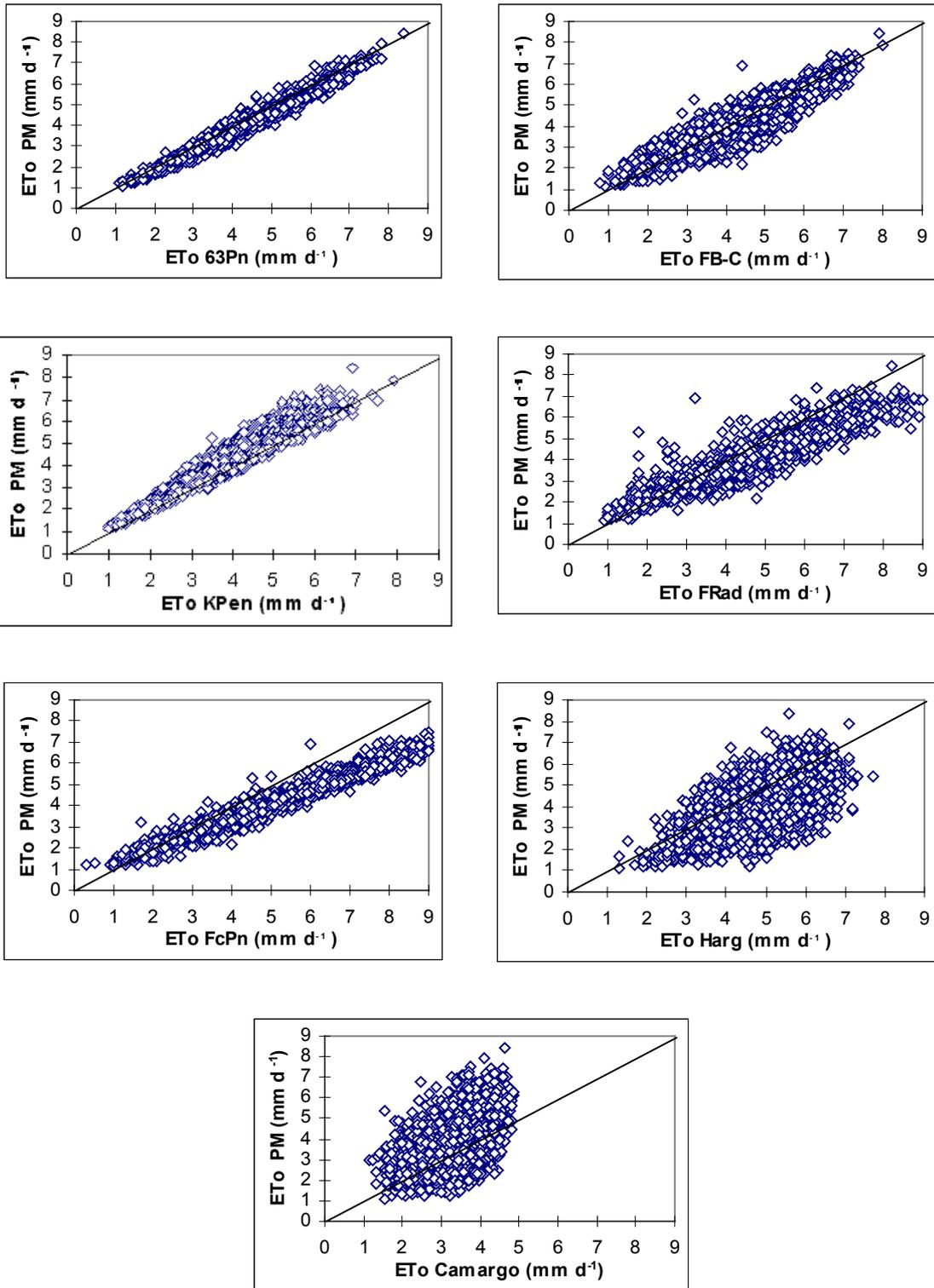


Figura 4A - Evapotranspiração diária, para o ano todo, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. Capinópolis.

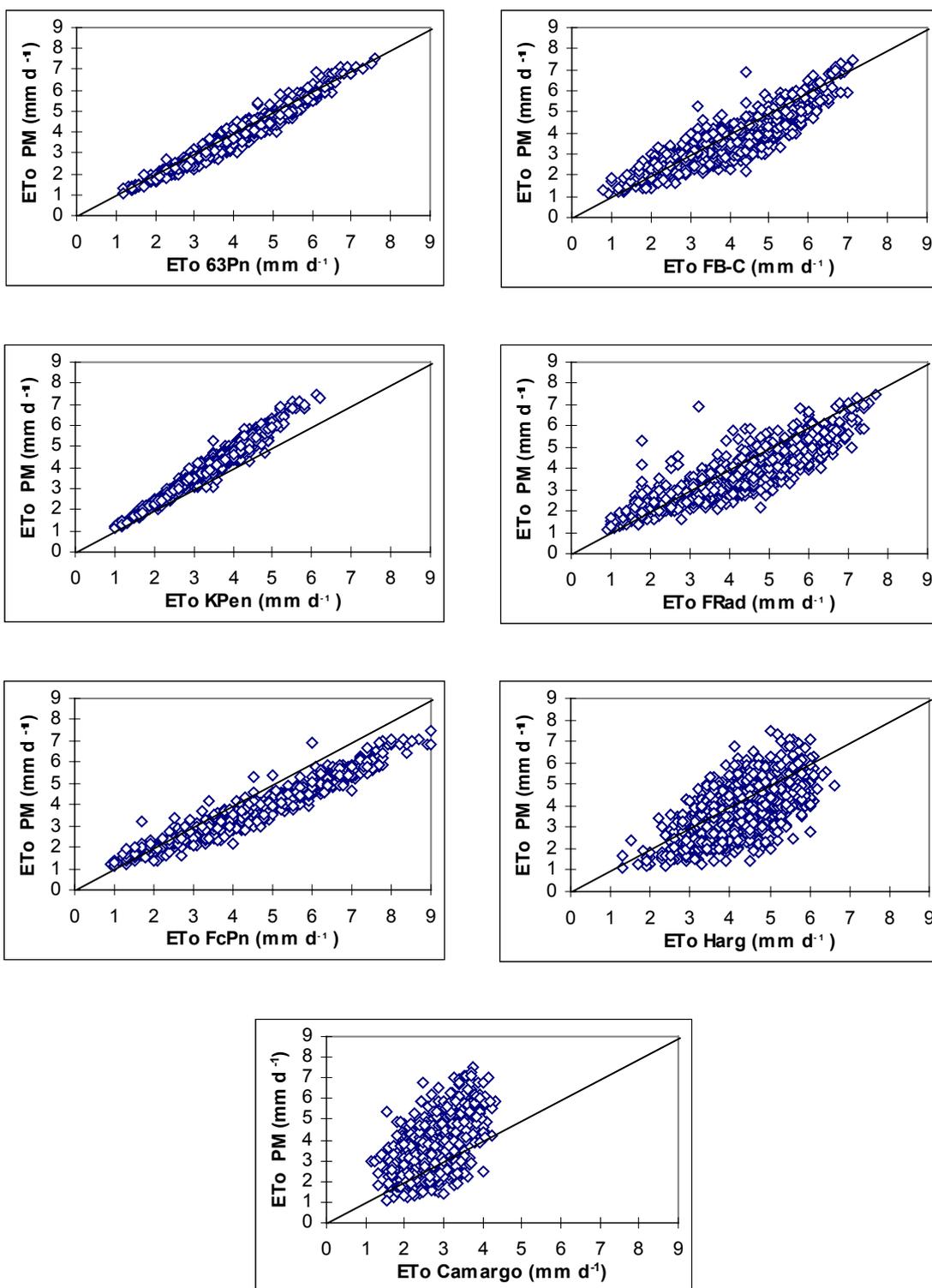


Figura 5A - Evapotranspiração diária, período de abril a setembro, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. Capinópolis.

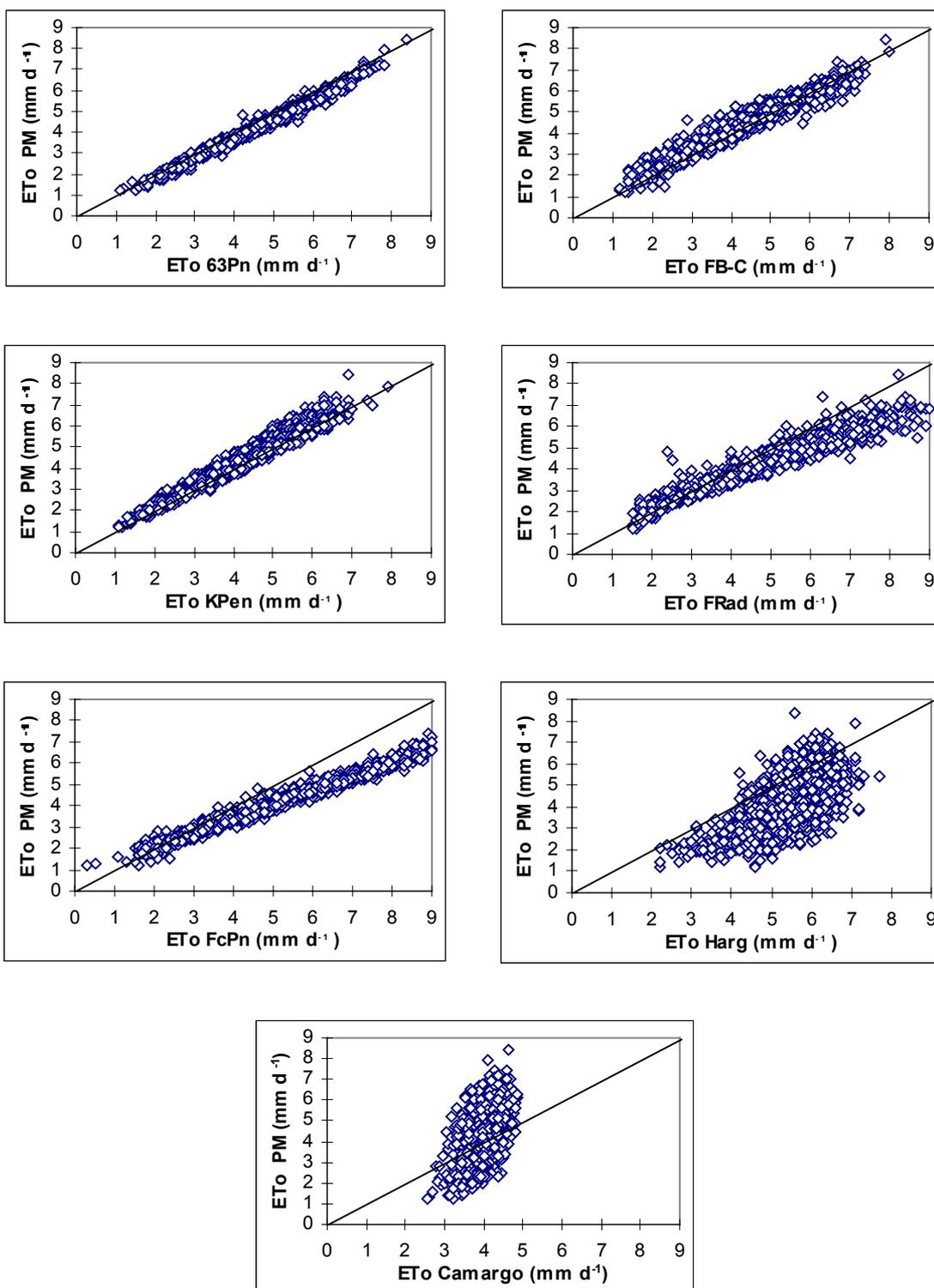


Figura 6A - Evapotranspiração diária, período de outubro a março, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. Capinópolis.

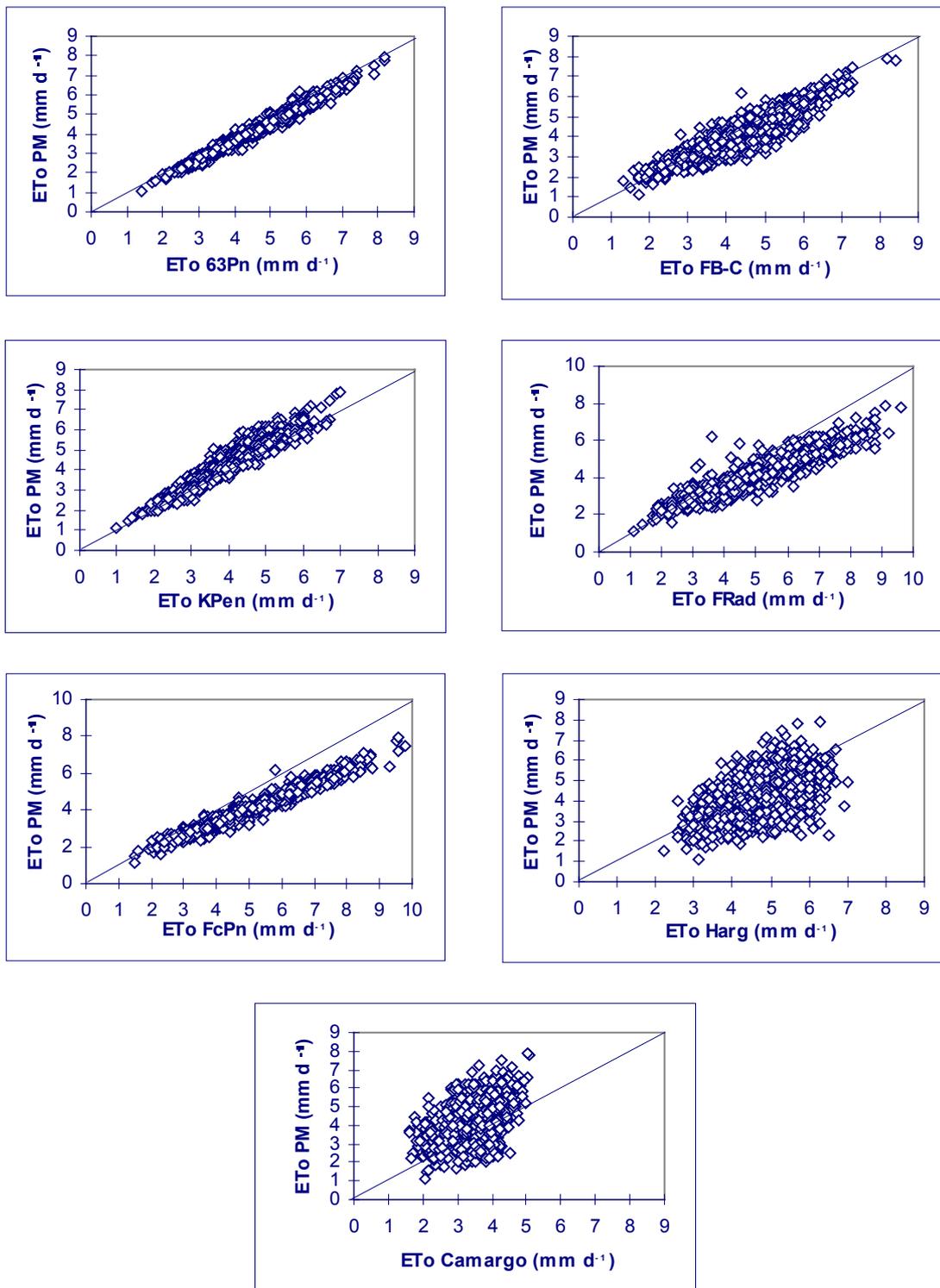


Figura 7A - Evapotranspiração diária, valores do ano todo, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. João Pinheiro.

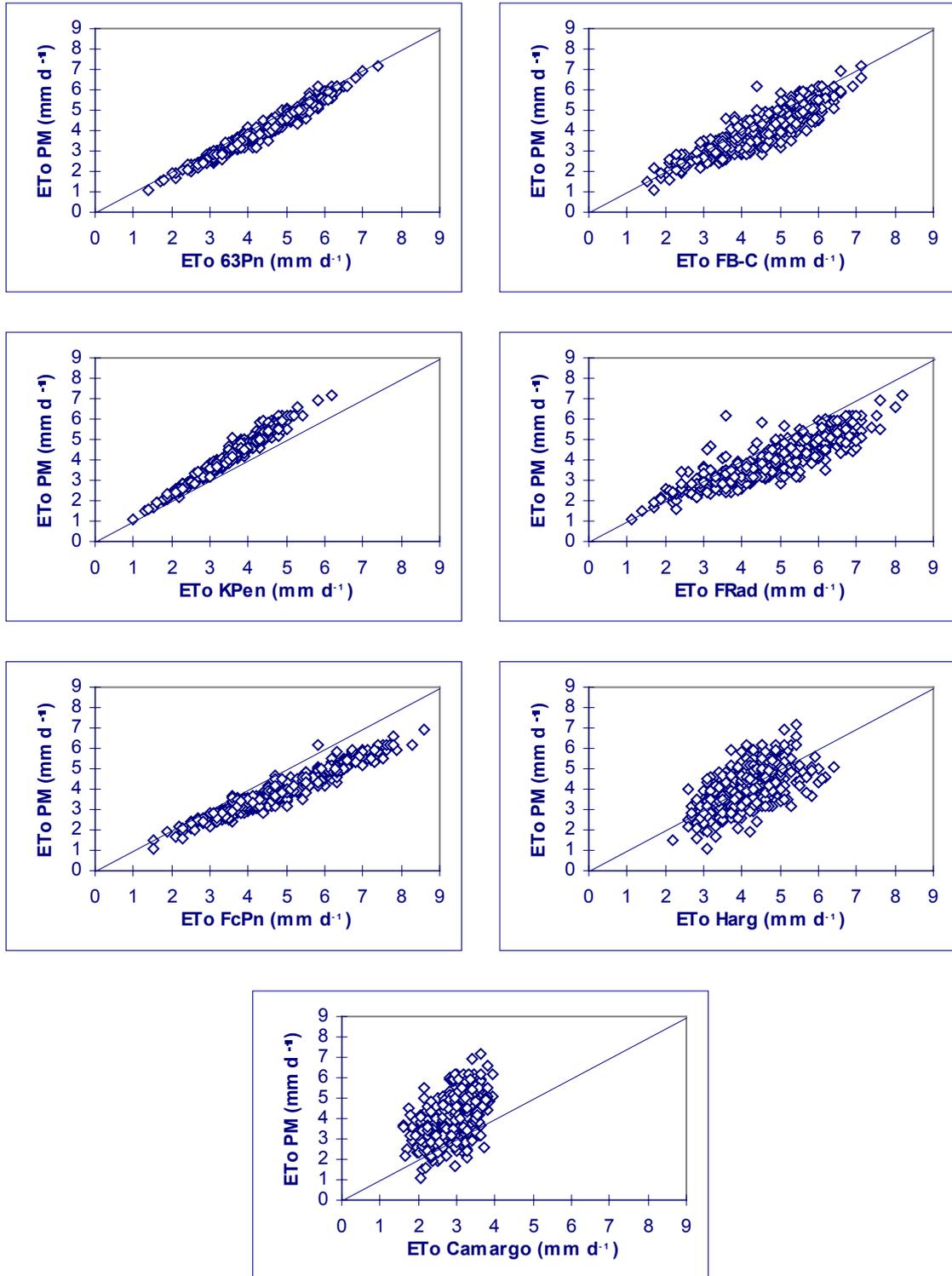


Figura 8A - Evapotranspiração diária, período de abril a setembro, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. João Pinheiro.

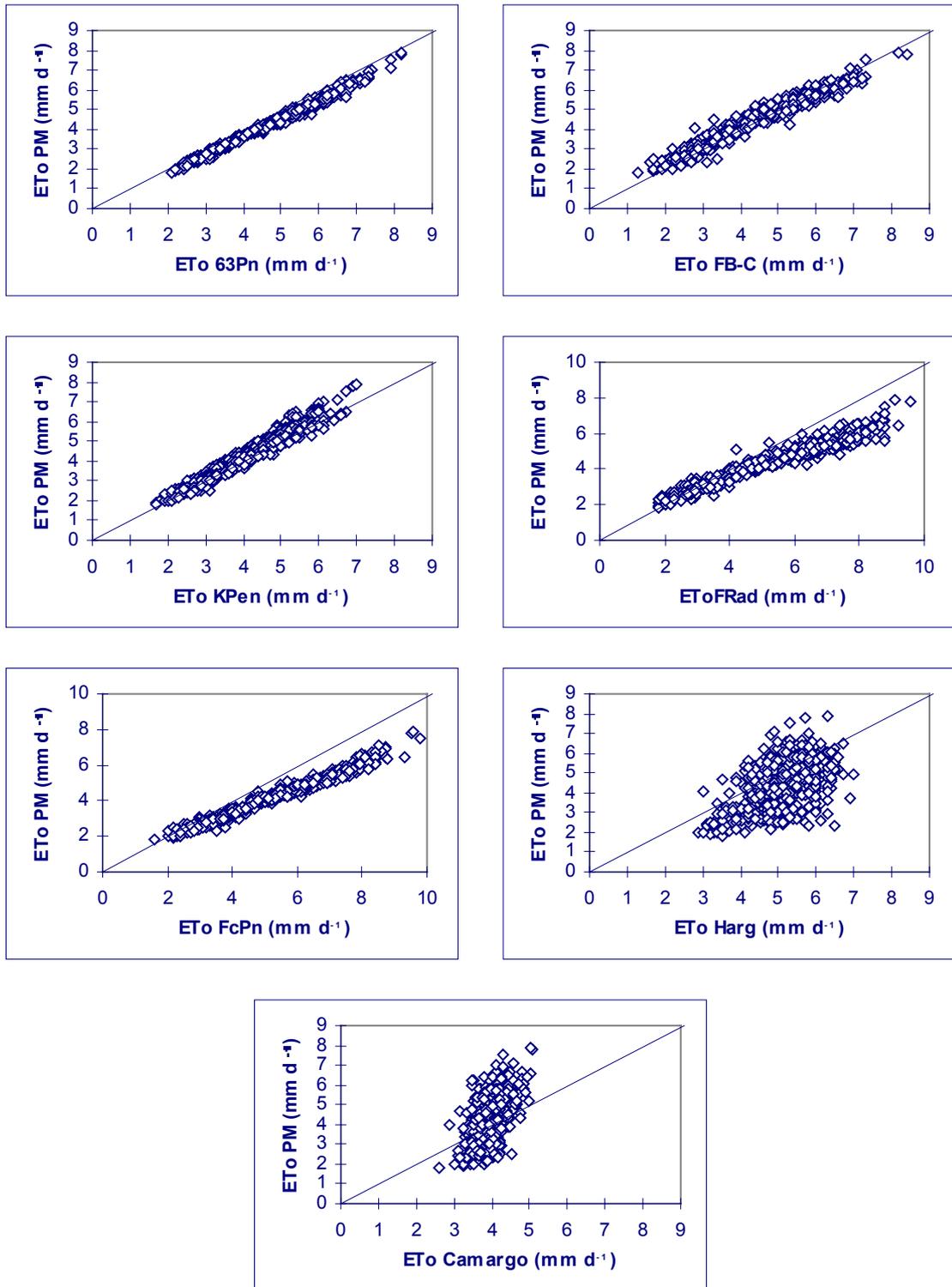


Figura 9A - Evapotranspiração diária, período de outubro a março, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. João Pinheiro.

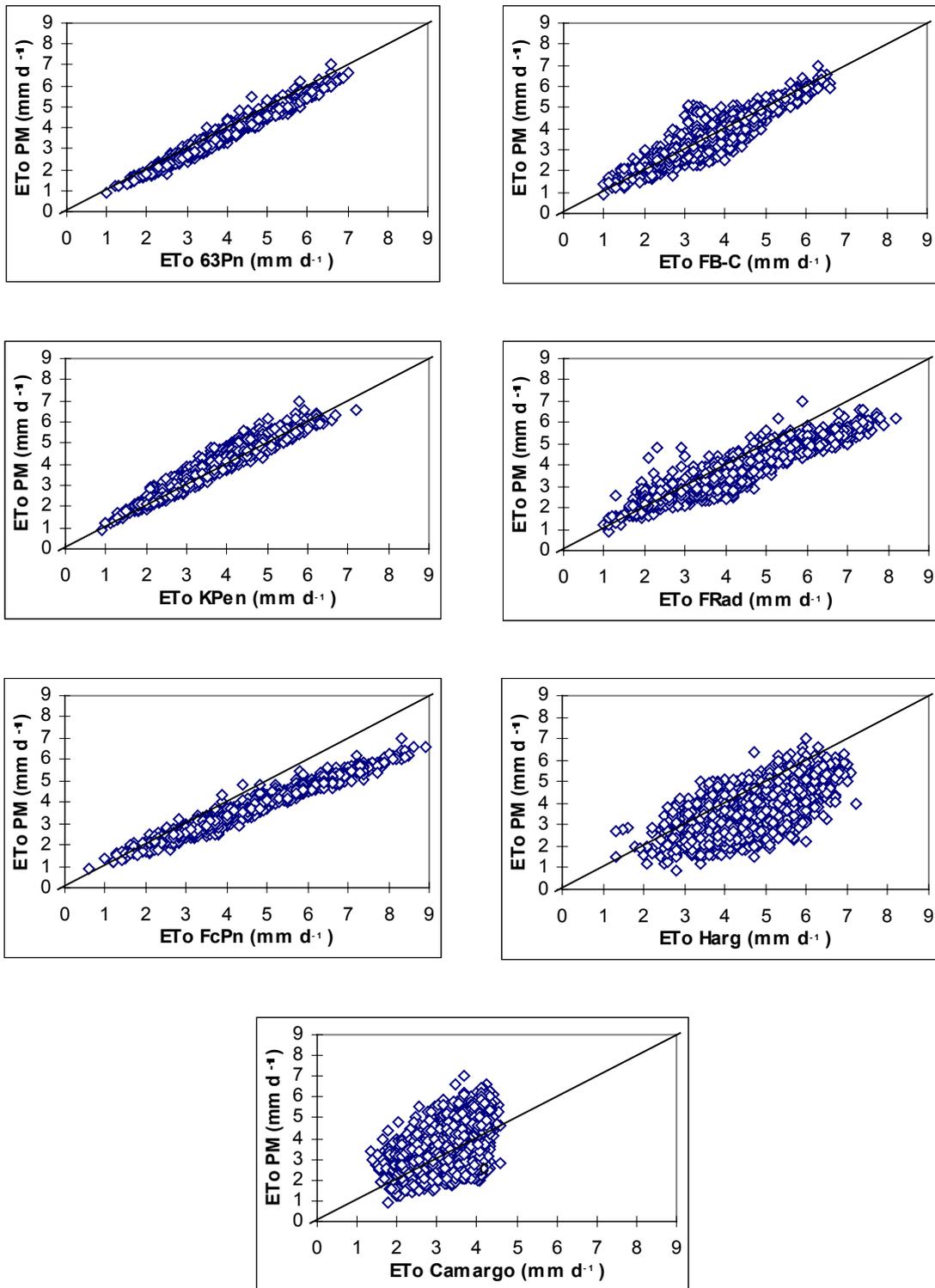


Figura 10A - Evapotranspiração diária, para o ano todo, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. Paracatu.

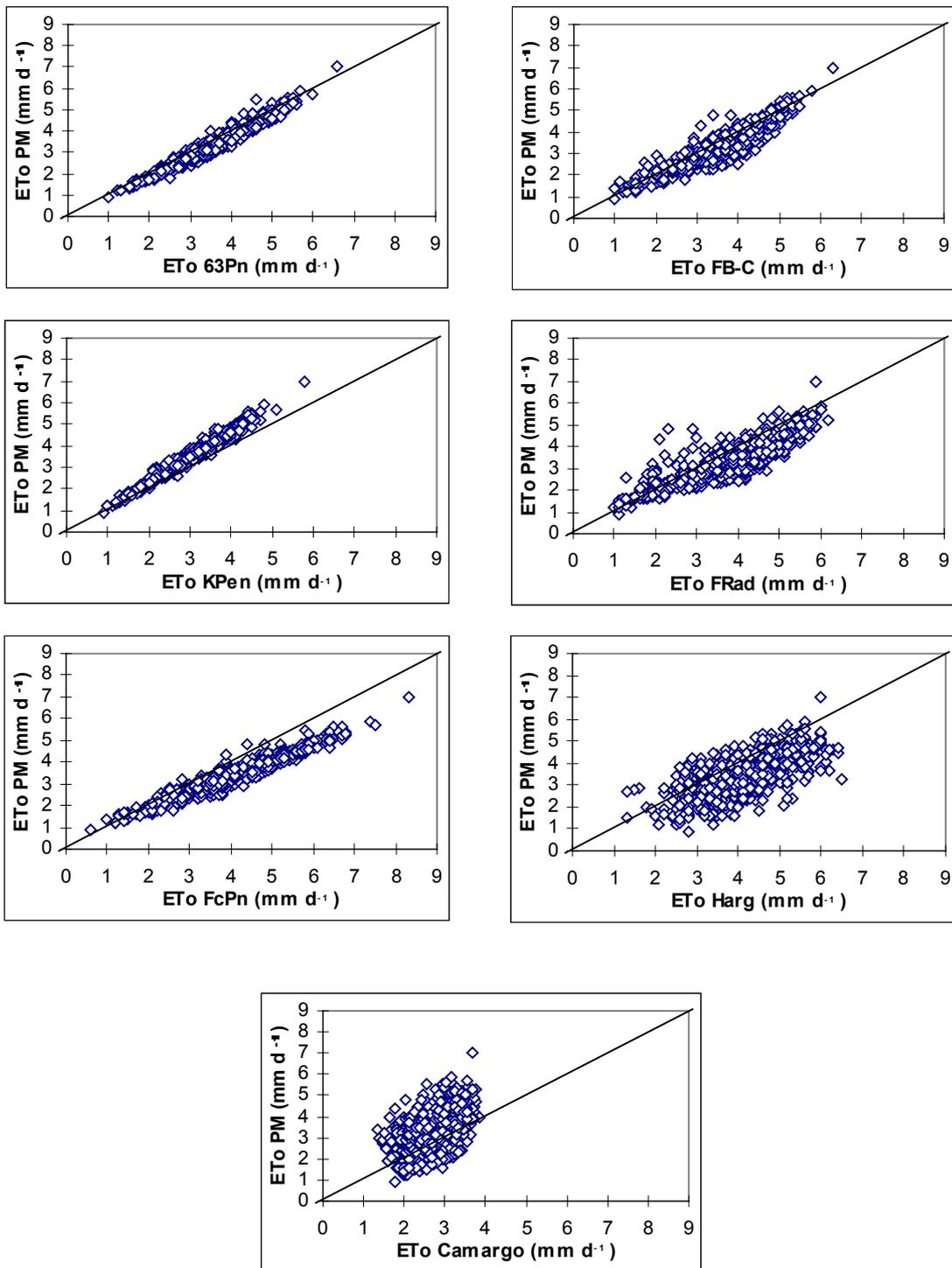


Figura 11A - Evapotranspiração diária, período de abril a setembro, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. Paracatu.

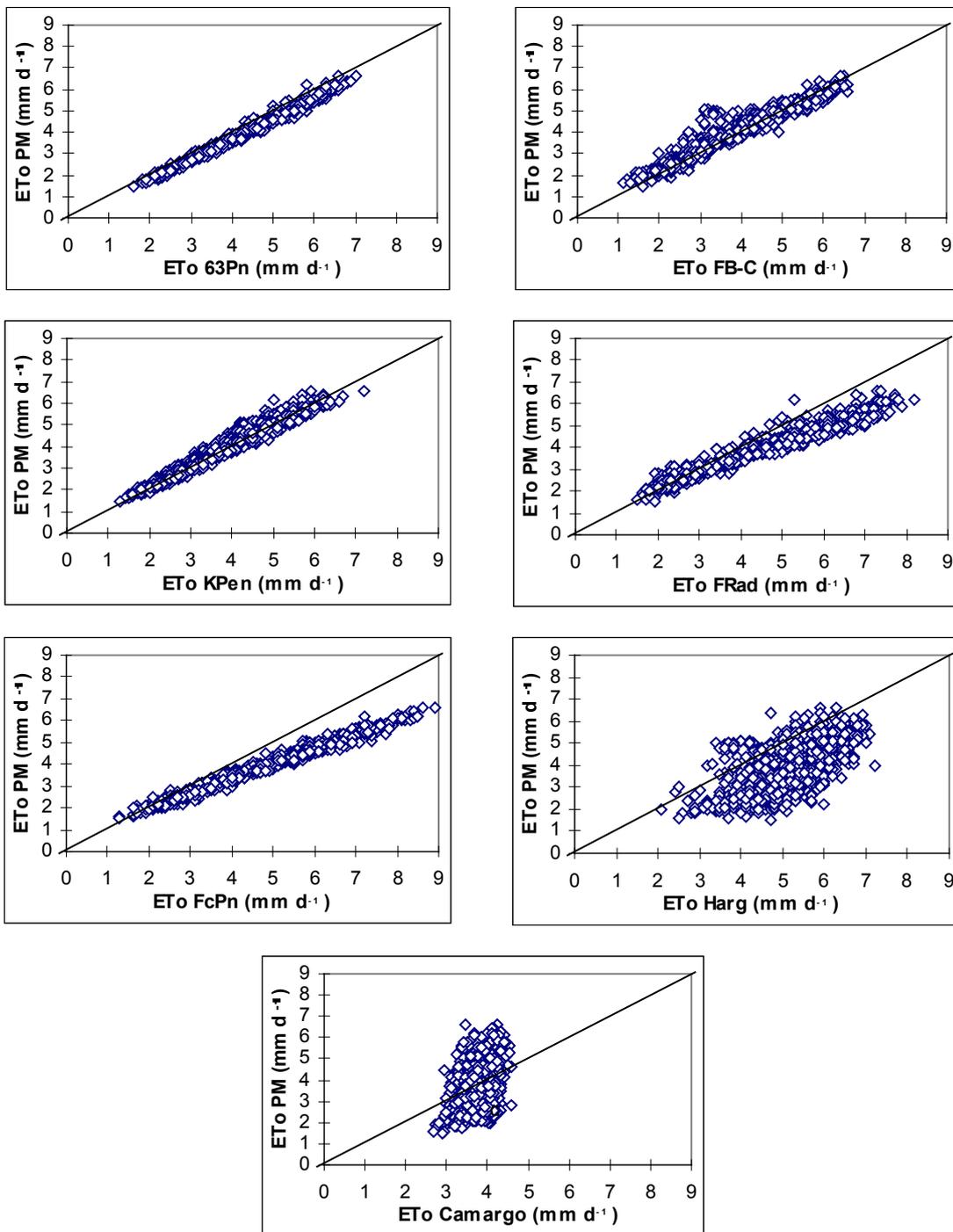


Figura 12A - Evapotranspiração diária, período de outubro a março, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. Paracatu.

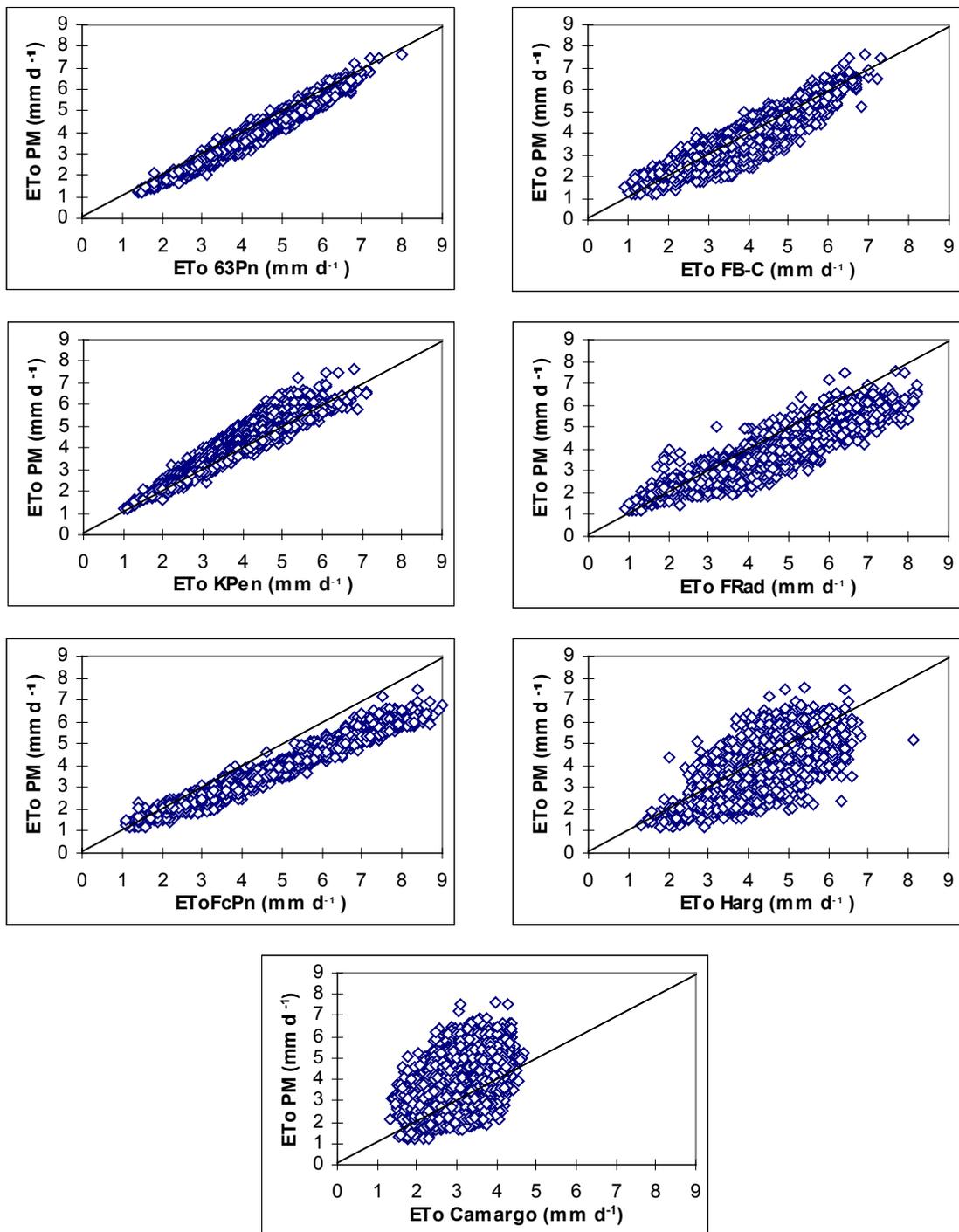


Figura 13A - Evapotranspiração diária, para o ano todo, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. Patos de Minas.

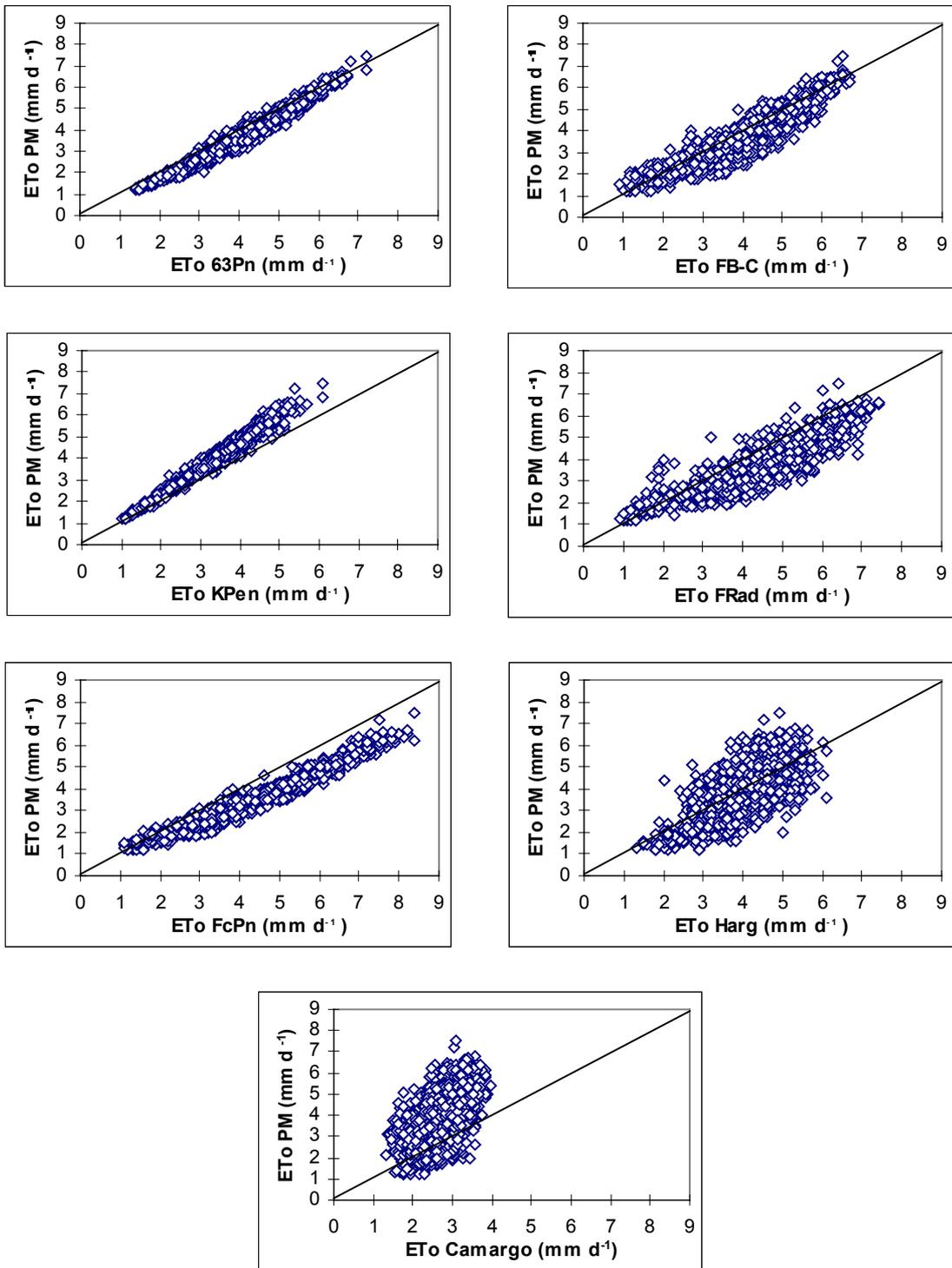


Figura 14A - Evapotranspiração diária, período de abril a setembro, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. Patos de Minas.

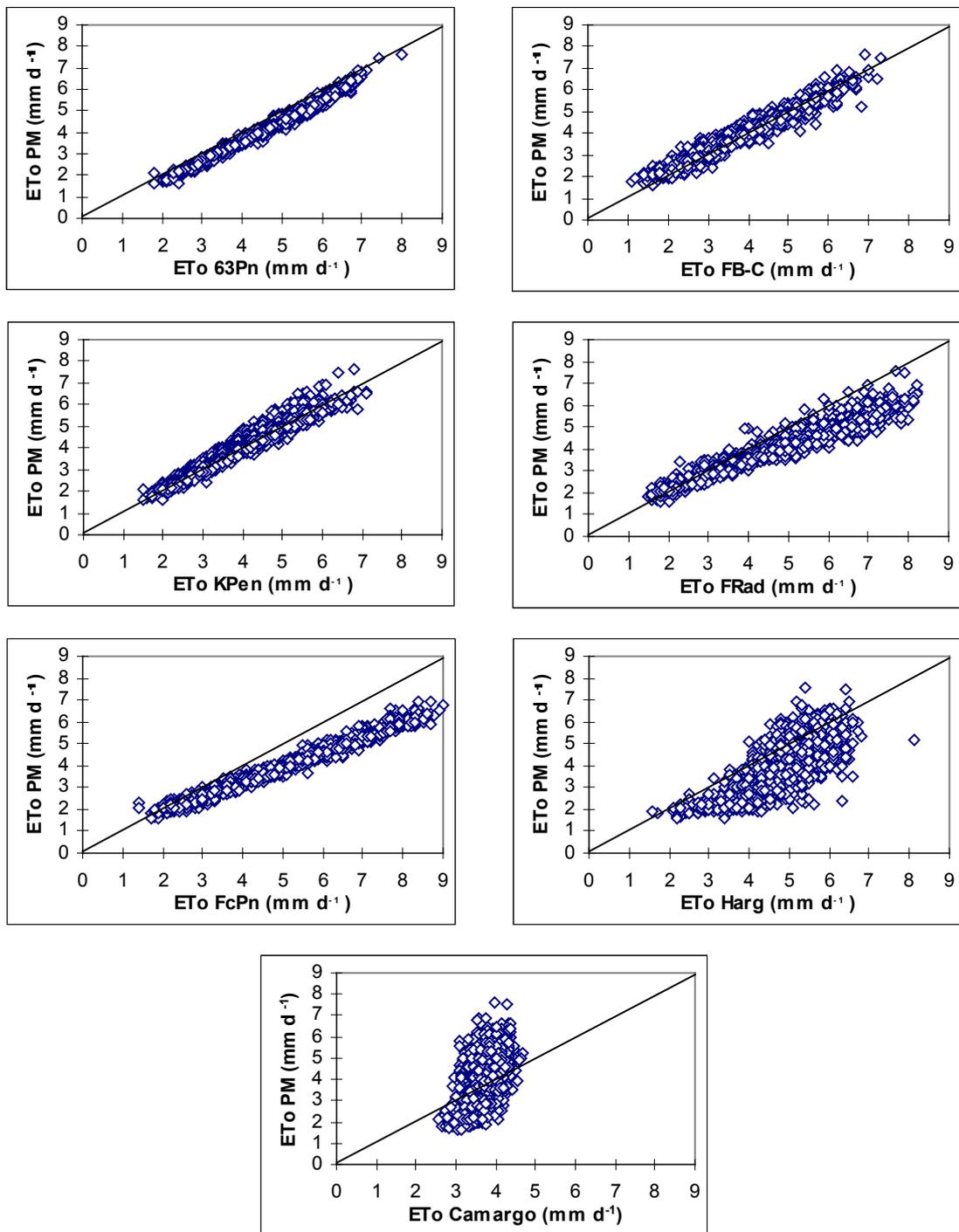


Figura 15A - Evapotranspiração diária, período de outubro a março, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. Patos de Minas.

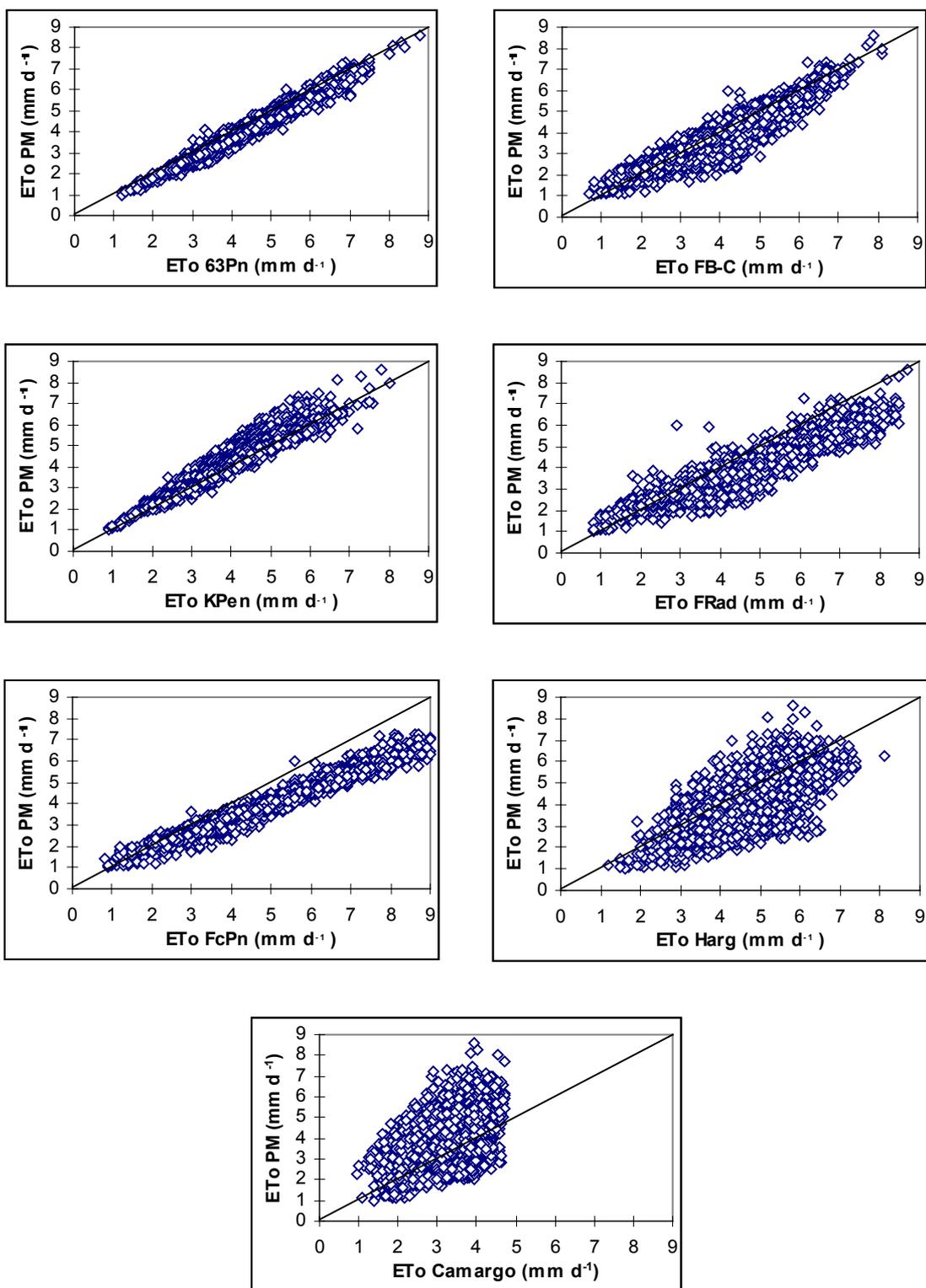


Figura 16A - Evapotranspiração diária, para o ano todo, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. Uberaba.

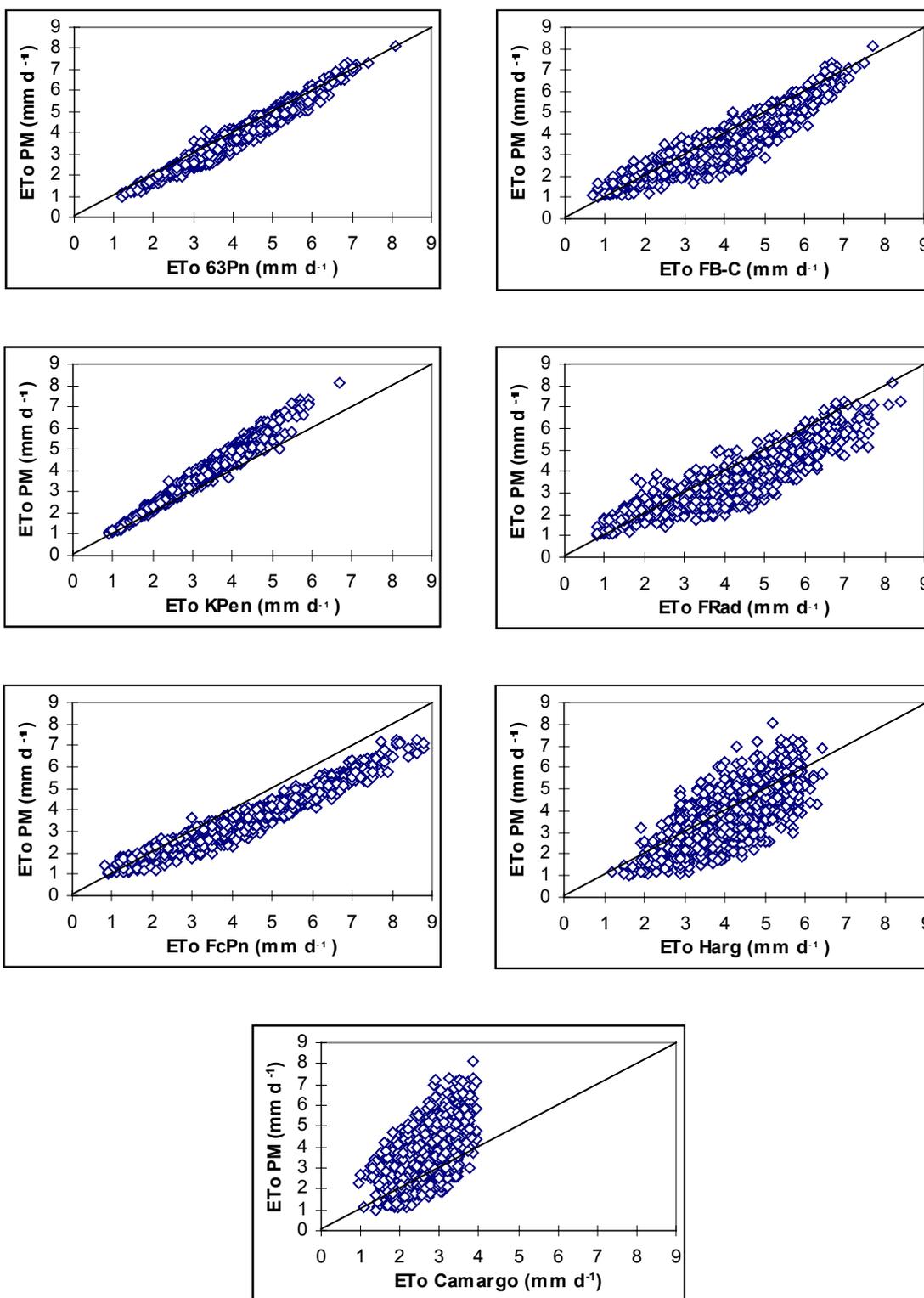


Figura 17A - Evapotranspiração diária, período de abril a setembro, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. Uberaba.

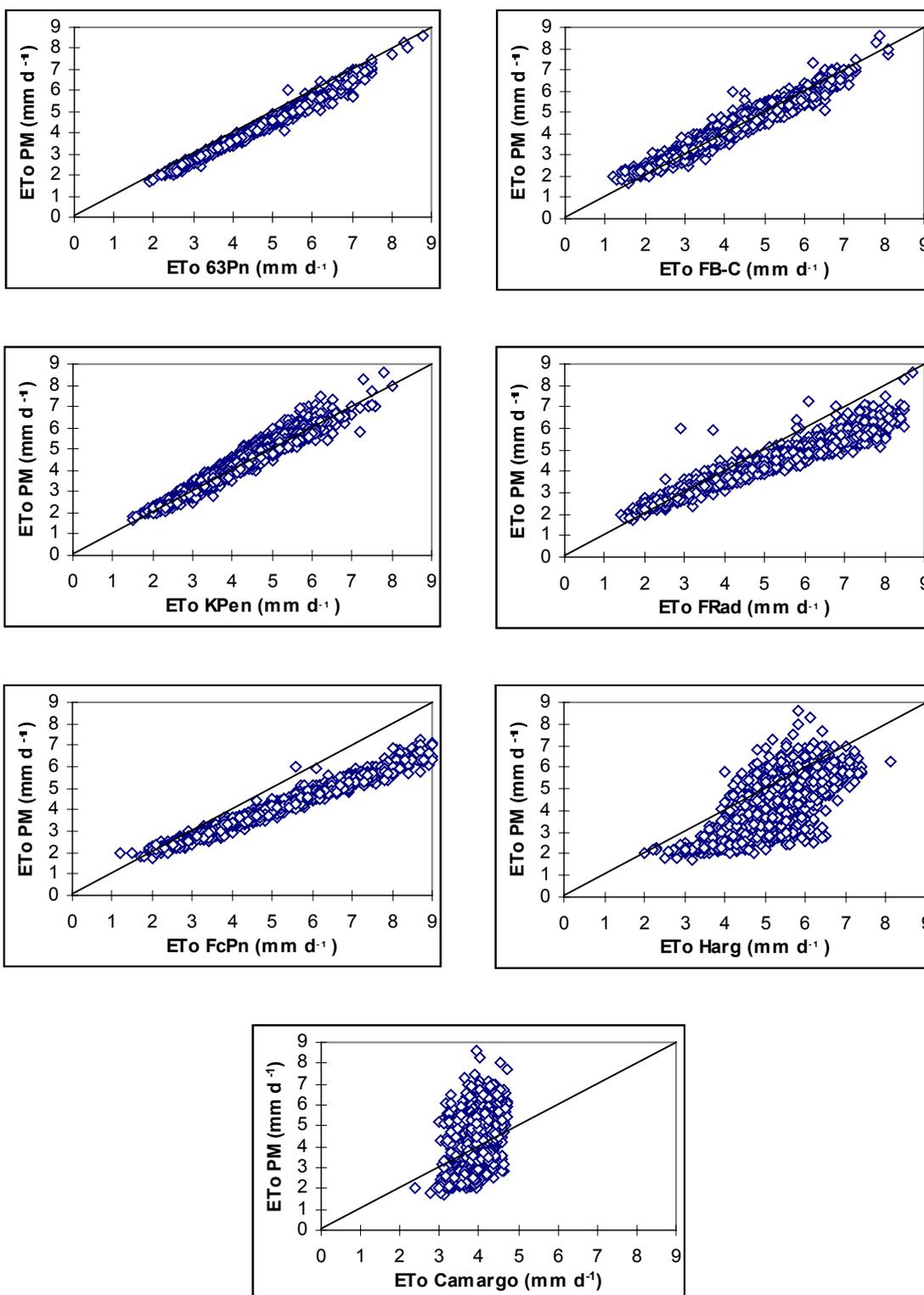


Figura 18A - Evapotranspiração diária, período de outubro a março, estimada pelo método Penman-Monteith (PM) versus a estimada pelos diferentes métodos. Uberaba.

APÊNDICE B

Quadro 1B - Estimativa de irrigação suplementar do cafeeiro, para o ano do plantio, 2^o ano, 3^o ano e a partir do 4^o ano após o plantio, irrigado por autopropelido, para Araxá-MG: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c), precipitação efetiva (Pefet), irrigação real necessária (IRN), eficiência de irrigação (Ead), irrigação total necessária (ITN) e número de irrigações (n)

Mês/Ano	ET _o mm d ⁻¹	ET _c mm d ⁻¹	Pefet mm d ⁻¹	IRN mm	Ead	ITN mm	n
jan./1	4,40	1,71	3,60	0,0	0,774	0,0	0
fev./1	4,32	1,71	2,18	0,0	0,774	0,0	0
mar./1	4,02	1,56	1,83	0,0	0,774	0,0	0
abr./1	3,42	1,20	0,57	11,4	0,774	14,7	1
maio/1	2,80	0,89	0,00	34,7	0,774	44,8	3
jun./1	2,46	0,79	0,00	23,6	0,774	30,5	2
jul./1	2,70	0,89	0,00	23,9	0,774	30,9	2
ago./1	3,73	1,28	0,00	38,7	0,774	50,0	3
set./1	4,03	1,42	0,03	40,5	0,774	52,3	3
out./1	4,20	1,84	2,63	0,0	0,774	0,0	0
nov./1	3,97	1,89	4,76	0,0	0,774	0,0	0
dez./1	3,85	1,90	5,66	0,0	0,774	0,0	0
anual/1	3,66	1,42	1,77	172,8	0,774	223,3	14,0
jan./2	4,40	2,25	3,60	0,0	0,774	0,0	0
fev./2	4,32	2,21	2,18	0,0	0,774	0,0	0
mar./2	4,02	2,00	1,83	0,0	0,774	0,0	0
abr./2	3,42	1,58	0,57	35,4	0,774	45,7	2
maio/2	2,80	1,26	0,00	36,9	0,774	47,7	2
jun./2	2,46	1,10	0,00	19,1	0,774	24,7	1
jul./2	2,70	1,27	0,00	39,5	0,774	51,0	2
ago./2	3,73	1,83	0,00	60,2	0,774	77,8	3
set./2	4,03	1,99	0,03	63,7	0,774	82,3	3
out./2	4,20	2,43	2,63	0,0	0,774	0,0	0
nov./2	3,97	2,66	4,76	0,0	0,774	0,0	0
dez./2	3,85	2,67	5,66	0,0	0,774	0,0	0
anual/2	3,66	1,94	1,77	254,8	0,774	329,2	13,0
jan./3	4,40	2,84	3,60	0,0	0,774	0,0	0
fev./3	4,31	2,22	2,19	0,0	0,774	0,0	0
mar./3	4,02	1,98	1,83	0,0	0,774	0,0	0
abr./3	3,42	1,64	0,57	24,7	0,774	31,9	1
maio/3	2,80	1,33	0,00	48,7	0,774	62,9	2
jun./3	2,46	1,22	0,00	24,9	0,774	32,2	1
jul./3	2,70	1,46	0,00	50,5	0,774	65,2	2
ago./3	3,73	1,97	0,00	77,3	0,774	99,9	3
set./3	4,03	2,38	0,03	51,3	0,774	66,3	2
out./3	4,20	2,22	2,63	0,0	0,774	0,0	0
nov./3	3,97	3,02	4,76	0,0	0,774	0,0	0
dez./3	3,85	3,20	5,66	0,0	0,774	0,0	0
anual/3	3,66	2,12	1,77	277,4	0,774	358,4	11,0
jan./4	4,40	3,36	3,60	0,0	0,774	0,0	0
fev./4	4,32	2,76	2,18	0,0	0,774	0,0	0
mar./4	4,02	2,59	1,83	26,9	0,774	34,8	1
abr./4	3,42	2,16	0,57	55,4	0,774	71,6	2
maio/4	2,80	1,81	0,00	56,3	0,774	72,7	2
jun./4	2,46	1,58	0,00	29,1	0,774	37,6	1
jul./4	2,70	1,81	0,00	58,0	0,774	74,9	2
ago./4	3,73	2,54	0,00	87,7	0,774	113,3	3
set./4	4,03	2,74	0,03	88,3	0,774	114,1	3
out./4	4,20	2,82	2,63	0,0	0,774	0,0	0
nov./4	3,97	3,16	4,76	0,0	0,774	0,0	0
dez./4	3,85	3,39	5,66	0,0	0,774	0,0	0
anual/4	3,66	2,56	1,77	401,7	0,774	519,0	14,0

Quadro 2B - Estimativa de irrigação suplementar do cafeeiro, para o ano do plantio, 2º ano, 3º ano e a partir do 4º ano após o plantio, irrigado por pivô central, para Araxá-MG: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c), precipitação efetiva (Pefet), irrigação real necessária (IRN), eficiência de irrigação (Ead), irrigação total necessária (ITN) e número de irrigações (n)

Mês/Ano	ET _o mm d ⁻¹	ET _c mm d ⁻¹	Pefet mm d ⁻¹	IRN mm	Ead	ITN mm	n
jan./1	4,40	1,71	3,60	0,0	0,875	0,0	0
fev./1	4,32	1,71	2,18	0,0	0,875	0,0	0
mar./1	4,02	1,56	1,83	0,0	0,875	0,0	0
abr./1	3,42	1,20	0,57	23,8	0,875	27,2	4
maio/1	2,80	0,89	0,00	30,4	0,875	34,8	5
jun./1	2,46	0,79	0,00	24,1	0,875	27,6	4
jul./1	2,70	0,89	0,00	30,4	0,875	34,8	5
ago./1	3,73	1,28	0,00	45,1	0,875	51,6	7
set./1	4,03	1,42	0,03	53,0	0,875	60,6	8
out./1	4,20	1,84	2,63	0,0	0,875	0,0	0
nov./1	3,97	1,89	4,76	0,0	0,875	0,0	0
dez./1	3,85	1,90	5,66	0,0	0,875	0,0	0
anual/1	3,66	1,43	1,77	206,8	0,875	236,4	33
jan./2	4,40	2,25	3,60	0,0	0,875	0,0	0
fev./2	4,32	2,21	2,18	0,0	0,875	0,0	0
mar./2	4,02	2,00	1,83	8,3	0,875	9,5	1
abr./2	3,42	1,58	0,57	35,2	0,875	40,2	4
maio/2	2,80	1,26	0,00	46,1	0,875	52,7	5
jun./2	2,46	1,10	0,00	37,0	0,875	42,3	4
jul./2	2,70	1,27	0,00	49,6	0,875	56,7	5
ago./2	3,73	1,83	0,00	69,5	0,875	79,5	7
set./2	4,03	1,99	0,03	61,5	0,875	70,3	6
out./2	4,20	2,43	2,63	10,8	0,875	12,3	1
nov./2	3,97	2,66	4,76	0,0	0,875	0,0	0
dez./2	3,85	2,67	5,66	0,0	0,875	0,0	0
anual /2	3,66	1,94	1,77	318,0	0,875	363,6	33
jan./3	4,40	2,84	3,60	0,0	0,875	0,0	0
fev./3	4,31	2,22	2,19	0,0	0,875	0,0	0
mar./3	4,02	1,98	1,83	0,0	0,875	0,0	0
abr./3	3,42	1,64	0,57	47,8	0,875	54,7	4
maio/3	2,80	1,33	0,00	50,5	0,875	57,7	4
jun./3	2,46	1,22	0,00	50,9	0,875	58,2	4
jul./3	2,70	1,46	0,00	50,0	0,875	57,2	4
ago./3	3,73	1,97	0,00	86,7	0,875	99,1	7
set./3	4,03	2,38	0,03	75,0	0,875	85,8	6
out./3	4,20	2,22	2,63	13,2	0,875	15,1	1
nov./3	3,97	3,02	4,76	0,0	0,875	0,0	0
dez./3	3,85	3,20	5,66	0,0	0,875	0,0	0
anual/3	3,66	2,12	1,77	374,1	0,875	427,7	30
jan./4	4,40	3,36	3,60	0,0	0,875	0,0	0
fev./4	4,32	2,76	2,18	26,3	0,875	30,1	2
mar./4	4,02	2,59	1,83	38,8	0,875	44,4	3
abr./4	3,42	2,16	0,57	54,1	0,875	61,9	4
maio/4	2,80	1,81	0,00	69,4	0,875	79,3	5
jun./4	2,46	1,58	0,00	55,9	0,875	63,9	4
jul./4	2,70	1,81	0,00	73,2	0,875	83,7	5
ago./4	3,73	2,54	0,00	84,8	0,875	97,0	6
set./4	4,03	2,74	0,03	103,5	0,875	118,3	7
out./4	4,20	2,82	2,63	16,6	0,875	19,0	1
nov./4	3,97	3,16	4,76	0,0	0,875	0,0	0
dez./4	3,85	3,39	5,66	0,0	0,875	0,0	0
anual/4	3,66	2,56	1,77	522,6	0,875	597,5	37

Quadro 3B - Estimativa de irrigação suplementar do cafeeiro, para o ano do plantio, 2º ano, 3º ano e a partir do 4º ano após o plantio, irrigado por gotejamento, para Araxá-MG: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c), precipitação efetiva (Pefet), irrigação real necessária (IRN), eficiência de irrigação (Ead), irrigação total necessária (ITN) e número de irrigações (n)

Mês/Ano	ET _o mm d ⁻¹	ET _c mm d ⁻¹	Pefet mm d ⁻¹	IRN mm	Ead	ITN mm	n
jan./1	4,41	1,00	3,57	0,0	0,948	0,0	0
fev./1	4,32	0,98	2,18	0,0	0,948	0,0	0
mar./1	4,02	0,91	1,83	0,0	0,948	0,0	0
abr./1	3,42	0,77	0,57	14,9	0,948	15,7	6
maio/1	2,80	0,61	0,00	17,5	0,948	18,5	7
jun./1	2,46	0,54	0,00	17,5	0,948	18,5	8
jul./1	2,70	0,61	0,00	19,6	0,948	20,7	8
ago./1	3,73	0,86	0,00	24,1	0,948	25,4	7
set./1	4,03	0,97	0,03	31,2	0,948	32,9	8
out./1	4,20	1,10	2,63	0,0	0,948	0,0	0
nov./1	3,97	1,08	4,76	0,0	0,948	0,0	0
dez./1	3,85	1,09	5,66	0,0	0,948	0,0	0
anual/1	3,66	0,88	1,77	124,8	0,948	131,6	44
jan./2	4,40	1,29	3,60	0,0	0,948	0,0	0
fev./2	4,32	1,31	2,18	0,0	0,948	0,0	0
mar./2	4,02	1,24	1,83	0,0	0,948	0,0	0
abr./2	3,42	1,09	0,57	19,3	0,948	20,4	5
maio/2	2,80	0,90	0,00	28,6	0,948	30,2	8
jun./2	2,46	0,82	0,00	22,9	0,948	24,2	7
jul./2	2,70	0,92	0,00	29,0	0,948	30,6	8
ago./2	3,73	1,28	0,00	40,8	0,948	43,0	8
set./2	4,03	1,42	0,03	39,4	0,948	41,6	7
out./2	4,20	1,63	2,63	0,0	0,948	0,0	0
nov./2	3,97	1,63	4,76	0,0	0,948	0,0	0
dez./2	3,85	1,67	5,66	0,0	0,948	0,0	0
anual/2	3,66	1,27	1,77	180,0	0,948	189,9	43
jan./3	4,40	1,98	3,60	0,0	0,948	0,0	0
fev./3	4,31	1,96	2,19	0,0	0,948	0,0	0
mar./3	4,02	1,86	1,83	8,7	0,948	9,2	5
abr./3	3,42	1,58	0,57	26,3	0,948	27,7	7
maio/3	2,80	1,32	0,00	42,9	0,948	45,3	8
jun./3	2,46	1,21	0,00	39,2	0,948	41,4	8
jul./3	2,70	1,37	0,00	38,1	0,948	40,2	7
ago./3	3,73	1,92	0,00	59,9	0,948	63,2	8
set./3	4,03	2,13	0,03	67,3	0,948	71,0	8
out./3	4,20	2,44	2,63	8,4	0,948	8,9	4
nov./3	3,97	2,40	4,76	0,0	0,948	0,0	0
dez./3	3,85	2,39	5,66	0,0	0,948	0,0	0
anual/3	3,66	1,88	1,77	290,8	0,948	306,8	55
jan./4	4,40	2,78	3,60	0,0	0,948	0,0	0
fev./4	4,32	2,71	2,18	13,4	0,948	14,1	7
mar./4	4,02	2,56	1,83	23,6	0,948	24,9	7
abr./4	3,42	2,18	0,57	51,4	0,948	54,2	8
maio/4	2,80	1,80	0,00	50,9	0,948	53,7	7
jun./4	2,46	1,63	0,00	52,2	0,948	55,1	8
jul./4	2,70	1,80	0,00	57,6	0,948	60,8	8
ago./4	3,73	2,48	0,00	68,7	0,948	72,5	7
set./4	4,03	2,71	0,03	87,0	0,948	91,8	8
out./4	4,20	3,01	2,63	21,3	0,948	22,5	7
nov./4	3,97	2,96	4,76	0,0	0,948	0,0	0
dez./4	3,85	2,91	5,66	0,0	0,948	0,0	0
anual/4	3,66	2,46	1,77	426,1	0,948	449,5	67

Quadro 4B - Estimativa de irrigação suplementar do cafeeiro, para o ano do plantio, 2º ano, 3º ano e a partir do 4º ano após o plantio, irrigado por tubo perfurado, para Araxá-MG: evapotranspiração de referência (ETo), evapotranspiração da cultura (ETc), precipitação efetiva (Pefet), irrigação real necessária (IRN), eficiência de irrigação (Ead), irrigação total necessária (ITN) e número de irrigações (n)

Mês/Ano	ETo mm d ⁻¹	ETc mm d ⁻¹	Pefet mm d ⁻¹	IRN mm	Ead	ITN mm	n
jan./1	4,41	1,47	3,57	0,0	0,791	0,0	0
fev./1	4,32	1,46	2,18	0,0	0,791	0,0	0
mar./1	4,02	1,33	1,83	0,0	0,791	0,0	0
abr./1	3,42	1,08	0,57	19,3	0,791	24,4	4
maio/1	2,80	0,85	0,00	24,3	0,791	30,7	4
jun./1	2,46	0,76	0,00	21,3	0,791	26,9	4
jul./1	2,70	0,85	0,00	29,3	0,791	37,0	5
ago./1	3,73	1,19	0,00	32,0	0,791	40,5	4
set./1	4,03	1,31	0,03	45,5	0,791	57,5	5
out./1	4,20	1,61	2,63	0,0	0,791	0,0	0
nov./1	3,97	1,60	4,76	0,0	0,791	0,0	0
dez./1	3,85	1,60	5,66	0,0	0,791	0,0	0
anual/1	3,66	1,26	1,77	171,7	0,791	217,1	26
jan./2	4,40	1,89	3,60	0,0	0,791	0,0	0
fev./2	4,32	1,91	2,18	0,0	0,791	0,0	0
mar./2	4,02	1,81	1,83	0,0	0,791	0,0	0
abr./2	3,42	1,52	0,57	26,3	0,791	33,2	4
maio/2	2,80	1,22	0,00	35,4	0,791	44,8	4
jun./2	2,46	1,14	0,00	39,7	0,791	50,2	5
jul./2	2,70	1,28	0,00	35,1	0,791	44,4	4
ago./2	3,73	1,74	0,00	46,5	0,791	58,8	4
set./2	4,03	1,89	0,03	66,5	0,791	84,1	5
out./2	4,20	2,32	2,63	0,0	0,791	0,0	0
nov./2	3,97	2,28	4,76	0,0	0,791	0,0	0
dez./2	3,85	2,25	5,66	0,0	0,791	0,0	0
anual/2	3,66	1,77	1,77	249,5	0,791	315,4	26
jan./3	4,40	2,56	3,60	0,0	0,791	0,0	1
fev./3	4,31	2,29	2,19	0,0	0,791	0,0	0
mar./3	4,02	2,20	1,83	12,6	0,791	15,9	4
abr./3	3,42	1,78	0,57	31,6	0,791	39,9	4
maio/3	2,80	1,48	0,00	53,6	0,791	67,8	5
jun./3	2,46	1,42	0,00	39,5	0,791	49,9	4
jul./3	2,70	1,56	0,00	42,4	0,791	53,6	4
ago./3	3,73	2,11	0,00	71,7	0,791	90,6	5
set./3	4,03	2,31	0,03	64,0	0,791	80,9	4
out./3	4,20	2,73	2,63	15,0	0,791	19,0	4
nov./3	3,97	2,78	4,76	0,0	0,791	0,0	0
dez./3	3,85	2,73	5,66	0,0	0,791	0,0	0
anual/3	3,66	2,16	1,77	330,4	0,791	417,7	35
jan./4	4,40	3,11	3,60	0,0	0,791	0,0	0
fev./4	4,32	2,93	2,18	20,8	0,791	26,3	4
mar./4	4,02	2,75	1,83	24,8	0,791	31,4	4
abr./4	3,42	2,25	0,57	44,1	0,791	55,8	4
maio/4	2,80	1,83	0,00	66,0	0,791	83,4	5
jun./4	2,46	1,67	0,00	46,6	0,791	58,9	4
jul./4	2,70	1,81	0,00	49,0	0,791	61,9	4
ago./4	3,73	2,45	0,00	82,4	0,791	104,2	5
set./4	4,03	2,61	0,03	73,5	0,791	92,9	4
out./4	4,20	3,03	2,63	28,3	0,791	35,8	5
nov./4	3,97	2,98	4,76	0,0	0,791	0,0	0
dez./4	3,85	2,90	5,66	0,0	0,791	0,0	0
anual/4	3,66	2,53	1,77	435,5	0,791	550,6	39

Quadro 5B - Estimativa de irrigação suplementar do cafeeiro, para o ano do plantio, 2^o ano, 3^o ano e a partir do 4^o ano após o plantio, irrigado por autopropelido, para Paracatu-MG: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c), precipitação efetiva (Pefet), irrigação real necessária (IRN), eficiência de irrigação (Ead), irrigação total necessária (ITN) e número de irrigações (n)

Mês/Ano	ET _o mm d ⁻¹	ET _c mm d ⁻¹	Pefet mm d ⁻¹	IRN mm	Ead	ITN mm	n
jan./1	4,82	1,56	0,85	23,8	0,774	30,7	2
fev./1	4,64	1,45	0,89	11,6	0,774	15,0	1
mar./1	4,34	1,52	1,18	23,0	0,774	29,7	2
abr./1	3,63	1,18	0,22	23,5	0,774	30,4	2
maio/1	2,95	0,93	0,00	35,0	0,774	45,2	3
jun./1	2,75	0,87	0,00	24,0	0,774	31,0	2
jul./1	3,04	0,99	0,00	24,4	0,774	31,5	2
ago./1	3,93	1,34	0,00	51,0	0,774	65,9	4
set./1	4,64	1,67	0,00	40,2	0,774	51,9	3
out./1	4,37	1,90	1,83	13,3	0,774	17,2	1
nov./1	4,16	1,88	3,55	0,0	0,774	0,0	0
dez./1	4,30	1,65	1,64	0,0	0,774	0,0	0
anual/1	3,96	1,41	0,85	269,8	0,774	348,6	22
jan./2	4,81	2,05	1,02	31,2	0,774	40,3	2
fev./2	4,64	2,01	0,89	34,2	0,774	44,2	2
mar./2	4,34	1,97	1,18	34,3	0,774	44,3	2
abr./2	3,63	1,65	0,22	35,9	0,774	46,4	2
maio/2	2,95	1,31	0,00	36,8	0,774	47,5	2
jun./2	2,75	1,27	0,00	37,6	0,774	48,6	2
jul./2	3,04	1,41	0,00	59,7	0,774	77,1	3
ago./2	3,93	1,92	0,00	59,8	0,774	77,3	3
set./2	4,64	2,35	0,00	62,3	0,774	80,5	3
out./2	4,37	2,31	1,83	21,1	0,774	27,3	1
nov./2	4,16	2,71	3,55	0,0	0,774	0,0	0
dez./2	4,30	2,37	1,64	22,1	0,774	28,6	1
anual/2	3,96	1,94	0,86	435,0	0,774	562,0	23
jan./3	4,81	2,08	1,02	22,4	0,774	28,9	1
fev./3	4,64	1,83	0,86	47,8	0,774	61,8	2
mar./3	4,34	2,10	1,18	24,2	0,774	31,3	1
abr./3	3,63	1,62	0,22	48,3	0,774	62,4	2
maio/3	2,95	1,46	0,00	24,2	0,774	31,3	1
jun./3	2,75	1,43	0,00	49,7	0,774	64,2	2
jul./3	3,04	1,61	0,00	50,1	0,774	64,7	2
ago./3	3,93	2,16	0,00	76,1	0,774	98,3	3
set./3	4,64	2,71	0,00	76,0	0,774	98,2	3
out./3	4,37	2,21	1,83	25,8	0,774	33,3	1
nov./3	4,16	3,21	3,55	0,0	0,774	0,0	0
dez./3	4,30	2,77	1,64	26,0	0,774	33,6	1
anual/3	3,96	2,10	0,86	470,6	0,774	608,0	19
jan./4	4,81	3,07	1,02	54,6	0,774	70,5	2
fev./4	4,64	2,93	0,89	56,1	0,774	72,5	2
mar./4	4,34	2,79	1,18	55,7	0,774	72,0	2
abr./4	3,63	2,32	0,22	55,4	0,774	71,6	2
maio/4	2,95	1,90	0,00	56,6	0,774	73,1	2
jun./4	2,75	1,82	0,00	57,8	0,774	74,7	2
jul./4	3,04	1,98	0,00	58,1	0,774	75,1	2
ago./4	3,93	2,68	0,00	87,6	0,774	113,2	3
set./4	4,64	3,12	0,00	116,9	0,774	151,0	4
out./4	4,37	3,09	1,83	29,2	0,774	37,7	1
nov./4	4,16	3,22	3,55	0,0	0,774	0,0	0
dez./4	4,30	3,11	1,64	29,1	0,774	37,6	1
anual/4	3,96	2,67	0,86	657,1	0,774	849,0	23

Quadro 6B - Estimativa de irrigação suplementar do cafeeiro, para o ano do plantio, 2^o ano, 3^o ano e a partir do 4^o ano após o plantio, irrigado por pivô central, para Paracatu-MG: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c), precipitação efetiva (Pefet), irrigação real necessária (IRN), eficiência de irrigação (Ead), irrigação total necessária (ITN) e número de irrigações (n)

Mês/Ano	ET _o mm d ⁻¹	ET _c mm d ⁻¹	Pefet mm d ⁻¹	IRN mm	Ead	ITN mm	n
jan./1	4,82	1,79	0,85	33,6	0,876	38,4	6
fev./1	4,64	1,73	0,89	22,4	0,876	25,6	4
mar./1	4,34	1,59	1,18	22,9	0,876	26,1	4
abr./1	3,63	1,34	0,22	33,5	0,876	38,3	6
maio/1	2,95	1,05	0,00	35,7	0,876	40,8	6
jun./1	2,75	1,00	0,00	29,8	0,876	34,0	5
jul./1	3,04	1,15	0,00	36,5	0,876	41,7	6
ago./1	3,93	1,54	0,00	46,1	0,876	52,6	7
set./1	4,64	1,90	0,00	59,2	0,876	67,6	9
out./1	4,37	1,90	1,83	6,3	0,876	7,2	1
nov./1	4,16	1,95	3,55	0,0	0,876	0,0	0
dez./1	4,30	2,00	1,64	20,9	0,876	23,9	3
anual/1	3,96	1,58	0,85	346,9	0,876	396,1	57
jan./2	4,81	2,31	1,02	47,3	0,876	54,0	6
fev./2	4,64	2,27	0,89	42,3	0,876	48,3	5
mar./2	4,34	2,21	1,18	34,2	0,876	39,1	4
abr./2	3,63	1,85	0,22	53,5	0,876	61,1	6
maio/2	2,95	1,55	0,00	45,2	0,876	51,6	5
jun./2	2,75	1,47	0,00	39,1	0,876	44,6	4
jul./2	3,04	1,69	0,00	57,8	0,876	66,0	6
ago./2	3,93	2,23	0,00	71,4	0,876	81,5	7
set./2	4,64	2,72	0,00	75,6	0,876	86,3	7
out./2	4,37	2,71	1,83	33,6	0,876	38,4	3
nov./2	4,16	2,76	3,55	0,0	0,876	0,0	0
dez./2	4,30	2,71	1,64	34,6	0,876	39,5	3
anual/2	3,96	2,21	0,86	534,6	0,876	610,4	56
jan./3	4,81	2,47	1,02	48,0	0,876	54,8	4
fev./3	4,64	2,39	0,86	46,2	0,876	52,8	4
mar./3	4,34	2,37	1,18	34,9	0,876	39,9	3
abr./3	3,63	2,16	0,22	58,0	0,876	66,2	5
maio/3	2,95	1,81	0,00	61,2	0,876	69,9	5
jun./3	2,75	1,77	0,00	49,4	0,876	56,4	4
jul./3	3,04	2,03	0,00	62,0	0,876	70,8	5
ago./3	3,93	2,74	0,00	85,9	0,876	98,1	7
set./3	4,64	3,31	0,00	102,9	0,876	117,5	8
out./3	4,37	2,96	1,83	39,5	0,876	45,1	3
nov./3	4,16	3,21	3,55	0,0	0,876	0,0	0
dez./3	4,30	3,30	1,64	50,1	0,876	57,2	4
anual/3	3,96	2,54	0,86	638,1	0,876	728,6	52
jan./4	4,81	3,73	1,02	89,1	0,876	101,7	7
fev./4	4,64	3,59	0,89	66,3	0,876	75,7	5
mar./4	4,34	3,35	1,18	67,7	0,876	77,3	5
abr./4	3,63	2,82	0,22	83,1	0,876	94,9	6
maio/4	2,95	2,29	0,00	69,8	0,876	79,7	5
jun./4	2,75	2,13	0,00	57,0	0,876	65,1	4
jul./4	3,04	2,38	0,00	87,4	0,876	99,8	6
ago./4	3,93	3,15	0,00	86,5	0,876	98,8	6
set./4	4,64	3,72	0,00	119,0	0,876	135,9	8
out./4	4,37	3,50	1,83	56,1	0,876	64,1	4
nov./4	4,16	3,47	3,55	0,0	0,876	0,0	0
dez./4	4,30	3,49	1,64	46,6	0,876	53,2	3
anual/4	3,96	3,13	0,86	828,6	0,876	946,1	59

Quadro 7B - Estimativa de irrigação suplementar do cafeeiro, para o ano do plantio, 2^o ano, 3^o ano e a partir do 4^o ano após o plantio, irrigado por gotejamento, para Paracatu-MG: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c), precipitação efetiva (Pefet), irrigação real necessária (IRN), eficiência de irrigação (Ead), irrigação total necessária (ITN) e número de irrigações (n)

Mês/Ano	ET _o mm d ⁻¹	ET _c mm d ⁻¹	Pefet mm d ⁻¹	IRN mm	Ead	ITN mm	n
jan./1	4,82	1,06	0,85	20,9	0,948	22,0	6
fev./1	4,64	1,03	0,89	12,1	0,948	12,8	4
mar./1	4,34	0,97	1,18	11,8	0,948	12,4	5
abr./1	3,63	0,78	0,22	20,6	0,948	21,7	7
maio/1	2,95	0,65	0,00	18,6	0,948	19,6	7
jun./1	2,75	0,61	0,00	19,3	0,948	20,4	8
jul./1	3,04	0,69	0,00	22,1	0,948	23,3	8
ago./1	3,93	0,92	0,00	25,3	0,948	26,7	7
set./1	4,64	1,12	0,00	35,5	0,948	37,4	8
out./1	4,37	1,15	1,83	6,4	0,948	6,8	3
nov./1	4,16	1,12	3,55	0,0	0,948	0,0	0
dez./1	4,30	1,20	1,64	8,2	0,948	8,6	3
anual/1	3,96	0,94	0,85	200,8	0,948	211,8	66
jan./2	4,81	1,35	1,02	25,4	0,948	26,8	6
fev./2	4,64	1,37	0,89	19,4	0,948	20,5	6
mar./2	4,34	1,32	1,18	14,8	0,948	15,6	4
abr./2	3,63	1,12	0,22	29	0,948	30,6	8
maio/2	2,95	0,94	0,00	30,1	0,948	31,8	8
jun./2	2,75	0,92	0,00	25,1	0,948	26,5	7
jul./2	3,04	1,03	0,00	32,5	0,948	34,3	8
ago./2	3,93	1,35	0,00	42,9	0,948	45,3	8
set./2	4,64	1,62	0,00	45,1	0,948	47,6	7
out./2	4,37	1,69	1,83	10,3	0,948	10,9	4
nov./2	4,16	1,70	3,55	4,4	0,948	4,6	1
dez./2	4,30	1,85	1,64	18,3	0,948	19,3	6
anual/2	3,96	1,35	0,86	297,3	0,948	313,6	73
jan./3	4,81	1,70	1,02	33,9	0,948	35,8	7
fev./3	4,64	1,86	0,86	27,9	0,948	29,4	6
mar./3	4,34	1,85	1,18	32	0,948	33,8	7
abr./3	3,63	1,61	0,22	39,4	0,948	41,6	7
maio/3	2,95	1,38	0,00	44,9	0,948	47,4	8
jun./3	2,75	1,35	0,00	43	0,948	45,4	8
jul./3	3,04	1,55	0,00	42,5	0,948	44,8	7
ago./3	3,93	2,02	0,00	63	0,948	66,5	8
set./3	4,64	2,41	0,00	77,4	0,948	81,6	8
out./3	4,37	2,49	1,83	18,9	0,948	19,9	7
nov./3	4,16	2,49	3,55	9,7	0,948	10,2	3
dez./3	4,30	2,56	1,64	34,7	0,948	36,6	7
anual/3	3,96	1,94	0,86	467,3	0,948	492,9	83
jan./4	4,81	2,85	1,02	63,4	0,948	66,9	6
fev./4	4,64	2,83	0,89	51,2	0,948	54,0	7
mar./4	4,34	2,70	1,18	51,5	0,948	54,3	7
abr./4	3,63	2,28	0,22	66,6	0,948	70,3	8
maio/4	2,95	1,89	0,00	53,9	0,948	56,9	7
jun./4	2,75	1,80	0,00	57,2	0,948	60,3	8
jul./4	3,04	2,02	0,00	64,5	0,948	68,0	8
ago./4	3,93	2,62	0,00	72	0,948	75,9	7
set./4	4,64	3,10	0,00	98,7	0,948	104,1	8
out./4	4,37	3,11	1,83	43,2	0,948	45,6	8
nov./4	4,16	3,07	3,55	9,3	0,948	9,8	3
dez./4	4,30	3,14	1,64	49,8	0,948	52,5	7
anual/4	3,96	2,62	0,86	681,3	0,948	718,7	84

Quadro 8B - Estimativa de irrigação suplementar do cafeeiro, para o ano do plantio, 2^o ano, 3^o ano e a partir do 4^o ano após o plantio, irrigado por tubo perfurado, para Paracatu-MG: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c), precipitação efetiva (Pefet), irrigação real necessária (IRN), eficiência de irrigação (Ead), irrigação total necessária (ITN) e número de irrigações (n)

Mês/Ano	ET _o mm d ⁻¹	ET _c mm d ⁻¹	Pefet mm d ⁻¹	IRN mm	Ead	ITN mm	n
jan./1	4,82	1,44	0,85	28,3	0,791	35,8	4
fev./1	4,64	1,45	0,89	18,4	0,791	23,3	3
mar./1	4,34	1,37	1,18	15,4	0,791	19,5	3
abr./1	3,63	1,10	0,22	28,3	0,791	35,8	5
maio/1	2,95	0,89	0,00	25,4	0,791	32,1	4
jun./1	2,75	0,84	0,00	23,2	0,791	29,3	4
jul./1	3,04	0,94	0,00	32,5	0,791	41,1	5
ago./1	3,93	1,24	0,00	33,8	0,791	42,7	4
set./1	4,64	1,48	0,00	51,9	0,791	65,6	5
out./1	4,37	1,65	1,83	0,0	0,791	0,0	0
nov./1	4,16	1,64	3,55	0,0	0,791	0,0	0
dez./1	4,30	1,74	1,64	14,8	0,791	18,7	3
anual/1	3,96	1,32	0,85	272	0,791	343,9	40
jan./2	4,81	1,85	1,02	36,2	0,791	45,8	4
fev./2	4,64	1,89	0,89	27,2	0,791	34,4	3
mar./2	4,34	1,85	1,18	32,0	0,791	40,5	5
abr./2	3,63	1,56	0,22	38,2	0,791	48,3	4
maio/2	2,95	1,29	0,00	36,9	0,791	46,6	4
jun./2	2,75	1,24	0,00	43,4	0,791	54,9	5
jul./2	3,04	1,43	0,00	38,9	0,791	49,2	4
ago./2	3,93	1,81	0,00	48,8	0,791	61,7	4
set./2	4,64	2,14	0,00	74,2	0,791	93,8	5
out./2	4,37	2,34	1,83	16,0	0,791	20,2	4
nov./2	4,16	2,35	3,55	8,8	0,791	11,1	2
dez./2	4,30	2,33	1,64	28,8	0,791	36,4	5
anual/2	3,96	1,84	0,86	429,4	0,791	542,9	49
jan./3	4,81	2,05	1,02	37,4	0,791	47,3	4
fev./3	4,64	2,09	0,86	33,4	0,791	42,2	4
mar./3	4,34	2,17	1,18	39,9	0,791	50,4	5
abr./3	3,63	1,83	0,22	45,9	0,791	58,0	4
maio/3	2,95	1,55	0,00	55,7	0,791	70,4	5
jun./3	2,75	1,55	0,00	43,0	0,791	54,4	4
jul./3	3,04	1,73	0,00	46,9	0,791	59,3	4
ago./3	3,93	2,19	0,00	75,6	0,791	95,6	5
set./3	4,64	2,58	0,00	71,9	0,791	90,9	4
out./3	4,37	2,75	1,83	29,5	0,791	37,3	4
nov./3	4,16	2,85	3,55	13,9	0,791	17,6	2
dez./3	4,30	2,80	1,64	36,8	0,791	46,5	3
anual/3	3,96	2,18	0,86	529,9	0,791	669,9	48
jan./4	4,81	2,96	1,02	68,2	0,791	86,2	4
fev./4	4,64	2,96	0,89	58,0	0,791	73,3	4
mar./4	4,34	2,84	1,18	47,2	0,791	59,7	3
abr./4	3,63	2,34	0,22	58,8	0,791	74,3	4
maio/4	2,95	1,92	0,00	69,0	0,791	87,2	5
jun./4	2,75	1,84	0,00	50,9	0,791	64,3	4
jul./4	3,04	2,01	0,00	54,5	0,791	68,9	4
ago./4	3,93	2,56	0,00	86,8	0,791	109,7	5
set./4	4,64	2,95	0,00	82,8	0,791	104,7	4
out./4	4,37	3,06	1,83	50,7	0,791	64,1	5
nov./4	4,16	3,07	3,55	7,1	0,791	9,0	1
dez./4	4,30	3,05	1,64	42,1	0,791	53,2	4
anual/4	3,96	2,63	0,86	676,1	0,791	854,7	47

Quadro 9B - Estimativa de irrigação suplementar do cafeeiro, para o ano do plantio, 2º ano, 3º ano e a partir do 4º ano após o plantio, irrigado por pivô central, para João Pinheiro-MG: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c), precipitação efetiva (Pefet), irrigação real necessária (IRN), eficiência de irrigação (Ead), irrigação total necessária (ITN) e número de irrigações (n)

Mês/Ano	ET _o mm d ⁻¹	ET _c mm d ⁻¹	Pefet mm d ⁻¹	IRN mm	Ead	ITN mm	n
jan./1	5,01	1,66	2,04	0,0	0,774	0,0	0
fev./1	4,94	1,91	2,43	0,0	0,774	0,0	0
mar./1	4,30	1,42	0,44	23,5	0,774	30,4	2
abr./1	4,06	1,27	0,08	36,1	0,774	46,6	3
maio/1	3,45	1,11	0,00	34,7	0,774	44,8	3
jun./1	3,03	0,96	0,00	35,2	0,774	45,5	3
jul./1	3,34	1,07	0,00	36,1	0,774	46,6	3
ago./1	4,32	1,50	0,00	39,5	0,774	51,0	3
set./1	4,80	1,71	0,00	54,2	0,774	70,0	4
out./1	4,85	1,69	0,58	27,3	0,774	35,3	2
nov./1	4,52	1,79	2,20	0,0	0,774	0,0	0
dez./1	4,33	2,13	3,68	0,0	0,774	0,0	0
anual/1	4,25	1,52	0,95	286,6	0,774	370,3	23
jan./2	5,01	2,26	2,03	0,0	0,774	0,0	0
fev./2	4,94	2,35	2,43	0,0	0,774	0,0	0
mar./2	4,30	1,89	0,44	51,0	0,774	65,9	3
abr./2	4,06	1,80	0,08	53,5	0,774	69,1	3
maio/2	3,45	1,57	0,00	36,9	0,774	47,7	2
jun./2	3,03	1,38	0,00	38,2	0,774	49,4	2
jul./2	3,34	1,60	0,00	58,7	0,774	75,8	3
ago./2	4,32	2,10	0,00	60,7	0,774	78,4	3
set./2	4,80	2,35	0,00	83,4	0,774	107,8	4
out./2	4,85	2,55	0,58	43,7	0,774	56,5	2
nov./2	4,52	2,66	2,20	21,1	0,774	27,3	1
dez./2	4,33	2,74	3,68	0,0	0,774	0,0	0
anual /2	4,25	2,10	0,95	447,2	0,774	577,8	23
jan./3	5,01	2,34	2,03	0,0	0,774	0,0	0
fev./3	4,95	2,34	2,41	0,0	0,774	0,0	0
mar./3	4,30	1,96	0,44	47,7	0,774	61,6	2
abr./3	4,06	1,86	0,08	48,5	0,774	62,7	2
maio/3	3,45	1,65	0,00	48,4	0,774	62,5	2
jun./3	3,03	1,56	0,00	49,9	0,774	64,5	2
jul./3	3,34	1,74	0,00	50,0	0,774	64,6	2
ago./3	4,32	2,40	0,00	76,9	0,774	99,4	3
set./3	4,80	2,72	0,00	77,9	0,774	100,6	3
out./3	4,85	2,91	0,58	79,1	0,774	102,2	3
nov./3	4,52	2,29	2,20	0,0	0,774	0,0	0
dez./3	4,33	2,84	3,68	0,0	0,774	0,0	0
anual/3	4,25	2,22	0,95	478,4	0,774	618,1	19
jan./4	5,01	3,15	2,03	25,8	0,774	33,3	1
fev./4	4,94	2,76	2,43	26,8	0,774	34,6	1
mar./4	4,30	2,92	0,44	54,3	0,774	70,2	2
abr./4	4,06	2,66	0,08	83,2	0,774	107,5	3
maio/4	3,45	2,23	0,00	83,9	0,774	108,4	3
jun./4	3,03	2,03	0,00	56,8	0,774	73,4	2
jul./4	3,34	2,23	0,00	57,8	0,774	74,7	2
ago./4	4,32	2,92	0,00	85,7	0,774	110,7	3
set./4	4,80	3,27	0,00	117,4	0,774	151,7	4
out./4	4,85	3,31	0,58	89,4	0,774	115,5	3
nov./4	4,52	3,09	2,20	0,0	0,774	0,0	0
dez./4	4,33	3,43	3,68	29,5	0,774	38,1	1
anual/4	4,25	2,83	0,95	710,6	0,774	918,1	25

Quadro 10B - Estimativa de irrigação suplementar do cafeeiro, para o ano do plantio, 2^o ano, 3^o ano e a partir do 4^o ano após o plantio, irrigado por pivô central, para João Pinheiro-MG: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c), precipitação efetiva (Pefet), irrigação real necessária (IRN), eficiência de irrigação (Ead), irrigação total necessária (ITN) e número de irrigações (n)

Mês/Ano	ET _o mm d ⁻¹	ET _c mm d ⁻¹	Pefet mm d ⁻¹	IRN mm	Ead	ITN mm	n
jan./1	5,01	1,90	2,04	0,0	0,876	0,0	0
fev./1	4,94	1,92	2,43	0,0	0,876	0,0	0
mar./1	4,30	1,58	0,44	35,0	0,876	40,0	6
abr./1	4,06	1,49	0,08	40,6	0,876	46,4	7
maio/1	3,45	1,27	0,00	40,2	0,876	45,9	7
jun./1	3,03	1,10	0,00	33,7	0,876	38,5	6
jul./1	3,34	1,25	0,00	42,1	0,876	48,1	7
ago./1	4,32	1,70	0,00	51,1	0,876	58,3	8
set./1	4,80	1,97	0,00	59,0	0,876	67,4	9
out./1	4,85	2,05	0,58	47,5	0,876	54,2	7
nov./1	4,52	2,11	2,20	0,0	0,876	0,0	0
dez./1	4,33	2,13	3,68	0,0	0,876	0,0	0
anual/1	4,25	1,71	0,95	349,2	0,876	398,6	57
jan./2	5,01	2,45	2,03	13,9	0,876	15,9	2
fev./2	4,94	2,54	2,43	8,9	0,876	10,2	1
mar./2	4,30	2,15	0,44	49,8	0,876	56,9	6
abr./2	4,06	2,08	0,08	61,5	0,876	70,2	7
maio/2	3,45	1,81	0,00	53,6	0,876	61,2	6
jun./2	3,03	1,63	0,00	49,1	0,876	56,1	5
jul./2	3,34	1,85	0,00	57,0	0,876	65,1	6
ago./2	4,32	2,44	0,00	82,7	0,876	94,4	8
set./2	4,80	2,81	0,00	77,4	0,876	88,4	7
out./2	4,85	2,92	0,58	73,5	0,876	83,9	7
nov./2	4,52	2,90	2,20	20,6	0,876	23,5	2
dez./2	4,33	2,86	3,68	10,5	0,876	12,0	1
anual/2	4,25	2,37	0,95	558,5	0,876	637,6	58
jan./3	5,01	2,47	2,03	11,0	0,876	12,6	1
fev./3	4,95	2,64	2,41	10,7	0,876	12,2	1
mar./3	4,30	2,35	0,44	60,6	0,876	69,2	5
abr./3	4,06	2,41	0,08	73,1	0,876	83,5	6
maio/3	3,45	2,20	0,00	59,8	0,876	68,3	5
jun./3	3,03	1,98	0,00	60,1	0,876	68,6	5
jul./3	3,34	2,24	0,00	74,5	0,876	85,1	6
ago./3	4,32	3,01	0,00	89,3	0,876	102,0	7
set./3	4,80	3,42	0,00	105,3	0,876	120,2	8
out./3	4,85	3,53	0,58	89,1	0,876	101,7	7
nov./3	4,52	3,11	2,20	24,9	0,876	28,4	2
dez./3	4,33	3,31	3,68	12,3	0,876	14,0	1
anual/3	4,25	2,72	0,95	670,7	0,876	765,6	54
jan./4	5,01	3,72	2,03	51,2	0,876	58,5	4
fev./4	4,94	3,74	2,43	37,8	0,876	43,2	3
mar./4	4,30	3,35	0,44	91,9	0,876	104,9	7
abr./4	4,06	3,14	0,08	98,0	0,876	111,9	7
maio/4	3,45	2,70	0,00	71,3	0,876	81,4	5
jun./4	3,03	2,37	0,00	72,0	0,876	82,2	5
jul./4	3,34	2,64	0,00	84,1	0,876	96,0	6
ago./4	4,32	3,43	0,00	104,3	0,876	119,1	7
set./4	4,80	3,84	0,00	122,1	0,876	139,4	8
out./4	4,85	3,93	0,58	102,9	0,876	117,5	7
nov./4	4,52	3,68	2,20	41,2	0,876	47,0	3
dez./4	4,33	3,66	3,68	13,7	0,876	15,6	1
anual/4	4,25	3,35	0,95	890,5	0,876	1016,6	63

Quadro 11B - Estimativa de irrigação suplementar do cafeeiro, para o ano do plantio, 2^o ano, 3^o ano e a partir do 4^o ano após o plantio, irrigado por gotejamento, para João Pinheiro-MG: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c), precipitação efetiva (Pefet), irrigação real necessária (IRN), eficiência de irrigação (Ead), irrigação total necessária (ITN) e número de irrigações (n)

Mês/Ano	ET _o mm d ⁻¹	ET _c mm d ⁻¹	Pefet mm d ⁻¹	IRN mm	Ead	ITN mm	n
jan./1	5,01	1,11	2,04	0,0	0,948	0,0	0
fev./1	4,94	1,14	2,43	0,0	0,948	0,0	0
mar./1	4,30	0,95	0,44	19,1	0,948	20,1	5
abr./1	4,06	0,89	0,08	25,6	0,948	27,0	8
maio/1	3,45	0,76	0,00	21,4	0,948	22,6	7
jun./1	3,03	0,67	0,00	21,5	0,948	22,7	8
jul./1	3,34	0,75	0,00	23,9	0,948	25,2	8
ago./1	4,32	1,01	0,00	27,8	0,948	29,3	7
set./1	4,80	1,16	0,00	36,5	0,948	38,5	8
out./1	4,85	1,24	0,58	23,0	0,948	24,3	6
nov./1	4,52	1,23	2,20	0,0	0,948	0,0	0
dez./1	4,33	1,22	3,68	0,0	0,948	0,0	0
anual/1	4,25	1,01	0,95	198,8	0,948	209,7	57
jan./2	5,01	1,45	2,03	0,0	0,948	0,0	0
fev./2	4,94	1,49	2,43	0,0	0,948	0,0	0
mar./2	4,30	1,30	0,44	25,2	0,948	26,6	5
abr./2	4,06	1,23	0,08	38,3	0,948	40,4	8
maio/2	3,45	1,10	0,00	35,1	0,948	37,0	8
jun./2	3,03	0,99	0,00	27,9	0,948	29,4	7
jul./2	3,34	1,12	0,00	35,4	0,948	37,3	8
ago./2	4,32	1,47	0,00	47,0	0,948	49,6	8
set./2	4,80	1,68	0,00	46,2	0,948	48,7	7
out./2	4,85	1,80	0,58	41,8	0,948	44,1	8
nov./2	4,52	1,86	2,20	0,0	0,948	0,0	0
dez./2	4,33	1,85	3,68	0,0	0,948	0,0	0
anual/2	4,25	1,45	0,95	296,9	0,948	313,2	59
jan./3	5,01	2,00	2,03	0,0	0,948	0,0	0
fev./3	4,95	2,16	2,41	0,0	0,948	0,0	0
mar./3	4,30	1,81	0,44	41,7	0,948	44,0	8
abr./3	4,06	1,78	0,08	47,6	0,948	50,2	7
maio/3	3,45	1,60	0,00	52,3	0,948	55,2	8
jun./3	3,03	1,47	0,00	47,5	0,948	50,1	8
jul./3	3,34	1,67	0,00	46,1	0,948	48,6	7
ago./3	4,32	2,20	0,00	69,1	0,948	72,9	8
set./3	4,80	2,49	0,00	79,8	0,948	84,2	8
out./3	4,85	2,64	0,58	59,9	0,948	63,2	7
nov./3	4,52	2,65	2,20	17,4	0,948	18,4	8
dez./3	4,33	2,65	3,68	0,0	0,948	0,0	0
anual/3	4,25	2,09	0,95	461,4	0,948	486,7	69
jan./4	5,01	3,05	2,03	30,8	0,948	32,5	7
fev./4	4,94	3,10	2,43	20,6	0,948	21,7	6
mar./4	4,30	2,64	0,44	66,3	0,948	69,9	8
abr./4	4,06	2,50	0,08	77,6	0,948	81,9	8
maio/4	3,45	2,20	0,00	62,1	0,948	65,5	7
jun./4	3,03	1,98	0,00	63,4	0,948	66,9	8
jul./4	3,34	2,19	0,00	70,1	0,948	73,9	8
ago./4	4,32	2,86	0,00	79,1	0,948	83,4	7
set./4	4,80	3,18	0,00	101,4	0,948	107,0	8
out./4	4,85	3,32	0,58	89,2	0,948	94,1	8
nov./4	4,52	3,28	2,20	30,2	0,948	31,9	7
dez./4	4,33	3,24	3,68	13,8	0,948	14,6	4
anual/4	4,25	2,80	0,95	704,6	0,948	743,2	86

Quadro 12B - Estimativa de irrigação suplementar do cafeeiro, para o ano do plantio, 2^o ano, 3^o ano e a partir do 4^o ano após o plantio, irrigado por tubo perfurado, para João Pinheiro-MG: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c), precipitação efetiva (Pefet), irrigação real necessária (IRN), eficiência de irrigação (Ead), irrigação total necessária (ITN) e número de irrigações (n)

Mês/Ano	ET _o mm d ⁻¹	ET _c mm d ⁻¹	Pefet mm d ⁻¹	IRN mm	Ead	ITN mm	n
jan./1	5,01	1,55	2,04	0,0	0,791	0,0	0
fev./1	4,94	1,66	2,43	0,0	0,791	0,0	0
mar./1	4,30	1,32	0,44	21,0	0,791	26,5	3
abr./1	4,06	1,21	0,08	40,5	0,791	51,2	5
maio/1	3,45	1,03	0,00	29,3	0,791	37,0	4
jun./1	3,03	0,92	0,00	26,0	0,791	32,9	4
jul./1	3,34	1,03	0,00	35,0	0,791	44,2	5
ago./1	4,32	1,35	0,00	36,8	0,791	46,5	4
set./1	4,80	1,52	0,00	53,5	0,791	67,6	5
out./1	4,85	1,67	0,58	33,1	0,791	41,8	4
nov./1	4,52	1,82	2,20	0,0	0,791	0,0	0
dez./1	4,33	1,80	3,68	0,0	0,791	0,0	0
anual/1	4,25	1,41	0,95	275,2	0,791	347,9	34
jan./2	5,01	2,10	2,03	11,6	0,791	14,7	2
fev./2	4,94	2,18	2,43	0,0	0,791	0,0	0
mar./2	4,30	1,77	0,44	42,5	0,791	53,7	5
abr./2	4,06	1,70	0,08	45,3	0,791	57,3	4
maio/2	3,45	1,49	0,00	42,7	0,791	54,0	4
jun./2	3,03	1,36	0,00	48,1	0,791	60,8	5
jul./2	3,34	1,54	0,00	42,1	0,791	53,2	4
ago./2	4,32	1,96	0,00	53,3	0,791	67,4	4
set./2	4,80	2,20	0,00	76,3	0,791	96,5	5
out./2	4,85	2,37	0,58	53,9	0,791	68,1	4
nov./2	4,52	2,55	2,20	15,1	0,791	19,1	4
dez./2	4,33	2,50	3,68	0,0	0,791	0,0	0
anual/2	4,25	1,98	0,95	430,9	0,791	544,8	41
jan./3	5,01	2,35	2,03	12,6	0,791	15,9	3
fev./3	4,95	2,62	2,41	0,0	0,791	0,0	0
mar./3	4,30	2,03	0,44	49,5	0,791	62,6	5
abr./3	4,06	1,98	0,08	53,2	0,791	67,3	4
maio/3	3,45	1,77	0,00	63,7	0,791	80,5	5
jun./3	3,03	1,69	0,00	47,0	0,791	59,4	4
jul./3	3,34	1,85	0,00	51,0	0,791	64,5	4
ago./3	4,32	2,35	0,00	81,2	0,791	102,7	5
set./3	4,80	2,66	0,00	73,0	0,791	92,3	4
out./3	4,85	2,79	0,58	68,8	0,791	87,0	4
nov./3	4,52	2,93	2,20	30,3	0,791	38,3	5
dez./3	4,33	2,98	3,68	0,0	0,791	0,0	0
anual/3	4,25	2,33	0,95	530,3	0,791	670,4	43
jan./4	5,01	3,23	2,03	42,7	0,791	54,0	5
fev./4	4,94	3,34	2,43	27,0	0,791	34,1	4
mar./4	4,30	2,74	0,44	63,7	0,791	80,5	4
abr./4	4,06	2,56	0,08	69,1	0,791	87,4	4
maio/4	3,45	2,21	0,00	79,1	0,791	100,0	5
jun./4	3,03	2,00	0,00	56,4	0,791	71,3	4
jul./4	3,34	2,18	0,00	59,5	0,791	75,2	4
ago./4	4,32	2,77	0,00	93,6	0,791	118,3	5
set./4	4,80	3,04	0,00	83,7	0,791	105,8	4
out./4	4,85	3,14	0,58	93,9	0,791	118,7	5
nov./4	4,52	3,23	2,20	28,8	0,791	36,4	4
dez./4	4,33	3,21	3,68	0,0	0,791	0,0	0
anual/4	4,25	2,80	0,95	697,5	0,791	881,8	48

APÊNDICE C

Quadro 1C - Fluxo de custos e benefícios (R\$), para um período de análise de dez anos, para as condições de Paracatu-MG, área irrigada de 75 ha e produtividade de 30 sc ha⁻¹ de café beneficiado, e sistemas de irrigação autopropelido

Ano	Custos		Benefícios	Fluxo Líquido
	Lavoura	Irrigação		
0	0,00	-97.199,64	0,00	-97.199,64
1	-132.673,20	-16.165,85	0,00	-148.839,05
2	-45.742,50	-19.439,79	0,00	-65.182,29
3	-114.154,50	-20.216,74	172.192,50	37.821,26
4	-192.332,18	-25.738,67	344.385,00	126.314,16
5	-192.332,18	-25.738,67	344.385,00	126.314,16
6	-192.332,18	-25.738,67	344.385,00	126.314,16
7	-192.332,18	-25.738,67	344.385,00	126.314,16
8	-192.332,18	-25.738,67	344.385,00	126.314,16
9	-192.332,18	-25.738,67	344.385,00	126.314,16
10	-192.332,18	-16.018,71	344.385,00	136.034,12
TIR (%)				21,71
VAL (R\$)				246.003,25

Quadro 2C - Fluxo de custos e benefícios (R\$), para um período de análise de dez anos, para as condições de Paracatu-MG, área irrigada de 75 ha e produtividade de 30 sc ha⁻¹ de café beneficiado, e sistemas de irrigação pivô central

Ano	Custos		Benefícios	Fluxo Líquido
	Lavoura	Irrigação		
0	0,00	-95.872,20	0,00	-95.872,20
1	-132.673,20	-10.370,88	0,00	-143.044,08
2	-45.742,50	-12.138,45	0,00	-57.880,95
3	-114.154,50	-13.479,26	172.192,50	44.558,74
4	-192.332,18	-16.267,62	344.385,00	135.785,21
5	-192.332,18	-16.267,62	344.385,00	135.785,21
6	-192.332,18	-16.267,62	344.385,00	135.785,21
7	-192.332,18	-16.267,62	344.385,00	135.785,21
8	-192.332,18	-16.267,62	344.385,00	135.785,21
9	-192.332,18	-16.267,62	344.385,00	135.785,21
10	-192.332,18	-1.886,79	344.385,00	150.166,04
TIR (%)				24,68
VAL (R\$)				301.192,03

Quadro 3C - Fluxo de custos e benefícios (R\$), para um período de análise de dez anos, para as condições de Paracatu-MG, área irrigada de 75 ha e produtividade de 30 sc ha⁻¹ de café beneficiado, e sistemas de irrigação gotejamento

Ano	Custos		Benefícios	Fluxo Líquido
	Lavoura	Irrigação		
0	0,00	-175.500,00	0,00	-175.500,00
1	-132.673,20	-11.888,87	0,00	-144.562,07
2	-45.742,50	-13.474,14	0,00	-59.216,64
3	-114.154,50	-16.362,83	172.192,50	41.675,17
4	-192.332,18	-20.882,92	344.385,00	131.169,90
5	-192.332,18	-20.882,92	344.385,00	131.169,90
6	-192.332,18	-20.882,92	344.385,00	131.169,90
7	-192.332,18	-20.882,92	344.385,00	131.169,90
8	-192.332,18	-20.882,92	344.385,00	131.169,90
9	-192.332,18	-20.882,92	344.385,00	131.169,90
10	-192.332,18	-3.332,92	344.385,00	148.719,90
TIR (%)				17,52
VAL (R\$)				206.678,54

Quadro 4C - Fluxo de custos e benefícios (R\$), para um período de análise de dez anos, para as condições de Paracatu-MG, área irrigada de 75 ha e produtividade de 30 sc ha⁻¹ de café beneficiado, e sistemas de irrigação tubo perfurado

Ano	Custos		Benefícios	Fluxo Líquido
	Lavoura	Irrigação		
0	0,00	-75.000,00	0,00	-75.000,00
1	-132.673,20	-34.032,90	0,00	-166.706,10
2	-45.742,50	-42.751,78	0,00	-88.494,28
3	-114.154,50	-44.123,44	172.192,50	13.914,56
4	-192.332,18	-46.860,34	344.385,00	105.192,48
5	-192.332,18	-46.860,34	344.385,00	105.192,48
6	-192.332,18	-46.860,34	344.385,00	105.192,48
7	-192.332,18	-46.860,34	344.385,00	105.192,48
8	-192.332,18	-46.860,34	344.385,00	105.192,48
9	-192.332,18	-46.860,34	344.385,00	105.192,48
10	-192.332,18	-39.360,34	344.385,00	112.692,48
TIR (%)				15,87
VAL (R\$)				133.381,10