

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**

**Irrigação, balanço hídrico climatológico e uso eficiente da água na
cultura de café**

Hudson de Paula Carvalho

Tese apresentada para a obtenção do título de
Doutor em Agronomia. Área de concentração:
Irrigação e Drenagem

Piracicaba

2008

Hudson de Paula Carvalho
Engenheiro Agrônomo

Irrigação, balanço hídrico climatológico e uso eficiente da água na cultura de café

Orientador:
Prof. Dr. **DURVAL DOURADO NETO**

Tese apresentada para a obtenção do título de
Doutor em Agronomia. Área de concentração:
Irrigação e Drenagem

**Piracicaba
2008**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Carvalho, Hudson de Paula
Irrigação, balanço hídrico climatológico e uso eficiente da água na cultura de café /
Hudson de Paula Carvalho .- - Piracicaba, 2008.
173 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
Bibliografia.

1. Balanço hídrico 2. Café 3. Climatologia 4. Irrigação por gotejamento –
Manejo 5. Modelos matemáticos I. Título

CDD 633.73

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho com especial emoção à minha esposa Ana Flávia, pelo apoio e compreensão nos meus momentos de ausência.

Aos meus pais Antônio e Rosilda, pela ajuda incondicional na minha formação como ser humano.

Aos meus avós João Batista e Deolinda e tias, Dilma, Linda e Alzira por terem-me acolhido em seus lares com todo carinho...

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos no programa de doutorado;

Ao Professor Dr. Durval Dourado Neto, pela orientação e confiança em mim depositada;

Ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, pela acolhida e suporte oferecidos;

Ao Professor Dr. Reges Eduardo Franco Teodoro, por ceder o experimento que deu origem a este trabalho;

Ao Professor Dr. Benjamim de Melo, pelas dicas sobre a cultura do café;

Ao Professor Dr. Nilson Augusto Villa Nova, pelas dicas de obtenção da área foliar do cafeeiro;

Aos Professores do curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, em especial ao Professor Dr. José Antônio Frizzone, pelos ensinamentos e amizade ao longo desses anos;

Aos colegas Tadeu, Kelte, Manoel Januário, Rogério, Osvaldo, Sérgio, Robson, Ceres, Euro Roberto, Pablo Ghiberto e Dolorice; e

A todos aqueles que de alguma forma me ajudaram pelos caminhos da vida.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	16
1 INTRODUÇÃO.....	18
2 DESENVOLVIMENTO.....	21
2.1 Características gerais da irrigação na cultura de café.....	21
2.1.1 Efeito da irrigação nos parâmetros de crescimento	21
2.1.2 Influência da irrigação nos parâmetros de produção	25
2.1.3 Influência da irrigação na qualidade física e de bebida do café	27
2.1.4 Efeito da suspensão da irrigação no cafeeiro.....	31
2.2 Uso de água aplicada na cultura de café.....	32
2.3 Exigências climáticas da cultura de café	34
2.3.1 Aptidão térmica	34
2.3.2 Aptidão hídrica	35
2.3.3 Balanço Hídrico.....	37
2.3.4 Evapotranspiração	39
2.4 Eficiência no uso da água.....	44
2.5 Material e métodos	46
2.5.1 Caracterização da área experimental	46
2.5.2 Variedade cultivada, adubação e tratamentos.....	47
2.5.3 Dados climatológicos	47
2.5.4 Caracterização experimental e tratamentos	49
2.5.5 Caracterização da irrigação	50
2.5.6 Avaliações realizadas	53
2.5.6.1 Características vegetativas.....	53
2.5.6.2 Características produtivas.....	53
2.5.6.3 Qualidade física e sensorial do café	55

2.5.6.4 Funções de produção e de crescimento	55
2.5.6.5 Balanço hídrico climatológico.....	56
2.5.6.5.1 Cálculo da evapotranspiração de referência	57
2.5.6.5.2 Cálculo do balanço hídrico de cultura	61
2.5.6.6 Determinação dos índices de eficiência no uso da água.....	65
2.5.7 Metodologia estatística.....	66
2.6 Resultados e Discussões	67
2.6.1 Uniformidade de aplicação de água dos emissores	67
2.6.2 Clima local.....	68
2.6.3 Efeito dos tratamentos nos parâmetros produtivos do cafeeiro	75
2.6.4 Influência dos tratamentos nos parâmetros de crescimento do cafeeiro	83
2.6.5 Influência dos tratamentos na qualidade física e sensorial do café	93
2.6.6 Resultado do balanço hídrico climatológico para Uberlândia-MG.....	95
2.6.7 Balanço hídrico climatológico do cafeeiro.....	99
2.6.7.1 Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado sem irrigação	101
2.6.7.2 Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado com irrigação.....	111
2.6.7.2.1 Balanço hídrico climatológico do cafeeiro irrigado durante todo o ano	111
2.6.7.2.2 Balanço hídrico climatológico do cafeeiro sob repouso da irrigação em julho e agosto	134
2.6.8 Resultados dos índices de eficiência no uso da água.....	155
3 CONCLUSÕES.....	159
REFERÊNCIAS	161
APÊNDICE	169

RESUMO

Irrigação, balanço hídrico climatológico e uso eficiente da água na cultura de café

Uma das tecnologias mais adotadas pelos produtores, principalmente os que têm suas lavouras situadas em região de cerrado, é a irrigação. No entanto, ainda não existe consenso sobre o manejo dessa irrigação, principalmente, com relação à quantidade de água a aplicar e na frequência da irrigação. Objetivou-se com este trabalho verificar a influência da irrigação por gotejamento quando manejada o ano inteiro, e quando submetida à suspensão ou repouso durante os meses de julho e agosto, nas características produtivas (produtividade e renda) e de crescimento (altura e diâmetros da copa e do caule) e na qualidade física e da bebida de café. Além disso, foram testados modelos matemáticos com a finalidade de identificar aquele que melhor descreve o desempenho das plantas. Não obstante, foi efetuado o balanço hídrico climatológico diário da cultura de café e alguns índices de eficiência de uso de água. O experimento foi delineado em blocos casualizados com quatro repetições e onze tratamentos, sendo esses compostos por plantas irrigadas o ano inteiro e plantas submetidas à suspensão da irrigação durante os meses de julho e agosto, além da testemunha que não foi irrigada. As lâminas de irrigação foram obtidas com base na porcentagem da evaporação da água do tanque classe A de 40%, 80%, 120%, 160% e 200%. A coleta de dados começou em julho de 2003 e se estendeu por três anos, finalizando em maio de 2006. Conclui-se que a renda e a qualidade da bebida de café não foram influenciadas pelos tratamentos; a suspensão da irrigação durante os meses de julho e agosto melhorou sobremaneira a qualidade física do café, porém, a produtividade foi drasticamente diminuída; dentre os tratamentos submetidos ao repouso, a utilização de 80% da evaporação da água do tanque classe A promoveu a melhor combinação entre qualidade física dos grãos e produtividade; A lâmina de irrigação de 80% da evaporação da água do tanque classe A, manejada durante todo o ano, promoveu a maior produtividade média e o maior índice de eficiência no uso da água; os modelos de regressão polinomial de terceiro e segundo grau e raiz quadrada, representaram de forma satisfatória o desempenho produtivo da cultura de café em função da quantidade de água aplicada, porém o primeiro apresentou maior coeficiente de correlação; os piores resultados para altura das plantas foram aqueles proporcionados pelos tratamentos Testemunha, 40% da ECA irrigado o ano inteiro, e 40% e 120% da ECA com suspensão da irrigação em julho e agosto; para o diâmetro da copa e do caule, os piores resultados foram proporcionados pelos tratamentos Testemunha e 40% da ECA irrigado o ano inteiro; a maior eficiência no uso da água de irrigação foi conseguida pela lâmina de 40% da ECA com suspensão em julho e agosto, porém, houve diminuição na produtividade em 38,3%; o armazenamento efetivo da água do solo para o tratamento Testemunha sofreu muita variação ao longo dos anos avaliados, permanecendo abaixo de 30% no mês de setembro; nos tratamentos com suspensão na irrigação, o armazenamento efetivo da água no solo ficou abaixo de 50% no mês de agosto, por outro lado, naqueles onde a irrigação foi realizada o ano todo o armazenamento permaneceu acima de 90%, com exceção do tratamento 40%, onde o armazenamento chegou a 75% em maio de 2006.

Palavras-chave: Gotejamento; Manejo de irrigação; Armazenamento efetivo; Eficiência

ABSTRACT

Irrigation, climatological water balance and water efficient use on the coffee crop

One of the most often adopted technologies by farmers, especially those who grow their crops in the savannas, is irrigation. However, there is no consensus about this irrigation management, mostly in relation to the water volume and irrigation frequency. This study analyzed the effect of drip irrigation managed throughout the year, and when subject to suspension or fallowing in the months of July and August, on the production (yield and recovery), on growth (height and canopy and stem diameters) characteristics and on coffee physical and beverage qualities. Moreover, mathematical models were tested to identify those that best describe plant performance. Daily coffee climatological hydric balance and some efficacy indices on water use were also calculated. The experimental design was randomized blocks with four repetitions and eleven treatments, which were composed by plants irrigated throughout the year, and plants subjected to irrigation suspension in the months of July and August, besides a non irrigated control. Water irrigation blades were obtained based on evaporation of the class A pan at 40%, 80%, 120%, 160% and 200%. Data collection started on July 2003 and extended for three years, ending on May 2006. It was concluded that recovery and coffee beverage quality were not affected by the treatments; suspending irrigation in July and August improved greatly coffee physical quality; however, yield decreased drastically; among the treatments subjected to fallowing, the one at 80% evaporation of class A pan, gave the best combination between cherry physical quality and yield; the irrigation blade of 80% evaporation of class A pan, managed throughout the year, gave the best average yield and the greatest water use efficacy index; the polynomial regression model of third and second degrees and the square root, represented well the yield performance of coffee as a function of water amount applied; however, the first one presented a greater correlation coefficient; the worst results of plant height were those given by the treatments non irrigated control, 40% ECA irrigated throughout the year and 40% and 120% ECA with irrigation fallowing in July and August; the worst results for canopy and stem diameters were given by the treatments non irrigated control and 40% ECA irrigated throughout the year; the greatest irrigation water use efficacy was obtained with the blade of 40% ECA with fallowing in July and August; however, there was a 38.3% decrease in yield; effective water holding in the soil for the non irrigated control varied greatly throughout the evaluation years, remaining below 30% in September; in the treatments with irrigation fallowing, effective water holding remained below 50 in August, in contrast, in those with irrigation throughout the year, water holding remained above 90% with the exception of the treatment with 40% ECA, where water holding reached 75% in May 2006.

Keywords: Drip irrigation; Water management; Effective soil water holding; Efficiency

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Valores mensais da evaporação da água do tanque classe A medida no posto agrometeorológico da Fazenda Experimental do Glória/UFU, em Uberlândia-MG..... 69
- Figura 2 - Valores mensais da precipitação medida no posto agrometeorológico da Fazenda Experimental do Glória/UFU, em Uberlândia-MG..... 70
- Figura 3 - Valores mensais médios da temperatura e da umidade relativa do ar medidos na estação Uberlândia (5° DISME/INMET), em Uberlândia-MG 71
- Figura 4 - Valores médios da irradiância solar extraterrestre (Q_o), irradiância solar global (Q_g) e irradiância solar em condições de céu “limpo” (Q_{so}), estimados em $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$, e da insolação diária (n), medida em horas na estação Uberlândia (5° DISME/INMET), em Uberlândia-MG ... 73
- Figura 5 - Valores diários médios da evapotranspiração de referência (ETo) e da velocidade do vento ($Vento$), estimados e medidos na estação Uberlândia (5° DISME/INMET), em Uberlândia-MG, respectivamente..... 74
- Figura 6 - Resultado dos testes de modelos de regressão da produtividade (Pr) em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas (L), manejadas sem o uso da suspensão da irrigação em julho e agosto..... 81
- Figura 7 - Resultado do teste de regressão para altura (a), diâmetro da copa (b) e diâmetro do caule (c) do cafeeiro, em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas (L), manejadas sem o uso da suspensão da irrigação em julho e agosto 89
- Figura 8 - Resultado do teste de regressão para altura (a), diâmetro da copa (b) e diâmetro do caule (c) do cafeeiro em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas (L), manejadas com o uso da suspensão da irrigação em julho e agosto 93
- Figura 9 - Balanço hídrico climatológico seqüencial para Uberlândia-MG durante o ano de 2003. CAD = 100 mm 96
- Figura 10 - Balanço hídrico climatológico seqüencial para Uberlândia-MG durante o ano de 2004. CAD = 100 mm 97
- Figura 11 - Balanço hídrico climatológico seqüencial para Uberlândia-MG durante o ano de 2005. CAD = 100 mm 97
- Figura 12 - Balanço hídrico climatológico seqüencial para Uberlândia-MG até maio de 2006. CAD = 100 mm 98
- Figura 13 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, sem irrigação, durante o ano de 2003. CAD = 100 mm 103

Figura 14 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, sem irrigação, durante o ano de 2004. CAD = 100 mm	104
Figura 15 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, sem irrigação, durante o ano de 2005. CAD = 100 mm	105
Figura 16 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, sem irrigação, durante o ano de 2006. CAD = 100 mm	106
Figura 17 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento sem irrigação, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)	109
Figura 18 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 40% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm.....	112
Figura 19 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 40% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm.....	113
Figura 20 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 40% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm.....	113
Figura 21 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 40% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, até maio de 2006. CAD = 100 mm.....	114
Figura 22 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 40% da ECA manejadas sem o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d).....	116
Figura 23 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 80% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm.....	118
Figura 24 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 80% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm.....	118
Figura 25 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 80% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm.....	119

- Figura 26 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 80% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, até maio de 2006. CAD = 100 mm 119
- Figura 27 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 80% da ECA manejadas sem o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)..... 121
- Figura 28 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 120% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm 122
- Figura 29 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 120% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm 122
- Figura 30 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 120% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm 123
- Figura 31 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 120% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, até maio de 2006. CAD = 100 mm 123
- Figura 32 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 120% da ECA manejadas sem o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)..... 125
- Figura 33 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 160% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm 126
- Figura 34 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 160% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm 126
- Figura 35 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 160% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm 127
- Figura 36 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 160% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, até maio de 2006. CAD = 100 mm 127

- Figura 37 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 160% da ECA manejadas sem o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)..... 129
- Figura 38 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 200% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm 130
- Figura 39 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 200% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm 130
- Figura 40 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 200% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm 131
- Figura 41 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 200% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, até maio de 2006. CAD = 100 mm..... 131
- Figura 42 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 200% da ECA manejadas sem o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)..... 134
- Figura 43 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 40% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm 136
- Figura 44 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 40% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm 136
- Figura 45 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 40% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm 137
- Figura 46 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 40% da ECA, manejadas com o uso do repouso, até maio 2006. CAD = 100 mm 137
- Figura 47 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 40% da ECA manejadas com o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)..... 139

- Figura 48 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 80% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm 140
- Figura 49 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 80% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm 140
- Figura 50 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 80% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm 141
- Figura 51 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 80% da ECA, manejadas com o uso do repouso, até maio 2006. CAD = 100 mm 141
- Figura 52 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 80% da ECA manejadas com o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)..... 143
- Figura 53 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 120% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm 144
- Figura 54 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 120% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm 144
- Figura 55 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 120% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm 145
- Figura 56 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 120% da ECA, manejadas com o uso do repouso, até maio de 2006. CAD = 100 mm 145
- Figura 57 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 120% da ECA manejadas com o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)..... 147
- Figura 58 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 160% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm 148

Figura 59 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 160% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm	148
Figura 60 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 160% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm	149
Figura 61 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 160% da ECA, manejadas com o uso do repouso, até maio de 2006. CAD = 100 mm	149
Figura 62 - Detalhe dos níveis de armazenamento da água do solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 160% da ECA manejadas com o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d).....	151
Figura 63 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 200% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm	152
Figura 64 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 200% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm	152
Figura 65 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 200% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm	153
Figura 66 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 200% da ECA, manejadas com o uso do repouso, até maio de 2006. CAD = 100 mm	153
Figura 67 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 200% da ECA manejadas com o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d).....	155
Figura 1A - Detalhe da entrelinha de plantio	170
Figura 2A - Vista parcial do posto agrometeorológico da Fazenda Experimental do Glória/UFU	170
Figura 3A - Detalhe do tanque classe A.....	170
Figura 4A - Detalhe do pluviômetro	170

Figura 5A - Detalhe do gancho para o nivelamento da água do tanque classe, localizado dentro do poço tranquilizador	171
Figura 6A - Detalhe do tubo gotejador instalado no campo.....	171
Figura 7A - Detalhe do cavalete localizado na área experimental	171
Figura 8A - Vista parcial do reservatório e da casa de bombas	171
Figura 9A - Detalhe interno da casa de bombas.....	171
Figura 10A - Detalhe do método de colheita.....	171
Figura 11A - Detalhe do pano utilizado na colheita.....	172
Figura 12A - Café colhido passando por limpeza inicial (“abanação”)	172
Figura 13A - Café sendo colhido após a “varreção”	172
Figura 14A - Detalhe da camada de folhas abaixo da copa das plantas.....	172
Figura 15A - Vista frontal do renque de plantas, detalhando o formato cilíndrico da variedade cultivada Rubi-1192	173
Figura 16A - Detalhe das plantas do tratamento Testemunha à frente e do tratamento 200% da ECA sem repouso ao fundo, no dia 5 de outubro de 2004	173

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo dos tratamentos do experimento.....	50
Tabela 2 - Resultado da análise de variância dos parâmetros produtivos do cafeeiro, em função dos tratamentos testados	75
Tabela 3 - Resultado do teste de médias ¹ para produtividade	76
Tabela 4 - Resultado da análise de variância para produtividade do cafeeiro, em função das lâminas de irrigação aplicadas e do tipo de manejo adotado.....	79
Tabela 5 - Valores de lâmina de irrigação para obtenção da produtividade máxima da cultura (Pr_{max}), dada pelos modelos de regressão apresentados nas Figuras 6b, 6c e 6e.....	82
Tabela 6 - Resultado da análise de variância dos parâmetros de crescimento do cafeeiro, em função dos tratamentos testados	84
Tabela 7 - Resultado do teste de médias ¹ para os parâmetros de crescimento do cafeeiro	85
Tabela 8 - Resultado da análise de variância dos parâmetros de crescimento do cafeeiro, em função das lâminas de irrigação aplicadas e do tipo de manejo adotado	87
Tabela 9 - Resultado da análise física e sensorial dos grãos de café.....	95
Tabela 10 - Resultado da análise física e físico-hídrica do solo da área experimental	101
Tabela 11 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café cultivadas em Uberlândia-MG, sem o uso da irrigação (Testemunha)	108
Tabela 12 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de irrigação de 40% da ECA durante todo o ano, considerando a CAD igual a 100 mm	115
Tabela 13 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de irrigação de 80% da ECA durante todo o ano, considerando a CAD igual a 100 mm	120
Tabela 14 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de irrigação de 120% da ECA durante todo o ano, considerando a CAD igual a 100 mm	124
Tabela 15 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de irrigação de 160% da ECA durante todo o ano, considerando a CAD igual a 100 mm	128

Tabela 16 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café cultivadas em Uberlândia-MG, manejadas com lâmina de irrigação de 200% da ECA durante todo o ano, considerando a CAD igual a 100 mm.....	132
Tabela 17 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de 40% da ECA e submetidas à suspensão da irrigação em julho e agosto. CAD igual a 100 mm.....	138
Tabela 18 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de 80% da ECA e submetidas à suspensão da irrigação em julho e agosto. CAD igual a 100 mm.....	142
Tabela 19 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de 120% da ECA e submetidas à suspensão da irrigação em julho e agosto. CAD igual a 100 mm.....	146
Tabela 20 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de 160% da ECA e submetidas à suspensão da irrigação em julho e agosto. CAD igual a 100 mm.....	150
Tabela 21 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de 200% da ECA e submetidas à suspensão da irrigação em julho e agosto. CAD igual a 100 mm.....	154
Tabela 22 - Dados de produtividade (Pr_{kg}), lâmina de irrigação (I), transpiração real da cultura (Tr), uso eficiente da água UEA), uso eficiente da água de irrigação (UEAI), índice de compensação da irrigação (Ic) e quebra relativa de produção (Q).....	158

1 INTRODUÇÃO

O café é um dos produtos agrícolas mais importantes para a economia brasileira desde muito tempo. Diversas cidades e a primeira fase da industrialização brasileira foram iniciadas com base nas receitas oriundas das exportações desse grão. Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de café, com produção estimada para a safra 2007/2008 entre 41 e 44 milhões de sacas beneficiadas, sendo que aproximadamente 31 milhões deverão ser de café arábica. Desse montante, Minas Gerais responde com 50% (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2008).

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

No entanto, esse aumento no consumo de café é acompanhado por uma maior exigência dos consumidores, que passam cada vez mais, a exigir um produto de bebida mais refinada. Com isso, a indústria é forçada a colocar no mercado cafés com qualidade superior e ela, por sua vez, exige que os produtores também se adequem a esse novo padrão de exigência. Atentos ao mercado, diversos produtores tem adotado procedimentos produtivos diferenciados em suas lavouras, o que tem influenciado sobremaneira a qualidade, a qual, por outro lado, melhora a receita desses produtores.

Uma das tecnologias mais adotadas pelos produtores, principalmente os que têm suas lavouras situadas em região de cerrado, é a irrigação. Essa prática, quase obrigatória para plantas cultivadas nesse local, interfere no crescimento, na produtividade, na qualidade do produto colhido e na longevidade produtiva da plantas. No entanto, ainda não existe consenso sobre o manejo dessa irrigação, principalmente, com relação à quantidade de água a aplicar e na frequência da irrigação. Com relação a esta última afirmação, é comum entre os produtores e técnicos do setor, a idéia de que o cafeeiro deva passar por um período de estresse hídrico durante a fase de repouso vegetativo a fim de uniformizar a florada das plantas, o que contribuiria para

melhorar a qualidade física do café. Existem poucos trabalhos a esse respeito, sendo os dados preliminares na sua maioria, apesar de que os mesmos têm mostrado que a melhoria da qualidade física do café pode ocorrer, porém, a custos de redução na produção quando a deficiência hídrica é acentuada.

A deficiência hídrica ocorre por causa do baixo nível de armazenamento de água no solo, podendo, neste caso, as plantas sofrerem os efeitos dessa situação de maneira visível, verificado pelo murchamento generalizado da parte aérea e queda de flores, principalmente, ou na maioria das vezes, os efeitos não são visíveis, e provocam a diminuição da produtividade, a qual será constatada apenas na colheita.

O cafeeiro é uma planta perene, com a peculiaridade de completar o seu ciclo de produção em dois anos, sendo que no primeiro ano ocorre a emissão de ramos que serão os responsáveis pela formação das flores e frutos no ano seguinte. Portanto, no mesmo ano ocorre a emissão de novos ramos, e de flores e frutos nos ramos formados no ano anterior. Dessa forma, a deficiência hídrica pode afetar a safra atual e a do ano seguinte, o que torna imprescindível o conhecimento e a identificação da magnitude desse déficit no crescimento e, principalmente, na produção de café. O balanço hídrico climatológico é uma das ferramentas mais usadas para a estimativa da deficiência hídrica, do excedente hídrico, da reposição da água do solo, da retirada da água do solo e do armazenamento atual. Com tudo isso, o balanço hídrico climatológico pode ser usado para avaliar se a água aplicada via irrigação, por exemplo, está sendo capaz de suprir a necessidade de água da planta.

A observância do comportamento das plantas, seja ele produtivo ou no crescimento, bem como aliado ao conhecimento das condições hídricas do solo, permitem que se possa definir a lâmina e a forma de manejo mais indicado. No entanto, a obtenção desses fatores juntamente com índices que atestam a eficiência com que a água é utilizada pelas plantas, torna essa definição mais acertada e confiável.

Diante de tudo isso, estudos que possam dar subsídios para o esclarecimento das várias dúvidas colocadas até então, são de grande importância. Nesse sentido, foi desenvolvido este trabalho, o qual partiu dos dados de três anos de avaliações de um experimento delineado para o estudo de diferentes lâminas de irrigação na cultura de café, com plantas irrigadas durante o ano

todo e plantas submetidas à suspensão da irrigação nos meses de julho e agosto, além de plantas sem irrigação, consideradas como testemunha.

Objetivou-se com este trabalho verificar a influência da irrigação quando manejada o ano inteiro, e quando submetida à suspensão ou repouso durante os meses de julho e agosto, nas características produtivas e de crescimento e na qualidade da bebida de café. Com relação às duas primeiras, foram testados modelos matemáticos a fim de identificar aquele que melhor descreve o desempenho das plantas. Além disso, foi elaborado o balanço hídrico climatológico diário da cultura de café, com o objetivo de verificar o nível de armazenamento da água no solo, bem como o impacto da água aplicada na transpiração das plantas, ajudando na identificação da melhor lâmina de irrigação dentro de cada tipo de manejo (com e sem suspensão da irrigação), além do cálculo de índices de eficiência de uso da água.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Características gerais da irrigação na cultura de café

2.1.1 Efeito da irrigação nos parâmetros de crescimento

No Brasil o cafeeiro sempre foi cultivado em regiões úmidas onde o suprimento hídrico proveniente da chuva é suficiente para manter o crescimento e a produtividade das plantas. No entanto, a partir da década de 80 do século passado essa cultura tem ganhado novas áreas, as quais possuem características bem diferentes das tradicionais. Essas novas regiões produtoras são o cerrado e o nordeste do país, sendo a primeira, a que mais tem abrigado esse cultivo nos últimos anos. No entanto, a região do cerrado apresenta limitação ao cultivo do ponto de vista hídrico, por apresentar período acentuado de seca, o que tem prejudicado o desenvolvimento e a produção das plantas. Por outro lado, essa limitação pode ser superada pela adoção da irrigação a qual visa suprir hidricamente as plantas durante a estação seca e nos veranicos, muito comuns nessa região.

Segundo Mantovani (2003), a cafeicultura irrigada é uma realidade no cenário nacional, ocupando cerca de 8% da sua área plantada, permitindo situar o cafeeiro entre as principais culturas irrigadas do Brasil. Levantamentos preliminares avaliaram um total de quase 200.000 hectares irrigados, concentrados principalmente no Norte do Espírito Santo, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba em Minas Gerais e Oeste da Bahia.

De acordo com Matiello et al. (2005), as características vegetativas ou parâmetros de crescimento estão relacionados a aspectos do desenvolvimento das plantas, sendo um dos mais importantes o porte das plantas, no qual é avaliada a altura do vegetal; a arquitetura da copa, sendo um dos pontos mais avaliados o diâmetro da copa (“saia” do cafeeiro); e o vigor, o qual pode ser medido pelo diâmetro do caule das plantas.

Vários trabalhos mostram que a irrigação acelera o desenvolvimento do cafeeiro, mesmo em regiões tradicionais de cultivo como o Sul de Minas Gerais onde a irrigação não é uma prática comum. Essa afirmação pode ser comprovada pelo trabalho de Silva et al. (2002), que avaliaram

o crescimento vegetativo inicial do cafeeiro e constataram que os tratamentos que mantiveram o solo próximo à capacidade de campo proporcionaram maior altura das plantas, diâmetro do caule, diâmetro da copa, número e comprimento de ramos plagiotrópicos, em relação ao tratamento que não recebeu irrigação, no primeiro ano de plantio em Lavras-MG.

Nessa mesma linha de pesquisa, Guimarães et al. (2002) compararam as lâminas de 0%, 40%, 60%, 80% e 100% da evaporação da água do tanque classe A (ECA), aplicadas por gotejamento a cafeeiros da variedade cultivada Acaia Cerrado, em experimento conduzido no município de Lavras-MG, e constataram para os parâmetros de altura das plantas, diâmetro de copa, diâmetro de caule e número de ramos plagiotrópicos, que todos apresentaram melhor desenvolvimento com a lâmina correspondente a 100% da ECA, enquanto que os tratamentos sem irrigação obtiveram os piores resultados. Trabalhos similares, conduzidos no mesmo local, foram realizados por Faria et al. (2002) e Alves (1999), encontrando o mesmo resultado, em que a lâmina de 100% da ECA proporcionou o maior desenvolvimento dos cafeeiros.

No entanto, cabe ressaltar que esses autores, assim como Guimarães et al. (2002), estudaram em suas pesquisas lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento cujo índice máximo foi o equivalente a 100% da ECA, e que por isso, não se pode adotá-la como a mais indicada, uma vez que as plantas foram responsivas de maneira crescente de acordo com o aumento da lâmina de irrigação.

Trabalhos como o de Gervásio (1998), confirmam essa suspeita. Esse autor conduzindo um experimento em casa de vegetação em Lavras-MG, constatou que o aumento da umidade do solo acelerou o desenvolvimento inicial dos cafeeiros em vasos, sendo que a lâmina de água aplicada correspondente a 140% da evaporação da água do tanque classe A, proporcionou os melhores resultados nos parâmetros de altura da planta, diâmetro do caule e número de ramos plagiotrópicos.

Por outro lado, Martins et al. (2002), estudando diferentes lâminas de irrigação aplicadas por pivô central no crescimento do cafeeiro em Lavras-MG, concluíram numa lavoura de 33 meses, que, para o crescimento das plantas, o melhor manejo seria com base em 60% da evaporação da água do tanque classe A. No entanto, os autores destacaram que o ano de

2001/2002, período de condução do trabalho, o volume de chuvas foi alto e bem distribuído, o que pode ter prejudicado o desempenho das plantas submetidas às lâminas maiores.

Com a expansão da cafeicultura para os cerrados, algumas mudanças em relação ao cultivo tradicional em regiões úmidas foram implementadas. Dentre essas mudanças, destaca-se o uso da irrigação, que ao contrário da região Sul de Minas Gerais, ganhou nesses novos locais importância muito maior, passando a ser considerada uma prática muito recomendada pelos técnicos para cultivos localizados nos cerrados.

Segundo Santos et al. (1998), após sucessivos percalços na atividade cafeeira no cerrado mineiro devido às estiagens prolongadas, a partir de 1988 iniciou-se a utilização da irrigação na cafeicultura dessa região, não mais como tática de socorro, mas em caráter definitivo, com sistemas implantados e funcionando em todas as safras nas áreas cultivadas.

Diante do aumento do uso da irrigação nessa região, necessário se fez que os órgãos de pesquisa se aplicassem ainda mais para dar subsídios técnicos aos produtores, principalmente quanto ao manejo da irrigação. Nesse sentido, vários trabalhos de pesquisa foram e ainda são implantados no intuito de prever a melhor maneira de aplicar água ao cafeeiro cultivado nos cerrados.

Em trabalho realizado em Uberlândia-MG, Rotondano (2004) pesquisou diferentes lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento com base na evaporação da água do tanque classe A de 30% até 210%, variando esses índices a cada 30%, bem como o tratamento sem irrigação (0%). O autor avaliou os parâmetros vegetativos, produtivos e de qualidade dos grãos do cafeeiro variedade cultivada Rubi-1192, plantada em fevereiro de 2001. Com relação aos parâmetros vegetativos foram tomados dados em três épocas (setembro/2002, fevereiro/2003 e julho/2003), analisando-se diversas características, dentre as quais se destaca o diâmetro da copa, diâmetro do caule e a altura da planta. Ele observou em setembro/2002, fevereiro/2003 e julho/2003 que as respectivas lâminas de 140,26%, 139,78% e 150,80% promoveram os melhores resultados para o crescimento do diâmetro da copa. Com relação ao crescimento do caule, as melhores lâminas foram as de 151,90% em setembro/2002, 148,10% em fevereiro/2003 e 158,40% em julho/2003. No que diz respeito ao crescimento em altura das plantas, em setembro/2002, fevereiro/2003 e

julho/2003 as melhores lâminas foram as equivalentes a 158,95%, 152,63% e 150,94%, respectivamente.

Resultado semelhante foi obtido nesse mesmo experimento em julho/2004 por Teodoro et al. (2005), que encontraram para o diâmetro da copa das plantas que a lâmina equivalente a 147% da ECA seria a mais recomendada, para o diâmetro do caule a de 152% e para a altura das plantas a de 123%. Os autores destacaram que o ano de 2003 apresentou alto índice pluviométrico (2200 mm) e que, mesmo assim, os tratamentos irrigados diferenciaram dos não irrigados, provando que a prática da irrigação para cafeeiros cultivados no cerrado do Triângulo Mineiro promove bons resultados no crescimento das plantas.

Por outro lado, Soares (2005) objetivando estudar os efeitos da irrigação localizada por gotejamento sobre o desenvolvimento fisiológico do cafeeiro variedade cultivada Rubi-1192 em Patrocínio-MG, instalou um experimento onde as lâminas de irrigação foram aplicadas com base na evapotranspiração da cultura nas proporções de 0% (testemunha), 35%, 50%, 75%, 100%, 125% e 150%. O turno de rega era variável e o manejo da irrigação realizado pelo aplicativo computacional IRRIGA-GESAI para o tratamento 100%, sendo os demais índices aplicados a partir do valor calculado neste. O autor avaliou os parâmetros altura da planta, diâmetro da copa e diâmetro do caule, sendo que para os dois primeiros, a lâmina correspondente a 75% da ETc e superiores, apresentaram resultados semelhantes estatisticamente e bastante superiores em relação ao tratamento testemunha, provando que a irrigação foi altamente benéfica para cafeeiros cultivados nessa região. Para o parâmetro diâmetro do caule nenhum dos tratamentos apresentou diferenças significativas.

Também no nordeste, a irrigação é uma prática muito recomendada para os cafeeiros cultivados naquela região. Matiello e Dantas (1987), comparando tratamentos sem e com irrigação, aplicados à lavoura de café da variedade “Catuaí”, em Pernambuco, constataram acréscimo de 41% no diâmetro da copa e 39% na altura das plantas dos cafeeiros irrigados, quando comparados aos não irrigados, provando os benefícios dessa tecnologia o que se refletirá sem sombra de dúvidas na produção e principalmente na longevidade das plantas.

2.1.2 Influência da irrigação nos parâmetros de produção

Segundo Matiello et al. (2005), a produtividade e a renda são alguns dos parâmetros mais importantes relacionados às características produtivas do cafeeiro. A primeira é a principal delas quando se visa a seleção de variedades cultivadas, pois a quantidade de frutos produzida pelo cafeeiro, associada a um número adequado de plantas por área, resultará em safras mais rentáveis. No que se refere à renda, o autor define que é a proporção entre o peso de frutos secos (café “coco”) e o peso de grãos beneficiados. Ela resulta de diferenças na espessura da casca e do mesocarpo (mel) do fruto e da sua boa granação. Para as variedades de café arábica a renda normal, em peso, é de 2:1 (café “coco”:grãos beneficiados). O autor destaca também, que em casos de deficiência hídrica, principalmente na fase de granação (80 a 100 dias após a floração), pode ocorrer grande porcentagem de grãos chochos (frutos com uma ou duas lojas vazias), o que interfere sobremaneira na renda.

A deficiência hídrica é prejudicial ao cafeeiro, principalmente na fase de frutificação, onde a irrigação passa a ser necessária. Nessas condições, a utilização da irrigação tem resultado em excelente retorno, aumentando significativamente a produção (MATIELLO, 1991).

Os parâmetros de produção das lavouras de café são, sem dúvida, os mais estudados nos trabalhos de pesquisa, por estarem relacionados diretamente com a rentabilidade dos produtores. Trabalhos, como o de Rotondano (2003), têm mostrado que a irrigação contribui significativamente para o aumento de produtividade. Esse autor, trabalhando com cafeeiros da variedade cultivada Rubi-1192 em Uberlândia-MG, no primeiro ano de produção, e testando diferentes lâminas de irrigação com base na evaporação da água do tanque classe A (ECA), encontrou produtividades com incremento de 64,13 sacas de café beneficiado por hectare a mais, em relação aos tratamentos sem irrigação, sendo de 137,5% da ECA a lâmina que proporcionou tal produtividade. Neste mesmo trabalho, a renda foi de 3,88 kg de café em “coco” para 1,0 kg de café beneficiado, sendo a lâmina de 140,0% da ECA a que proporcionou esse valor.

Soares (2005), objetivando estudar os efeitos da irrigação localizada por gotejamento sobre a produção do cafeeiro variedade cultivada Rubi em Patrocínio-MG, instalou um experimento onde as lâminas de irrigação foram aplicadas com base na evapotranspiração da cultura nas proporções de 0% (testemunha), 35%, 50%, 75%, 100%, 125% e 150%. O turno de

rega era variável e o manejo da irrigação realizado pelo aplicativo computacional IRRIGAGESAI para o tratamento 100%, sendo os demais índices aplicados a partir do valor calculado neste. O autor avaliou a produtividade das plantas e observou que a lâmina correspondente a 75% da ETc e superiores, apresentaram resultados semelhantes estatisticamente e bastante além do tratamento testemunha, provando que a irrigação foi altamente benéfica para cafeeiros cultivados nessa região.

Faria et al. (2002) avaliaram a produtividade das três primeiras safras do cafeeiro da variedade cultivada Acaia, sob diferentes lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento, em Lavras-MG. A lâmina correspondente a 100% da ECA proporcionou produtividade superior em 74,63%, quando comparada a do tratamento sem irrigação. Outros trabalhos, como o de Mantovani et al. (2003), apresentaram produtividades 59% superiores para os tratamentos irrigados.

Com relação à renda, Santinato et al. (2002), comparando a renda obtida de seis safras (1997 a 2002), de cafeeiros irrigados e não irrigados, encontraram um incremento médio de 7% na renda dos cafeeiros irrigados.

Nessa mesma linha de trabalho, Silva et al. (2005a) avaliaram o efeito da irrigação por gotejamento nos parâmetros de renda e de peneira do café. As lâminas de irrigação foram manejadas pelo balanço hídrico climático dos quatro últimos dias que antecederam a última irrigação, em cafeeiros das variedades cultivadas Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo, plantadas em dezembro de 1996, no município de Varre-Sai no Rio de Janeiro. Os tratamentos se basearam na porcentagem da evapotranspiração de referência (ET_o) calculada pelo balanço hídrico, sendo que para a variedade cultivada Catuaí Vermelho, os índices variaram de 0% (sem irrigação), 22%, 39%, 60%, 78%, 100% e 118% da ET_o. Para a variedade cultivada Catuaí Amarelo os tratamentos foram iguais, com exceção do tratamento 22%, o qual foi suprimido para esta variedade cultivada. Embora as duas variedades cultivadas tenham alcançado altas rendas, os autores verificaram que a Catuaí apresentou renda acima de 65% e a Catuaí, alcançou 60%. Os autores concluíram também, que as lâminas de irrigação pouco influenciaram na renda das duas variedades cultivadas.

Teodoro et al. (2005) avaliaram a influência de diferentes lâminas de irrigação aplicadas com base na ECA, nos parâmetros produtivos (renda e produtividade) do cafeeiro Rubi-1192, no ano agrícola de 2003/2004 em Uberlândia-MG. Os autores concluíram que as lâminas de 153% e 164% da ECA promoveram os maiores valores de renda (1,75) e produtividade (115,3 sacas ha⁻¹), respectivamente.

Coelho et al. (2005) instalaram um experimento em Lavras-MG objetivando avaliar o efeito de diferentes parcelamentos na adubação e de épocas de irrigação sobre a produtividade do cafeeiro nas safras 2001/2002, 2002/2003 e 2003/2004. As épocas de irrigação constavam de diferentes períodos: 01/06 a 30/09, 15/07 a 30/09 e de 01/09 a 30/09. Os autores verificaram que a irrigação a partir do dia primeiro de junho promoveu a maior produtividade (59 sacas ha⁻¹). Verificaram também, que este tratamento não eliminou o ciclo bienal de produção, o qual se caracteriza por produções elevadas em um ano, seguidas de produções menores no ano seguinte. Por outro lado, a flutuação da produção foi sensivelmente diminuída.

Silva et al. (2003), avaliando o efeito da época de irrigação e do parcelamento da adubação sobre a produtividade do cafeeiro, em Lavras-MG, observaram que as irrigações de junho a outubro proporcionaram maior produtividade (sacas de café beneficiado ha⁻¹). Os autores atribuíram o fato de as irrigações no período de junho a outubro promoverem as melhores produtividades em função da coincidência com a florada, período este, em que o suprimento de água determina o pegamento ou descarte da flor pela planta.

2.1.3 Influência da irrigação na qualidade física e de bebida do café

Segundo Matiello et al. (2005), além da produtividade e da renda, o formato, o tamanho dos grãos e a bebida, fazem parte das características produtivas mais importantes para o cafeeiro. De acordo com os autores, a classificação do café pode ser empregada em duas condições principais: a primeira é em nível de produtor, onde poderá orientá-lo sobre como melhorar o preparo do café ou como proceder no seu beneficiamento visando melhor comercialização; a segunda é de acordo com a Tabela Oficial Brasileira de Classificação (COB), onde se determina o tipo, a distribuição em peneiras (tamanho dos grãos), a seca, o aspecto, a torração e a bebida.

Neste caso, a classificação deverá ser feita por profissional habilitado (classificador-provador), especialmente no que se refere à determinação da bebida do café, em seus vários padrões.

De acordo com a COB, a classificação do café por tipo corresponde um maior ou menor número de defeitos, ou seja, grãos imperfeitos ou impurezas, sendo os mais encontrados os de natureza intrínseca (grãos pretos, ardidados, verdes, chochos e os mal granados) ou extrínseca (grãos não beneficiados (coco), marinheiro, cascas, paus e pedras). Conhecidos o total de defeitos da amostra, pode-se então, classificar o café pelo tipo. No caso da classificação em peneira, os grãos são classificados conforme as dimensões dos crivos das peneiras que os retêm. Essas peneiras são indicadas por números, que correspondem ao numerador de frações de 64 avos de polegada. As peneiras de crivo redondo servem para medição e separação dos grãos chatos (grãos com a parte dorsal convexa e a ventral plana ou levemente côncava) e as de crivos alongados para os mocas (grão com formato mais arredondado e mais comprido). A classificação por peneira é a seguinte: grãos chato grosso – peneira 17 e maiores, chato médio – 15 e 16, chatinho – 12 a 14, moca grosso - 11 a 13, moca médio - 10 e moquinha – peneiras 8 e 9 (MATIELLO et al., 2005).

A irrigação promove uma maior produtividade e qualidade do produto colhido, uma vez que plantas sujeitas ao déficit hídrico produzem grãos pequenos (peneira menor) e com nível de defeitos maior, depreciando o produto final. De acordo com Rena e Maestri (2000) o tamanho do grão de café é determinado no período compreendido entre a 15^a e 18^a semanas após a florada, quando o fruto se expande rapidamente, sendo a água a responsável por esse aumento de volume. Neste período o fornecimento de água seja pela chuva seja pela irrigação deve ser indispensável, uma vez que após essa fase, ocorre a formação do pergaminho o qual dificulta o crescimento das sementes.

Rena e Maestri (1986) detalham o crescimento do cafeeiro em cinco fases: 1^a - período de crescimento visível (fase “chumbinho”); 2^a - fase de expansão rápida, ao fim da qual o endocarpo endurece (formação do pergaminho); 3^a - formação do endosperma, que ocorre durante a parte final da fase de expansão (fase em que o endosperma está leitoso); 4^a - endurecimento do endosperma, que continua até antes da maturação (fase de granação); 5^a - maturação (fase de grãos “cereja”).

No sudeste brasileiro é comum a presença de veranicos nos meses de janeiro e fevereiro, os quais coincidem com a fase de maior expansão dos frutos do cafeeiro, portanto, a irrigação pode ser preponderante para a melhoria da qualidade do café, o que influenciará sobremaneira o valor final do produto.

Com relação à qualidade do café, a análise da bebida é um dos elementos mais importantes, sendo muito influenciada pelo manejo dado às plantas ao longo do ciclo de produção e principalmente, na colheita e no beneficiamento dos grãos.

Segundo Matiello et al. (2005), a classificação do café por bebida é um trabalho que exige bastante conhecimento, grande prática e, principalmente, paladar apurado, para que se possam distinguir, com precisão, as variações da bebida. O padrão de classificação da bebida seguida pela COB é a “mole”, quando se traduz em um gosto agradável, brando e doce. As demais classificações são dadas em função dela, onde a “estritamente mole” apresenta, em conjunto, todos os requisitos de aroma e sabor da bebida “mole”, porém mais acentuados. O “apenas mole” apresenta sabor levemente suave, inferior aos anteriores, com adstringência ou asperezas de paladar. Além dessas, o café pode ser classificado também como “duro”, onde apresenta gosto acre, adstringente e áspero, entretanto, sem paladares estranhos e o “rio”, que apresenta cheiro e gosto acentuados de iodofórmio.

Procurando estudar a influência da irrigação no cafeeiro em Uberlândia-MG, Rotondano (2004) pesquisou diferentes lâminas aplicadas por gotejamento com base na evaporação da água do tanque classe A de 30% até 210%, variando esses índices a cada 30% e o tratamento sem irrigação (0%). O autor avaliou os parâmetros vegetativos, produtivos e de qualidade dos grãos do cafeeiro variedade cultivada Rubi-1192, plantada em fevereiro de 2001. Com relação aos parâmetros de qualidade de grãos, em julho/2003 por ocasião da colheita, foram analisadas as características físicas dos grãos e de qualidade da bebida, sendo esta última realizada em uma cooperativa da região, onde degustadores profissionais fizeram a classificação. No que diz respeito à separação por peneiras o autor classificou os grãos em grandes (retido nas peneiras 19-18-17), médios (retidos nas peneiras 16-15), pequenos (retido em peneiras menores do que 15) e mocas. Nas análises estatísticas realizadas houve diferença apenas para os grãos médios, sendo a melhor lâmina a correspondente a 120% da ECA. Para a característica de qualidade da bebida do

café ou “prova de xícara” não foi realizada análises estatísticas, o autor apenas citou o resultado do teste realizado pelos degustadores. Neste caso, todos os tratamentos foram classificados como “bebida dura”, ou seja, bebida com sabor adstringente e gosto áspero.

No ano seguinte, Teodoro et al. (2005) avaliou nesse mesmo experimento a influência de lâminas de irrigação na qualidade dos grãos do cafeeiro, sendo a referida classificação semelhante àquela realizada por Rotondano (2004). Os autores fizeram a separação por peneira, sendo os grãos divididos em quatro grupos: grandes (peneiras 19, 18 e 17), médios (peneiras 15 e 16), pequenos (peneiras 14 e 13) e mocas (peneiras 11, 10 e 9), expressos em porcentagem. Os autores concluíram que a lâmina correspondente a 180% da ECA proporcionou a maior porcentagem de grãos médios (43%), sendo as demais peneiras, não influenciadas pelas lâminas de irrigação.

Silva et al. (2005a) avaliaram o efeito da irrigação por gotejamento nos parâmetros de renda e de peneira do café. As lâminas de irrigação foram manejadas pelo balanço hídrico climático dos quatro últimos dias que antecederam a última irrigação, em cafeeiros das variedades cultivadas Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo, plantadas em dezembro de 1996, no município de Varre-Sai no Rio de Janeiro. Os tratamentos se basearam na porcentagem da evapotranspiração de referência (ET_o) calculada pelo balanço hídrico, sendo que para a variedade cultivada Catuaí Vermelho, os índices variaram de 0% (sem irrigação), 22%, 39%, 60%, 78%, 100% e 118% da ET_o. Para a Catuaí Amarelo os tratamentos foram iguais, com exceção do tratamento 22%, o qual foi suprimido para esta variedade cultivada. Os autores verificaram uma tendência de redução no tamanho dos grãos do cafeeiro quando se aumentou a quantidade de água aplicada.

Silva et al. (2005b), objetivando avaliar os efeitos de lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento com base na ECA, na qualidade do café produzido em Lavras-MG, em função da análise sensorial da bebida (prova de xícara) e dos métodos físico-químicos dos grãos em seis safras (1999/2004), observaram que a classificação de peneira apresentou uma maior porcentagem de grãos nas peneiras ≥ 16 nos tratamentos irrigados em comparação aos não irrigados. Além disso, os autores verificaram também que o percentual de grãos moca nos tratamentos com irrigação não excederam 10% do total de café analisado.

Contudo, os tratamentos não influenciaram a qualidade de bebida, (“prova de xícara” e análise química), o que indica que a água não é um fator preponderante para esses parâmetros.

2.1.4 Efeito da suspensão da irrigação no cafeeiro

Além da irrigação, outro ponto de discussão entre cafeicultores que utilizam essa tecnologia em suas lavouras, é se a cultura deveria passar por um período de estresse hídrico (suspensão da irrigação) antes da florada, para que, justamente, essas venham a se uniformizar, ou seja, que os botões florais do cafeeiro se abram o mais uniforme possível, já que é uma característica inerente à cultura ter pelo menos duas floradas consecutivas.

Segundo Matiello et al. (2005), quando o déficit hídrico é acentuado as plantas apresentam murchamento, desfolha, seca de ramos e aparecimento de deficiências nutricionais, pragas e doenças induzidas ou favorecidas. De acordo com o autor, o período crítico para o cafeeiro se situa na fase de máximo desenvolvimento vegetativo e produtivo, que vai de outubro/novembro a março/abril. No período pós-colheita, fase essa de relativo repouso, a falta de água não é tão danosa em regiões com déficit hídrico em torno de 100 mm. Ao contrário, deficiência hídrica por cerca de dois meses e com valores acima de 50% da capacidade de campo pode beneficiar a qualidade dos grãos, pela maior uniformidade na florada e, conseqüentemente, na maturação dos frutos.

Contudo, conforme citam Taiz e Zeiger (2004), déficits hídricos por mais moderados que sejam afetam precocemente a expansão foliar dos vegetais, porém, a atividade fotossintética é muito menos atingida. Diante disso, cria-se um balanço positivo de fotoassimilados os quais são destinados ao crescimento radicular. No entanto, como destaca esses autores, esse crescimento das raízes somente se verifica se há um pouco de umidade no solo, já que, em condição de baixa umidade no mesmo os ápices das raízes perdem turgor e conseqüentemente a capacidade de se desenvolverem.

Alguns autores estudaram o efeito da suspensão ou repouso da irrigação ao longo do ciclo produtivo do cafeeiro. Santinato, Silva e Fernandes (2003), avaliando diferentes manejos de irrigação no cafeeiro cultivado em Franca-SP, observaram que a suspensão da irrigação de 15, 30

e 45 dias não resultaram em benefícios na primeira safra, no entanto, na segunda, a suspensão foi prejudicial à produção quando coincidiu com a florada.

Em trabalho realizado em Caratinga-MG, Miguel, Reis e Matiello (1993 apud MATIELLO et al. 2005) avaliaram o efeito da suspensão da irrigação em janeiro, em fevereiro e em março, em comparação à irrigação realizada continuamente após a florada, a qual aconteceu no dia três de outubro de 2002. Os autores verificaram que o déficit em todos os meses avaliados provocou perdas nos parâmetros avaliados (peso de 100 sementes, peneira média, renda e produtividade), sendo o período mais importante aquele compreendido entre 80 e 140 dias após a florada, o mais importante, onde reduções de 57% no peso dos grãos foram encontradas.

Guerra et al. (2003) avaliaram em cafeeiros da variedade cultivada Rubi-1192, conduzidas sob pivô central em Planaltina-DF, durante os anos de 2001 e 2002, os efeitos do manejo da irrigação no cafeeiro resultantes da aplicação de água durante todo o ano, bem como da suspensão da irrigação durante 35 e 65 dias na época da colheita, além da suplementação de água após a floração e um tratamento em que a irrigação era ausente. Os autores verificaram que a irrigação sendo realizada ininterruptamente os cafeeiros apresentaram evapotranspiração alta e uniforme. Por outro lado, nos tratamentos com déficit hídrico induzido de 35 e 65 dias, a evapotranspiração média foi reduzida a valores de 1,0 mm dia⁻¹ e 0,7 mm dia⁻¹, respectivamente. Além disso, constataram também que a suspensão da irrigação por 65 dias durante a colheita uniformizou a florada, sendo que a mesma ocorreu cerca de sete dias após o retorno da irrigação.

2.2 Uso de água aplicada na cultura de café

Os fatores de solo, de planta e de atmosfera interagem entre si, determinando a produtividade das culturas agrícolas. Certamente existe relação funcional entre esses fatores e a produção das culturas, característica de cada condição ambiental. Diante disso, a resposta das culturas à irrigação pode variar em diferentes solos, climas e também em decorrência da quantidade e frequência da aplicação de água (FRIZZONE, 2005).

A função de produção água-cultura descreve a relação entre a variação da produção da cultura em função da variação da quantidade de água aplicada. Vários pesquisadores têm

demonstrado o uso de função de produção objetivando avaliar as implicações econômicas de diferentes níveis de água aplicada às culturas (LIU et al., 2002).

Segundo Frizzone (2005), pode-se expressar as variáveis da função de produção água-cultura de diferentes maneiras. A variável independente “água” pode ser transpiração, evapotranspiração, lâmina de água aplicada durante o ciclo da cultura, estado da água no solo, principalmente. Porém, ao usuário da irrigação é mais interessante utilizar como variável independente a lâmina de água aplicada à parcela, mesmo que apenas parte desta seja utilizada no processo de evapotranspiração. Ainda segundo o autor, em geral, a variável dependente refere-se à produtividade agrícola comercial: grãos, frutos, matéria verde e matéria seca total, principalmente.

Segundo Solomon et al. (1985), em experimentos avaliando a relação água-cultura, vários tipos de função de produção tem sido estudadas, sempre relacionando a produção da cultura com a quantidade de água aplicada. O trabalho de Hexem e Heady (1978 apud FRIZZONE, 2005), representa uma importante contribuição aos estudos empíricos de funções de produção água-cultura. Os autores apresentaram detalhada revisão sobre a teoria econômica aplicada a essas funções e técnicas estatísticas comumente utilizadas para estimá-las. Eles concluíram que as funções polinomiais são mais adequadas para expressar analiticamente as relações entre água aplicada e produtividade, inclusive superando os bons resultados proporcionados pela equação de Mitscherlich.

Dentre as funções polinomiais, Fabeiro Cortês, Santa Olalla e López Urrea (2003), que as mais utilizadas são as de segundo e terceiro graus, sendo determinado juntamente com os seus coeficientes, algum parâmetro estatístico que atesta sua eficiência em predizer o comportamento dos dados, como o coeficiente de determinação (R^2), o nível de significância estatístico e o erro padrão, principalmente.

No entanto, em algumas situações uma função polinomial de segundo grau pode não ser a mais indicada (SOLOMON, 1985). Nesses casos, verifica-se um comportamento linear dos dados até aproximadamente metade da quantidade de água aplicada. A partir desse ponto, para maiores quantidades de água os acréscimos na produção são progressivamente menores, refletindo as várias perdas de água que ocorrem próximas da condição de máxima produtividade. Sendo assim,

uma função raiz quadrada, como utilizou algumas vezes Hexen e Heady (1978 apud FRIZZONE, 2005), possa representar melhor o processo.

2.3 Exigências climáticas da cultura de café

O clima influencia direta e indiretamente as atividades agrícolas e pecuárias, através dos elementos meteorológicos, como a precipitação, temperatura, umidade do ar, vento e radiação, principalmente. Portanto, para o sucesso de qualquer atividade agrícola e mais especificamente de qualquer cultura, é imprescindível o conhecimento da faixa ótima e dos limites permissíveis desses elementos em relação à cultura de interesse.

Com relação ao cafeeiro, as exigências climáticas são bem conhecidas. De acordo com Matiello et al. (2005), os elementos climáticos que influenciam no processo de produção de café são, principalmente, a temperatura e a chuva e, em menor escala, os ventos, a luminosidade e a umidade do ar.

2.3.1 Aptidão térmica

A temperatura é um elemento meteorológico praticamente imutável em determinado ambiente e por isso, é considerado o principal fator condicionante da aptidão climática do cafeeiro. Segundo Santinato, Fernandes e Fernandes (1996), para cafeeiros adultos, temperaturas inferiores a 18°C para as espécies de café arábica (*Coffea arabica* L.) favorecem a exuberância vegetativa e a baixa diferenciação floral, com conseqüentes baixos níveis de produtividade, além de sintomas típicos de “crestamento” foliar no período de inverno, associados a ventos dominantes.

Camargo e Camargo (2001) afirmam ainda, que temperaturas superiores a 23°C, associadas à seca na época do florescimento, podem favorecer o abortamento floral e a formação de “estrelinhas”, diminuindo consideravelmente a produtividade. Para o cafeeiro arábica jovem (até um ano e meio após o plantio), Matiello et al. (2005), cita como temperaturas ótimas para o crescimento aquelas próximas de 30°C durante o dia e 23°C durante a noite.

De acordo com o extinto Instituto Brasileiro do Café (IBC) os parâmetros térmicos para o zoneamento do café arábica são: regiões consideradas aptas para o cultivo: aquelas que

apresentam temperatura média anual entre 19 e 22°C; regiões marginais: que apresentam temperatura média anual entre 18-19°C e 22-23°C; regiões inaptas para o cultivo: aquelas que apresentarem temperatura média anual abaixo de 18°C e acima de 23°C (MATIELLO et al., 2005; SANTINATO; FERNANDES; FERNANDES, 1996).

2.3.2 Aptidão hídrica

A exigência do cafeeiro em umidade é bastante variável, de acordo com as fases do ciclo da planta. Segundo Santinato, Fernandes e Fernandes (1996), nas regiões denominadas “novas” para a cafeicultura, compreendidas nos cerrados de inverno seco, e prolongado até setembro/outubro (4 a 6 meses) e no Nordeste, as precipitações médias anuais podem exceder a 1.200 mm ano⁻¹, porém a distribuição das chuvas é problemática e exige a irrigação de forma ocasional ou obrigatória. Nos cerrados a irrigação é necessária de forma complementar nos períodos críticos da iniciação floral e por ocasião das floradas, como acontece no Triângulo Mineiro, Goiás e Distrito Federal, principalmente, podendo em alguns anos, ser exigida para suprir hidricamente as plantas em períodos de veranico na fase de granação dos frutos.

De acordo com Matiello et al. (2005), os parâmetros hídricos para o zoneamento do café arábica são: zonas consideradas aptas para o cultivo: aquelas com déficit hídrico anual menor do que 100 mm; zonas marginais (necessitando irrigação eventual): aquelas com déficit anual entre 100 e 200 mm; zonas consideradas inaptas (irrigação obrigatória): aquelas com déficit hídrico anual maior do que 200 mm.

Assunção (2002), fez um estudo pormenorizado da climatologia da cafeicultura no município de Araguari-MG, localizado no cerrado do Triângulo Mineiro. Analisando dados climáticos de 26 anos (1974 a 2000), verificou que a precipitação média foi de 1525 mm, sendo que 87% desse montante ocorrem na estação chuvosa, sendo os meses de dezembro e janeiro os mais chuvosos, com valores médios de 319 e 298 mm, respectivamente. O autor verificou também, uma grande irregularidade na distribuição das chuvas ao longo do ano, o que de certa forma dificulta a própria caracterização de início e fim, tanto do período chuvoso quanto da estação seca. Aliado a isso, também constatou que a ocorrência de secas prolongadas é muito comum nessa região, com incidência de duas a três grandes secas em uma mesma década, além

da ocorrência freqüente de veranicos principalmente em janeiro. O autor verificou também, que o clima de Araguari-MG é muito semelhante ao de Uberlândia-MG, distante cerca de 30 km, com precipitações médias e temperaturas praticamente iguais.

Conforme explicam Namuco e O'Toole (1986 apud LARCHER, 2000), se a deficiência hídrica acontecer durante o desenvolvimento do grão de pólen, a meiose pode apresentar anomalias cromossômicas e ocorrerem distúrbios especialmente na metáfase e na anáfase, o que diminui a fertilidade do grão de pólen.

Nesse sentido, Camargo e Camargo (2001) afirmam que temperatura ambiente elevada associada a um intenso déficit hídrico no início da florada pode provocar a morte do tubo polínico pela desidratação, o que impossibilita a fecundação do ovário. Diante disso, não há a formação do fruto e conseqüentemente a produção estará seriamente comprometida. Ainda segundo os autores, a florada para o cafeeiro cultivado em Araguari-MG, próximo a Uberlândia-MG, ocorre no início de setembro.

Por outro lado, para que o florescimento do cafeeiro ocorra é preciso que haja um estímulo às plantas. Segundo Rena e Maestri (1987), o sinal desencadeador da antese em cafeeiros pode estar relacionado tanto com temperatura quanto com a água, ou mesmo, a interação dos dois. Sendo assim, o início do florescimento do cafeeiro está condicionada à chuva ou irrigação ou mesmo, a entrada de frente fria, que algumas vezes não provoca chuva, porém, diminui consideravelmente a temperatura, principalmente nos meses de setembro e outubro na região de Uberlândia-MG.

Não obstante, para que se possa adequar a forma de cultivo do cafeeiro, bem como escolher o local mais adequado de plantio, deve-se conhecer, além das condições climáticas exigidas, a fenologia da planta. Um estudo detalhado das fases fenológicas dessa espécie foi feito por Camargo e Camargo (2001). Nesse trabalho os autores relatam que o café arábica leva dois anos para completar o ciclo fenológico de frutificação, ao contrário da maioria das plantas que completam o ciclo reprodutivo no mesmo ano fenológico. Após várias tentativas para definição e esquematização das distintas fases fenológicas do cafeeiro, chegou-se a uma forma racional constituída de seis fases distintas envolvendo os dois anos fenológicos, iniciados em setembro. Segundo os autores, as fases podem ser esquematizadas da seguinte forma: 1ª fase: vegetativa

com sete meses, perdurando de setembro a março, todos com dias longos; 2ª fase: também vegetativa, compreende os meses de abril até agosto, com dias curtos, quando há indução das gemas vegetativas dos nós formados na fase anterior, para gemas reprodutivas. Os autores destacam que no final da 2ª fase, em julho e agosto, as plantas entram em relativo repouso com formação de um ou dois pares de folhas pequenas. Em seguida vem a maturação das gemas reprodutivas após a acumulação de cerca de 350 mm de evapotranspiração de referência (ET_o), a partir de abril; 3ª fase: compreende a florada e a expansão dos frutos, englobando o período de setembro a dezembro. As floradas ocorrem cerca de 8 a 15 dias após o aumento do potencial hídrico nas gemas florais ("choque hídrico"), causado por chuva ou irrigação; 4ª fase: refere-se ao período de granação dos frutos, o qual perdura de janeiro a março; 5ª fase: refere-se ao período de maturação dos frutos, o qual se inicia após a florada principal e completa-se quando a planta atinge cerca de 700 mm de somatório de ET_o; 6ª fase: compreende os meses de julho e agosto, onde predominantemente ocorre a senescência e morte dos ramos produtivos não primários.

2.3.3 Balanço Hídrico

O balanço hídrico pode ser entendido como a contabilização das entradas e saídas de água do solo, regido pelo Princípio de Conservação de Massa, em um determinado volume de solo. Portanto, sua interpretação fornece informações sobre ganho, perda e armazenamento da água pelo solo.

Detalhadamente, pode-se considerar como elementos participantes do balanço hídrico a precipitação natural, a irrigação, o orvalho, o escoamento superficial (*Run in*), a drenagem lateral e a ascensão capilar, como fornecedores de água ao volume de solo considerado; e a evapotranspiração, o escoamento superficial (*Run off*), a drenagem lateral e a drenagem profunda, representando os elementos de saída de água do volume de solo considerado. O orvalho representa uma contribuição máxima de 0,5 mm dia⁻¹ em locais úmidos, sendo uma ordem de magnitude menor que o consumo de vegetação mesófitas em crescimento ativo. No entanto, em regiões ou épocas secas sua contribuição é desprezível em termos de suprimento de água para a cultura. As entradas e saídas do escoamento superficial e drenagem lateral tendem a se compensar, desde que a superfície externa do volume de controle não seja muito grande. A

drenagem profunda expressa o excesso de água que penetrou no volume de controle pelas chuvas ou irrigação. Quanto mais profundo esse volume, menor a drenagem profunda e maior a contribuição da ascensão capilar (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Do ponto de vista agrônômico, interessa a variação de armazenamento de água que ocorre na camada onde se situam aproximadamente 90% do sistema radicular da planta em questão. Dessa forma, a drenagem profunda é considerada como excesso ou excedente hídrico (OMETTO, 1981). No que se refere à ascensão capilar, sua contribuição na variação do armazenamento pode ser negligenciada por causa dos baixos valores produzidos, principalmente em solos profundos e bem drenados como os Latossolos.

O balanço hídrico climatológico (BHC) é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo. Ele foi desenvolvido por Thornthwaite e Mather para determinar o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo. Para sua elaboração, há necessidade de se definir o armazenamento máximo no solo (Capacidade de Água Disponível-CAD), e de se ter a medida da chuva total, e também a estimativa da evapotranspiração potencial em cada período. Com essas três informações básicas, o BHC permite deduzir a evapotranspiração real, a deficiência ou o excedente hídrico, e o total de água retida no solo em cada período (PEREIRA, 2005).

Segundo Tubelis e Nascimento (1992), os valores positivos de balanço hídrico indicam excedentes hídricos e os negativos, deficiência hídrica ou falta de água. Ocorre excedente de água sempre que a precipitação for superior a quantidade necessária para atender a evapotranspiração potencial, e completar o armazenamento de água no volume de solo delimitado pela profundidade efetiva das raízes da cultura em questão. A deficiência aparece sempre que o solo não conseguir suplementar a demanda atmosférica. O balanço hídrico contabiliza a precipitação perante a evapotranspiração potencial, levando em consideração a capacidade de armazenamento de água no solo. Esta é a máxima quantidade de água, utilizável pelas plantas, que pode ser armazenada na zona radicular das mesmas. Ainda segundo o autor, o valor de armazenamento para a cultura do café foi estimado em 125 mm, pelo método de Thornthwaite e Mather.

Segundo Pereira; Angelocci e Sentelhas (2002), como o balanço hídrico, segundo a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather, é mais utilizado para fins da caracterização da

disponibilidade hídrica de uma região em bases climatológicas e comparativas, a seleção da CAD é feita mais em função do tipo de cultura ao qual se quer aplicá-lo do que do tipo de solo. Os autores argumentam fazendo uma comparação entre solos arenosos e argilosos: no primeiro, a subtração entre as umidades no ponto de capacidade de campo e de murcha permanente é menor, por outro lado a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura é menor no argiloso. Isso permite uma compensação tornando a CAD aproximadamente igual entre os dois tipos de solos. Diante disso, os autores citam, independentemente do tipo de solo, valores de CAD entre 25 e 50 mm, para hortaliças; entre 75 e 100 mm para culturas anuais; entre 100 e 125 mm para culturas perenes e; entre 150 e 300 mm para espécies florestais.

Quando se deseja estimar a CAD, um ponto importante a observar é a profundidade efetiva das raízes da planta, ou seja, a profundidade onde se localizam cerca de 90% das raízes ativas. Matiello et al. (2005) verificaram em trabalhos conduzidos em duas importantes regiões cafeeiras de Minas Gerais (Varginha e Martins Soares), que a maior quantidade de raízes finas dos cafeeiros avaliados (idade entre 4 e 9 anos) foi encontrada na profundidade de 85 a 90 cm.

De acordo com Pires et al. (2001), o manejo da irrigação pode ser realizado via balanço hídrico, desde que seja conhecida a quantidade de água aplicada pelo sistema de irrigação, a evapotranspiração da cultura e a precipitação. Segundo os autores, o balanço hídrico é simples, eficiente e de fácil manejo nas propriedades agrícolas.

Não obstante, é imprescindível conhecer os períodos do ano em que ocorre deficiência hídrica para tomar decisões referentes aos diversos aspectos técnicos de manejo relacionados a economicidade da exploração agrícola, como a adoção de técnicas de irrigação, época, quantidade, tipos e modos de aplicação de fertilizantes a serem utilizados (DOURADO NETO et al., 1999).

2.3.4 Evapotranspiração

Evapotranspiração (ET) é a denominação de dois processos que ocorrem simultaneamente porem, com origens distintas, a evaporação e a transpiração. A primeira refere-se a água que é perdida para a atmosfera oriunda da superfície do solo, da planta úmida e de um lago,

principalmente. A segunda é a denominação dada ao processo em que a água parte do interior das plantas em direção à atmosfera, passando pelos estômatos do vegetal.

A evapotranspiração oriunda de uma superfície de referência, não limitante em água, é denominada de evapotranspiração da cultura de referência ou evapotranspiração de referência e é denotada como ETo. Allen et al. (1994), caracteriza a ETo como sendo a evapotranspiração de uma cultura hipotética, com altura de 0,12 m, resistência aerodinâmica da superfície de 70 s m^{-1} e albedo de 0,23. O uso de outras denominações como evapotranspiração potencial deve ser evitada, por causar ambigüidades com outras definições (ALLEN et al., 1998). Segundo Sentelhas (2001), as características que definem a superfície de referência são: extensa superfície vegetada com grama, com altura entre 8 e 15 cm, em crescimento ativo (Índice de Área Foliar – IAF = 2,88), cobrindo totalmente a superfície do solo e bem suprida de água.

O conceito de evapotranspiração de referência foi introduzido para estudar a demanda evaporativa da atmosfera, independentemente do tipo, das práticas de manejo e do desenvolvimento dessa cultura. Como a água é abundante e está sempre disponível, o solo não é considerado um fator influenciador na absorção de água pela cultura de referência. Obedecendo todos esses procedimentos, os valores de ETo medidos ou calculados em diferentes locais e estações podem ser comparados, pois o único parâmetro variável é o de ordem climático (ALLEN et al., 1998).

Segundo Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002), a ETo é limitada apenas pelo balanço vertical de energia, ou seja, pelas condições do ambiente local, podendo ser estimada por fórmulas teórico-empíricas desenvolvidas e testadas para várias condições climáticas. A evapotranspiração nessas condições é tomada como referência quando se quer conhecer a evapotranspiração de uma cultura em condições não ideais. Sabe-se que um gramado nas condições citadas anteriormente possui, além do índice de área foliar próximo de 3 (m^2 de folha m^{-2} de solo), um coeficiente de reflexão (albedo) ao redor de 23%.

O método FAO Penman-Monteith é tido como procedimento padrão para a estimativa da evapotranspiração de referência, por ser o método preconizado pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (*Food and Agriculture Organization of the United Nations* - FAO). Ele foi adotado como padrão por estimar com muito boa aproximação o valor de

ET_o encontrados para grama cultivada em lisímetros de pesagem (método padrão para a medida direta da evapotranspiração), por se basear em conceitos físicos e por incorporar parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos da cultura.

Além da evapotranspiração de referência, outro parâmetro necessário para o cálculo do balanço hídrico de uma determinada cultura, é a determinação da evapotranspiração da mesma. Allen et al. (1998), denomina de evapotranspiração de cultura sob condições padrões (ET_c), como a perda de água que ocorre em um ambiente onde a cultura em questão esteja implantada, sendo determinante que a mesma esteja livre de doenças e pragas, com bom suprimento nutricional, em espaçamento adequado, com ótimas condições de umidade no solo e bem adaptada ao local onde esteja sendo cultivada.

A ET_c, também denominada de evapotranspiração máxima da cultura (ET_m), pode ser determinada, assim como a ET_o, por métodos diretos e indiretos. Com relação aos métodos diretos, Bernardo (1995) cita como um dos principais, o lisimétrico e dentre os indiretos, o tanque U.S.W.B. Classe A e as equações empíricas, sendo uma delas a de Penman-Monteith. De acordo com Allen et al. (1998), a ET_c pode ser estimada diretamente por essa equação desde que se use como parâmetros de entrada o albedo e os coeficientes referentes à resistência da cultura à perda de vapor e à passagem do vento.

Por outro lado, a evapotranspiração de cultura de referência sob condições padrões pode ser estimada pelo uso do coeficiente de cultura (K_c), onde a relação direta desse índice com a evapotranspiração de referência fornece o valor de ET_c.

O coeficiente de cultura varia predominantemente com as características específicas da cultura e as práticas culturais adotadas que interfiram no seu desenvolvimento, uma vez que os efeitos da variação nas condições climáticas são incorporados na estimativa da evapotranspiração de referência. Diante disso, os valores de K_c podem ser transferidos e comparados entre locais e climas com boa aceitação (ALLEN et al., 1998).

Diversos autores têm pesquisado sobre o coeficiente de cultivo para o cafeeiro. Allen et al. (1998) propõem K_c entre 0,90 e 0,95 e entre 1,05 e 1,10, em solo nu e na presença de plantas daninhas, respectivamente, com a evapotranspiração de referência estimada pela equação de Penman-Monteith. Foram obtidos, por Arruda et al. (2000), valores de coeficientes de cultura

entre 0,73 e 0,75, nos primeiros anos de idade da planta e entre 0,87 e 0,93, aos sete e oito anos, respectivamente. Doorenbos e Pruitt (1977), recomendam, para o cafeeiro, o emprego do coeficiente de cultura em torno de 0,9 durante todo o ano, em cultivos convencionais e valores de 1,05 até 1,1, em casos em que se permita o crescimento das plantas daninhas. Teodoro et al. (2004), avaliando no cafeeiro 'Obatã' cultivado em lisímetro de drenagem, com uma população de plantas de 4.100 ha⁻¹ e 19 meses de idade em Uberlândia-MG, valores de Kc igual a 0,89 para o período de setembro a março e 0,98 para o período de abril a agosto. No ano seguinte, quando as plantas apresentavam-se com 30 a 41 meses de idade, encontrou valores de Kc igual 1,05 para o período de julho a dezembro, 0,95 para o período de janeiro a março e 1,03 para o período de abril a junho. Santinato, Fernandes e Fernandes (1996) citaram valores de coeficientes de cultura do cafeeiro em função da idade e da densidade de plantas, respectivamente, de 0,6, 0,7 e 0,8 em lavouras até com 12 meses para densidades de 2.500 plantas ha⁻¹, 3.300 plantas ha⁻¹ e 6.700 plantas ha⁻¹.

Verifica-se pela divergência dos valores do coeficiente de cultivo do cafeeiro, que não existe até então um consenso sobre qual índice adotar. Uma das possíveis explicações desse fato é a de que na atividade cafeeira existem muitas variedades cultivadas (de porte alto e baixo) e diversos espaçamentos e tratos culturais possíveis de serem adotados, sendo que cada combinação pode influenciar nos valores desse coeficiente.

Não obstante, Villa Nova et al. (2002) propuseram um método para a estimativa do coeficiente de cultura (Kc) de café, fundamentando-se na estimativa da transpiração do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas (área foliar, densidade de plantas e manejo de plantas daninhas). Entre 15 e 40 meses após a implantação do cafezal, os autores realizaram estimativas de Kc nas condições de densidade de plantio e da área foliar do cafeeiro, bem como simulações para diferentes densidades, na presença e na ausência de plantas daninhas. Os resultados evidenciaram a dinâmica do coeficiente de cultura com a variação da área foliar e a densidade de plantio. Citaram também, que em comparação com os dados de Kc para café indicados na literatura, o método proporcionou resultados consistentes, com a vantagem de permitir simulações para diferentes densidades de plantas. Os autores sugeriram estudos

adicionais da relação entre área foliar e densidade de plantas elevada, ou seja, que ultrapasse o limite adotado no experimento, a qual foi de 4.000 plantas ha⁻¹.

Segundo Sentelhas (2001), o Kc expressa o índice de área foliar (IAF) da cultura. De acordo com o autor, considerando que a ETo ocorre de uma cultura de referência, cujo IAF se aproxima de 3, quando o IAF da cultura for inferior a 3 o Kc será menor do que 1, quando IAF da cultura for igual a 3 o Kc se iguala a 1, passando a ser maior do que 1 quando o IAF da cultura for maior do que 3.

Favarin et al. (2002) estudaram a variação temporal do índice de área foliar (IAF) da cultura de café, utilizando um método simples e não-destrutivo. A variedade cultivada utilizada foi a Mundo Novo IAC 388-17, enxertada sobre a variedade cultivada Apoatã IAC 2258 (de 15 até 35 meses de idade), no espaçamento de 2,5 x 1,0 m. Os pesquisadores coletaram todas as folhas de duas plantas de café, em intervalos de 60 a 150 dias, para a mensuração da área foliar com o equipamento LI-COR (modelo 3100). Para obter a relação funcional entre IAF e diferentes variáveis de crescimento (altura da planta, número e massa total de folhas e área foliar) e arquitetura da copa (área da seção inferior, média e superior do dossel, área lateral do dossel, diâmetro inferior, médio e superior do dossel, volume do dossel da planta e altura do primeiro par de ramos), assumiu-se que a parte aérea do cafeeiro tem a forma cônica. Dentre as várias equações testadas, os autores destacaram duas, as quais integram o volume e a área lateral do dossel das plantas, que obtiveram os maiores valores de coeficiente de determinação (R²) e se mostraram altamente significativas para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro (IAF). Para a obtenção tanto do volume quanto da área lateral do dossel, os pesquisadores correlacionaram essas características com parâmetros facilmente mensuráveis no meio cafeeiro, que são a altura da planta e o diâmetro da parte inferior do dossel. Eles concluíram que esses parâmetros podem ser utilizados para estimar o índice de área foliar do cafeeiro.

Quando a cultura não estiver sob condições padrões, ou seja, submetidas à advecção de calor sensível, à deficiência hídrica, à deficiência nutricional, com concorrência de pragas ou doenças ou mesmo, em solos salinos, não se determina a evapotranspiração de cultura sob condições padrões (ETc), mas sim, evapotranspiração de cultura sob condições não preconizadas (ETc ajustado) (ALLEN et al., 1998). Segundo Sentelhas (2001), no caso da evapotranspiração

ocorrer em área com boa disponibilidade hídrica, mas sob efeito de advecção de calor sensível, ET_c ajustado passa a ser superior a ET_c , sendo denominada de evapotranspiração de oásis (ET_o). Porém, sob condições de baixa fertilidade do solo, de deficiência hídrica, com ocorrência de pragas e doenças ou sob condições de alta salinidade do solo, a ET_c ajustado passa a ser inferior ou igual a ET_c , sendo denominada de evapotranspiração real (ET_r).

Uma maneira simples de terminar a evapotranspiração real da cultura é através do balanço hídrico climatológico. No entanto, conforme afirma Bruno (2006), deve-se ter cuidado na escolha da equação para a determinação da evapotranspiração de referência. De acordo com a autora o balanço hídrico climatológico tendo como base a estimativa da evapotranspiração da cultura pela equação de Penman-Monteith parametrizada por Allen et al. (1998), pode subestimar de 9% a 15% as medidas diretas feitas no campo, ao passo que o método de Thornthwaite e Mather subestimou de 11% a 22%. Segundo a autora, os dois métodos substituem razoavelmente as medidas de campo.

Segundo Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002) e Reichardt (1990), a relação entre ET_c e ET_r fornece uma importante informação sobre a condição hídrica da planta. De acordo com eles, quando a relação é menor do que um, deve-se considerar que a planta não produziu fotoassimilados no seu nível máximo, indicando que perdas poderão ocorrer, seja ela na produtividade ou no crescimento. Por outro lado, quando a relação for igual a unidade (igual a um), considera-se que ela está produzindo fotoassimilados ao máximo e que portanto, ela produzirá ou crescerá potencialmente.

2.4 Eficiência no uso da água

A contribuição dada pela irrigação no aumento de produção de alimentos é um fato inegável. Atualmente, estima-se que 18% da área agrícola do mundo sejam irrigadas, a qual é responsável pela produção de aproximadamente 42% do montante de alimentos mundial (CHRISTOFIDIS, 2001). Por outro lado, a crescente necessidade de água nas cidades e indústrias ameaça a utilização desse insumo nas atividades agrícolas. Segundo Dourado Neto, Saad e Lier (1991), pela constituição brasileira a ordem de prioridade para o uso da água tem em primeiro lugar o consumo humano, depois a indústria e por fim a agricultura.

Diante da crescente escassez de água que já se verifica em várias regiões do país, é importante que se leve em consideração a eficiência com a qual as plantas utilizarão esse recurso, quando na escolha da quantidade de água a ser aplicada ou na forma de manejo adotada.

O uso eficiente da água é um índice bastante utilizado para a avaliação da eficiência no uso da água pelas culturas. Ele normalmente é determinado pela relação entre a produtividade (kg ha^{-1}) e a quantidade de água utilizada pela planta (mm). Segundo Srinivas et al. (1989), dentre os meios e técnicas adotadas para aumentar o índice de eficiência no uso da água em agricultura irrigada, o emprego da irrigação por gotejamento com o fornecimento de água com alta frequência e em baixo volume, tem-se mostrado adequado na elevação desse índice.

Para o cafeeiro são escassas as informações acerca desse assunto, porém, são muitos os trabalhos avaliando essa característica em frutas e hortaliças. Srinivas et al. (1989), verificaram que a máxima eficiência no uso da água pela cultura da melancia foi obtida com irrigação por gotejamento, quando as quantidades de água foram aplicadas com base em 25% da evaporação do tanque classe A, devido ao pequeno estresse imposto e à pequena redução na produtividade.

O índice de eficiência no uso da água pode ser melhorado quando se consegue aumentar a produtividade sem aumentar a quantidade de água aplicada (DINAR, 1993; LETEY, 1993). Nesse sentido, Ritshel et al. (1994) conseguiram melhoras significativas com a suspensão antecipada da irrigação na cultura do meloeiro.

Conforme citaram Lin et al. (1983), Srinivas et al. (1989) e Souza et al. (1998) a distribuição da água e a manutenção de níveis ótimos de umidade no solo durante todo o ciclo da cultura, reduzem as perdas de água por drenagem e os períodos de estresse hídrico da cultura, o que aumenta a eficiência no uso da água.

Howell, Cuenca e Solomon (1990) propuseram, além do índice que avalia a eficiência no uso da água, outros que avaliam a eficiência no uso da água de irrigação. Segundo os autores, este último pode ser obtido pela relação entre a quantidade de água evapotranspirada pela cultura (mm) e a quantidade de água aplicada pelo sistema de irrigação (mm). Assim como o índice de eficiência no uso da água, quanto maior o valor da relação maior será a eficiência. Além desses índices, os autores citam também um outro, que verifica a contribuição da quantidade de água aplicada pela irrigação na evapotranspiração da planta, ou índice de compensação da irrigação.

Esterk et al. (2006) utilizaram esses três índices em um experimento com diferentes lâminas de irrigação na cultura da berinjela, conduzida na Turquia. Eles verificaram que em todos os índices avaliados, o tratamento com a menor e a maior lâmina aplicada apresentou os menores valores, estando os mais altos para as lâminas situadas no meio do intervalo utilizado nas irrigações. Para a escolha do melhor tratamento, eles verificaram conjuntamente a maior produtividade e o maior valor no índice de eficiência no uso da água. O tratamento escolhido também apresentou um dos maiores valores nos outros índices citados.

2.5 Material e métodos

2.5.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em área do Setor de Irrigação localizada na Fazenda Experimental do Glória, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia em Uberlândia-MG. A localização geográfica consta de 18°58'52'' latitude Sul e 48°12'24'' longitude Oeste e altitude de 912 m, medidos no posto Agrometeorológico localizado a cerca de 100 m de distância.

O clima segundo a classificação de Köppen, enquadra-se no tipo Aw, com estações bem definidas, inverno seco e verão quente e chuvoso. A temperatura média mínima do mês mais frio (julho) está acima de 18 °C e a média máxima anual próxima de 23 °C. As chuvas mostram-se mais abundantes nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, onde acontecem mais de 50% dos eventos em volume e em frequência durante todo o ano, conforme cita Assunção (2002).

Na caracterização da área experimental, verificou-se topografia levemente ondulada, sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa. O regime de umidade do mesmo, de acordo com a Soil Taxonomy é o “ustic”, caracterizado por apresentar a diferença entre as temperaturas médias do verão e do inverno inferior a 5°C, e o número de dias acumulados secos superior a 90 e inferior a 180 dias. A temperatura média do solo a 50 cm de profundidade está em torno de 22°C, sendo classificado como “Isohyperthermic” (EMBRAPA, 1999). Esta unidade de solo é formada pelo retrabalhamento de sedimentos do arenito de Bauru e representa cerca de 60 % dos solos dessa região.

2.5.2 Variedade cultivada, adubação e tratos culturais

No presente trabalho foram estudados diferentes manejos de irrigação em cafeeiros da espécie arábica (*Coffea arabica* L.), variedade cultivada Rubi, seleção 1192. O plantio foi realizado no dia 25 de janeiro de 2000, em esquema de renque mecanizado com espaçamento de 3,5 m entre linhas e 0,7 m entre plantas na linha de plantio. O solo foi previamente preparado, corrigido do ponto de vista químico em área total e adubado. A adubação foi realizada dentro do sulco de plantio, com adição de fósforo (fertilizante Super Simples), conforme recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG (1999). As adubações subseqüentes foram realizadas conforme recomendação dessa comissão, com base na maior produção esperada, em função da idade das plantas, usando-se sempre o formulado N-P-K 20-05-20, aplicado mecanicamente a lanço na linha de plantio, sendo a quantidade recomendada distribuída em quatro vezes durante os meses de outubro a março de cada ano. Com relação aos micronutrientes, as doses também foram às determinadas por CFSEMG (1999), aplicadas com a mesma freqüência do formulado, porém, através de pulverização na copa das plantas.

O controle de praga e doenças foi realizado conforme se faz em uma lavoura cafeeira comercial, atuando sempre de forma preventiva. Com relação ao controle de plantas daninhas, no primeiro e segundo anos após o plantio, esta prática foi realizada por meio de capina manual na linha de plantio e com herbicida dessecante em jato dirigido na faixa adjacente a esta linha, o que possibilitou a presença de uma faixa de plantas invasoras (*Brachiaria brizanta* L.) de cerca de 0,7 m na entrelinha de plantio, sendo esta, manejada através de roçadas freqüentes (Figura 1A). Do terceiro ano em diante, como a copa das plantas passou a cobrir totalmente a linha de plantio, as capinas foram suspensas, sendo o controle das plantas invasoras realizado apenas com herbicida dessecante em jato dirigido na faixa adjacente à linha de plantio e roçadas.

2.5.3 Dados climatológicos

Os dados climatológicos necessários ao manejo da irrigação foram obtidos no posto agrometeorológico localizado a cerca de 100 m do experimento (Figura 2A). Os elementos meteorológicos medidos nesse local foram a evaporação da água do tanque classe A (ECA) (Figura 3A) e a precipitação (pluviômetro do tipo Ville de Paris (Figura 4A), com proveta

graduada em milímetros). O restante dos dados meteorológicos foram obtidos na Estação Uberlândia, pertencente à rede meteorológica do 5º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia – 5º DISME/INMET, operado pelo Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, distante cerca de 5 km do local do experimento. Essa estação está localizada geograficamente a 18° 55' latitude Sul, 48° 15' longitude Oeste e a uma altitude de 872 m.

O referido tanque apresentava um diâmetro interno de 1,19 m e altura interna de 0,25 m. Em substituição ao parafuso micrométrico, foi adaptado dentro do poço tranquilizador, um gancho com uma das pontas voltada para cima e posicionada no centro do poço a uma altura de 0,2 m e a outra, soldada na lateral do poço (Figura 5A). A extremidade voltada para cima foi afilada objetivando diminuir o efeito da tensão superficial da água. O poço tranquilizador foi a partir de um tubo de aço galvanizado de 100 mm de diâmetro, 0,25 cm de altura e vazado na parte inferior, para que a água tivesse acesso ao interior do mesmo.

Diariamente, o nível de água do tanque era repostado, sendo a quantidade colocada mensurada com auxílio de uma proveta graduada em mililitros. O nível ajustado era sempre aquele determinado pela extremidade do gancho localizado no centro do poço. A evaporação bruta (ECA_b) em milímetros era obtida pela divisão da quantidade adicionada ou retirada em litros, pela área do tanque em metros quadrados (eq. 1). Quando se retirava a água do tanque, adotava-se o volume com o sinal negativo. Por outro lado, quando se adicionava água dentro do mesmo era sinal de que a saída (evaporação) foi maior do que a possível entrada (chuva). Quando não era preciso adicionar ou retirar água do tanque, significava que a perda foi igual ao ganho, sendo que neste caso, a ECA_b era igual à chuva.

$$ECA_b = \frac{\pm V}{A} \quad (1)$$

Em que ECA_b se refere à perda bruta de água por evaporação maior (+ ECA_b) e menor (- ECA_b) do que a quantidade de chuva observada, mm; $\pm V$ ao volume de água colocada (+V) e retirada (-V) de dentro do tanque, L; e A ao área do tanque classe A, 1,112 m².

As chuvas eram medidas pelo pluviômetro, sendo a sua altura usada para calcular a evaporação real (ECA) (eq. 2), ou seja, descontava-se a altura de chuva do valor da ECA_b .

$$ECA = P + (\pm ECA_b) \quad (2)$$

Em que ECA se refere à evaporação da água do tanque classe A (mm); e P à precipitação (mm).

No dia em que a coleta dos dados climáticos do posto agrometeorológico não era realizada, recorria-se aos dados medidos pela Estação Uberlândia.

2.5.4 Caracterização experimental e tratamentos

O experimento foi delineado em blocos casualizados, com quatro repetições e onze tratamentos (Tabela 1). As parcelas constituíram-se de três linhas de plantio, cada uma com oito plantas, sendo consideradas como área útil as quatro plantas centrais da linha do meio. Os tratamentos foram iniciados em 23 de novembro de 2001. Eles consistiram de parcelas irrigadas onde as lâminas foram calculadas com base na porcentagem da ECA com e sem a adoção da suspensão ou repouso da irrigação durante os meses de julho e agosto, além do tratamento sem irrigação.

Tabela 1 - Resumo dos tratamentos do experimento

Tratamentos	
	Lâminas de irrigação (% ECA)
Sem irrigação (Testemunha)	0
	40
	80
Irigado sem adotar o repouso da irrigação em julho e agosto	120
	160
	200
Irigado com a adoção do repouso da irrigação em julho e agosto	40
	80
	120
	160
	200

Apesar dos tratamentos terem sido iniciados em novembro de 2001, este trabalho avaliou somente os dados obtidos em 2004, 2005 e 2006, por haver maior consistência dos mesmos. Dessa forma, as avaliações desse experimento foram iniciadas em julho de 2003 e se estenderam até maio de 2006, período este que as plantas apresentavam-se com idade entre 42 a 76 meses. Dos dados dos três anos foi retirada a média, objetivando com isso analisar a condição média ao longo desse período.

2.5.5 Caracterização da irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento, com emissores autocompensantes apresentando vazão de $2,3 \text{ L h}^{-1}$ e espaçados entre si em 0,75 m (Figura 6A). Em cada parcela, com exceção do tratamento sem irrigação, havia um cavalete com um registro tipo globo, através do qual derivava-se água para a linha lateral de cada tratamento (Figura 7A). Esta linha apresentava-se em nível e com um comprimento equivalente ao espaçamento de oito plantas, ou

seja, 5,6 m. Na entrada da área experimental havia um manômetro, através do qual aferia-se a pressão de entrada do sistema de irrigação, sendo esta, mantida próxima de 230 kPa. O cabeçal de controle era composto principalmente por um conjunto moto-bomba com potência de 7,5 cv, filtro de disco (120 *mesh*) e manômetros. A água era captada de um reservatório de aproximadamente 400 m³ escavado no chão ao lado da casa de bombas (Figuras 8A e 9A), revestido por uma manta de PVC. Na tubulação de saída da bomba foi colocado um tubo por onde poder-se-ia derivar uma parte da água que iria para o campo, de volta ao reservatório, objetivando diminuir a pressão do sistema quando necessário. Os manômetros foram colocados antes e após o filtro com o intuito de aferir a perda de carga do mesmo e quando esta atingia ± 20 kPa, era realizada a limpeza do filtro.

Objetivando-se verificar a uniformidade de aplicação de água pelo sistema de irrigação, foi realizado um teste de uniformidade seguindo a metodologia proposta pela *American Society of Agricultural Engineers* – ASAE (1998), onde os coeficientes de uniformidade estatística e uniformidade de emissão foram calculados. A escolha dos emissores e das linhas laterais para o teste seguiu a recomendação de Keller e Karmeli (1975), com algumas modificações. Esses autores recomendam a obtenção da vazão em quatro gotejadores ao longo da linha lateral, ou seja, no primeiro gotejador, no gotejador situado a 1/3 do comprimento, naquele localizado a 2/3 e no último gotejador. Da mesma forma procede-se para escolha da linha lateral, ou seja, seleciona-se a primeira linha lateral, aquela localizada a 1/3, a situada a 2/3 e a última linha lateral. A modificação introduzida está na forma da escolha da linha lateral. Como o plantio foi disposto em renque mecanizado e cada três linhas do renque correspondiam a um bloco experimental, onde havia várias linhas laterais, dadas em função dos tratamentos instalados nesse renque, adotou-se uma metodologia de escolha de qual parcela seria selecionada para a avaliação da uniformidade. Sendo assim, foi selecionada a primeira parcela, aquela localizada a 1/3 da linha do renque, a situada a 2/3 e a última.

Procurando medir a quantidade aplicada em milímetros, procedeu-se um teste para verificar a área molhada por cada gotejador. Para tanto, mediu-se a largura da faixa molhada ao longo da linha, obtendo-se um valor médio de 0,8 m após cessar o movimento lateral da água,

verificado na superfície do solo. Com esse valor e com outros que já se tinha em mãos, pode-se calcular a lâmina de irrigação aplicada (eq. 3).

$$La = \frac{Vg}{Eg \cdot Fm} \quad (3)$$

Em que La se refere à lâmina aplicada, mm h⁻¹; Vg à vazão verificada em cada gotejador, L h⁻¹; Eg ao espaçamento entre gotejadores ao longo da linha lateral, m; e Fm à largura da faixa molhada verificada ao longo da linha de plantio, m.

Com os valores de lâmina aplicada pelo sistema de irrigação por tempo de funcionamento (La), da ECA e do índice de irrigação de cada tratamento, pôde-se obter o tempo de funcionamento do sistema de irrigação para cada tratamento, a fim de fornecer a quantidade de água desejada (eq. 4).

$$Tf_i = \frac{ECA \cdot I}{La \cdot 100} \quad (4)$$

Em que

Tf_i se refere ao tempo de funcionamento do sistema de irrigação para o i-ésimo tratamento [sendo i = 1 (40% ECA), 2 (80% ECA), 3 (120% ECA), 4 (160% ECA) e 5 (200% ECA)], h; e I ao índice de irrigação de cada tratamento (40%, 80%, 120%, 160% e 200% da ECA), adimensional.

Caso a quantidade de chuva fosse maior do que a quantidade a ser repostada pelo tratamento, o mesmo não era irrigado, uma vez que o volume previamente estipulado já havia sido fornecido pela chuva.

As irrigações eram realizadas nas segundas, quartas e sextas-feiras. Nas segundas-feiras, a irrigação era baseada na ECA acumulada de sexta-feira, sábado e domingo. Nas quartas-feiras, tinha como referência a ECA de segunda e terça-feira. Já as irrigações das sextas-feiras, eram baseadas na ECA de quarta e quinta-feira.

No dia das irrigações o registro de todos os tratamentos a serem irrigados era aberto e quando o tempo de funcionamento de cada tratamento era completado, o registro era fechado. Se o tempo de funcionamento, principalmente para as lâminas maiores, fosse muito grande e não

fosse possível completá-la no mesmo dia, no dia seguinte a irrigação era retomada até que a quantidade estipulada fosse aplicada.

A partir do momento em que os registros iam sendo fechados, o retorno na saída do conjunto moto-bomba ia sendo aberto, para que a pressão na saída do conjunto moto-bomba se mantivesse em 250 kPa, o que correspondia, aproximadamente, a 230 kPa na entrada da área experimental. Caso ocorresse chuva no momento da irrigação, o sistema não era desligado e o procedimento de aplicação da água era mantido inalterado.

2.5.6 Avaliações realizadas

2.5.6.1 Características vegetativas

Em 24/04/2004, 09/05/2005 e 28/06/2006 foram avaliadas as seguintes características vegetativas: (1) Altura das plantas: medida do solo até a gema apical, com auxílio de uma régua de 2,5 m, em metros (m); (2) Diâmetro da copa: medida na região da “saia” da planta, com régua de 2,5 m, referente ao maior comprimento entre os maiores ramos plagiotrópicos perpendiculares à linha de plantio, em metros (m); e (3) Diâmetro do caule: medida do caule da planta, tomada a cerca de 5 cm acima do solo, com auxílio de paquímetro, sendo a unidade de medida o milímetro (mm).

2.5.6.2 Características produtivas

As características produtivas (produtividade e renda) foram avaliadas na colheita dos frutos, a qual foi realizada em 24/05/2004, 02/06/2005 e 22/05/2006. Esta prática foi realizada quando as parcelas apresentavam de 10% a 15% de frutos verdes, sendo que a avaliação era feita para o experimento como um todo e não para cada tratamento ou parcela em separado. O método de colheita foi a derriça manual no pano (Figuras 10A, 11A e 12A), sendo também considerados na quantificação do volume de “café da roça” os frutos caídos no chão, originados da “varreção” (Figura 13A). A denominação “café da roça” refere-se ao volume total de café produzido no campo, incluindo-se os frutos cereja (maduros), seco e verde, principalmente, provenientes da derriça no pano e caídos no chão antes e no momento da colheita.

Para a avaliação da produtividade proporcionada por cada tratamento, foi retirada no momento da colheita uma alíquota de 5 L de café derriçados no pano, colocados em sacos rendilhados (sacos de cebola), identificados e levados ao terreiro para secar, onde permaneciam durante o dia. Essas amostras eram constantemente movimentadas, objetivando com isso, uma secagem mais uniforme. Durante a noite e em caso de chuva, as amostras eram envolvidas em lona plástica para evitar que ganhassem umidade. O teor de água era constantemente aferido e quando o valor de 13% foi atingido, as amostras, agora denominadas café em “coco”, foram individualmente pesadas e estavam prontas para serem beneficiadas.

Para o beneficiamento, foi pesada uma amostra de 0,5 kg de café em “coco” e por meio de um descascador de amostras movido por motor elétrico, os grãos de café foram separados da palha, dando origem à amostra de café beneficiado, a qual teve seu peso e o teor de água medidos e anotados.

Para a determinação da produtividade, uma série de cálculos foi realizada. O primeiro deles foi a estimativa em peso de café beneficiado, da amostra de 5 L de café em “coco” (eq. 5).

$$E_{5L} = \left(\frac{Pa_b}{Pa_c} \right) \cdot Pa_{5L} \quad (5)$$

Em que E_{5L} se refere à estimativa em peso de café beneficiado, da amostra de 5L de café em “coco” (kg); Pa_b à massa já beneficiada, da alíquota de 0,5 kg de café em “coco” (kg); Pa_c à massa da alíquota de 0,5 kg de café em “coco” (kg); e Pa_{5L} à massa da amostra de 5L de café em “coco” (kg).

O segundo passo foi a estimativa da produção de café beneficiado da parcela (eq. 6).

$$Ep = \left(\frac{Vr}{Ar} \right) \cdot E_{5L} \quad (6)$$

Em que Ep se refere à estimativa da produção de café beneficiado da parcela (kg); Vr ao volume de café da “roça” colhido na parcela (L); e Ar ao volume da alíquota de café da “roça” coletada no momento da colheita (5 L).

Em seguida, procedeu-se a correção do peso da estimativa de café beneficiado da parcela para 12% de umidade (eq. 7). O teor de água foi determinado no Laboratório de Sementes da Universidade Federal de Uberlândia.

$$E_{pc} = \left(\frac{100 - Tu}{100 - Td} \right) \cdot E_p \quad (7)$$

Em que E_{pc} se refere à estimativa da produção de café beneficiado da parcela corrigida para 12% de umidade (kg); Tu ao teor de água da amostra de café beneficiado da parcela (%); e Td = teor de água desejado (12%) (%).

Após isso, procedeu-se a estimativa da produtividade de cada tratamento (eq. 8), sendo considerados que em cada parcela continham 4 plantas e em um hectare havia 4082 plantas, bem como de que uma saca de café beneficiado contém um peso equivalente a 60 kg.

$$Pr = 17,01 \cdot E_{pc} \quad (8)$$

Em que Pr se refere à produtividade de café beneficiado, sacas ha^{-1} .

A renda se refere à proporção entre o peso de frutos secos (café “coco”) e o peso de grãos beneficiados. Com base nisso, obteve-se o valor dessa característica da seguinte forma (eq. 9):

$$Re = \frac{Pa_c}{Pa_b} \quad (9)$$

Em que Re se refere à renda do café (adimensional).

2.5.6.3 Qualidade física e sensorial do café

Para a avaliação da qualidade física e sensorial do café, as amostras beneficiadas das quatro repetições (blocos) de cada tratamento, foram misturadas dando origem a uma única amostra composta. Esta amostra foi enviada ao Laboratório de Qualidade do Café da Cooperativa de Produção dos Cafeicultores de Araguari Ltda, em Araguari-MG, onde foi realizada a classificação e a análise da bebida de acordo com os padrões da Tabela Oficial Brasileira de Classificação (COB).

2.5.6.4 Funções de produção e de crescimento

As funções de produção e de crescimento são representadas neste trabalho, por modelos matemáticos que relacionam a produção (produtividade e renda) e o crescimento das plantas (altura, diâmetro do caule e diâmetro da copa) com as lâminas de irrigação aplicadas. Objetivando encontrar um modelo que representasse melhor essa relação, foram testados para os

parâmetros de produção os modelos linear (eq. 10), polinomial de segundo (eq. 11) e terceiro graus (eq. 12), não linear (eq. 13) e raiz quadrada (eq. 14). No entanto, para os parâmetros de crescimento foram testados apenas os modelos linear e polinomial de segundo grau

$$f(L) = R_0 + R_1 \cdot L \quad (10)$$

$$f(L) = R_0 + R_1 \cdot L + R_2 \cdot L^2 \quad (11)$$

$$f(L) = R_0 + R_1 \cdot L + R_2 \cdot L^2 + R_3 \cdot L^3 \quad (12)$$

$$f(L) = R_0 + R_1 \cdot L + R_2 \cdot L^2 + R_3 \cdot L^3 + R_4 \cdot \sqrt{L} \quad (13)$$

$$f(L) = R_0 + R_1 \cdot L + R_4 \cdot \sqrt{L} \quad (14)$$

Em que $f(L)$ se refere à variável dependente, podendo assumir a identidade das características de produção ou de crescimento mencionadas anteriormente; L à variável independente, neste caso, lâminas de irrigação; e R_0 , R_1 , R_2 , R_3 e R_4 às constantes dos modelos.

2.5.6.5 Balanço hídrico climatológico

Com o objetivo de caracterizar o armazenamento da água no solo para Uberlândia-MG, foi calculado o balanço hídrico seqüencial durante os anos de 2003, 2004, 2005 e 2006, seguindo o método de Thornthwaite e Mather, descrito por Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002).

Além disso, foi calculado diariamente o balanço hídrico da cultura do cafeeiro cultivado nesse município, também seguindo a referida metodologia, porém neste caso, com algumas modificações. O balanço hídrico de cultura foi realizado diariamente a fim de estimar em escala diária o armazenamento da água no solo e com isso, aferir a capacidade de reposição da água no solo dada por cada tratamento irrigado, bem como de observar a variação diária da água contida no solo em todos os tratamentos.

Apesar dos tratamentos terem sido iniciados em novembro/2001, levou-se em consideração apenas as avaliações realizadas a partir de julho/2003. No entanto, os cálculos do

balanço hídrico foram realizados a partir de janeiro/2003, onde por ocasião da alta frequência de chuvas, o valor da CAD se igualou ao do armazenamento. Por outro lado, esses cálculos foram implementados até maio/2006, em função do encerramento do experimento, após a colheita.

2.5.6.5.1 Cálculo da evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada em escala diária pela equação de Penman-Monteith (eq. 15), na forma reduzida, parametrizada por Allen et al. (1998) e recomendada como método padrão de obtenção de ET_o pela FAO.

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (15)$$

Em que ET_o se refere à evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); Δ à declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹); R_n à radiação líquida total diária (MJ m⁻² dia⁻¹); G ao fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ à constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); T à temperatura média do ar (°C); U₂ à velocidade média do vento medido a 2 metros de altura (m s⁻¹); e_s à pressão de saturação de vapor de água (kPa); e e_a à pressão atual de vapor de água (kPa).

A temperatura média do ar foi calculada a partir dos valores de temperatura máxima e mínima do ar (eq. 16), obtidas diariamente na Estação Uberlândia (5° DISME/INMET), sendo esses valores corrigidos para a altitude do local do experimento, subtraindo-se 0,28 °C em cada valor de temperatura média do ar medido na referida Estação. Esse índice foi encontrado a partir da relação entre a altitude e a temperatura, sendo adotado que a mesma diminui 0,6 °C a cada 100 m de elevação.

$$T = 0,28 - \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) \quad (16)$$

Em que T_{max} se refere à temperatura máxima do ar medida na Estação Uberlândia (°C); e T_{min} à temperatura mínima do ar medida na Estação Uberlândia (°C).

Para a obtenção da pressão de saturação de vapor, foi utilizada a equação de Tetens (eq. 17).

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\frac{7,5T}{237,3+T}} \quad (17)$$

O valor de pressão parcial de vapor de água, ou seja, a pressão exercida por uma quantidade de vapor de água existente num certo instante no ar atmosférico foi determinada por meio da equação psicrométrica (eq. 18).

$$e_a = e_{su} - \gamma \cdot (T_s - T_u) \quad (18)$$

Em que e_{su} se refere à pressão de saturação de vapor de água à temperatura do bulbo molhado (kPa); T_s à temperatura do ar medida no termômetro de bulbo seco (°C); e T_u à temperatura do ar medida no termômetro de bulbo úmido (°C).

A constante psicrométrica foi obtida a partir da pressão atmosférica medida diariamente na Estação Uberlândia (eq. 19).

$$\gamma = A \cdot P_{atm} \quad (19)$$

Em que A se refere ao coeficiente que depende do tipo de ventilação do termômetro de bulbo molhado, $0,000800 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; e P_{atm} à pressão atmosférica, kPa.

A pressão de saturação de vapor de água à temperatura do bulbo molhado foi obtida a partir da equação de Tetens, porém fazendo-se $T = T_u$ (eq. 20).

$$e_{su} = 0,6108 \cdot 10^{\frac{7,5T_u}{237,3+T_u}} \quad (20)$$

A declividade da curva de pressão de vapor foi obtida a partir dos dados de temperatura média do ar e da pressão de saturação do vapor de água (eq. 21).

$$\Delta = 4098 \cdot \frac{e_s}{(T + 237,3)^2} \quad (21)$$

A velocidade do vento foi medida na Estação Uberlândia a uma altura de 10 m, portanto, houve a necessidade de estimar esse valor para uma altura de 2 m (eq. 22).

$$U_2 = U_z \cdot \frac{4,87}{\text{Ln}(67,8 \cdot Z - 5,42)} \quad (22)$$

Em que U_z se refere à velocidade do vento medida na altura de 10 m acima do solo, m s^{-1} ; Z à altura de medida da velocidade do vento, 10 m; e Ln ao logaritmo natural.

A radiação solar líquida total diária foi estimada pelo balanço entre a radiação solar de onda curta e de onda longa (eq. 23).

$$Rn = BOC - BOL \quad (23)$$

Em que BOC se refere ao balanço de radiação de ondas curtas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); e BOL ao balanço de radiação de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

O valor do balanço de ondas curtas foi estimado com base no albedo do gramado e no valor da irradiância solar que chega à superfície do solo (eq. 24).

$$BOC = (1 - r) \cdot Q_g \quad (24)$$

Em que r se refere ao albedo ou coeficiente de reflexão para a cultura de referência (gramado) (0,23); e Q_g à irradiância solar que chega à superfície do solo (irradiância solar global) ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

A irradiância solar global foi estimada pela equação de Angström - Prescott (eq. 25), sendo o coeficiente “a” dessa equação estimado pela aproximação proposta por Glover e Mcculloch (1958 apud PEREIRA; VILLA NOVA; GALVANI, 2003) (eq. 26).

$$Q_g = Q_o \cdot \left(a + b \cdot \frac{n}{N} \right) \quad (25)$$

Em que Q_o se refere à irradiância solar diária extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); n ao número total de horas de brilho solar (h dia^{-1}); N ao comprimento do dia (fotoperíodo) (h dia^{-1}); a ao coeficiente da equação de Angström - Prescott (adimensional); e b ao coeficiente da equação de Angström - Prescott (0,54).

$$a = 0,29 \cdot \cos \varphi \quad (26)$$

Em que φ se refere à latitude do local (graus).

Os valores diários de irradiância solar extraterrestre (eq. 27), foram obtidos a partir dos dados de declinação solar, da distância relativa terra-sol, do ângulo horário ao nascer do sol, e da latitude local. Como o experimento se localiza no hemisfério sul, latitude assume valor negativo.

$$Q_o = 37,6 \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\pi}{180^\circ} \right) \cdot hn \cdot \text{sen}(\varphi) \cdot \text{sen}(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \text{sen}(hn) \right] \quad (27)$$

Em que Q_o se refere à irradiância solar diária extraterrestre para o local do experimento ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); $\left(\frac{d}{D}\right)^2$ à distância relativa terra-sol (adimensional); hn ao ângulo horário ao nascer do sol (graus); $e\delta$ à declinação solar (graus).

A distância relativa terra-sol foi estimada pela equação 28.

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(NDA \cdot \frac{360}{365}\right) \quad (28)$$

Em que NDA se refere ao número do dia no ano (dia Juliano).

A declinação solar em graus foi estimada pela equação 29.

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left[\frac{360}{365} \cdot (NDA - 80)\right] \quad (29)$$

O ângulo horário ao nascer do sol foi estimado pela equação 30.

$$hn = \arccos[-\text{tg}(\varphi) \cdot \text{tg} \delta] \quad (30)$$

O fotoperíodo diário foi estimado (eq. 31) a partir do valor do ângulo horário ao nascer do sol.

$$N = 2 \cdot \frac{hn}{15^\circ} \quad (31)$$

O valor do balanço de ondas longas foi estimado com base equação proposta por Allen et al. (1998) (eq. 32).

$$BOL = \sigma \cdot T_K^4 \cdot (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{e_a}) \cdot \left(1,35 \cdot \frac{Q_g}{Q_{so}} - 0,35\right) \quad (32)$$

Em que σ se refere à constante de Stefan-Boltzmann ($4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); T_K à temperatura média do dia (K); e Q_{so} à irradiância solar obtida com céu sem nuvens ou poeira (céu “limpo”) ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

Segundo Allen et al. (1998), a estimativa da radiação solar para um dia de céu sem nuvens ou poeira, ou seja, quando o valor da insolação se iguala ao fotoperíodo, pode ser dada pela equação 33.

$$Q_{so} = Q_o \cdot (0,75 + (2 \cdot 10^{-5}) \cdot A_L) \quad (33)$$

Em que A_L se refere à altitude do local em relação ao nível do mar (m).

O fluxo de calor no solo foi estimado pela equação (eq. 34) proposta por Wright e Jensen (1972 apud PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

$$G = 0,38 \cdot (T - T_{-3d}) \quad (34)$$

Em que T_{-3d} se refere à temperatura média do ar dos três dias anteriores (°C).

2.5.6.5.2 Cálculo do balanço hídrico de cultura

O balanço hídrico de cultura foi calculado para cada tratamento, conforme a metodologia proposta por Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002), com algumas modificações. A primeira delas é que a lâmina de água fornecida por cada tratamento irrigado foi adicionada aos valores de precipitação. Portanto, foi incorporada no cálculo do balanço hídrico de cultura, uma coluna referente à irrigação. A segunda, se refere à metodologia de cálculo da evapotranspiração da cultura, sendo que neste caso, adotou-se apenas a fração referente à transpiração da planta, uma vez que no plantio em renque mecanizado, o cafeeiro cobre totalmente a superfície do solo ao longo da faixa molhada delimitada pelo sistema de irrigação por gotejamento. Aliado a isso, existe o fato de que as folhas das plantas ao caírem ao chão, contribuem para que a evaporação seja muito baixa (Figura 14A). A transpiração da planta (eq. 35) foi estimada conforme metodologia proposta por Villa Nova et al. (2001).

$$Te = 0,347 \cdot ET_o \cdot IAF \quad (35)$$

Em que Te se refere à transpiração do cafeeiro (mm dia^{-1}); e IAF ao índice de área foliar do cafeeiro (adimensional).

O índice de área foliar foi obtido conforme a metodologia proposta por Favarin et al. (2002). Por se tratar da variedade cultivada Rubi-1192 plantada no espaçamento de 0,7 m entre plantas na linha, verificou-se que as copas de plantas adjacente uma da outra uniam-se formando um maciço contínuo ao longo da linha de plantio (Figura 14A). Além disso, verificou-se também, que nas faces das plantas voltadas umas para as outras na linha de plantio, os cafeeiros emitiram poucos ramos e folhas. Diante disso, adotou-se um formato de copa diferente daquele usado por Favarin et al. (2002). Naquele trabalho, os autores assumiram que a copa das plantas tinha um formato cônico, pois se tratava da variedade cultivada Mundo Novo plantada no espaçamento de

um metro entre plantas na linha de plantio. Neste caso, como a variedade cultivada em questão é a Rubi-1192, a qual possui um formato de copa cilíndrico (Figura 15A), adotou-se que os cafeeiros apresentavam folhas apenas nas laterais voltadas para a entrelinha e na área delimitada pelo topo da copa. Sendo assim, adotaram-se as seguintes equações para estimar a área lateral (eq. 36) e superior (eq. 37) do dossel das plantas.

$$Al = 2 \cdot h_d \cdot e \quad (36)$$

Em que Al se refere à área lateral do dossel das plantas (m²); h_d à altura do dossel das plantas (m); e e ao espaçamento entre plantas na linha de plantio (m).

$$As = d_c \cdot e \quad (37)$$

Em que As se refere à área superior do dossel das plantas (m²); e d_c ao diâmetro da copa das plantas (m).

Juntando-se as equações 36 e 37, foi obtida a equação 38, através da qual estimou-se a área da copa.

$$Ac = Al + As \quad (38)$$

Em que Ac se refere à área total do dossel das plantas (m²).

A altura do dossel foi estimada através da medida da altura das plantas, tomada desde a superfície do solo até a gema apical do cafeeiro, sendo subtraído do valor encontrado para cada planta, 0,2 m, referente a uma distância média entre o solo e o início da copa. Com o desconto dessa metragem, acredita-se estimar com maior precisão a altura do dossel, através de medidas da altura das plantas que foram realizadas desde o ano de 2004.

Com a área do dossel, pôde-se estimar o índice de área foliar através da equação proposta por Favarin et al. (2002) (eq. 39).

$$IAF = -0,5786 + 0,7896 \cdot Ac = -0,5786 + e \cdot (1,5792 \cdot h_d + 0,7896 \cdot d_c) \quad (39)$$

Em que IAF se refere ao índice de área foliar da planta de cafeeiro (adimensional).

A “arruação”, uma prática comum em lavoura cafeeira, a qual consiste na retirada por completo de material orgânico abaixo das plantas, deixando assim o solo completamente limpo, objetivando com isso, diminuir o número de impurezas junto ao café que porventura caiu no chão, foi realizada cerca de um mês antes da data prevista para a colheita.

Por outro lado, logo após a colheita foi realizada a “esparramação”, que é uma outra prática muito comum no meio cafeeiro, onde o material orgânico que foi retirado da linha de plantio é retornado e, neste momento, apresentando uma quantidade muito maior de material vegetal, pois as folhas arrancadas pela colheita também compõe esse material. Sendo assim, o solo abaixo das plantas permaneceu exposto por poucos dias.

Dessa forma, não foi realizado nenhum ajuste na estimativa da transpiração das plantas em função da diminuição das folhas ou da colheita, por entender que a perda de água seria muito baixa, podendo ser desprezada.

Diante da inclusão da irrigação e da substituição da evapotranspiração da cultura pela transpiração da planta, a coluna referente à subtração entre a precipitação e a evapotranspiração da cultura, normalmente usada no balanço hídrico clássico, foi alterada (eq. 40).

$$S_i = (P_i + I_i) - Te_i \quad (40)$$

Em que S_i se refere ao saldo de umidade no i -ésimo dia (mm); P_i à precipitação no i -ésimo dia (mm); I_i à quantidade de água fornecida pela irrigação no i -ésimo dia (mm); e Te_i à transpiração máxima do cafeeiro no i -ésimo dia (mm).

Dessa forma, para a obtenção do negativo acumulado e do armazenamento foram utilizadas quatro equações (eq. 41, 42, 43 e 44).

Se $S_i < 0$:

$$NEG\ ACU_i = NEG\ ACU_{i-1} + |S_i| \quad (41)$$

e

$$ARM_i = CAD \cdot e^{\frac{NEG\ ACU_i}{CAD}} \quad (42)$$

Por outro lado, Se $S_i > 0$:

$$ARM_i = ARM_{i-1} + S_i \quad (43)$$

e

$$NEG\ ACU = -CAD \cdot \ln\left(\frac{ARM_i}{CAD}\right) \quad (44)$$

Em que $NEG\ ACU_i$ se refere ao negativo acumulado no i -ésimo dia (mm); $NEG\ ACU_{i-1}$ ao negativo acumulado no dia anterior ao i -ésimo dia (mm); ARM_i ao nível de armazenamento de água no solo no i -ésimo dia (mm); ARM_{i-1} ao nível de armazenamento de água no solo no dia anterior ao i -ésimo dia (mm); CAD à capacidade de água disponível (mm); e à base do logaritmo natural ($e=2,718281$); e Ln ao logaritmo natural.

A capacidade de água disponível (CAD), corresponde ao intervalo de umidade do solo entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Para a determinação da CAD foram retiradas amostras indeformadas de solo abaixo da copa do cafeeiro nas profundidades de 20 cm e 40 cm em três locais distintos na área do experimento. As amostras foram levadas ao laboratório de Manejo e Conservação do Solo da Universidade Federal de Uberlândia para a determinação das características físicas, das umidades no ponto de capacidade de campo (0,3 atm) e murcha permanente (15 atm) e densidade do solo. A profundidade efetiva das raízes do cafeeiro foi considerada como sendo 85 cm, conforme observaram Matiello et al. (2005).

Com os dados de umidade nos pontos de capacidade de campo e murcha permanente, bem como de densidade do solo das três repetições, foi calculado um valor médio para cada característica e com isso, calculada a capacidade de água disponível no solo (eq. 45).

$$CAD = (U_{cc} - U_{pmp}) \cdot ds \cdot H \quad (45)$$

Em que U_{cc} referente à umidade correspondente à "capacidade de campo" ($g\ g^{-1}$); U_{pmp} à umidade no ponto de murcha permanente ($g\ g^{-1}$); ds = densidade do solo (adimensional); e H à profundidade efetiva das raízes (850 mm).

A alteração no armazenamento foi obtida pela diferença entre o armazenamento calculado para o dia em questão e o armazenamento obtido no dia anterior (eq. 46).

$$ALT_i = ARM_i - ARM_{i-1} \quad (46)$$

Em que ALT_i se refere à alteração no armazenamento no i -ésimo dia (mm).

Assim como a evapotranspiração da cultura foi substituída por transpiração da cultura, a evapotranspiração real da cultura foi preterida em relação à transpiração real da cultura. Como na determinação do negativo acumulado e do armazenamento, existiram duas situações distintas para a obtenção desse parâmetro (eq. 47 e 48).

Se $S_i \geq 0$:

$$Tr_i = Te_i \quad (47)$$

Por outro lado, se $S_i < 0$:

$$Tr_i = P_i + I_i + |ALT_i| \quad (48)$$

Em que Tr_i se refere à transpiração real da cultura do cafeeiro no i -ésimo dia, mm.

A deficiência hídrica, ou seja, a falta de água no solo, foi obtida pela Equação 49.

$$DEF_i = Te_i - Tr_i \quad (49)$$

Em que DEF_i se refere à deficiência hídrica observada no i -ésimo dia (mm).

O excedente hídrico representa a quantidade de água tida como excessiva para o nível de armazenamento considerado. Existiram duas situações para a determinação do excedente hídrico (eq. 49 e 50).

Se $ARM_i \leq CAD$:

$$EXC_i = 0 \quad (49)$$

Por outro lado, se $ARM_i > CAD$:

$$EXC_i = (I_i + P_i - Te_i) - ALT_i \quad (50)$$

A transpiração relativa das plantas foi determinada pela relação entre a transpiração real e a transpiração máxima da cultura (eq. 51).

$$TR = \frac{Tr_i}{Te_i} \quad (51)$$

TR se refere à transpiração relativa (adimensional).

2.5.6.6 Determinação dos índices de eficiência no uso da água

A partir dos dados de produtividade, transpiração real da planta e irrigação, foram calculados os índices de uso eficiente da água (eq. 52), uso eficiente da água de irrigação (eq. 53), irrigação de compensação (eq. 54) e quebra relativa de produção (eq. 55). Os três primeiros índices foram obtidos conforme recomendação de Howell; Cuenca e Solomon (1990).

$$UEA_t = \frac{Pr_{kg_t}}{Tr_t} \quad (52)$$

$$UEAI_t = \frac{Pr_{kg_t}}{I_t} \quad (53)$$

$$Ic_t = \frac{I_t}{Tr_t} \cdot 100 \quad (54)$$

$$Q_t = \left(1 - \frac{Pr_{kg_t}}{Pr_p} \right) \cdot 100 \quad (55)$$

Em que UEA_t se refere ao uso eficiente da água proporcionada pelo t-ésimo tratamento ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$); Pr_{kg_t} à produtividade média para o t-ésimo tratamento nos três anos avaliados (kg ha^{-1}); Tr_t ao valor do somatório dos dados diários de transpiração real da planta para o t-ésimo tratamento, no período de julho/2003 até maio/2006 (mm); $UEAI_t$ ao uso eficiente da água de irrigação proporcionada pelo t-ésimo tratamento irrigado ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$); I_t à quantidade de água recebida pelo t-ésimo tratamento irrigado através da irrigação (mm); Ic_t ao índice de compensação da irrigação proporcionado pelo t-ésimo tratamento irrigado (%); Q_t à quebra relativa de produção do t-ésimo tratamento (%); e Pr_p à maior produtividade observada entre todos os tratamentos, dada pela média de produção dos três anos avaliados (kg ha^{-1}).

2.5.7 Metodologia estatística

Inicialmente os onze tratamentos (Tabela 1) foram submetidos à análise de variância pelo teste F ao nível de 1% e 5% de probabilidade. Para as características que apresentaram significância por esse teste, foi realizado o teste de médias, também ao nível de 1% e 5% de probabilidade, objetivando diferencia-los. Nos casos em que houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Scott e Knott (teste de médias), foi realizada uma análise mais detalhada dos tratamentos.

Nesse sentido, foi avaliado o comportamento dos tratamentos que foram submetidos ao repouso da irrigação nos meses de julho e agosto com a Testemunha, procurando identificar os melhores e piores tratamentos em relação ao padrão (Testemunha). Da mesma forma, foram avaliados os tratamentos sem o uso do repouso da irrigação em julho e agosto com a Testemunha.

Para essas duas situações, aplicou-se primeiramente o teste F ao nível de 1% e 5% de probabilidade. No que diz respeito aos parâmetros produtivos do cafeeiro (produtividade e renda), quando a diferença estatística foi verificada, foi aplicado o teste de regressão e geradas equações segundo os modelos linear, polinomial de segundo e terceiro graus, não linear e raiz quadrada. Com relação aos parâmetros de crescimento do cafeeiro (altura, diâmetro da copa e diâmetro do caule), quando a diferença pelo referido teste foi notada, também foi aplicado o teste de regressão, porém, geradas equações de acordo somente com os modelos linear e polinomial de segundo grau.

Todos os modelos apresentados tiveram sua significância avaliada pelo teste F ao nível de 1% e 5% de probabilidade. Além disso, foi calculado o valor do coeficiente de determinação da equação dos referidos modelos.

No que se refere às características de qualidade física e de bebida do café, bem como o balanço hídrico e os índices de eficiência no uso da água, não foi realizada nenhuma análise estatística.

2.6 Resultados e Discussões

2.6.1 Uniformidade de aplicação de água dos emissores

Para a avaliação da uniformidade de aplicação de água pelos gotejadores foi medida a vazão de 64 emissores em 16 linhas (parcelas), bem como a pressão no final das mesmas. O referido teste foi realizado seguindo a metodologia proposta por ASAE (1998), onde os coeficientes de uniformidade estatística e uniformidade de emissão foram calculados. Foram encontrados valores de 77,8% e 78,2%, respectivamente, para o coeficiente estatístico e de uniformidade de emissão. Segundo esses valores, ASAE (1998) classifica a uniformidade de aplicação de água desse sistema de irrigação como de uniformidade aceitável. A pressão nas

linhas laterais variou de 170 a 210 kPa, com média de 188 kPa. Com esse resultado, infere-se que toda a variação obtida dentro do experimento é devido aos efeitos dos tratamentos.

2.6.2 Clima local

O município de Uberlândia-MG possui a grande maioria da sua vegetação natural caracterizada como de cerrado e, portanto, as condições climáticas são também características desse bioma. Nessa localidade, o inverno se apresenta com baixa umidade relativa do ar, dada pela ausência ou pouco volume e frequência das chuvas, e verão chuvoso, principalmente nos meses de dezembro e janeiro, onde ocorre grande parte das chuvas. As Figuras 1 e 2 detalham o comportamento da evaporação da água do tanque classe A (ECA) e da precipitação do local do experimento durante os meses de estudo, correspondentes às safras de 2003/2004, 2004/2005 e 2005/2006.

A Figura 1a detalha a soma das evaporações mensais de julho a dezembro de 2003. Os dados estão apresentados a partir de julho uma vez que o experimento foi iniciado nesse mês e se estendeu até maio de 2006.

Verificando as Figuras 1b e 1c nota-se que ao longo de um mesmo ano, os meses de agosto, setembro e outubro são aqueles onde a ECA é mais acentuada, o que demanda maior quantidade de água pelas plantas. Dentre esses meses, setembro é aquele onde a evaporação foi maior, alcançando um valor médio de $8,4 \text{ mm dia}^{-1}$, seguido por outubro com $7,6 \text{ mm dia}^{-1}$ e agosto com $7,3 \text{ mm dia}^{-1}$.

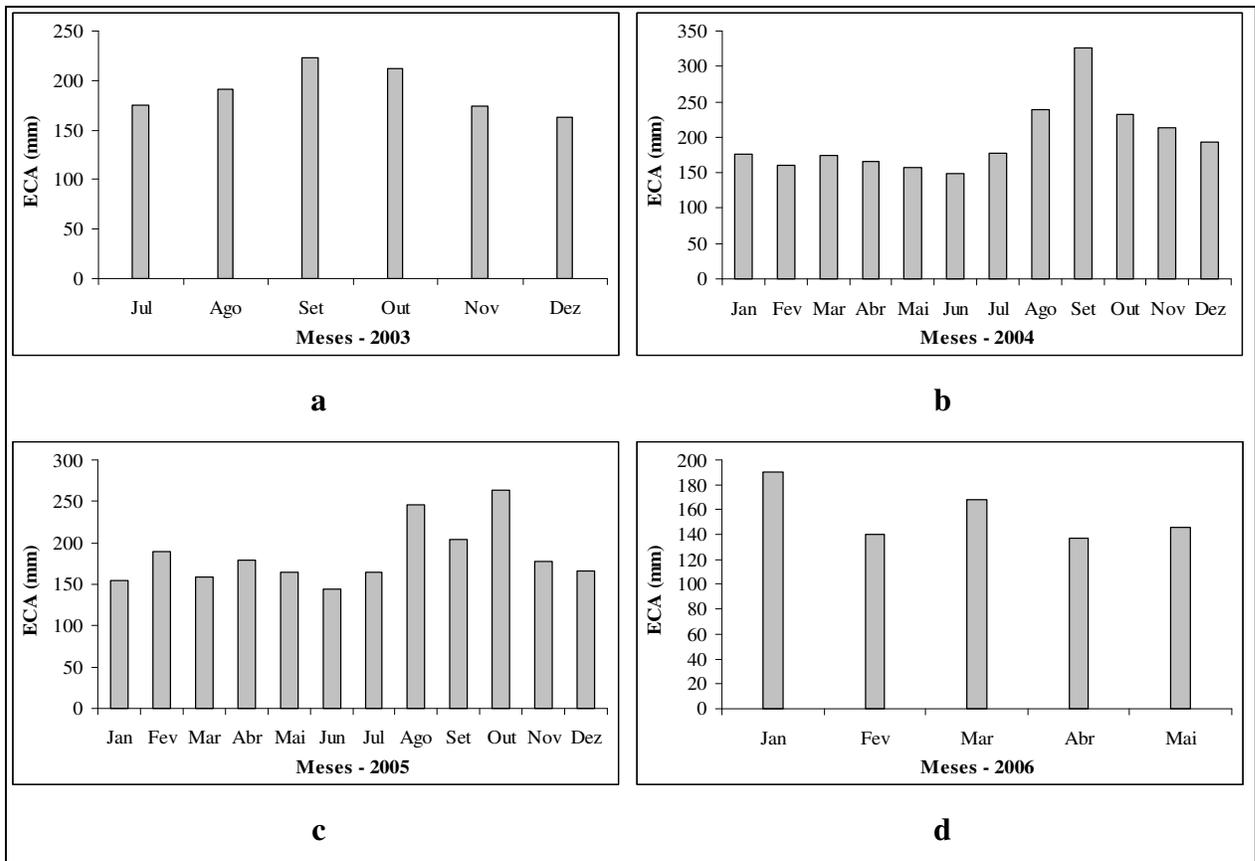


Figura 1 - Valores mensais da evaporação da água do tanque classe A medida no posto agrometeorológico da Fazenda Experimental do Glória/UFU, em Uberlândia-MG

Por outro lado, o mês de junho se sobressaiu em relação aos demais, alcançando cerca de $4,9 \text{ mm dia}^{-1}$, sendo este o menor valor de ECA dentre os anos avaliados. No entanto, essa ordem de classificação não é fixa, pois depende da frequência de entrada de massas de ar na região durante o inverno, bem como do início do período chuvoso.

Na Figura 2 estão compilados os dados mensais de chuva para o local de estudo. Comparando esses valores com os apresentados por Assunção (2002), verifica-se nas Figuras 2b e 2c, onde estão presentes todos os meses do ano, que a ocorrência das chuvas mostrou-se muito irregular.

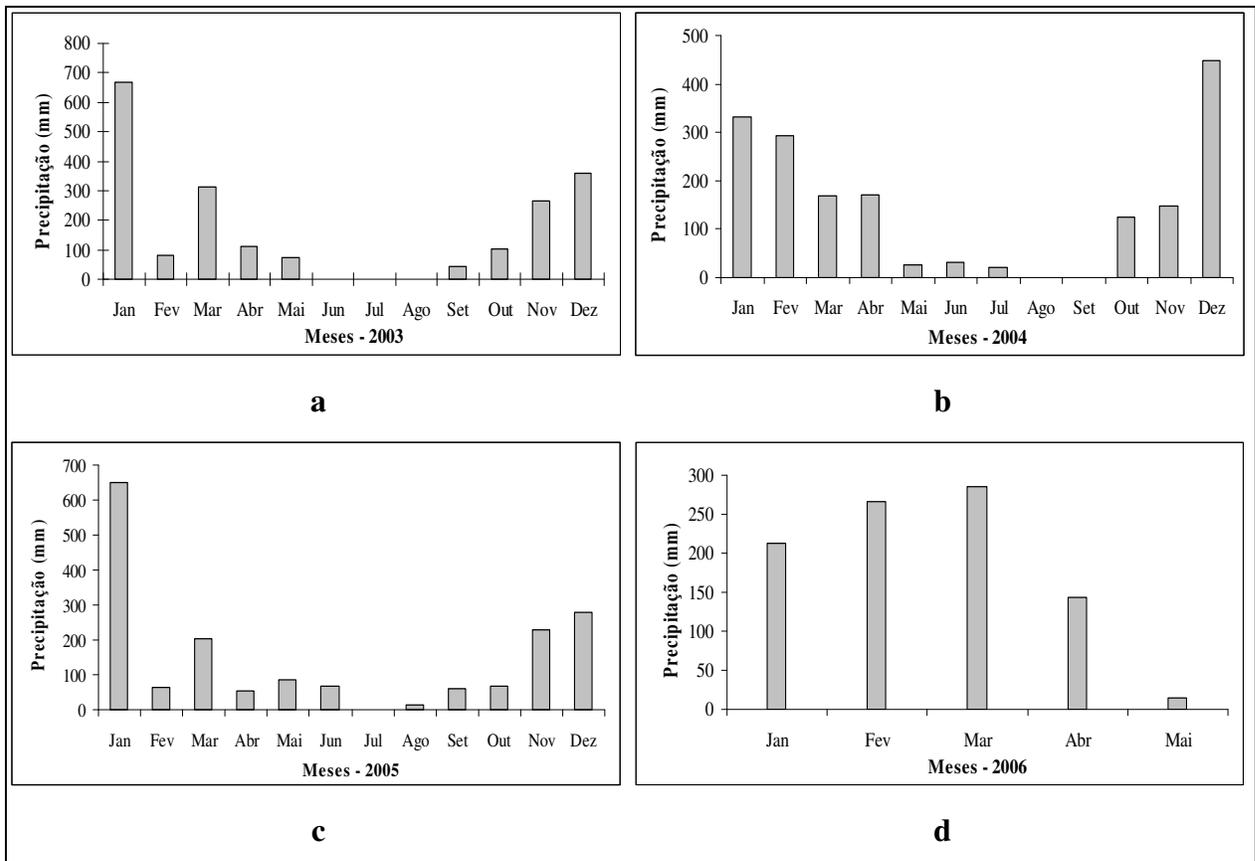


Figura 2 - Valores mensais da precipitação medida no posto agrometeorológico da Fazenda Experimental do Glória/UFU, em Uberlândia-MG

Assunção (2002) afirma que na região do Triângulo Mineiro e conseqüentemente em Uberlândia-MG, que se situa nessa região, o início e o final do período chuvoso é irregular. Essa irregularidade das chuvas afeta sobremaneira os valores de evaporação da água do tanque classe A, uma vez que esse instrumento é falho quando ocorrem altas precipitações, pois ocorre o transbordamento da água contida no mesmo, fazendo com que a leitura do dia seja perdida. Essa situação foi verificada algumas vezes durante os meses de dezembro e janeiro, principalmente, e influenciou negativamente o valor total da ECA nesses períodos. Além desse inconveniente, a irregularidade da precipitação afeta a produção das culturas não irrigadas, principalmente do cafeeiro cultivado no cerrado Mineiro, que concentra seu florescimento nos meses de setembro e outubro.

A Figura 3 detalha o comportamento da temperatura e da umidade relativa do ar no período correspondente à condução do experimento.

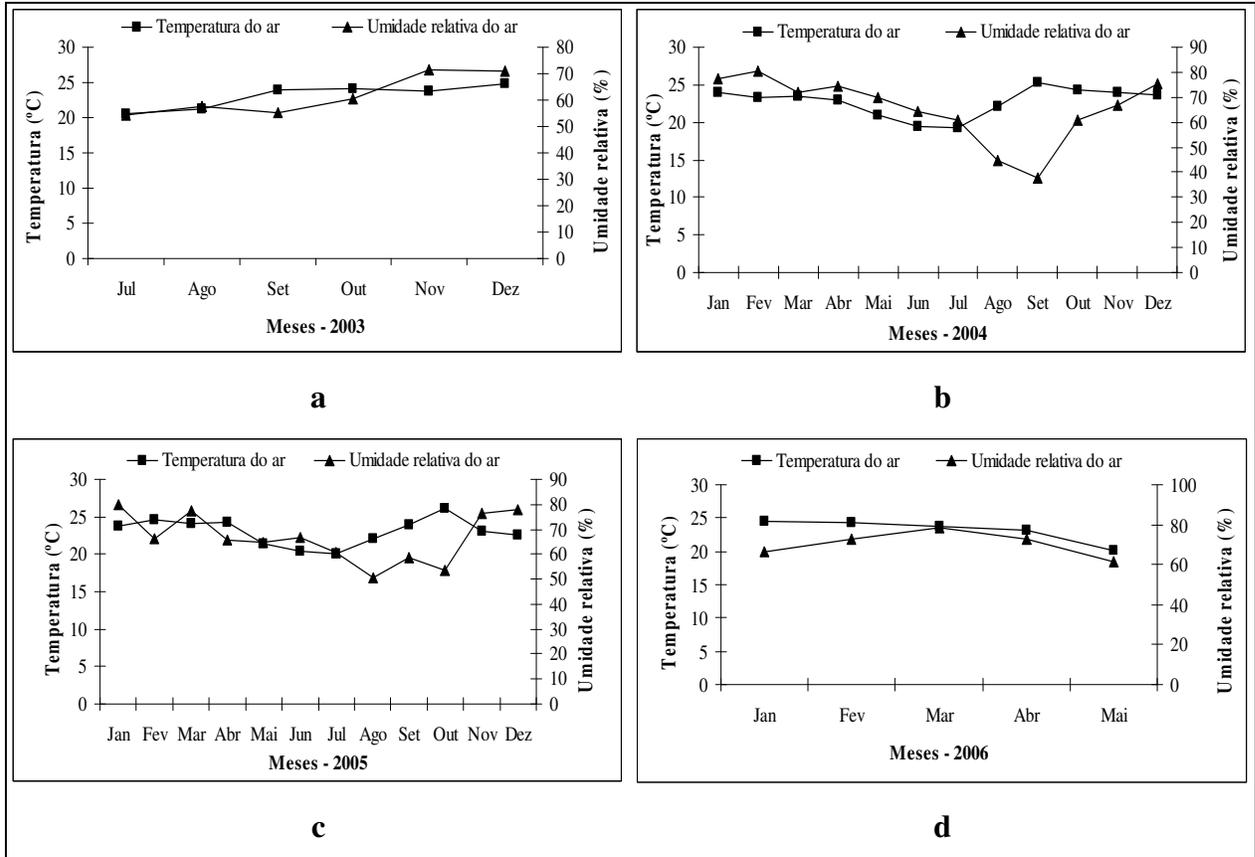


Figura 3 - Valores mensais médios da temperatura e da umidade relativa do ar medidos na estação Uberlândia (5° DISME/INMET), em Uberlândia-MG

Verifica-se ao analisar as Figuras 3b e 3c, que o mês de julho proporcionou as temperaturas médias mais baixas do ano, ocorrendo valores de 19,2 e 20,0°C nos anos de 2004 e 2005 respectivamente. Por outro lado, não se pode afirmar qual é o mês em que a temperatura média é mais alta para essa região, já que não foi verificada repetição na classificação. Apesar disso, pôde-se constatar que o valor da temperatura média alta ao longo do ano ficou em torno de 25,2°C. Analisando os dados médios mensais de temperatura ao longo do período de avaliação do experimento, verifica-se que o valor médio anual para o local de plantio foi de 22,9 °C. Esse valor

está acima daquele considerado ideal para o desenvolvimento do cafeeiro, segundo o zoneamento térmico dessa cultura, citado por Santinato, Fernandes e Fernandes (1996). No entanto, a série de dados que deu origem a essa média é pequena, o que não dá subsídios para um questionamento sobre a aptidão dessa região quanto ao zoneamento térmico.

Observando-se as Figuras 3a, 3b e 3c, nota-se que nos meses de setembro e outubro as temperaturas foram elevadas nessa região, tendo médias acima de 24°C. Está associado a isso, baixo valor de umidade relativa do ar. Conforme comentam Matiello et al. (2005), a combinação de altas temperaturas médias nesses meses, mais precisamente acima de 23°C e clima seco, pode favorecer o abortamento floral e a formação de “estrelinhas”, diminuindo consideravelmente a produtividade. Verifica-se também, na Figura 3c, que o mês de fevereiro apresentou baixo valor de umidade relativa do ar, fato este, devido ao baixo volume de chuvas ocorrido naquele mês, no ano de 2005 (Figura 2c).

Na Figura 4 estão reunidos os dados estimados da irradiância solar extraterrestre (Q_0), da irradiância solar global (Q_g), da irradiância solar dada com céu sem nuvens ou poeira (“limpo”) (Q_{so}) e da medida da insolação (n). Nota-se, nas Figuras 4b e 4c, o comportamento característico das irradiâncias solar extraterrestre e de céu “limpo”, as quais apresentam valores altos durante o verão e baixos durante o inverno, fato este determinado, dentre outros fatores, pela declinação solar. No que diz respeito a irradiância solar global, observa-se que nos meses de maio a setembro há uma tendência de aproximação dos valores de Q_g e Q_{so} , o qual se justifica pela alta insolação verificada nessa região durante esses meses. Este fato está associado à baixa ocorrência de precipitação durante esses meses, pois a chuva é considerada um fator redutor da insolação, dada à interceptação dos raios solares pelas nuvens. Isso se confirma ao se analisar a Figura 4c, onde o mês de fevereiro apresentou uma média de irradiância solar global alta, atípico para aquele mês, dado ao baixo volume de chuvas.

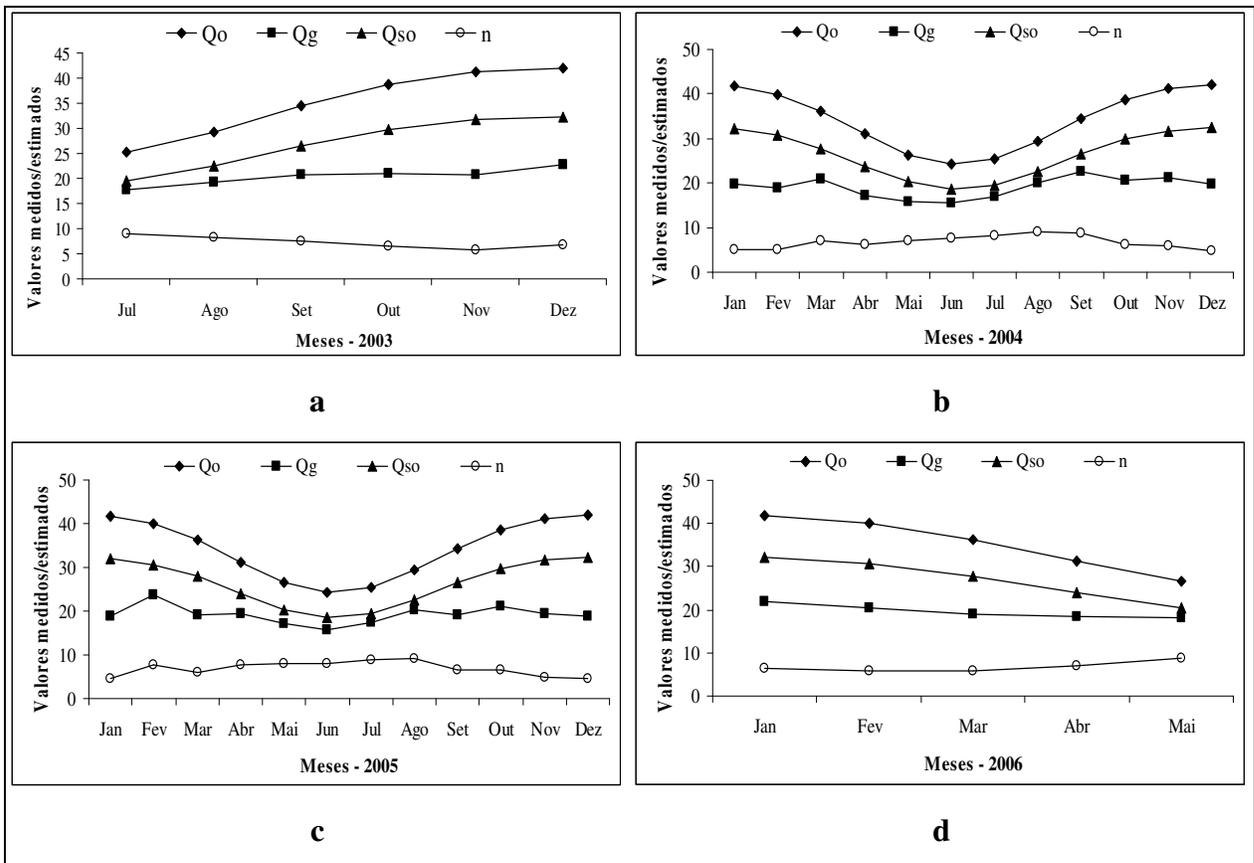


Figura 4 - Valores médios da irradiância solar extraterrestre (Q_o), irradiância solar global (Q_g) e irradiância solar em condições de céu “limpo” (Q_{so}), estimados em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, e da insolação diária (n), medida em horas na estação Uberlândia (5° DISME/INMET), em Uberlândia-MG

Na Figura 5 estão reunidos os dados médios de evapotranspiração de referência (ET_o) e de velocidade do vento (Vento). Com relação à primeira, observa-se que no mês de setembro/2004 (Figura 5b) e fevereiro/2005 (Figura 5c) os valores médios foram mais elevados quando comparados com o restante do ano, alcançando $4,83$ e $4,89 \text{ mm dia}^{-1}$, respectivamente. De acordo com dados apresentados por Assunção (2002), a média alcançada nesses meses está acima daquela encontrada pelo autor, o qual cita um valor de $3,5$ e $3,8 \text{ mm dia}^{-1}$, respectivamente para setembro e janeiro. Pelos cálculos desse autor, dezembro, janeiro e fevereiro são os meses onde a evapotranspiração é mais acentuada, alcançando o patamar de $3,8 \text{ mm dia}^{-1}$. No entanto, Assunção (2002) adotou o modelo de Camargo para a determinação de ET_o , o que inviabiliza a

comparação, já que neste trabalho foi adotado o modelo de Penman-Monteith (Padrão FAO – 56). No que diz respeito ao valor de ETo estimado para setembro/2004 (Figura 5b) e fevereiro/2005 (Figura 5c), nota-se que o principal contribuinte para a elevação da ETo no primeiro, é a baixa umidade relativa do ar (Figura 3c) e para o segundo, a alta temperatura, ambos verificado nos respectivos períodos.

Com relação à velocidade do vento, nota-se pelas Figuras 5b e 5c que o mês de setembro é aquele onde a velocidade do vento é constante, ou seja, diariamente é verificada a presença do mesmo, além dos valores médios serem mais elevados do que aqueles medidos nos outros meses do ano.

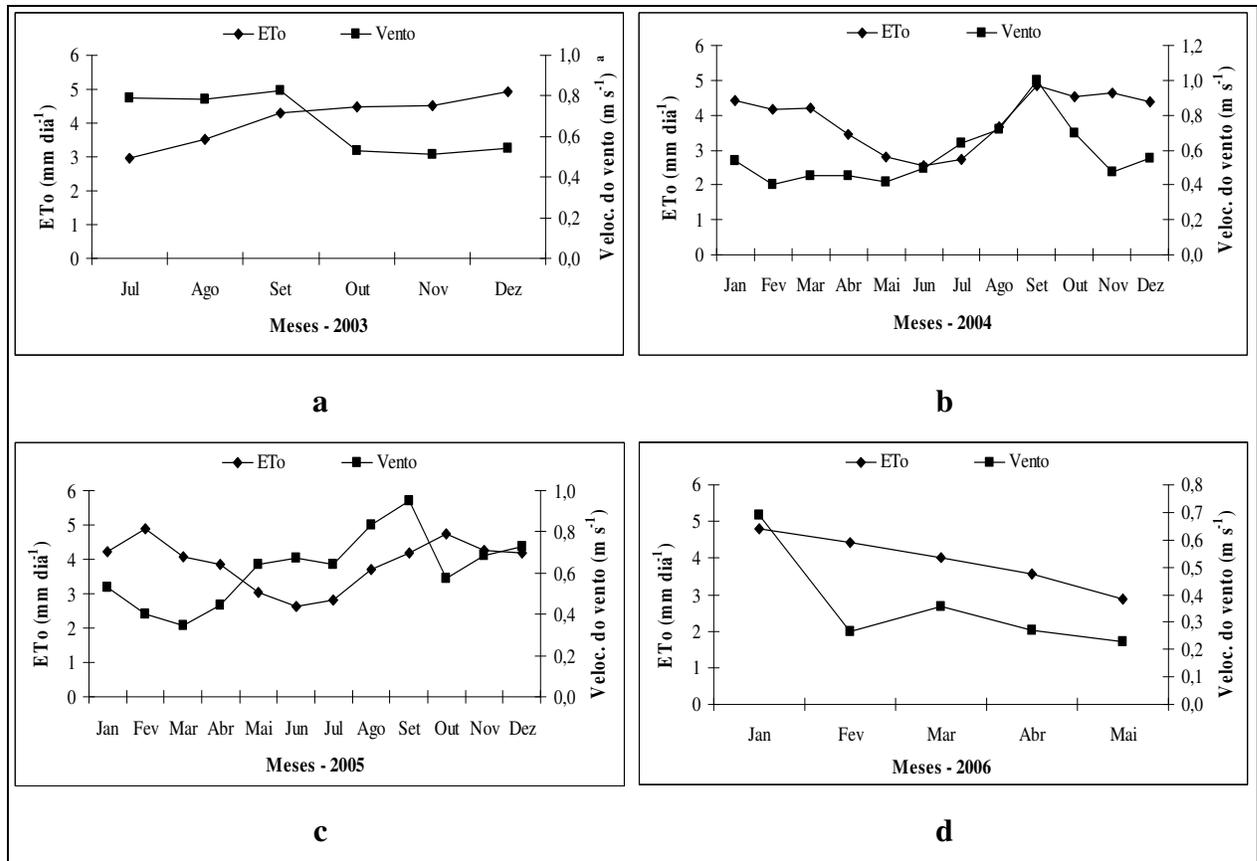


Figura 5 - Valores diários médios da evapotranspiração de referência (ETo) e da velocidade do vento (Vento), estimados e medidos na estação Uberlândia (5° DISME/INMET), em Uberlândia-MG, respectivamente

2.6.3 Efeito dos tratamentos nos parâmetros produtivos do cafeeiro

A Tabela 2 detalha o resultado da análise de variância para os parâmetros produtivos avaliados neste trabalho.

Tabela 2 - Resultado da análise de variância dos parâmetros produtivos do cafeeiro, em função dos tratamentos testados

Causas da variação	G. L.	Produtividade¹	Renda²
Bloco	3	362,3166*	0,0150 ^{NS}
Tratamento	10	505,5597**	0,0188 ^{NS}
Erro	30	88,8208	0,0136
Coeficiente de variação (%)		17,80	6,10

Nota: ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{NS} Não significativo pelo teste F; ¹ sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare (sacas ha⁻¹); ² quilograma de café em “coco” por quilograma de café beneficiado (adimensional)

Para a elaboração da Tabela 2 foram avaliados todos os tratamentos do experimento os quais foram: Testemunha (sem irrigação), 40 sem, 80 sem, 120 sem, 160 sem, 200 sem, 40 com, 80 com, 120 com, 160 com e 200 com. A denominação “com” indica a adoção da suspensão da irrigação em julho e agosto e a expressão “sim”, a não adoção desse tipo de manejo, indicando que as plantas foram irrigadas o ano inteiro.

Foi verificada diferença estatística apenas para a característica produtividade, indicando que a irrigação, bem como as diferentes quantidades de água aplicada e forma de manejo (com e sem a suspensão da irrigação) não influenciaram a renda do cafeeiro. Apesar de não ter havido diferença entre os tratamentos, verificou-se que a Testemunha apresentou o maior valor médio ao longo dos três anos avaliados (2,01) e o tratamento 40% da ECA com adoção da suspensão da irrigação em julho e agosto, o menor valor (1,82). Não foi verificada tendência de superioridade dos tratamentos com suspensão da irrigação em relação aos irrigados o ano inteiro. Silva et al. (2005a) avaliando a renda em cafeeiros cultivados em Varre-Sai – RJ verificaram que as lâminas de irrigação testadas pouco influenciaram a renda do café.

Segundo Matiello et al. (2005), o valor de renda considerado normal para o cafeeiro arábica é 2 (2 kg de café em “coco” para 1 kg de café beneficiado). Rotondano (2003) obteve em Uberlândia-MG uma renda de 3,88, a qual pode ser considerada como muito alta e que proporciona grandes prejuízos, já que boa parte dos frutos possui lojas vazias ou com frutos mal formados. Segundo o autor, a lâmina de irrigação que proporcionou esse valor foi àquela correspondente a 140% da evaporação da água do tanque.

Para a característica que apresentou significância no teste F (produtividade) foi aplicado o teste de médias (Tabela 3). Analisando a referida tabela nota-se que o melhor resultado para produtividade ao longo dos três anos de avaliação (2004, 2005 e 2006) foi conseguido pelos tratamentos 80%, 120% e 200% da ECA manejados sem o uso do repouso em julho e agosto.

Tabela 3 - Resultado do teste de médias¹ para produtividade

		Tratamentos	Produtividade
Testemunha			30,1 d
		40% ECA	53,8 b
		80% ECA	70,5 a
Sem repouso		120% ECA	64,2 a
		160% ECA	57,6 b
		200% ECA	63,5 a
Irrigados		40% ECA	43,6 c
		80% ECA	51,8 b
Com repouso		120% ECA	44,2 c
		160% ECA	54,3 b
		200% ECA	50,0 b

Nota: ¹ médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade

Pode-se verificar também, que a adoção do repouso influenciou negativamente a produtividade das plantas. Esse resultado contradiz àqueles obtidos por Santinato, Silva e

Fernandes (2003), no qual avaliando diferentes manejos de irrigação no cafeeiro cultivado em Franca-SP, observaram que a suspensão da irrigação trouxe prejuízos à produção apenas quando coincidiu com a florada. Como as floradas do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG ocorrem, normalmente, nos meses de setembro e outubro, era de se esperar que a suspensão da irrigação durante os meses de julho e agosto não afetasse a produção das plantas.

Resultado semelhante ao aqui encontrado foi obtido por Coelho et al. (2005). Os autores verificaram que a irrigação realizada de junho a setembro promoveu melhores resultados na produtividade do cafeeiro cultivado em Lavras-MG, quando comparada com irrigações de julho a setembro e somente em setembro, provando que quanto menor o período com déficit hídrico, melhores são os resultados.

Nesse sentido, Silva et al. (2003), avaliando o efeito da época de irrigação e do parcelamento da adubação sobre a produtividade do cafeeiro, também em Lavras-MG, observaram que as irrigações de junho a outubro proporcionaram maior produtividade. Os autores atribuíram o fato de as irrigações no período de junho a outubro promoverem as melhores produtividades em função da coincidência com a florada, período este, em que o suprimento de água determina o pegamento ou descarte da flor pela planta.

Neste trabalho o tratamento Testemunha foi aquele onde a produtividade foi a mais baixa, indicando que o uso da irrigação em cafeeiros cultivados em Uberlândia-MG é uma prática vantajosa. A Figura 16A mostra a condição das plantas do tratamento Testemunha no início do mês de outubro/2004 em comparação com aquelas de um tratamento irrigado. Essa superioridade das plantas irrigadas em relação às não irrigadas também foi encontrada por Rotondano (2003) em Uberlândia-MG, Soares (2005) em Patrocínio-MG e por Faria et al. (2002) em Lavras-MG.

Por outro lado, pode haver anos, principalmente aqueles de altas produções, onde cafeeiros conduzidos sob regime de sequeiro podem produzir de maneira equivalente aos irrigados. Isso aconteceu na safra 2005/2006, na qual foi alcançada uma média de 70,6 sacas ha⁻¹. No entanto, foi observado pelos dados obtidos ao longo dos três anos, que em cafeeiros de sequeiro a alternância de produções ou, também denominada, bianualidade de produção é bastante irregular e acentuada. Não obstante, o uso da irrigação favoreceu a diminuição dos picos

de produção, mas não evitou que a alternância produtiva acontecesse. Essa situação também foi verificada por Coelho et al. (2005).

Verificando que houve diferenças entre os tratamentos submetidos ou não à suspensão da irrigação durante os meses de julho e agosto na produtividade das plantas, foram realizadas duas análises estatísticas (Tabela 4) objetivando identificar as melhores lâminas juntamente com a testemunha entre cada tipo de manejo (sem e com suspensão da irrigação).

Foram testadas as seguintes composições: “Lâminas sem suspensão + testemunha” composta pela Testemunha e as lâminas de irrigação de 40%, 80%, 120%, 160% e 200% da ECA sem o uso do repouso e; “Lâminas com suspensão + testemunha” composta pela Testemunha e as lâminas de irrigação de 40%, 80%, 120%, 160% e 200% da ECA com o uso do repouso. Em todos os casos, o tratamento testemunha foi adotado como lâmina zero, objetivando analisa-los na forma de regressão.

Analisando a Tabela 4 verifica-se que houve efeito significativo para produtividade das plantas apenas para as lâminas manejadas continuamente, ou seja, sem o uso da suspensão da irrigação nos meses de julho e agosto. Diante disso, foi realizada análise de regressão objetivando encontrar uma equação matemática que explicasse o comportamento produtivo das plantas quando submetidas às diferentes lâminas de irrigação.

Tabela 4 - Resultado da análise de variância para produtividade do cafeeiro, em função das lâminas de irrigação aplicadas e do tipo de manejo adotado

Causas da variação	G. L.	Produtividade
Bloco	3	225,0737*
Lâminas sem suspensão + testemunha	5	805,6677**
Erro	15	66,9231
Coeficiente de variação (%)		14,45
Bloco	3	225,8861 ^{NS}
Lâminas com suspensão + testemunha	5	302,9860 ^{NS}
Erro	15	127,3424
Coeficiente de variação (%)		24,71

Nota: ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{NS} Não significativo pelo teste F

Na Figura 6 estão detalhadas as funções de produção água aplicada *versus* produtividade, bem como o resultado do teste de regressão para esse parâmetro. Verifica-se por essas Figuras que o coeficiente de determinação (R^2) do modelo não linear (Figura 6d) foi superior em relação aos demais. Segundo Fabeiro Cortês, Santa Olalla e López Urrea (2003), o coeficiente de determinação (R^2) é um dos parâmetros estatísticos que atestam a eficiência da função em prever o comportamento dos dados. Por outro lado, esse modelo não foi significativo pelo teste F, o qual informa que o termo raiz quadrada incluído no final da equação não linear não causou influência na predição do comportamento dos dados e que, portanto, o mesmo pode ser retirado.

Os outros modelos foram altamente significativos pelo teste F e apresentaram um valor satisfatório para o coeficiente de determinação, com exceção do modelo linear que não reproduziu de forma aceitável a realidade dos dados, já que o coeficiente de determinação calculado foi baixo (41,8%, Figura 6a), indicando que ao se usar esse modelo, apenas 41,8% das variações da produtividade podem ser explicadas pela variação das lâminas de irrigação.

Nota-se que os modelos não linear e raiz quadrada promovem melhor ajuste principalmente no início da curva, mais precisamente entre a produção dada pela testemunha (lâmina 0) e da lâmina de 40%, trecho esse, que apresenta um comportamento linear característico. Como cita Solomon (1985), em algumas situações uma função polinomial de segundo grau pode não ser a mais indicada. Segundo Hexen e Heady (1978 apud FRIZZONE, 2005), nesses casos, verifica-se um comportamento linear dos dados até aproximadamente metade da quantidade de água aplicada. A partir desse ponto, para maiores quantidades de água aplicada os acréscimos na produção são progressivamente menores, refletindo as várias perdas de água que ocorrem próximas da condição de máxima produtividade. Esta situação foi verificada neste trabalho, onde se observa decréscimo na produtividade a partir da lâmina de 80%, persistindo até 160% da ECA, voltando a subir na lâmina de 200% da ECA.

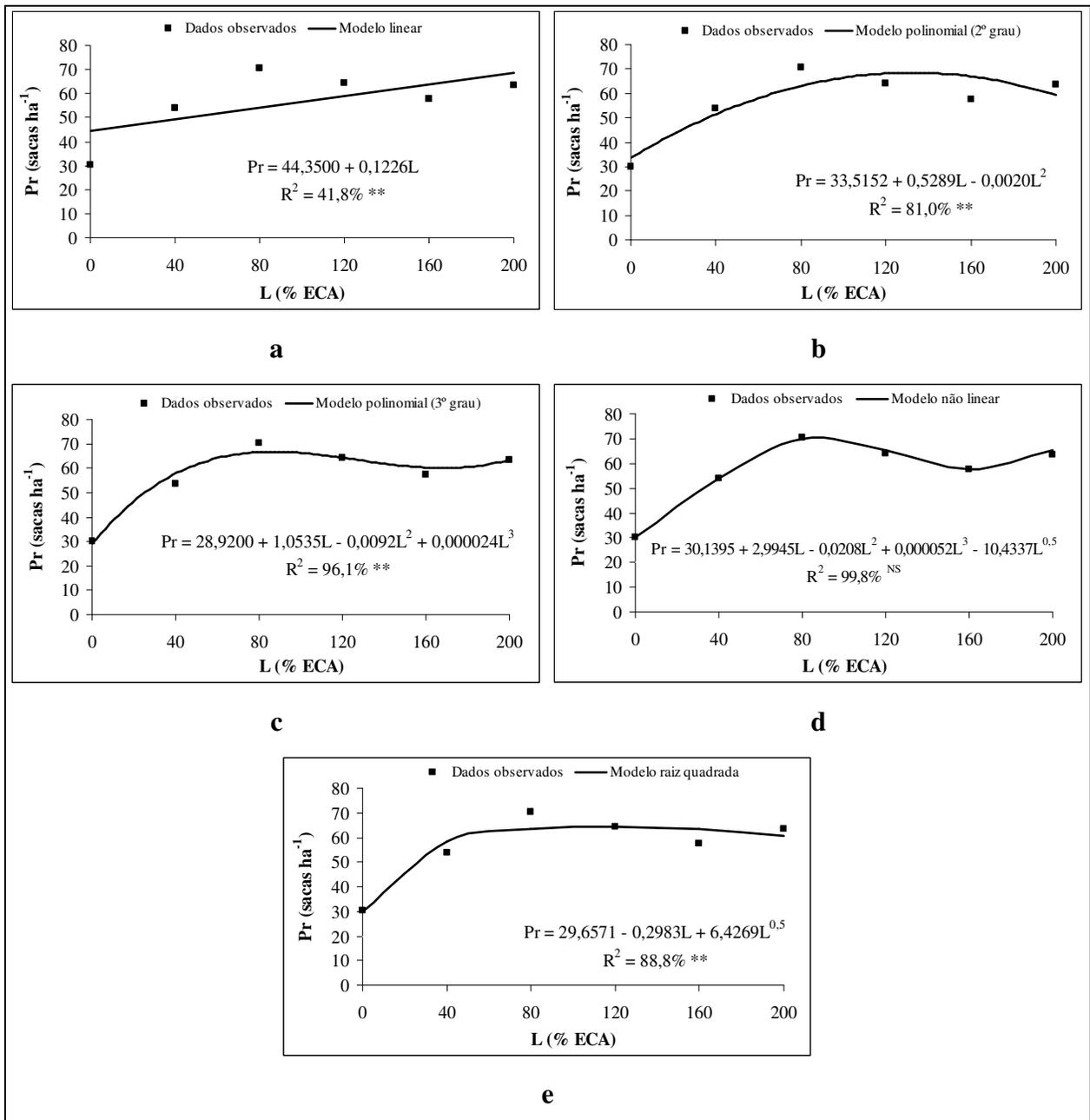


Figura 6 - Resultado dos testes de modelos de regressão da produtividade (Pr) em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas (L), manejadas sem o uso da suspensão da irrigação em julho e agosto

Analisando as curvas dos modelos de regressão representados na Figura 6, verifica-se que as maiores produtividades podem ser conseguidas quando se aplica as lâminas de 80% à até

160% da ECA. O ponto de máxima produtividade pode ser obtido quando se calcula a derivada primeira da equação da produtividade em função da lâmina de irrigação e iguala-se a relação a zero. Diante disso, foi calculado o ponto de máxima de cada equação de regressão citada nas Figuras 6b, 6c e 6e (Tabela 5). Especificamente para a equação polinomial de terceiro grau foi calculada a primeira derivada e a seguir, as raízes da derivada primeira, sendo encontrados os pontos de máxima local (86,6% ECA) e de mínima local (168,9% ECA). No entanto, não tem sentido prático adotar o ponto de mínima, uma vez que se deseja aquele onde a produtividade é máxima, ou como neste caso, onde a variação é aproximadamente nula.

Tabela 5 - Valores de lâmina de irrigação para obtenção da produtividade máxima da cultura (Pr_{\max}), dada pelos modelos de regressão apresentados nas Figuras 6b, 6c e 6e

Modelos de regressão	Lâmina de irrigação para Pr_{\max}
	(% ECA)
Polinomial de 2º grau	132,0
Polinomial de 3º grau	86,6
Potencial	116,1

Os resultados de lâmina máxima obtidos neste trabalho se assemelham com aquele encontrado por Rotondano (2003) na safra 2002/2003 em cafeeiros da variedade cultivada Rubi-1192, cultivados em Uberlândia-MG. Esse autor derivou uma equação polinomial de segundo grau e encontrou a lâmina correspondente à 137,5% da evaporação da água do tanque classe A.

Por outro lado, Teodoro et al. (2005) encontraram em experimento com diferentes lâminas de irrigação também em Uberlândia-MG na safra 2003/2004, produtividade de cafeeiros da variedade cultivada Rubi-1192 em torno de 115,3 sacos ha^{-1} , para uma lâmina equivalente a 164% da ECA.

Dentre os modelos de regressão apresentados verifica-se que o polinomial de terceiro grau representou com maior precisão o comportamento do cafeeiro submetido a diferentes lâminas de irrigação. Isso foi possível devido ao comportamento dos dados, nos quais se pôde notar uma tendência de formação de um outro pico de máxima após a lâmina de 200%, precedido por um

pico de mínima no ponto atribuído à lâmina de 160%. Por outro lado, a obtenção do ponto de máxima é, na maioria dos casos, trabalhosa e exige a adoção de cálculos mais complexos. O modelo polinomial de segundo grau é o de uso mais comum na determinação de função de produção da cultura em relação à quantidade de água aplicada, e neste trabalho, apresentou resultados satisfatórios quando comparado com o modelo raiz quadrada e polinomial de terceiro grau.

O uso dos modelos de regressão permite que se possa verificar o comportamento da variável dependente a partir da variação de valores atribuídos à variável independente. No entanto, a adoção do ponto de máxima da curva de regressão como aquele de uso incondicional se torna muitas vezes equivocado.

Analisando os dados contidos na Tabela 5, nota-se que as lâminas que poderiam promover a máxima produtividade estariam entre 86,6% e 132,0%, dependendo de qual modelo se estaria adotando. Por outro lado, pelos dados contidos na Tabela 3 observa-se que a lâmina de 80% da ECA promoveu o maior valor de produtividade ao longo dos três anos avaliados, sendo portanto, a mais indicada uma vez que une maior produtividade com menor consumo de água.

2.6.4 Influência dos tratamentos nos parâmetros de crescimento do cafeeiro

Neste trabalho denominam-se parâmetros de crescimento como sendo a altura da planta e os diâmetros da copa e do caule. Segundo Matiello et al. (2005), essas características são fontes importantes para a caracterização do bom desenvolvimento do cafeeiro.

Na Tabela 6 estão detalhados os resultados da análise de variância para os parâmetros de crescimento avaliados neste trabalho. Analisando-a verifica-se que houve efeito altamente significativo para todas as referidas características.

Sendo assim, foi aplicado o teste de médias a fim de distinguir os tratamentos com melhor efeito em cada característica avaliada (Tabela 7). Analisando o resultado do referido teste, nota-se que para altura das plantas, os piores resultados foram observados para os tratamentos Testemunha, 40% da ECA sem a adoção do repouso da irrigação e 40% e 120% da ECA com a adoção do repouso da irrigação nos meses de julho e agosto. Os outros tratamentos não diferiram estatisticamente entre si pelo teste utilizado.

Tabela 6 - Resultado da análise de variância dos parâmetros de crescimento do cafeeiro, em função dos tratamentos testados

Causas da variação	G. L.	Altura¹	D. Copa²	D. Caule³
Bloco	3	0,0571**	0,0082 ^{NS}	4,9084 ^{NS}
Tratamento	10	0,0331**	0,0193**	17,7332**
Erro	30	0,0067	0,0061	4,0844
Coeficiente de variação (%)		3,87	3,82	3,18

Nota: ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{NS} Não significativo pelo teste F; ¹ altura da planta (m); ² diâmetro da copa (m); ³ diâmetro do caule (mm).

Tabela 7 - Resultado do teste de médias¹ para os parâmetros de crescimento do cafeeiro

Tratamentos		Altura	D. Copa	D. Caule
Testemunha		1,97 b	1,93 b	59,1 b
	40	2,03 b	1,92 b	60,5 b
	80	2,13 a	2,01 a	64,8 a
Sem repouso	120	2,19 a	2,11 a	64,3 a
	160	2,19 a	2,04 a	64,6 a
	200	2,20 a	2,12 a	64,4 a
	40	2,03 b	2,06 a	63,5 a
	80	2,06 a	2,08 a	62,5 a
Com repouso	120	1,99 b	2,03 a	64,3 a
	160	2,17 a	2,12 a	66,3 a
	200	2,21 a	2,10 a	64,7 a

Nota: ¹ médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade

No que diz respeito às características diâmetro da copa e do caule, que os piores resultados foram obtidos pelos tratamentos Testemunha e 40% da ECA sem a adoção da suspensão da irrigação nos meses de julho agosto. O restante dos tratamentos apresentou resultados estatísticos semelhantes.

Não obstante, destaca-se o fato do tratamento 40% da ECA com suspensão da irrigação em julho e agosto ter apresentado um crescimento da copa e do caule superior aos tratamentos Testemunha e 40% da ECA sem repouso. Isso pode ser atribuído ao maior aprofundamento do sistema radicular imposto ao tratamento de 40% da ECA quando submetido à suspensão da irrigação em julho e agosto. Esse maior crescimento do sistema radicular promoveu maior crescimento do caule, assim como, parece ter influenciado o desenvolvimento da copa. Por outro

lado, conforme citado na Tabela 3, isso pode ter contribuído para a que esse tratamento apresentasse umas das menores produtividades ao longo dos três anos avaliados.

Os resultados contidos na Tabela 7 provam a afirmação de que julho e agosto corresponde a um período de relativo repouso vegetativo, conforme citam Camargo e Camargo (2001), onde o crescimento do cafeeiro não se verifica ou é muito pequeno. Isso pode ser comprovado pela semelhança estatística dos resultados entre as plantas que foram submetidas ao repouso da irrigação durante esses meses e aquelas que não foram. Por outro lado, verifica-se, também, que o uso da irrigação durante o restante dos meses do ano, mesmo durante o período chuvoso, promove melhores resultados do que os não irrigados, ou aqueles irrigados durante todo o ano com lâmina pequena (40% da ECA).

Os resultados contidos na Tabela 7 informam também, que existe diferença entre os tratamentos testados no experimento no que diz respeito às características de crescimento do cafeeiro. Por esse resultado, pode-se inferir que existe influência da adoção do repouso da irrigação nas referidas características. Por outro lado, um estudo mais minucioso entre as lâminas de irrigação e a Testemunha (lâmina zero) dentro de cada tipo de manejo (com e sem suspensão da irrigação), pode elucidar ainda mais as explicações a cerca dos resultados.

Na Tabela 8 estão contidos os resultados da análise de variância desse estudo. Ao analisá-la verifica-se que em todas as situações analisadas (lâminas de irrigação sem repouso e testemunha e lâminas de irrigação com repouso e testemunha) foi encontrada significância pelo teste F, provando que os resultados obtidos nos tratamentos envolvidos na análise diferem entre si.

Tabela 8 - Resultado da análise de variância dos parâmetros de crescimento do cafeeiro, em função das lâminas de irrigação aplicadas e do tipo de manejo adotado

Causas da variação	G. L.	Altura	D. Copa	D. Caule
Bloco	3	0,0384*	0,0011 ^{NS}	3,9379 ^{NS}
Lâminas sem repouso + testemunha	5	0,0092*	0,0285**	25,3606**
Erro	15	0,0092	0,0059	5,4226
Coeficiente de variação (%)		4,54	3,79	3,70
Bloco	3	0,0422**	0,0250*	4,1932 ^{NS}
Lâminas com repouso + testemunha	5	0,0373**	0,0170*	24,4482**
Erro	15	0,0069	0,0046	3,4909
Coeficiente de variação (%)		4,01	3,32	2,95

Nota: ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{NS} Não significativo pelo teste F

Diante desse resultado, foi aplicado o teste de regressão para cada situação. Diferentemente do delineamento dado para produtividade das plantas, onde foram calculados diversos modelos de regressão, neste caso, foram testados os modelos mais comuns para esse tipo de característica, os quais são o linear e o polinomial de segundo grau.

O resultado do teste de regressão para os parâmetros altura, diâmetro da copa e diâmetro do caule, submetidos à irrigação durante todo o ano, estão compilados na Figura 7. Com relação à altura das plantas (Figura 7a), verifica-se que o modelo de regressão linear foi significativo pelo teste F, bem como apresentou bom valor de coeficiente de correlação. Já o modelo polinomial de segundo grau apresentou um alto valor desse coeficiente, porém, não foi significativo pelo teste F. Um comportamento linear no crescimento das plantas em relação à água aplicada também foi encontrado por Guimarães et al. (2002), Faria et al. (2002) e Alves (1999).

Nota-se pelo modelo linear que o crescimento em altura do cafeeiro é bastante responsivo à água aplicada, visto que o tratamento Testemunha (sem irrigação) promoveu o pior resultado.

Por outro lado, as lâminas que propiciaram os melhores resultados foram as de 120%, 160% e 200%, apresentando valores de 2,19 m, 2,19 m e 2,20 m, respectivamente, mostrando que a maior umidade no solo favoreceu o crescimento das plantas. Esses dados estão em concordância com a afirmação de Silva et al. (2002). Esses autores verificaram que o crescimento vegetativo inicial do cafeeiro foi maior nos tratamentos que mantiveram o solo próximo à capacidade de campo.

Os resultados obtidos neste trabalho estão coerentes com aqueles encontrados por alguns autores nessa mesma região. Em trabalho realizado em Uberlândia-MG, Rotondano (2004) observou em cafeeiros com idade entre 19 e 29 meses que as melhores lâminas após três avaliações no intervalo de um ano, foram as equivalentes a 158,9%, 152,6% e 150,9% da ECA, respectivamente. Resultado semelhante foi obtido nesse mesmo experimento em julho/2004 por Teodoro et al. (2005), onde observaram que a melhor lâmina para a altura das plantas foi a correspondente a 123% da evaporação da água do tanque classe A (ECA).

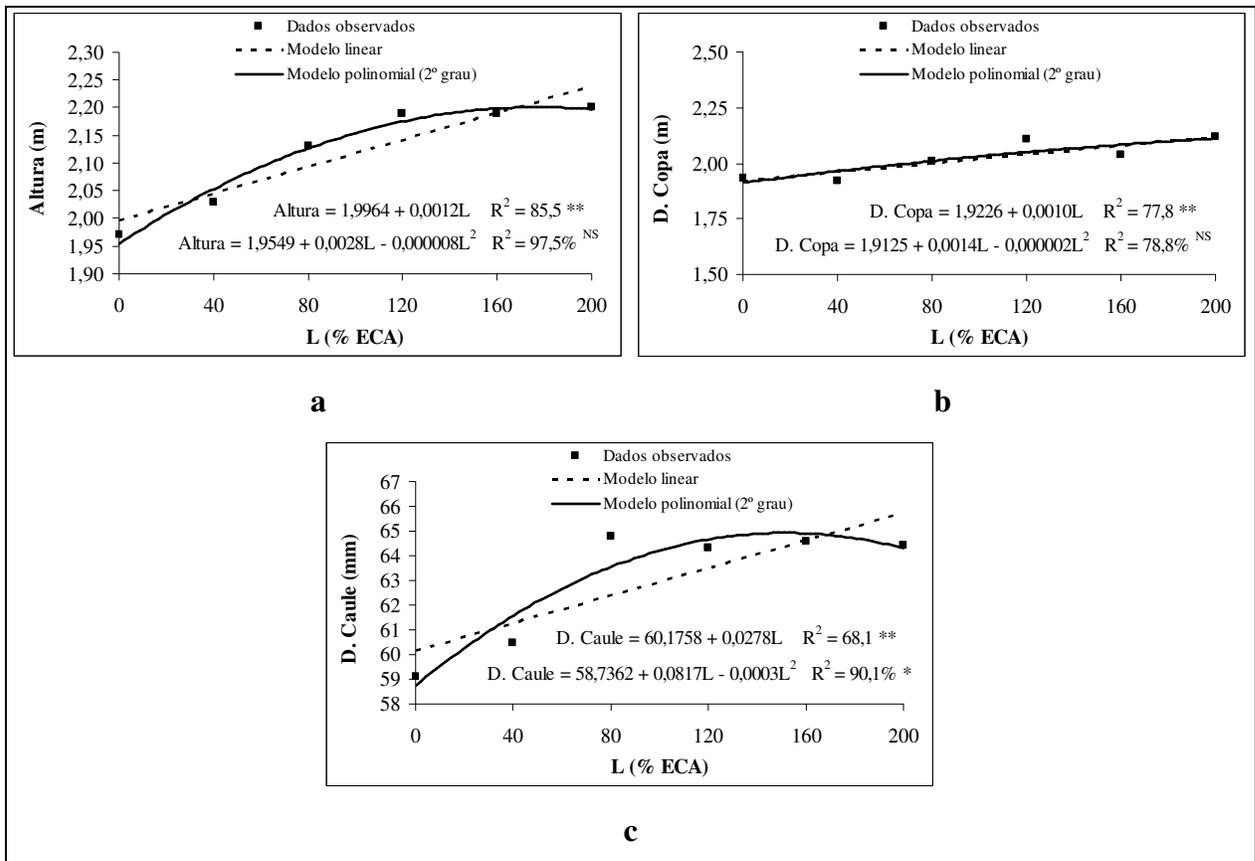


Figura 7 - Resultado do teste de regressão para altura (a), diâmetro da copa (b) e diâmetro do caule (c) do cafeeiro, em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas (L), manejadas sem o uso da suspensão da irrigação em julho e agosto

É importante ressaltar que Rotondano (2004) e Teodoro et al. (2005) aplicaram o modelo de regressão polinomial de segundo grau e derivaram a equação obtendo os resultados citados anteriormente. Entretanto, esses autores não verificaram o nível de significância da equação, o que pode ter influenciado o resultado.

No entanto, do ponto de vista agrônomo, quando a maior altura do cafeeiro não vem acompanhada de um aumento de produção, origina-se então, um problema para o produtor, uma vez que dificulta a colheita, impondo ao agricultor a necessidade de decotar as plantas mais cedo. Sendo assim, destaca-se o tratamento 80% da evaporação da água do tanque classe A, manejado com irrigação o ano inteiro, onde a produtividade obtida foi uma das mais altas, apresentando

semelhança estatística com os tratamentos 120% e 200%, porém, com a menor quantidade de água aplicada.

No que diz respeito ao diâmetro da copa (Figura 7b), verifica-se que apenas o modelo de regressão linear apresentou significância pelo teste F. Chama a atenção também, a pequena variação na metragem das plantas entre os tratamentos, provando que essa característica não é tão responsiva à água quanto à altura das plantas, apesar do comportamento crescente em relação às lâminas de irrigação. Ainda nessa Figura, nota-se que o tratamento 40% apresentou o menor valor no diâmetro da copa (1,92 m), muito próximo daquele obtido pela Testemunha, que foi de 1,93 m. O maior valor para essa característica foi conseguido pelo tratamento 200% da ECA (2,12 m), muito próximo daquele obtido pelo tratamento 120% (2,11 m).

Alguns autores encontraram resultados discrepantes dos aqui apresentados. Rotondano (2004), em Uberlândia-MG, observou em cafeeiros com idade entre 19 e 29 meses que as melhores lâminas para o diâmetro da copa das plantas, após três avaliações no intervalo de um ano, foram aquelas equivalentes a 140,3%, 139,8% e 150,8% da ECA, respectivamente. Nesse mesmo experimento, em julho do ano seguinte, Teodoro et al. (2005), observaram que a melhor lâmina para esse parâmetro foi àquela correspondente a 147% da evaporação da água do tanque classe A, muito próxima daquela encontrada por Rotondano (2003).

Soares (2005), avaliando diferentes lâminas de irrigação na altura e no diâmetro da copa das plantas, em Patrocínio-MG, verificou que aquela correspondente a 75% da evapotranspiração da cultura (ETc), propiciou os melhores resultados. Apesar da metodologia de cálculo da lâmina de irrigação ser diferente daquela apresentada neste trabalho, pode-se perceber grande diferença entre os resultados. No entanto, existe consenso entre todos esses autores de que a irrigação é altamente benéfica para o desenvolvimento da planta em altura e diâmetro da copa.

Na Figura 7c estão compilados os resultados do diâmetro do caule das plantas de café, em função dos tratamentos avaliados. Analisando a referida figura nota-se que tanto o modelo linear quanto o polinomial de segundo grau apresentaram significância pelo teste F. No entanto, o coeficiente de determinação do modelo polinomial foi muito superior ao do linear, indicando que aquele modelo explica com maior confiabilidade o comportamento do diâmetro do caule em

função das lâminas de irrigação aplicadas, o que atesta a sua escolha em detrimento do modelo linear.

Normalmente, quando se utiliza o modelo polinomial de segundo grau calcula-se o ponto de máxima da curva de regressão, obtendo-se o valor da variável independente que proporciona o maior valor da variável dependente. Neste caso, ao derivar a equação de segundo grau contida na Figura 7c, foi obtido o valor 136,2, o que equivale afirmar, segundo o modelo adotado, que a lâmina de irrigação que proporcionará o máximo diâmetro do caule das plantas entre 42 e 60 meses de idade será de 136,2% da ECA. No entanto, verifica-se que o tratamento 80% se sobressai em relação aos demais (Figura 7c), indicando que se essa lâmina for adotada, proporcionará bom desenvolvimento do caule das plantas e economia de água, em relação à lâmina de 136,2% da ECA.

Além disso, nota-se pela referida figura que o tratamento Testemunha propiciou o pior resultado para essa característica (59,1 mm), seguido de perto pelo tratamento 40% da ECA, que proporcionou um desenvolvimento de 60,5 mm.

Alguns autores encontraram resultados semelhantes àquele obtido neste trabalho para a lâmina de máximo desenvolvimento do caule. Rotondano (2003) obteve, após três avaliações em cafeeiros da variedade cultivada Rubi-1192 com idade entre 19 e 29 meses, que a lâmina para o máximo desenvolvimento do caule seria 151,9%, 148,1% e 158,4%. Corroborando com esse resultado, Teodoro et al. (2005) nesse mesmo experimento em julho/2004 verificou que a lâmina de 152% da ECA foi aquela que promoveu os melhores resultados para esse parâmetro.

Por outro lado, Soares (2005) em Patrocínio-MG, região com características climáticas semelhantes daquelas verificadas em Uberlândia-MG, verificou que o uso da irrigação não alterou o ritmo de crescimento do diâmetro do caule das plantas de café da variedade cultivada Rubi-1192, mesmo quando comparado com plantas de sequeiro.

Como citado anteriormente, pela Tabela 8 verificou-se que houve diferença pelo teste F em todas as situações analisadas, as quais foram lâminas de irrigação sem repouso e testemunha e lâminas de irrigação com repouso e testemunha. O primeiro caso foi exposto e discutido anteriormente, sendo que, neste ponto, serão abordados e discutidos os resultados obtidos na análise regressão para a composição lâminas de irrigação com a adoção da suspensão da irrigação

nos meses de julho e agosto, juntamente com a testemunha. Como para o caso anterior, a Testemunha foi tratada como a lâmina zero, ou seja, sem irrigação. Objetivou-se com essa análise, identificar qual a melhor lâmina de irrigação quando o manejo de água é feito com o repouso da irrigação em julho e agosto, bem como comparar esse resultado com aquele proporcionado quando a irrigação não foi adotada (Testemunha).

Na Figura 8 estão reunidos os resultados obtidos para as características de altura, diâmetro da copa e diâmetro caule das plantas do cafeeiro submetidas às diferentes lâminas de irrigação (0% (Testemunha), 40%, 80%, 120%, 160% e 200% da evaporação da água do tanque classe A) e manejadas com a adoção da suspensão da irrigação nos meses de julho e agosto.

Para todas as características avaliadas foram aplicados os modelos de regressão linear e polinomial de segundo grau. Em todas as situações, o último modelo não apresentou significância pelo teste F, o que faz com que as discussões a cerca do resultado desse modelo sejam evitadas.

Para a altura das plantas (Figura 8a), nota-se um comportamento linear crescente da altura em relação às quantidades de água aplicada. A maior altura foi proporcionada pela lâmina de 200% da ECA (2,21 m) e a menor, a Testemunha (1,97 m) seguida de perto pelo tratamento 120% (1,99 m).

Com relação ao diâmetro da copa (Figura 8b), verifica-se assim como notado na altura, que existe uma tendência de aumento linear do diâmetro da copa das plantas com o aumento da quantidade de água aplicada. Observa-se também que o tratamento Testemunha proporcionou o pior resultado para essa característica (1,93 m), sendo acompanhado pelo tratamento 120% com 2,03 m. Não foi encontrada explicação para a menor altura e diâmetro da copa das plantas submetidas à lâmina de 120% da ECA. Além disso, verificou-se também, que o repouso na irrigação influenciou a produtividade das plantas desse tratamento, uma vez que o valor obtido nele foi superior estatisticamente apenas à Testemunha (Tabela 3).

Para a característica diâmetro do caule (Figura 8c), verifica-se, também, um comportamento linear crescente com o aumento da quantidade de água aplicada. Além disso, nota-se que a Testemunha apresentou o pior resultado para essa característica (59,1 mm), mostrando que o diâmetro do caule das plantas de café é bastante responsivo à irrigação.

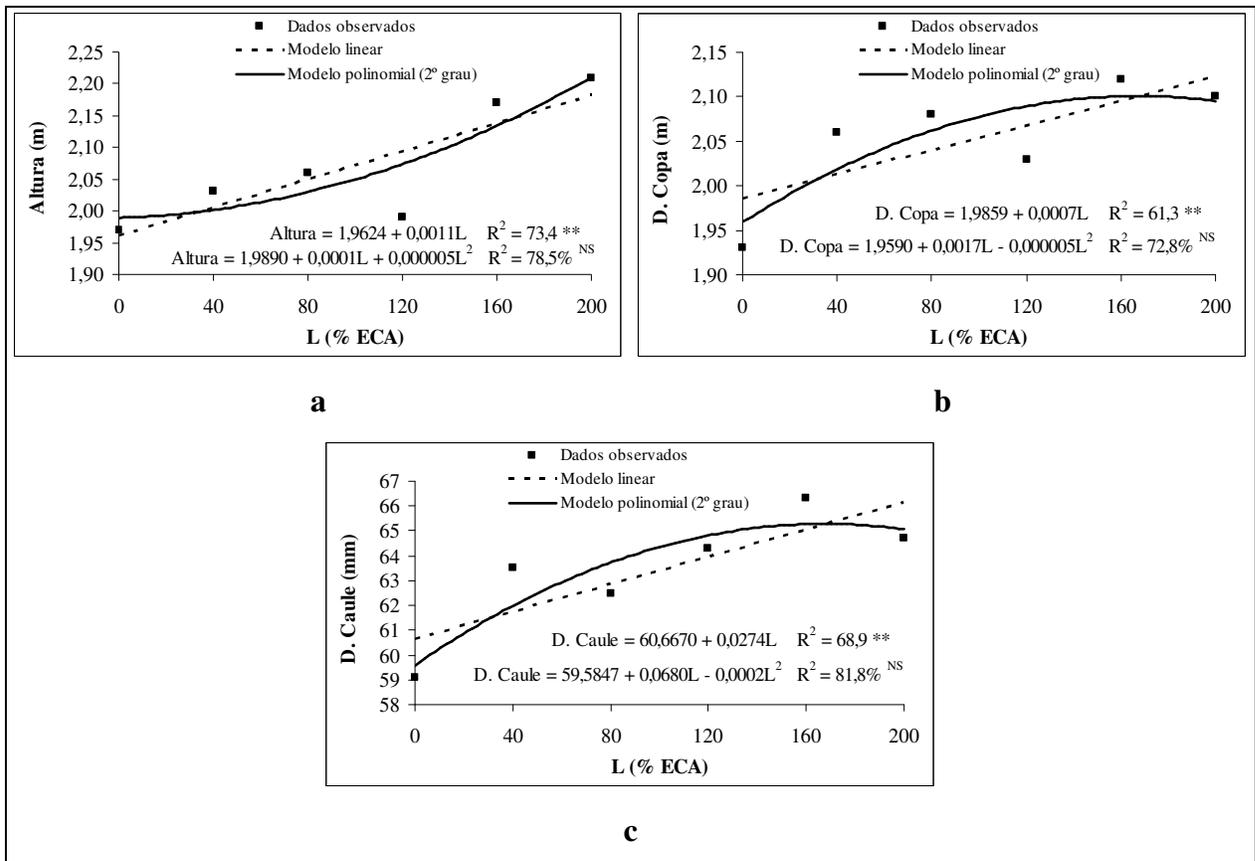


Figura 8 - Resultado do teste de regressão para altura (a), diâmetro da copa (b) e diâmetro do caule (c) do cafeeiro em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas (L), manejadas com o uso da suspensão da irrigação em julho e agosto

2.6.5 Influência dos tratamentos na qualidade física e sensorial do café

Na Tabela 9 estão compilados os valores médios dos parâmetros físicos e da análise sensorial (bebida) dos grãos de café colhidos ao longo das três safras avaliadas (2003/2004, 2004/2005 e 2005/2006). Analisando a referida Tabela, nota-se que a adoção da suspensão da irrigação nos meses de julho e agosto promoveu menores porcentagens de catação, fundo e peneiras 17/18, 14/16 e 10, além de menor número de defeitos dos grãos, provando o que já há muito tempo vem sendo comentado no meio cafeeiro, que um período de repouso na irrigação é benéfico para a uniformização da florada, colaborando assim, para uma melhoria da qualidade dos grãos de café.

Além disso, observa-se também que os tratamentos que promoveram as maiores produtividades (80%, 120% e 200% da ECA sem a adoção do repouso em julho e agosto), produziram grãos com maior número de defeitos, as maiores percentagens de catação (80% e 120%) e peneira 10 (120% e 200%), mostrando que altas produções vêm acompanhadas de uma piora na qualidade do produto colhido.

No entanto, caso se deseje primar pela qualidade do produto colhido em detrimento da maior produtividade, pode-se adotar a lâmina de 80% da ECA com a adoção do repouso na irrigação em julho e agosto, a qual promoveu entre as lâminas submetidas a esse tipo de manejo os menores valores de catação, peneira 10 e defeito. Além disso, proporcionou a maior porcentagem de peneira 17/18 e uma das maiores produtividades (51,8 sacas ha⁻¹), não diferindo estatisticamente da lâmina de 160% (54,3 sacas ha⁻¹), a qual apresentou o maior valor entre os tratamentos com repouso na irrigação.

O tratamento Testemunha (sem irrigação) promoveu bons valores na qualidade física do café, principalmente no que se refere às peneiras médias (15/16), pequena (10), catação e defeitos (Tabela 9). No entanto, a produtividade média é muito baixa (Tabela 3), o que desestimula sua recomendação.

O uso da suspensão da irrigação em julho e agosto é um assunto de muita discussão entre os produtores e técnicos do setor, porém são poucos os trabalhos que avaliaram o comportamento do cafeeiro, mais especificamente a florada das plantas, quando se adota a suspensão da irrigação durante esses meses.

Em experimento conduzido Planaltina-DF, Guerra et al. (2003), constataram que a suspensão da irrigação por 65 dias durante a colheita uniformizou a florada, sendo que a mesma ocorreu cerca de sete dias após o retorno da irrigação. No entanto, os autores não informaram em que mês a colheita aconteceu, impossibilitando uma comparação mais efetiva entre o resultado apresentado pelos autores e o conseguido neste trabalho.

Tabela 9 - Resultado da análise física e sensorial dos grãos de café

Tratamentos	Defeitos n°	Catação	Peneiras			Fundo	Tipo de Bebida	
			17/18	14/16	10			
			%					
Testemunha	10	4	27	33	29	8	Dura	
	40	15	8	51	15	25	1	Dura
	80	47	10	38	16	35	2	Dura
Sem repouso	120	43	13	35	10	42	1	Dura
	160	23	11	32	13	42	2	Dura
	200	34	8	29	14	47	2	Dura
	40	6	3	42	22	31	2	Dura
	80	8	3	53	18	24	2	Dura
Com repouso	120	16	4	49	19	26	1	Dura
	160	19	7	39	15	38	1	Dura
	200	9	5	46	21	27	1	Dura

No que diz respeito à qualidade sensorial do cafeeiro (bebida), nota-se na Tabela 9 que tanto o tipo de manejo da irrigação, quando os diferentes níveis aplicados às plantas não influenciaram na qualidade da bebida. Neste trabalho, todos os tratamentos foram classificados como “bebida dura”, o qual apresenta gosto acre, adstringente e áspero. Silva et al. (2005b) também não verificaram influência da irrigação na qualidade de bebida do café. Rotondano (2004) verificou em cafeeiros irrigados em Uberlândia-MG, que a irrigação não influenciou na qualidade de bebida, sendo todos os tratamentos irrigados classificados como “bebida dura”.

2.6.6 Resultado do balanço hídrico climatológico para Uberlândia-MG

Com o objetivo de caracterizar a condição hídrica do município de Uberlândia-MG durante os anos de condução deste experimento, foi calculado o balanço hídrico climatológico

sequencial para os anos de 2003, 2004, 2005 e 2006. Sua representação gráfica completa está compilada nas Figuras 9, 10, 11 e 12, respectivamente. Apesar da Figura 9 conter todas as informações do ano de 2003, as avaliações foram realizadas apenas a partir de julho, quando o experimento foi iniciado. Construiu-se o balanço hídrico desde janeiro de 2003, por causa do critério de inicialização dos cálculos, onde se espera que o armazenamento de água no solo seja igual à capacidade de água disponível (CAD). Por outro lado, a Figura 12 apresenta os dados até maio de 2006, pois, nesse mês, o experimento foi encerrado. Para esta análise, a CAD foi considerada como sendo de 100 mm, já que esse valor se enquadra entre aqueles indicados para culturas perenes, conforme citam Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002).

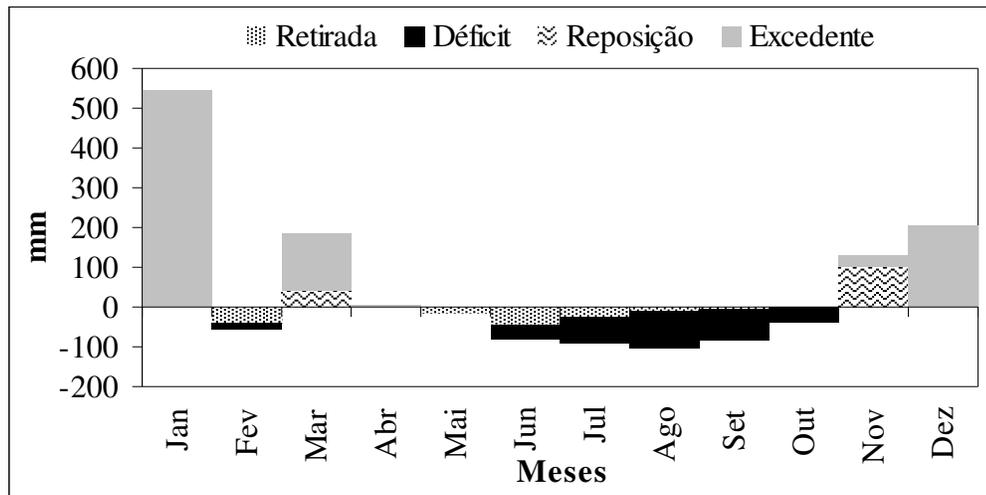


Figura 9 - Balanço hídrico climatológico sequencial para Uberlândia-MG durante o ano de 2003. CAD = 100 mm

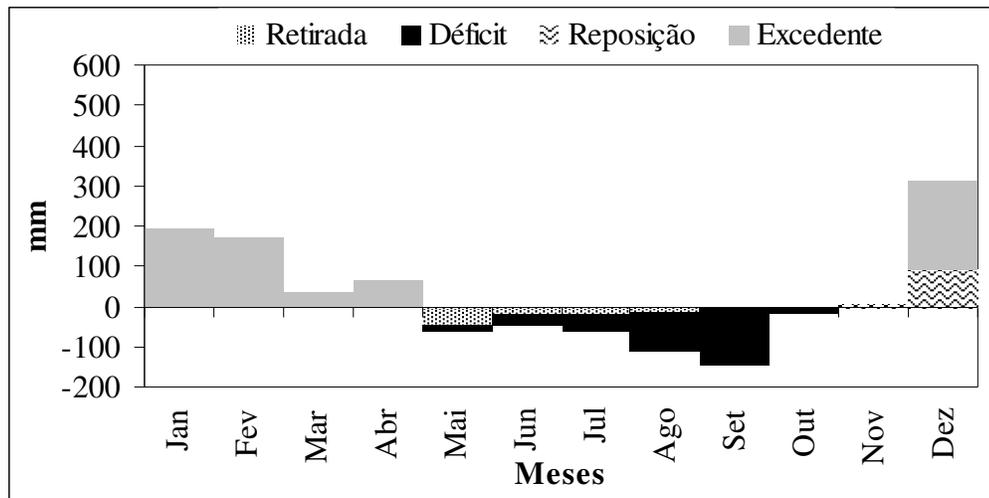


Figura 10 - Balanço hídrico climatológico seqüencial para Uberlândia-MG durante o ano de 2004. CAD = 100 mm

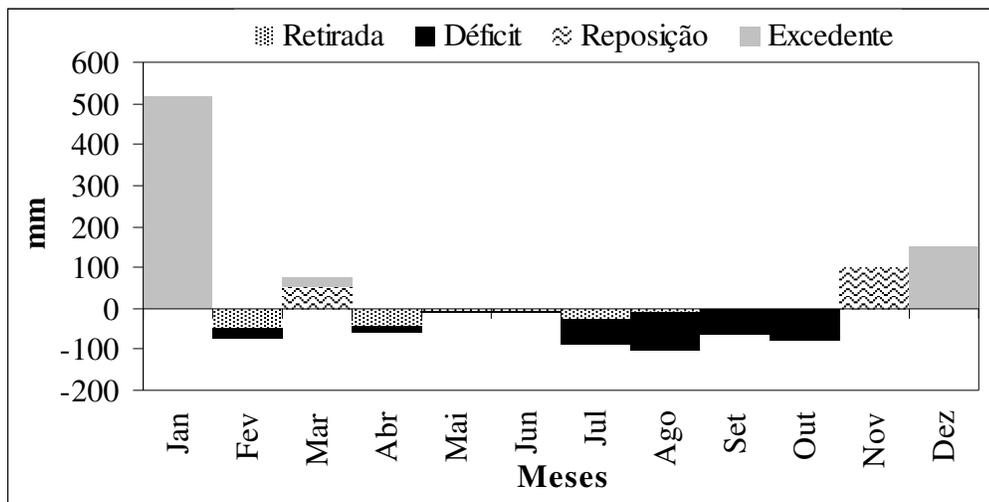


Figura 11 - Balanço hídrico climatológico seqüencial para Uberlândia-MG durante o ano de 2005. CAD = 100 mm

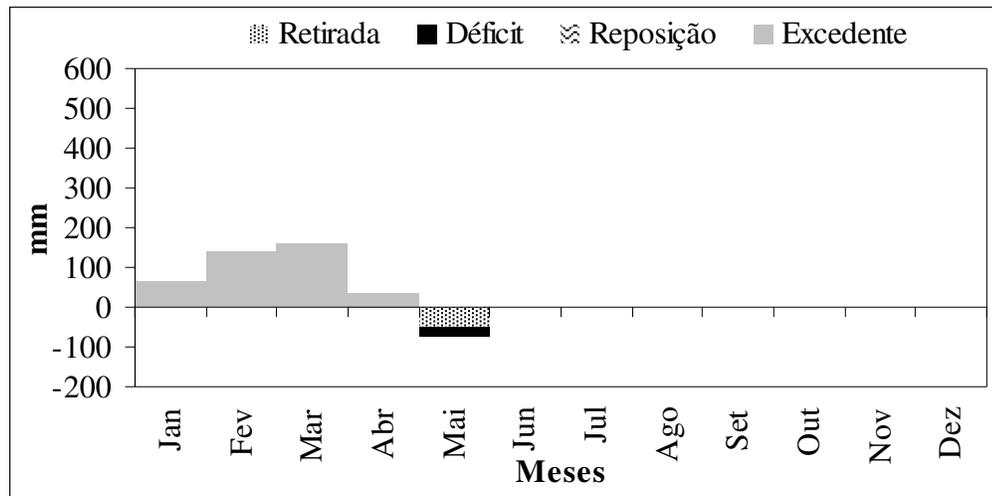


Figura 12 - Balanço hídrico climatológico sequencial para Uberlândia-MG até maio de 2006. CAD = 100 mm

Diante do pouco tempo de avaliação, não se pode inferir sobre a condição hídrica do município de forma incisiva e segura. Porém, analisando as Figuras 9, 10 e 11, verifica-se que a região de Uberlândia-MG apresentou, durante os anos de 2003, 2004 e 2005 um regime hídrico característico das áreas de cerrado, onde o inverno é seco e o verão chuvoso. Isso confirma a citação de Assunção (2002), que caracterizou o regime hídrico de Araguari-MG dessa forma, e afirmou que o mesmo comportamento é verificado em Uberlândia-MG distante 30 km.

O déficit hídrico calculado foi de 333 mm, 346 mm e 336 mm, respectivamente para os anos de 2003, 2004 e 2005. Tomando por base a caracterização de aptidão hídrica para o cafeeiro, citada por Matiello et al. (2005), na qual locais com déficit hídrico anual acima de 200 mm são consideradas inaptas para o cultivo sem irrigação, o município de Uberlândia-MG se enquadraria nessa classificação, apesar de ser bem servido de chuvas, onde volumes anuais nesses anos foram quantificados, respectivamente, em 2019 mm, 1762 mm e 1776 mm, porém, com distribuição ao longo dos meses de forma irregular (Figura 2).

No que se refere à reposição da água no solo, verifica-se que em todos os anos avaliados (Figuras 9, 10 e 11), o período compreendido pelo mês de novembro foi aquele onde a reposição se mostrou mais efetiva. Além disso, observa-se pelos três anos avaliados que o mês seguinte é aquele onde os excedentes hídricos passam a ser verificados com maior constância. Por outro

lado, não é previsível um mês onde as retiradas de água do solo ocorrem com maior frequência, dadas à irregularidade peculiar do término do período chuvoso na região do Triângulo Mineiro, conforme cita Assunção (2002). Verifica-se certa tendência para as retiradas se iniciarem a partir dos meses de abril/maio, porém, em fevereiro foi verificada a presença de veranicos nessa região nos anos de 2003 (Figura 9) e 2005 (Figura 11), fato esse adverso, pois os veranicos são freqüentes no mês de janeiro nessa região.

2.6.7 Balanço hídrico climatológico do cafeeiro

O balanço hídrico representa uma seqüência de cálculos através dos quais se pode fazer a contabilização das entradas e saídas de água do solo, bem como estimar o nível de armazenamento dessa água numa determinada data, ao longo do período de avaliação. Diante disso, em áreas irrigadas, o balanço hídrico pode ser usado para aferir a condição de manejo da irrigação realizada.

Neste trabalho o balanço hídrico foi usado para avaliar diariamente o nível de armazenamento de água no solo e com isso, verificar se as lâminas de irrigação avaliadas no experimento conseguiram suprir a demanda hídrica das plantas. Sendo assim, diante dos diversos tratamentos testados, variáveis quanto à quantidade de água aplicada e do tipo de manejo adotado, foi calculado o balanço hídrico diário para cada um deles.

Em cafeeiros conduzidos sob regime de sequeiro, a produção está diretamente ligada à condição do clima durante o período de florescimento e desenvolvimento vegetativo. Dentre os fatores climáticos podem ser citadas a temperatura e a chuva como os principais. Por outro lado, em ambiente irrigado a falta ou a irregularidade das chuvas deixa de ser um problema, desde que as quantidades de água aplicadas estejam de acordo com a demanda hídrica da planta, para que nem a falta nem o excesso sejam verificados, uma vez que as duas situações são indesejáveis.

Nesse sentido, o balanço hídrico climatológico pode ser usado para quantificar as entradas e saídas de água do solo e com isso, o nível de armazenamento atual da água contida no mesmo. Dessa forma, pode-se usa-lo como um aferidor das quantidades de água aplicadas pelos diversos tratamentos irrigados em referência à capacidade máxima de armazenamento da água do solo,

indicando quando há excesso ou deficiência hídrica. De posse desse conhecimento, a compreensão e as explicações acerca dos resultados obtidos nos tratamentos podem ser bastante ampliadas.

Antes de iniciar os cálculos do balanço hídrico de cultura, foi necessário determinar o valor da capacidade de água disponível no solo até a profundidade efetiva das raízes do cafeeiro. Com base nos resultados obtidos por Matiello et al. (2005), a profundidade onde se localizam a maior parte das raízes finas do cafeeiro adulto é de 85 cm. Sendo assim, esse valor juntamente com os dados de umidade do solo no ponto de capacidade de campo, no ponto de murcha permanente e de densidade do solo, puderam ser usados para a determinação da CAD para o local do experimento (Tabela 10). Pelos dados contidos nessa tabela verifica-se também, que o solo do local foi considerado como argiloso, dada a relação entre os teores de argila, silte e areia presentes nas amostras.

Normalmente em solos profundos como os latossolos, as características físicas se mantêm inalteradas até altas profundidades. Com base nisso, foi assumido que a condição relatada para as profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm se estenderam até os 85 cm. Diante disso, foram obtidos os valores de 108,7 mm e 86,4 mm, o que corresponde ao valor médio de 97,6 mm. Procurando simplificar os cálculos, foi adotado o valor de 100 mm para a capacidade de água disponível no solo.

Esse resultado está coerente com aquele relatado por Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002) para culturas perenes como o cafeeiro. No entanto, se situa um pouco abaixo dos 125 mm recomendados para essa cultura por Tubelis e Nascimento (1992).

Na elaboração do balanço hídrico do cafeeiro adotou-se estimar a transpiração da planta (T_e), em detrimento da evapotranspiração da cultura, seguindo metodologia de Villa Nova et al. (2002). Através do balanço hídrico climatológico da cultura foi obtida a transpiração real da cultura (T_r) e através desses dois parâmetros, estimou-se a transpiração relativa da cultura (T_r/T_e). Neste último, quanto mais próximo da unidade (1,0) for o valor encontrado na relação, menor será a interferência do déficit hídrico na produção da cultura. Quando o índice encontrado for igual a 1,0, considera-se que não houve déficit hídrico no período e que, portanto, a planta transpirou na sua potencialidade.

Tabela 10 - Resultado da análise física e físico-hídrica do solo da área experimental

Profundidade (cm)	Características físicas			
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	(g kg ⁻¹)			
0 – 20	201	205	49	545
20 – 40	206	204	40	550

Profundidade (cm)	Características físico-hídricas		
	Umidade (g g ⁻¹)		ds ³
	Cc ¹	Pmp ²	
0 – 20	0,214	0,118	1,34
20 – 40	0,196	0,124	1,41

Nota: ¹ umidade no ponto de capacidade de campo; ² umidade no ponto de murcha permanente; ³ densidade do solo

Objetivando organizar a discussão acerca do assunto balanço hídrico do cafeeiro, decidiu-se dividi-lo, comentando inicialmente sobre os dados verificados nos cafeeiros conduzidos sem irrigação e em seguida, sobre os resultados encontrados nos tratamentos irrigados.

2.6.7.1 Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado sem irrigação

Nas Figuras 13, 14, 15 e 16 são detalhadas a forma gráfica completa do balanço hídrico onde estão reunidos os resultados de déficit hídrico, excedente hídrico, reposição e retirada da água do solo, verificados no tratamento sem irrigação (Testemunha).

Apesar da Figura 13 detalhar o balanço hídrico desde janeiro de 2003, deve-se ressaltar que o experimento foi iniciado em julho do mesmo ano, quando as plantas estavam com 42 meses de idade. No entanto, preferiu-se inicia-lo em janeiro para que se pudesse visualizar as condições hídricas do solo antes do início do trabalho. Além do mais, como foi explicitado por Camargo e

Camargo (2001), o cafeeiro apresenta a fase vegetativa e produtiva ao longo do mesmo ano. Dessa forma, durante os meses de setembro a março podem ocorrer simultaneamente a emissão de novos ramos e folhas, bem como o florescimento e o crescimento dos frutos. Sendo assim, a caracterização climática desde o início do ano é particularmente importante para o entendimento dos resultados encontrados.

Nos gráficos de balanço hídrico apresentados neste trabalho, verifica-se a presença, em alguns casos de retirada, déficit, reposição e excedente hídrico em um único mês. Isso foi possível em função da metodologia de estimativa do balanço hídrico ter sido diária. Também contribuiu para que isso ocorresse, o fato de que as chuvas ocorreram concentradas e em altos volumes, o que é de normal ocorrência, e a demanda de água pela planta (T_e) é diária, sendo ela, muitas vezes superior à transpiração real da cultura (T_r), gerando o déficit hídrico. Com isso, pode ser que ocorram altas precipitações em um dia, fazendo com que a CAD seja alcançada e gere grandes excedentes hídricos, mas no dia seguinte, as retiradas de água voltam a ocorrer.

Analisando a Figura 13, verifica-se uma acentuada estiagem ocorrida no mês de fevereiro, promovendo retiradas de água armazenadas no solo em decorrência do excesso de chuvas do mês anterior. No mês seguinte, as chuvas foram mais intensas (310 mm ao todo) o que promoveu novamente um grande excedente hídrico. Ainda na mesma figura, observa-se que a partir de maio as chuvas deixaram de ocorrer, estendendo-se até setembro. No mês de agosto foi verificada uma precipitação de apenas 2,1 mm, quantidade esta, muito pequena para influenciar o armazenamento de água do solo, a qual apresentava neste período, apenas 30,2 mm de um total de 100 mm. No mês seguinte o armazenamento caiu ainda mais, chegando a 27,6 mm, em função do aumento da temperatura média do ar, da velocidade do vento, da radiação solar global e da diminuição da umidade relativa média do ar. Esse conjunto de fatores promoveu um aumento de 0,75 mm na evapotranspiração de referência, em relação à condição média diária observada no mês anterior, que foi de 3,53 mm (Figura 5). Em outubro, as precipitações começaram a ocorrer na região, onde se verifica na Figura 13, a presença de excedente hídrico. Porém, esses eventos de chuva ainda foram muito concentrados, o que possibilitou o aparecimento de retiradas de água do solo e de déficit hídrico. A partir de novembro as chuvas foram mais frequentes, permitindo um déficit hídrico de apenas 5,95 mm ao longo de todo o mês.

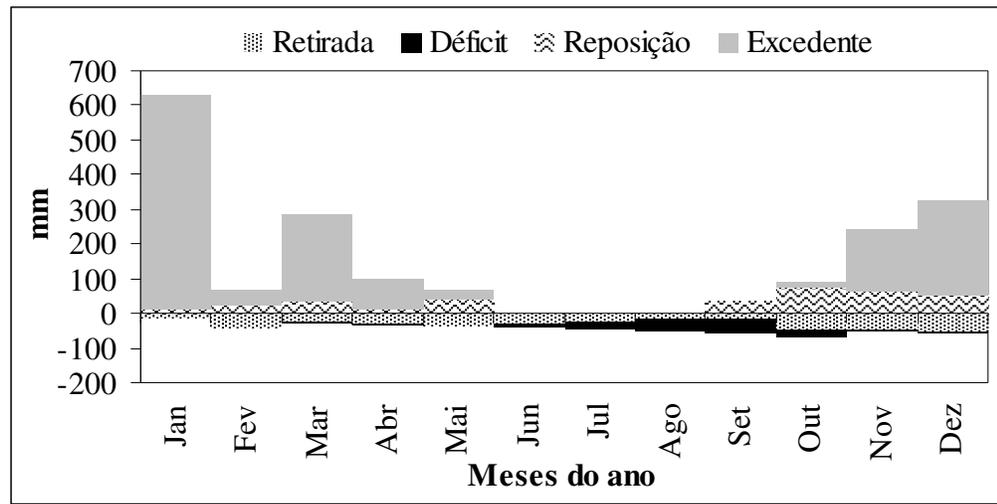


Figura 13 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, sem irrigação, durante o ano de 2003. CAD = 100 mm

A Figura 14 detalha o balanço hídrico climatológico do cafeeiro desde janeiro (48 meses de idade das plantas) até dezembro de 2004 (59 meses de idade). Analisando a referida figura, verifica-se que durante os meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro, houve boa regularidade das chuvas, o que pode ser comprovado pelos baixos valores de déficit hídrico, os quais foram respectivamente de 2,19 mm, 1,15 mm, 5,78 mm e 1,61 mm. A partir do mês de abril, com a diminuição das chuvas na região, o déficit hídrico começou a aumentar e alcançou o valor máximo em setembro, 85,56 mm. Durante esse mês, ocorreram as condições climáticas mais críticas para a cultura do cafeeiro durante todo o ano, onde não foi verificada nenhuma chuva, temperatura média do ar de 25,3 °C, umidade relativa média do ar de 38%, velocidade média do vento de 1,0 m s⁻¹ e evapotranspiração de referência média de 4,83 mm (Figuras 2, 3 e 5). A evaporação da água do tanque classe A, equipamento usado para o manejo da irrigação nos tratamentos irrigados, alcançou um valor médio diário de 10,9 mm, o mais alto durante todo o período de condução deste trabalho (Figura 1). A situação nesse mês só não foi mais crítica, em função de precipitações que ocorreram em junho (32,0 mm) e julho (21,0 mm), que apesar de

baixas, contribuíram para repor parte da água do solo, já que esses são meses onde as temperaturas são mais amenas, impondo menores transpirações às plantas.

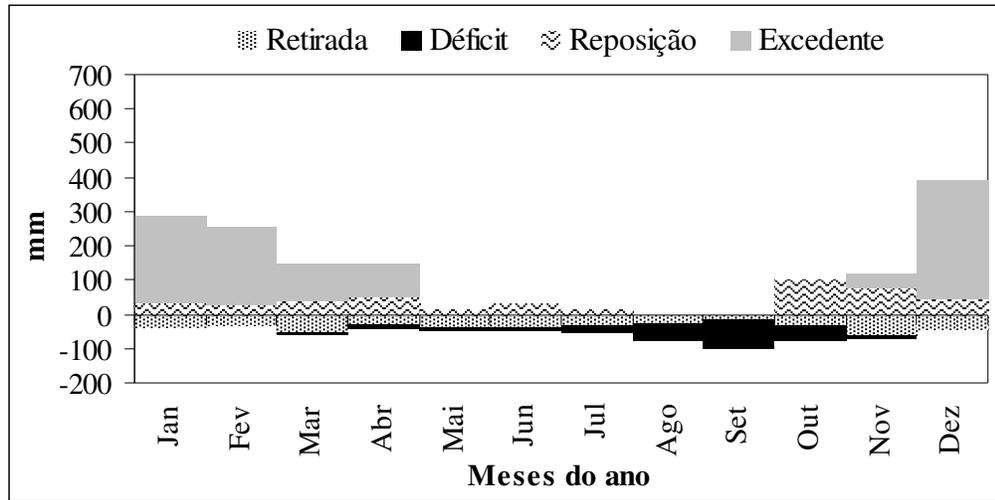


Figura 14 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, sem irrigação, durante o ano de 2004. CAD = 100 mm

A Figura 15 detalha o balanço hídrico climatológico do cafeeiro de janeiro a dezembro de 2005. Comparando-se a necessidade de água por parte das plantas desde julho de 2003, quando foi iniciado o trabalho, verifica-se que a demanda hídrica aumentou. Isso aconteceu por causa do crescimento da área foliar das plantas, a qual aumenta com o desenvolvimento das mesmas. Não obstante, a forma de determinação da transpiração da planta utilizado neste trabalho incorpora o índice de área foliar, o qual está diretamente ligado ao crescimento das mesmas. Em julho de 2003 a altura e o diâmetro da copa das plantas eram, respectivamente, de 1,43 m e 1,53 m, passando para 1,72 m e 1,61 m em abril de 2004. Por outro lado, em maio de 2005 essas medidas foram quantificadas em 2,00 m e 1,98 m, respectivamente, e no ano seguinte, no mês de junho, foi quantificado em 2,18 m e 2,21 m, caracterizando um aumento de 34% e 31% em termos de altura e diâmetro da copa, em relação à primeira tomada de dados realizada em julho de 2003.

Analisando a Figura 15 verifica-se que no mês de janeiro o volume precipitado foi muito elevado, alcançando 649,8 mm, o que influenciou sobremaneira o excedente hídrico calculado nesse mês. Por outro lado, no mês seguinte, o volume precipitado foi muito abaixo daquele

normalmente verificado nessa região, conforme cita Assunção (2002). Essa situação promoveu o aparecimento de um déficit hídrico de 18,72 mm e altos valores de retirada da água armazenada no solo. No entanto, em março algumas precipitações ocorreram, promovendo a reposição da água do solo. A partir de abril inicia-se o aparecimento mais efetivo de déficit hídrico, alcançando aproximadamente 70 mm por mês em agosto, setembro e outubro. Em 2005, outubro foi o mês mais quente do ano, onde a média diária alcançou 26,1°C, influenciando positivamente a evapotranspiração de referência, a qual foi estimada em 4,76 mm dia⁻¹ (Figura 5).

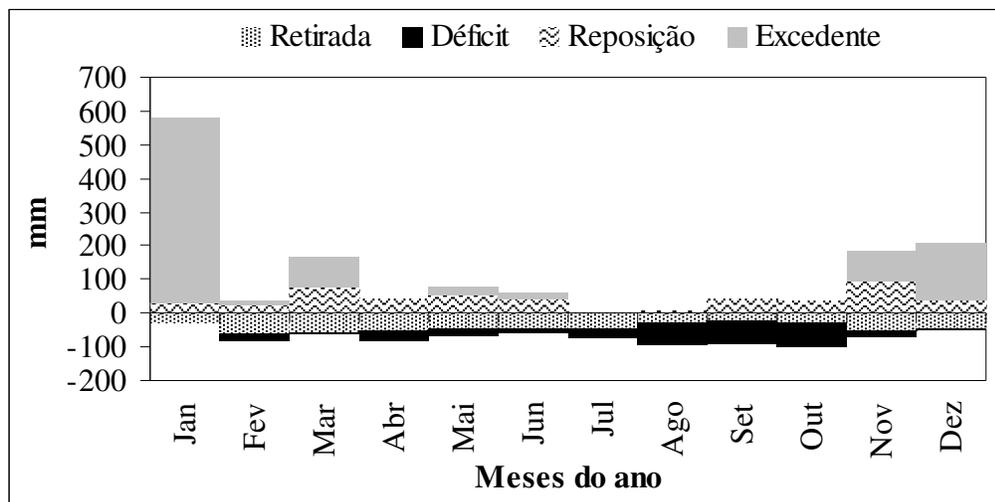


Figura 15 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, sem irrigação, durante o ano de 2005. CAD = 100 mm

Na Figura 16 está compilado o resultado do balanço hídrico climatológico do cafeeiro para o ano de 2006. Foram realizados os cálculos até o mês de maio em função do encerramento do experimento, ocorrido no referido mês após a colheita. Analisando essa figura, nota-se a presença de déficit hídrico em janeiro (32,86 mm), apesar dos 213 mm de chuvas ocorridos nesse mês. Isso pode ser explicado pela elevada temperatura média (24,5°C) e baixa umidade relativa média para esse mês (66%) (Figura 3), onde normalmente ocorrem valores próximos de 80%. Isso tudo foi possível em função da grande quantidade de energia disponibilizada no ambiente, devido à

radiação solar global de $21,95 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 4), o que influenciou também níveis elevados de evapotranspiração de referência diária (4,79 mm) (Figura 5).

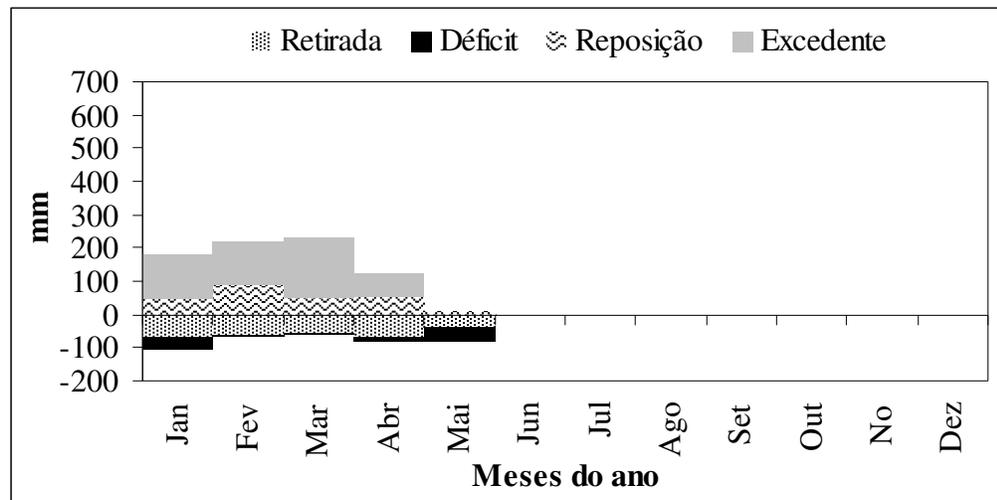


Figura 16 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, sem irrigação, durante o ano de 2006. CAD = 100 mm

Com base nas Figuras 13, 14 e 15, observa-se que o déficit hídrico está presente e de forma acentuada nos meses de setembro e outubro, o que pode implicar em prejuízos no florescimento das plantas. Segundo Camargo e Camargo (2001), as principais floradas do cafeeiro arábica cultivado em Araguari-MG ocorrem durante esses dois meses. Considerando que esse município dista cerca de 30 km de Uberlândia-MG e em altitude semelhante, pode-se adotar essa afirmação para as plantas cultivadas neste último local.

Apesar de o balanço hídrico ser um bom indicador das condições hídricas do solo, ele, por si só, não dimensiona o impacto do déficit hídrico na produtividade das plantas. Por outro lado, a relação entre as transpirações real (T_r) e potencial (T_e) da cultura, denominada de transpiração relativa (T_r/T_e), fornece um valor que através do qual é possível relacionar o prejuízo da produtividade das plantas em função do déficit hídrico sentido pelas mesmas.

Na Tabela 11 estão reunidos os valores médios diários da transpiração relativa de cada mês, verificados no tratamento sem irrigação (Testemunha). Os dados foram estimados somente

durante o período de condução do experimento que foi de julho de 2003 a maio de 2006. Analisando a referida tabela, nota-se que todos os meses do ano apresentaram valores abaixo da unidade, indicando comprometimento da produtividade em função do déficit hídrico, conforme citam Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002) e Reichardt (1990). Os meses de maio, julho, agosto, setembro e outubro são aqueles onde a transpiração relativa foi menor, o que propiciou uma queda severa na produtividade das plantas em relação aos demais tratamentos, fato esse verificado na Tabela 3. No entanto, conforme citam Matiello et al. (2005), déficit hídrico moderado na fase de repouso vegetativo pode favorecer a uniformização da florada. Por outro lado, se o déficit hídrico ocorrer no período de outubro/novembro a março/abril, os prejuízos à produção podem ser acentuados. Os autores denominaram de déficit moderado quando a umidade do solo está acima de 50% da capacidade de campo, porém, não citam qual seria a fase de repouso vegetativo. Segundo Camargo e Camargo (2001), de maneira geral o repouso vegetativo ocorre durante os meses de julho e agosto, o florescimento entre setembro e outubro e a colheita a partir de maio. Nesse sentido, o déficit hídrico relativo observado em maio, junho, julho, agosto e setembro não influenciariam a produção como aqueles encontrados para o restante dos meses.

No entanto, na safra colhida em 2004 as plantas do tratamento sem irrigação produziram 11,3 sacas de café beneficiadas por hectare. No ano seguinte, 8,6 sacas e em 2006, 70,6 sacas. Verifica-se portanto, que apesar dos valores de transpiração relativa terem sido parecidos ao longo desses anos (Tabela 11), a safra colhida em 2006 não sofreu interferência no volume colhido como nos anos anteriores. É importante ressaltar, que a metodologia de cálculo da transpiração relativa não considerou o desenvolvimento radicular das plantas, que pode ter sido diferente ao longo dos anos. Isso faz com que a explicação baseada somente na transpiração relativa não seja suficiente para explicar as baixas produções alcançadas em 2004 e 2005.

Tabela 11 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café cultivadas em Uberlândia-MG, sem o uso da irrigação (Testemunha)

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	...	...	...	...	...	...	0,50	0,33	0,37	0,72	0,93	0,96
2004	0,98	0,99	0,93	0,90	0,83	0,80	0,62	0,36	0,15	0,54	0,89	0,99
2005	0,99	0,82	0,92	0,70	0,69	0,81	0,63	0,35	0,37	0,48	0,87	0,98
2006	0,78	0,93	0,95	0,84	0,51	...	...	...	...	...	...	...

Nota: a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

Como é característico do cafeeiro, como citam Matiello et al. (2005), haver um ciclo de altas produções intercalado por um de baixas produções, o ano de 2006 pode ser considerado como aquele de alta produção. No entanto, nos tratamentos irrigados verifica-se que a safra colhida em 2004 pode ser considerada de alta produção, ao passo que no tratamento Testemunha essa afirmação não se verifica devido à baixa produtividade obtida (11,3 sacas ha⁻¹).

O acompanhamento sistemático do armazenamento efetivo da água do solo é um importante indicador das condições hídricas a que as plantas estão submetidas. A Figura 17 detalha o comportamento desse armazenamento para a cultura do cafeeiro cultivada bob regime de sequeiro durante os anos de estudo.

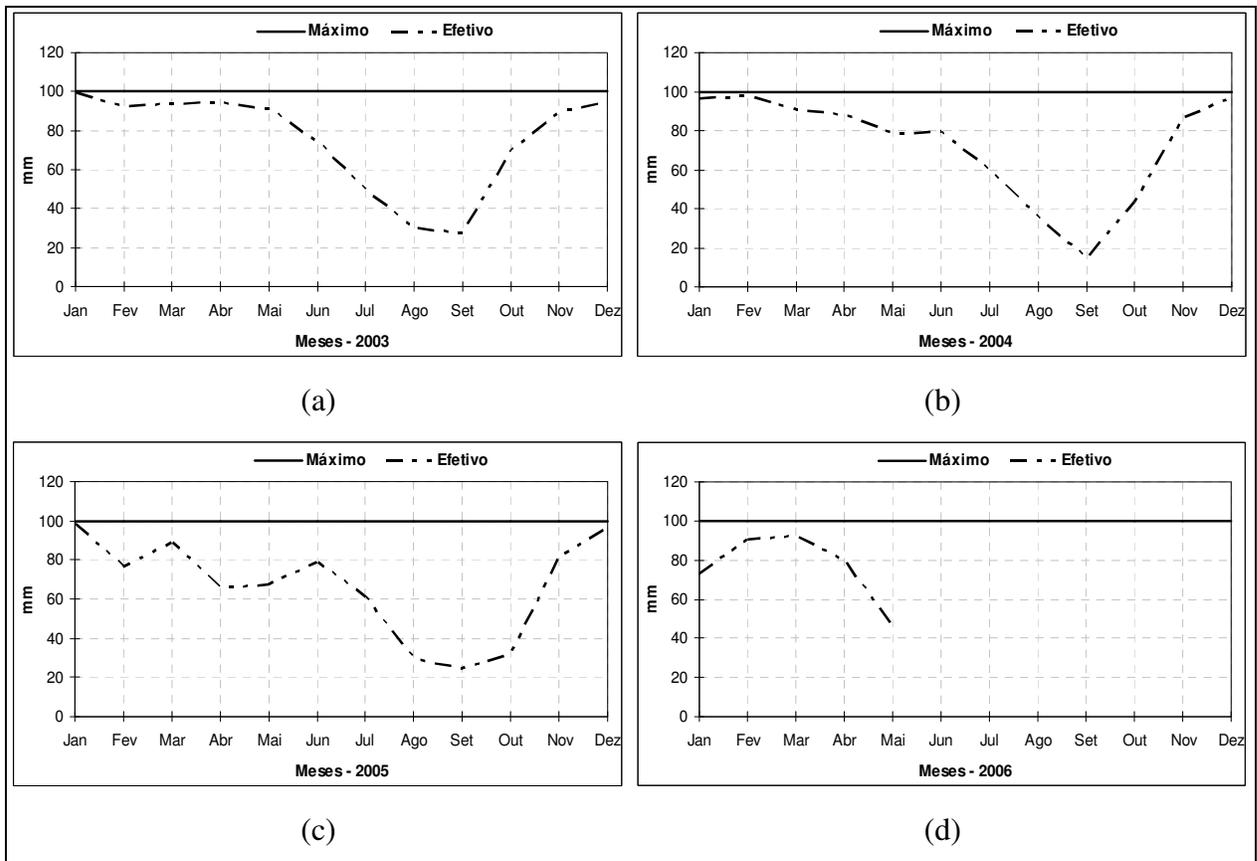


Figura 17 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento sem irrigação, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)

Concomitantemente, analisando os dados diários de precipitação e temperatura durante os meses de setembro e outubro dos anos de 2003, 2004 e 2005 (Figuras 2 e 3), verificou-se que no primeiro ano houve um período longo com ausência de chuvas durante os meses de junho e julho. Em agosto de 2003 a chuva verificada foi de apenas 2,1 mm, sendo portanto, muito baixa para causar alguma diferença no armazenamento da água do solo (Figura 17a). Nesse ano, as chuvas mais efetivas após o outono ocorreram em 15/09 (4,0 mm), 16/09 (19,4 mm) e 17/09 (3,0 mm), acumulando 26,4 mm nesses três dias. Essa quantidade de água pode ter induzido às plantas a emitir as flores.

Conforme explicam Namuco e O'Toole (1986 apud LARCHER, 2000) e Camargo e Camargo (2002), a situação de deficiência hídrica e altas temperaturas durante o período de florescimento podem afetar sobremaneira a fecundação do ovário, limitando a produção.

Em 2004 as primeiras chuvas após o outono aconteceram a partir do dia 11 de outubro, permanecendo os meses de agosto e setembro sem registros de precipitação. Neste último mês as temperaturas foram as mais altas do ano alcançando a média de 25,3 °C. Nesse ano, a florada iniciou no dia 4 de outubro não por causa da chuva, que só ocorreu em 11/10, mas sim, pela entrada de uma frente fria na região, que causou uma diminuição da temperatura do ar no dia 3 de outubro em relação à média dos últimos dias. Segundo Rena e Maestri (1987) o sinal desencadeador da antese em cafeeiros pode estar relacionado tanto com temperatura quanto com a água, ou mesmo, a interação dos dois. Nesse sentido, as plantas já estavam prontas para a emissão das flores e apenas esperavam um estímulo climático para que o processo de florescimento fosse iniciado, conforme citam esses autores. Sendo assim, como os níveis de armazenamento da água no solo estavam muito baixos nesse período (Figura 17b) houve prejuízos significativos na produção das plantas.

No ano de 2005 as condições climáticas registradas mostravam um cenário mais favorável ao florescimento do cafeeiro. No mês de agosto houve duas chuvas a partir da segunda quinzena do mês, totalizando 13,9 mm, o que ajudou a diminuir o ritmo de declínio do armazenamento da água do solo permitindo que no mês seguinte (Figura 17c), a partir do dia 4 as floradas ocorressem, em parte devido à condição criada no final de agosto, bem como por causa de precipitações que ocorreram no início de setembro. Colaboraram também para a manutenção das flores evitando o abortamento, as temperaturas mais amenas medidas em setembro onde a média de 23,9°C foi verificada.

Além disso tudo, conforme citam Taiz e Zeiger (2004) déficits hídricos por mais moderados que sejam afetam precocemente a expansão foliar, porém, a atividade fotossintética é muito menos atingida. Diante disso, cria-se um balanço positivo de fotoassimilados os quais são destinados ao crescimento radicular. No entanto, como destaca esses autores, esse crescimento das raízes somente se verifica se há um pouco de umidade no solo, já que, em condição de baixa umidade no mesmo os ápices das raízes perdem turgor e conseqüentemente a capacidade de se

desenvolverem. Como em 2005, mais precisamente durante os meses de fevereiro, abril e maio (Figura 17c) a condição hídrica do solo apresentou-se muito flutuante e a carga de frutos presente nas plantas era muito baixa, elas podem ter investido boa parte dos fotoassimilados nas raízes, promovendo seu crescimento em profundidade, o que permitiu uma exploração mais efetiva do solo. Isso pode ter ajudado as plantas sob sequeiro a manter uma condição hídrica interna melhor durante o período de florescimento ocorrido em setembro daquele ano. Não obstante, os meses de outubro, novembro e dezembro de 2005 e fevereiro, março e abril de 2006 apresentaram bom nível de armazenamento da água no solo (Figuras 17c e 17d), o que favoreceu o crescimento dos frutos. O “veranico” observado em janeiro de 2006 diminuiu o nível de armazenamento naquele mês e pode ter afetado em parte a produção das plantas.

Essas condições, aliadas ao ciclo bianual de produção do cafeeiro parecem ser a explicação mais coerente para a ocorrência da produtividade tão elevada verificada em plantas de sequeiro em 2006.

2.6.7.2 Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado com irrigação

Ainda com o objetivo de organizar a apresentação e a discussão dos resultados, primeiramente serão abordadas as informações acerca dos tratamentos irrigados durante todo o ano e em seguida, os que foram submetidos ao repouso na irrigação durante os meses de julho e agosto.

2.6.7.2.1 Balanço hídrico climatológico do cafeeiro irrigado durante todo o ano

Nas Figuras 18, 19, 20 e 21 estão compilados os resultados do balanço hídrico do cafeeiro irrigado com lâmina de 40% da evaporação da água do tanque classe A e manejadas durante todo o ano. Analisando a primeira figura nota-se que os valores de déficit hídrico do cafeeiro em 2003 foram muito baixos, sendo os mais elevados àqueles estimados para agosto (1,25 mm), novembro (1,11 mm) e dezembro (1,81 mm).

Diante da boa condição hídrica no período de setembro a dezembro de 2003 (Figura 18) e janeiro a abril de 2004 (Figura 19), inferiu-se que o florescimento e o desenvolvimento dos frutos do cafeeiro não foram grandemente afetados até a colheita, que foi realizada no final de abril de 2004. Através da Tabela 12 verifica-se que essa afirmação é consistente, uma vez que a

transpiração relativa apresentou valores muito próximos da unidade durante esse período, com exceção do mês de março de 2004.

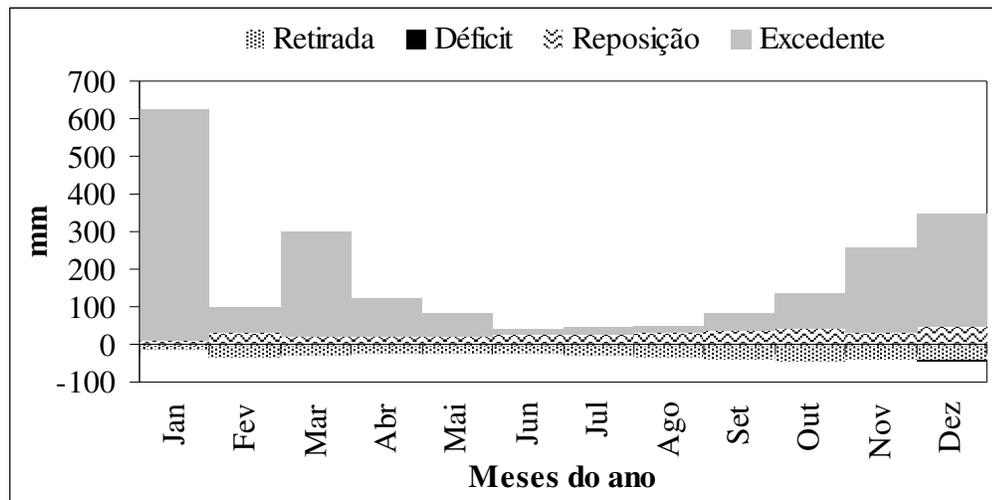


Figura 18 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 40% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm

A Figura 22 detalha os níveis de armazenamento de água do solo máximo e efetivo ao longo dos anos de estudo, para o tratamento 40% da ECA com irrigação durante todo o ano. Em 2003, a quantidade de água aplicada por esse tratamento foi suficiente para manter o nível de armazenamento do solo próximo do máximo, mesmo naqueles meses de baixa precipitação e alta demanda evaporativa como agosto e setembro (Figura 22a). Isso foi possível em função da baixa demanda de água pelas plantas, que apresentavam nessa época menores índices de área foliar, o que influenciou diretamente os valores de transpiração das mesmas.

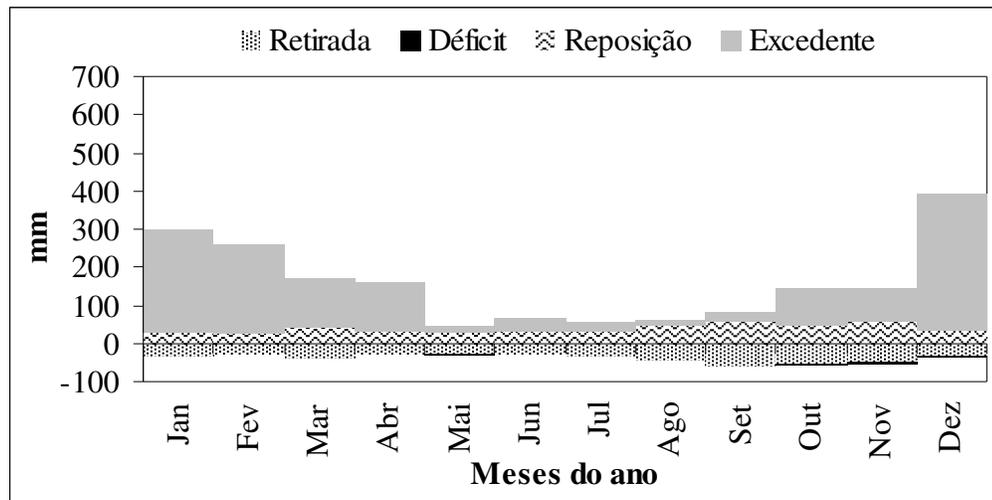


Figura 19 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 40% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm

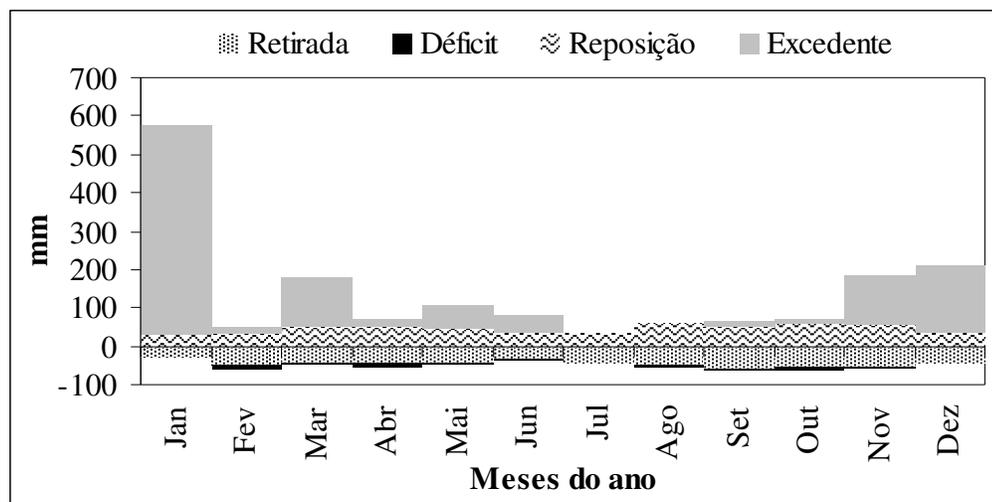


Figura 20 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 40% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm

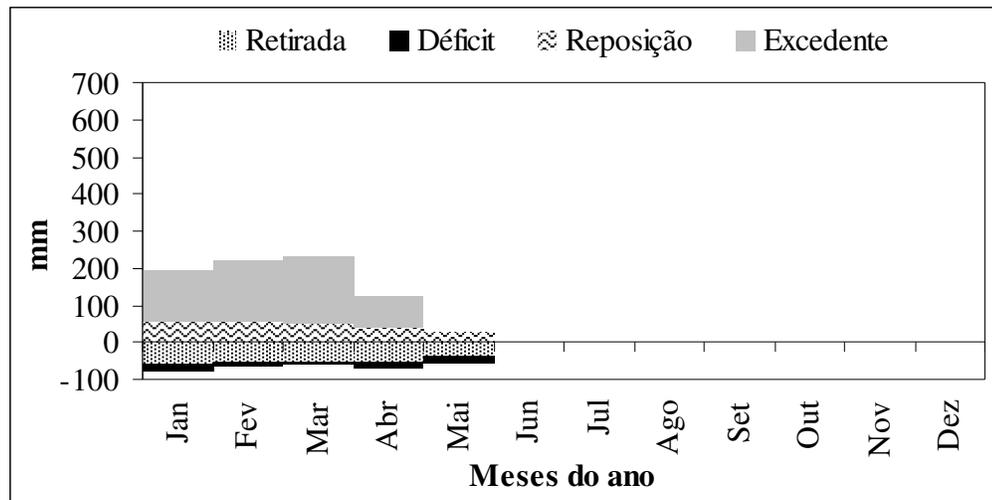


Figura 21 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 40% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, até maio de 2006. CAD = 100 mm

Em 2004, apesar dos níveis de armazenamento ter sido alto durante todo o ano (Figura 22b), houve déficits hídricos ao longo dos meses em escala maior que aquela verificada no ano anterior, dada pela maior superfície transpirante das plantas, a qual demandou maior quantidade de água. Diante disso, por diversos dias os valores transpirados pelas plantas foram menores do que o máximo ($Tr < Te$) (Tabela 12).

Nos tratamentos irrigados foi verificada a presença marcante da bianualidade da produção, em detrimento do tratamento sem irrigação, onde esse fato não pôde ser considerado com frequência bianual, uma vez que as condições climáticas foram as determinantes principais da produção.

Tabela 12 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de irrigação de 40% da ECA durante todo o ano, considerando a CAD igual a 100 mm

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	...	...	...	...	...	...	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98
2004	0,98	0,99	0,95	0,98	0,94	0,99	0,96	0,99	0,99	0,96	0,95	0,96
2005	0,99	0,92	0,95	0,89	0,94	0,97	0,96	0,96	0,92	0,93	0,95	0,97
2006	0,86	0,92	0,97	0,85	0,80	...	...	...	...	...	...	...

Nota: a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

Considerando que as safras colhidas em 2004 e 2006 foram consideradas de alta produção, pode-se inferir, com base nos valores presentes na Tabela 12, que apesar dos valores da transpiração relativa terem sido menores que a unidade, as diferenças entre Tr e Te não foram suficientes para impactar a produção no ano de alta produção. Por outro lado, quando em período de baixa produção ela parece influenciar sobremaneira a produtividade das plantas. No entanto, o tempo de duração do experimento e conseqüentemente de avaliação das produções dos diversos tratamentos foi curto (3 safras), determinando cautela em afirmar como válida essa situação.

Observando a Figura 20, verifica-se que durante o ano de 2005 os déficits se acentuaram, quando comparados com aqueles do ano anterior, devidos principalmente, ao aumento da demanda evaporativa das plantas, em função da maior área foliar determinada pelo crescimento. Essa situação afetou sobremaneira o armazenamento efetivo da água do solo durante 2005 (Figura 22c) em relação a 2004 (Figura 22b).

Os meses de janeiro e abril de 2006 apresentaram baixos volumes precipitados e a quantidade de água aplicada pelo tratamento não foi suficiente para suprir a demanda hídrica, determinando a presença de déficit hídrico (Figura 22d).

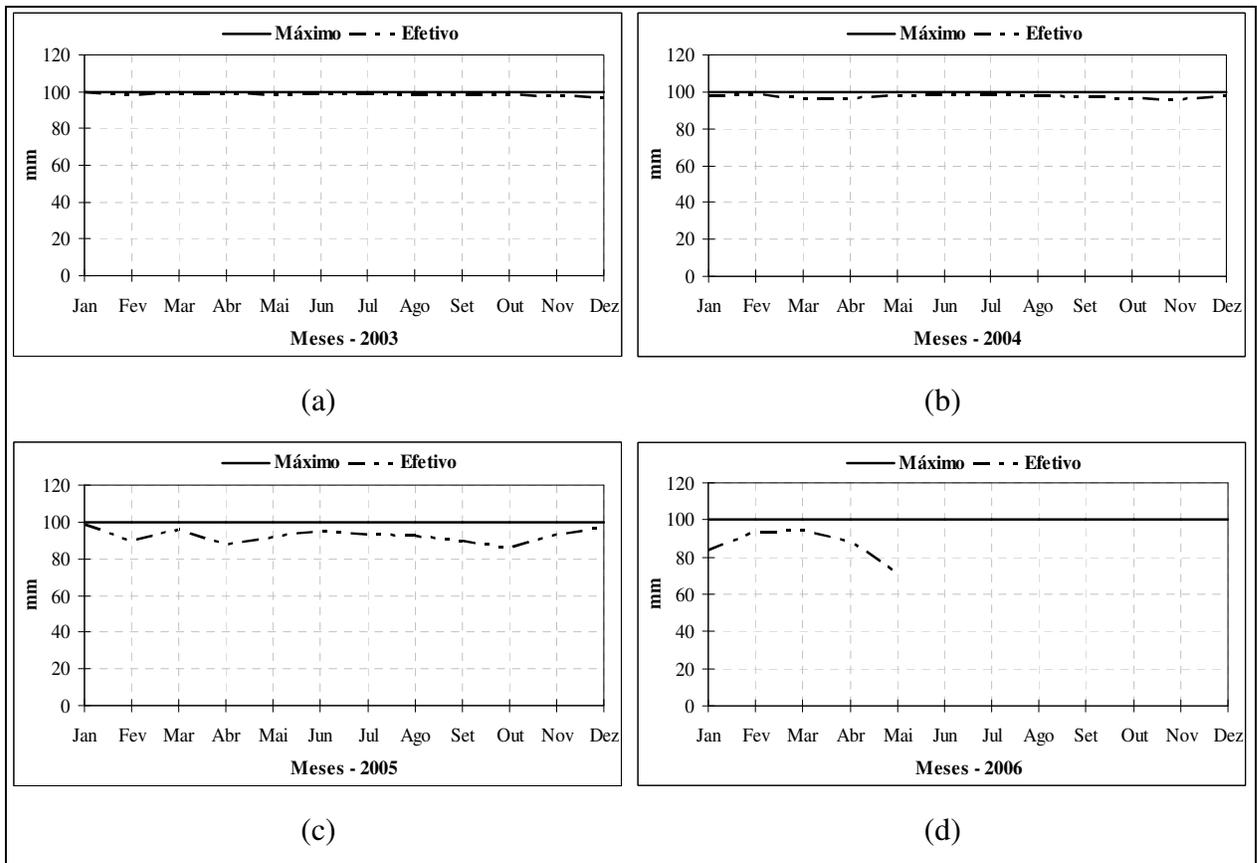


Figura 22 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 40% da ECA manejadas sem o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)

Um ponto importante a ser considerado é o de que a transpiração real da cultura esteja sendo subestimada neste trabalho, conforme o relatado por Bruno (2006). Neste caso, os níveis de armazenamento efetivo seriam inferiores àqueles demonstrados na Figura 22. De acordo com a autora o balanço hídrico climatológico tendo como base a estimativa da evapotranspiração da cultura pela equação de Penman-Monteith parametrizada por Allen et al. (1998), subestimou de 9% a 15% as medidas diretas feitas no campo.

Analisando as Figuras 18, 19, 20 e 21, nota-se que com o desenvolvimento das plantas a necessidade hídrica das mesmas aumentou, provocando o aparecimento cada vez maior de déficit hídrico ao longo do ano, principalmente nos meses onde as temperaturas são elevadas. Os

volumes de déficit só não foram mais acentuados no último ano de avaliação por causa das chuvas (Figura 2), que apresentaram bom volume e distribuição durante os meses de novembro e dezembro de 2005, e fevereiro, março e abril de 2006, o que ajudou a melhorar a condição hídrica do solo devido ao baixo volume de irrigação imposto pela lâmina de 40% da ECA aplicada durante todo o ano. No entanto, há uma tendência de que essa situação se acentue cada vez mais tendo em vista o crescimento das plantas, que sem dúvida irá ocorrer, uma vez que até as plantas sob sequeiro apresentaram esse desenvolvimento.

Nesse sentido, poder-se-ia imaginar que essa lâmina fosse capaz de suprir a demanda das plantas em estágios iniciais de desenvolvimento, mais precisamente no pós-plantio até os 42 meses, período em que este trabalho foi iniciado. Entretanto, essa suposição implica em adotar a metodologia de determinação da transpiração da planta adotada neste trabalho, para o estágio em questão, o que pode levar a erros, uma vez que os padrões de transpiração serão alterados, tendo em vista que a planta não cobre toda a linha de plantio na maior parte desse período.

Nas Figuras 23, 24, 25 e 26 estão compilados os extratos do balanço hídrico climatológico na forma completa para o tratamento de 80% da ECA, manejado durante todo o ano. Analisando essas figuras e comparando-as com aquelas do tratamento Testemunha, nota-se que os déficits hídricos aparecem em menores proporções. O maior valor encontrado equivale a 4,02 mm, estimado para janeiro de 2006.

Por outro lado, os excedentes hídricos foram maiores que o tratamento 40% da ECA, citado anteriormente. Essa situação está associada ao fato da área foliar das plantas deste tratamento e, conseqüentemente a perda de água pelas plantas, ter alterado pouco em relação ao tratamento 40% da ECA, mas a quantidade de água aplicada foi substancialmente aumentada. Diante da boa condição hídrica, os valores da transpiração relativa foram altos (Tabela 10), refletindo os altos níveis de armazenamento efetivo de água no solo ao longo do período de condução deste trabalho (Figuras 27).

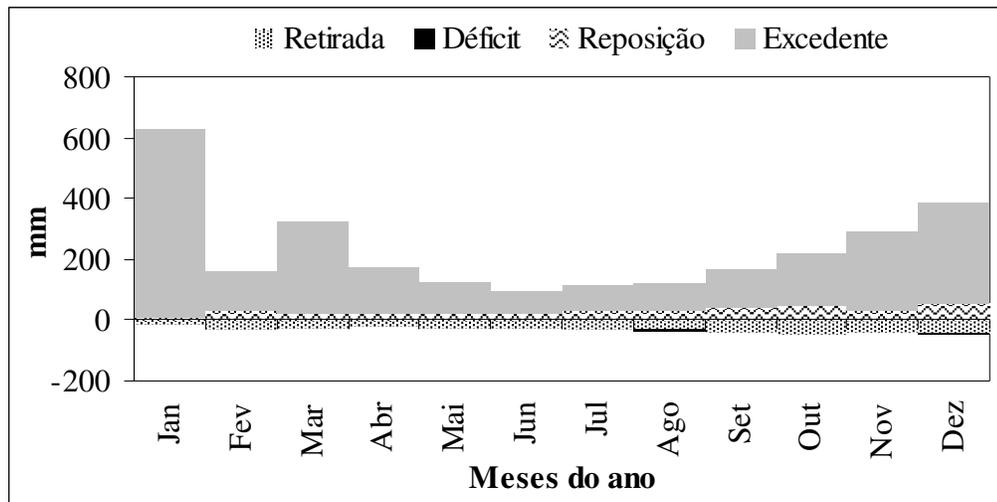


Figura 23 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 80% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm

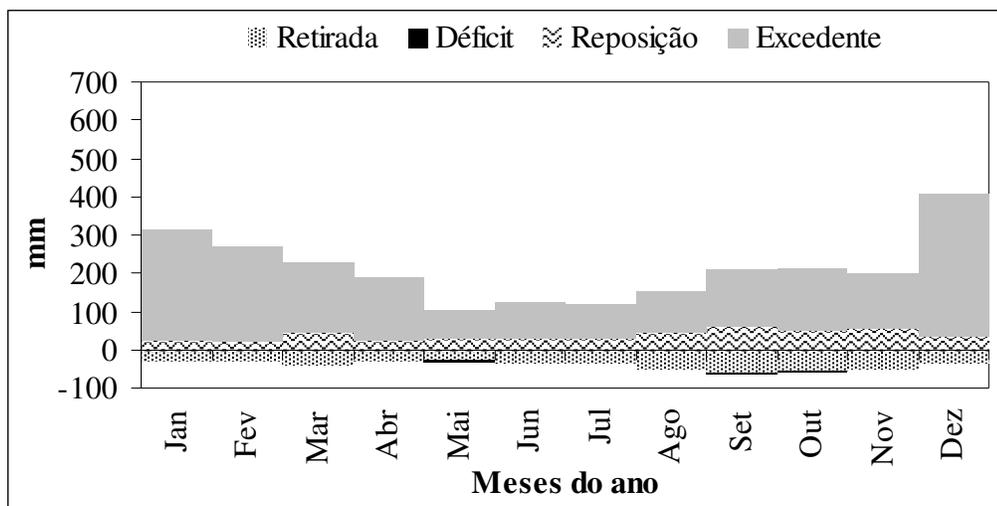


Figura 24 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 80% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm

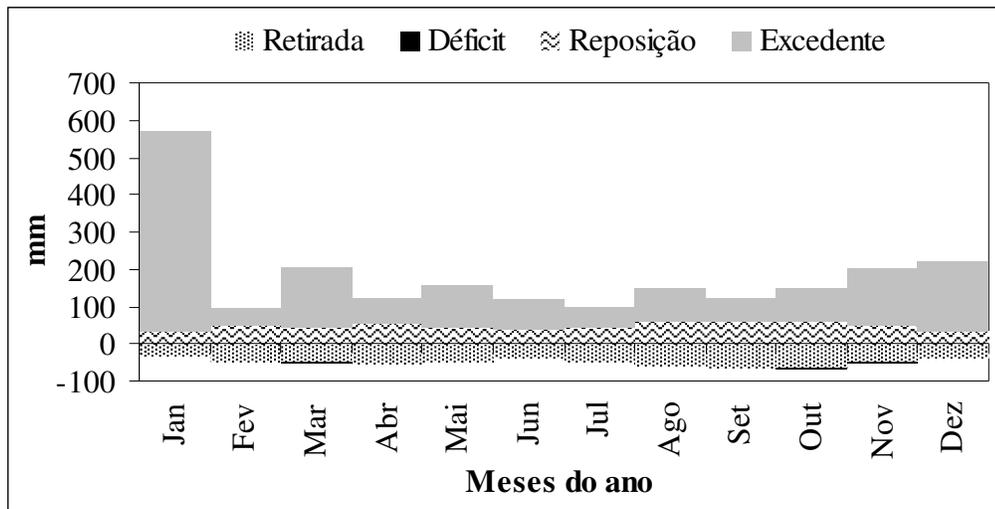


Figura 25 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 80% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm

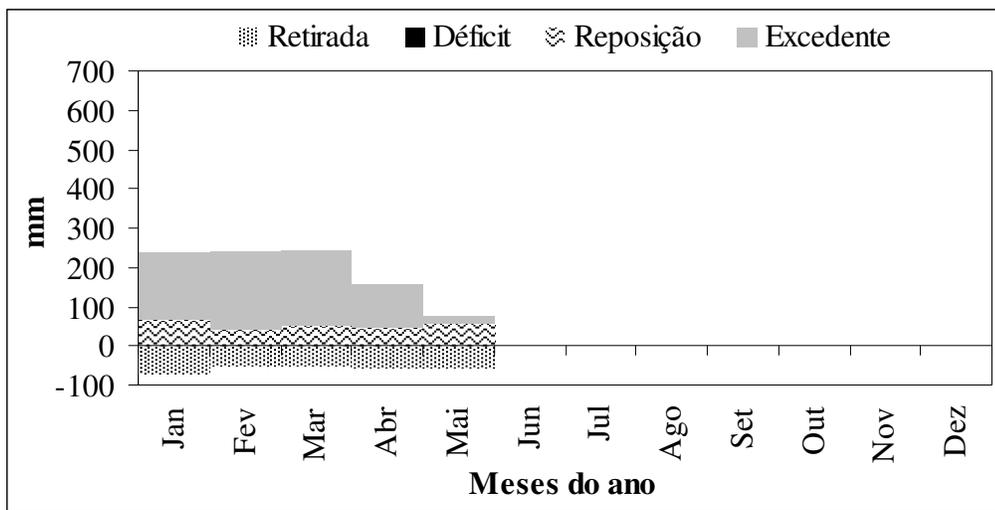


Figura 26 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 80% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, até maio de 2006. CAD = 100 mm

Tabela 13 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de irrigação de 80% da ECA durante todo o ano, considerando a CAD igual a 100 mm

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	...	...	...	...	...	...	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
2004	0,99	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,99	0,99
2005	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,96	0,94
2006	0,98	0,91	0,96	0,98	0,98	...	...	...	...	...	...	...

Nota: a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

A quantidade de água aplicada pelo tratamento de 80% da ECA manejada durante todo o ano proporcionou a maior produtividade média, apesar de não diferir estatisticamente dos tratamentos 120% e 200% também com irrigação durante todo o ano (Tabela 3). Por outro lado, a área foliar não foi a mais expressiva quando comparada com os demais tratamentos irrigados durante todo o ano. Segundo Rena e Maestri (1986) a produção do cafeeiro está associada à emissão de nós e não ao alongamento do entrenó, pois é na gema do nó que as flores são formadas e conseqüentemente se desenvolvem os frutos. Diante disso, esse tratamento pode ter proporcionado a formação de nós com menor distância entre os mesmos, apesar desse fato não ter sido comprovado *in loco*, pois não foram realizadas medições nesse sentido. Por outro lado, como o crescimento da parte aérea não foi tão acentuado como nos tratamentos com lâminas maiores, porém, a produtividade foi a mais expressiva, espera-se que isso tenha ocorrido.

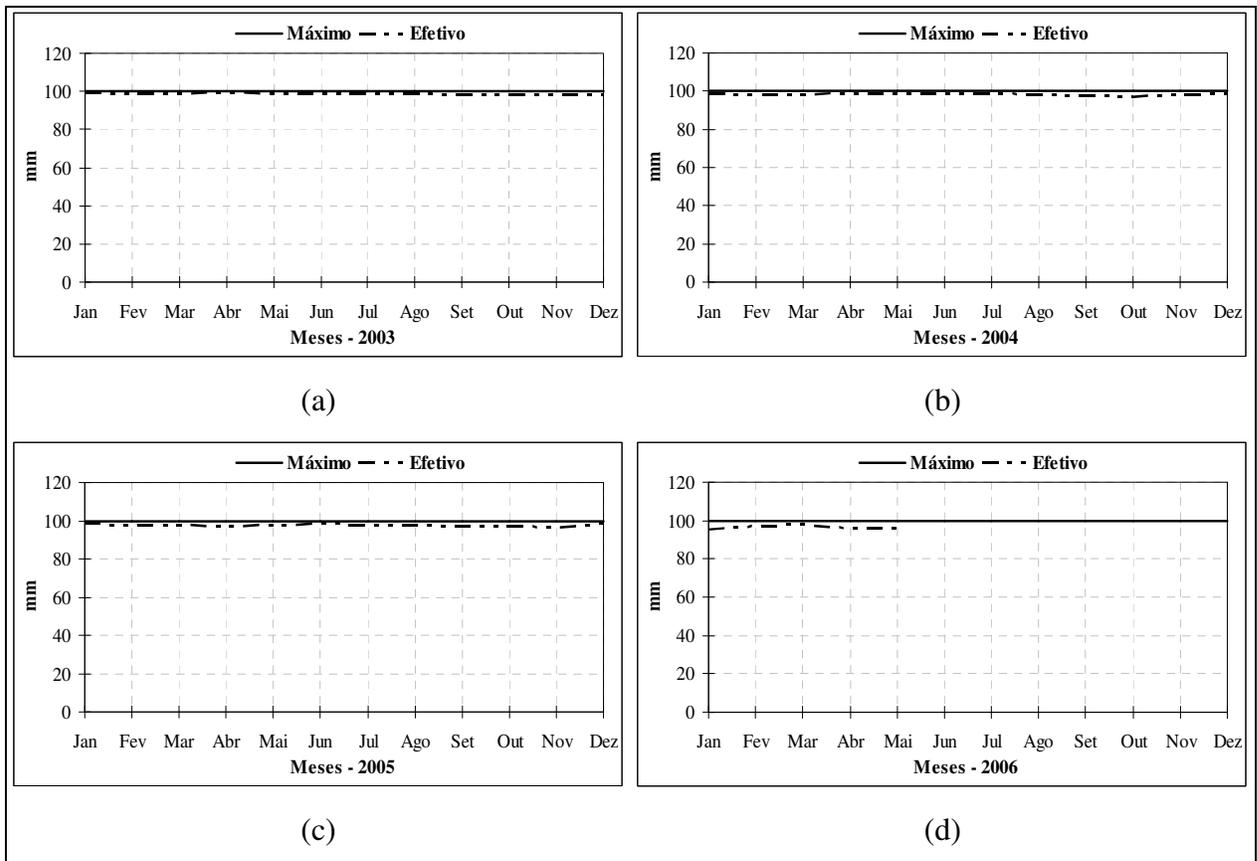


Figura 27 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 80% da ECA manejadas sem o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)

Nas Figuras 28, 29, 30 e 31 estão detalhados os resultados do balanço hídrico climatológico do cafeeiro irrigado com lâmina de 120% da ECA, durante os anos de 2003, 2004, 2005 e 2006, respectivamente. Analisando essas figuras observam-se poucos pontos de déficit hídrico e altos valores de excedente hídrico ao longo dos anos. Quando esse tratamento é comparado com o de 80% da ECA citado anteriormente, verifica-se que os valores de déficit hídrico foram muito parecidos, porém o excedente hídrico foi bastante superior. Isso aconteceu devido à pequena variação da área foliar em relação ao tratamento anterior, que foi um pouco menor, porém, a quantidade de água aplicada no tratamento de 120% da ECA foi muito maior.

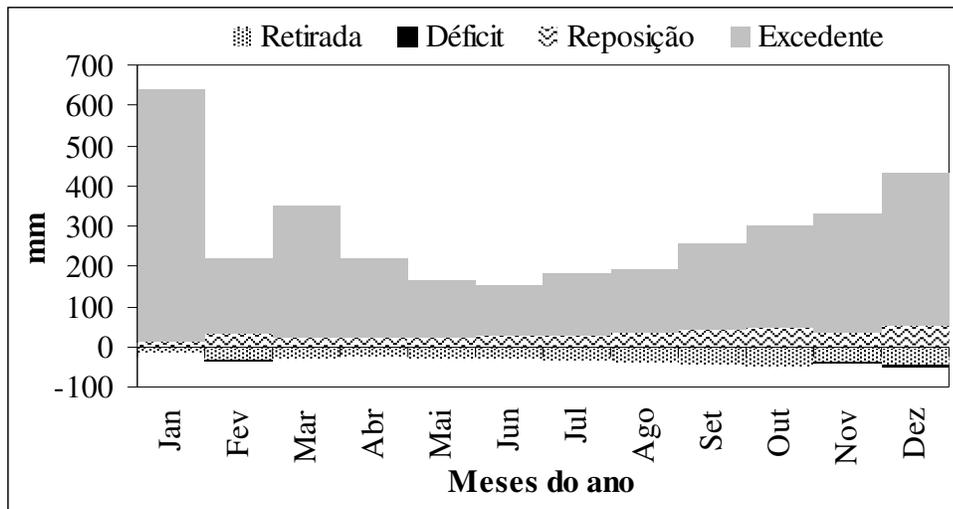


Figura 28 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 120% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm

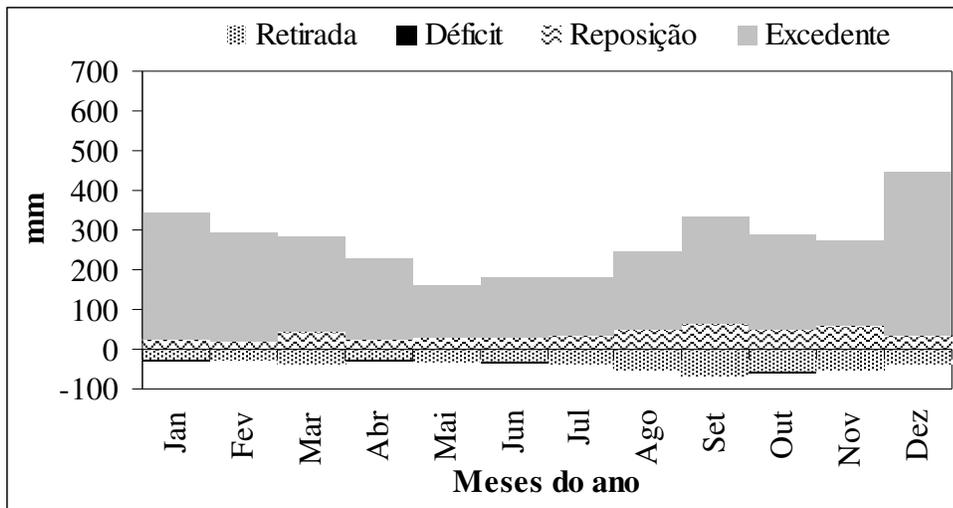


Figura 29 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 120% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm

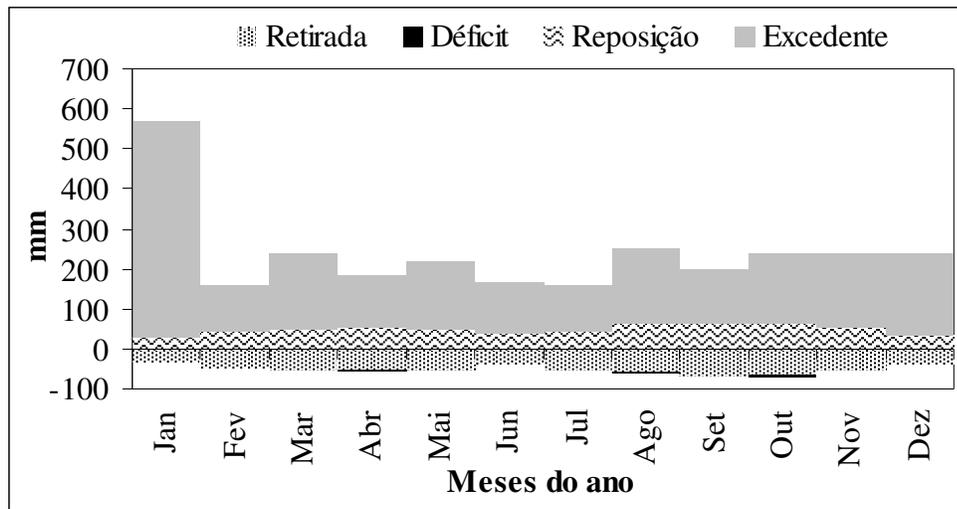


Figura 30 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 120% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm

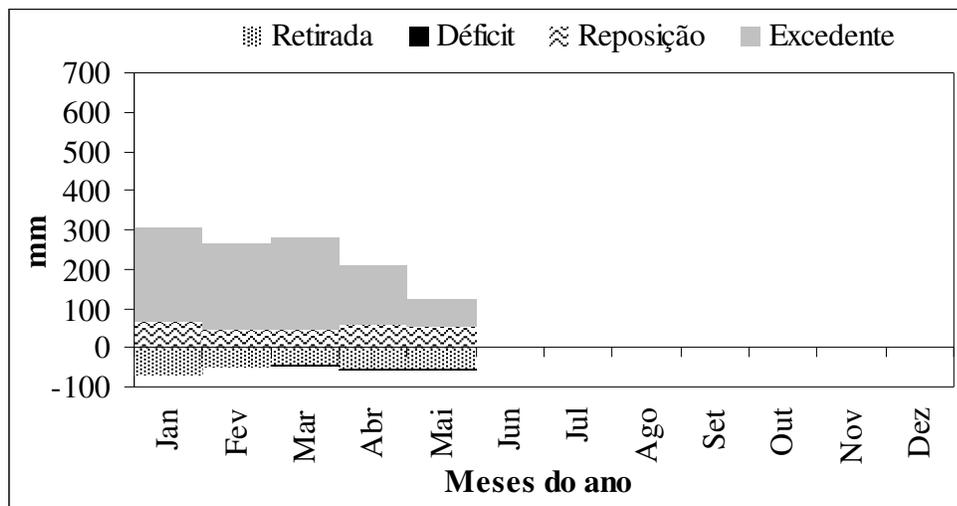


Figura 31 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 120% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, até maio de 2006. CAD = 100 mm

Em função da grande quantidade de água aplicada, os valores de transpiração relativa permaneceram próximos da unidade em praticamente todo o período de condução do experimento (Tabela 14). Essa situação pode ser confirmada, também, pelos altos valores de

armazenamento da água no solo, onde o armazenamento efetivo esteve sempre muito próximo da capacidade de água disponível, em todos os anos avaliados (Figura 32).

Analisando as produtividades médias das três safras contidas na Tabela 3, verificou-se que não houve diferença entre os tratamentos 80% e 120% da ECA manejados durante todo o ano, apesar do primeiro superar o segundo em 6,3 sacas. Sendo assim, pode-se inferir que o maior volume de água imposto pelo último tratamento favoreceu a maior exuberância vegetativa, uma vez que a área foliar foi maior, em detrimento da maior produtividade, quando comparado com o tratamento de 80% da ECA.

Tabela 14 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de irrigação de 120% da ECA durante todo o ano, considerando a CAD igual a 100 mm

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	...	...	...	...	...	...	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98
2004	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,99	0,98
2005	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,99	0,99
2006	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	...	...	...	...	...	...	...

Nota: a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

Não obstante, o crescimento muito rápido da parte aérea obrigará o produtor a fazer um decote ou mesmo uma recepa mais cedo do que o previsto, o que nesse caso pode determinar prejuízos para o mesmo.

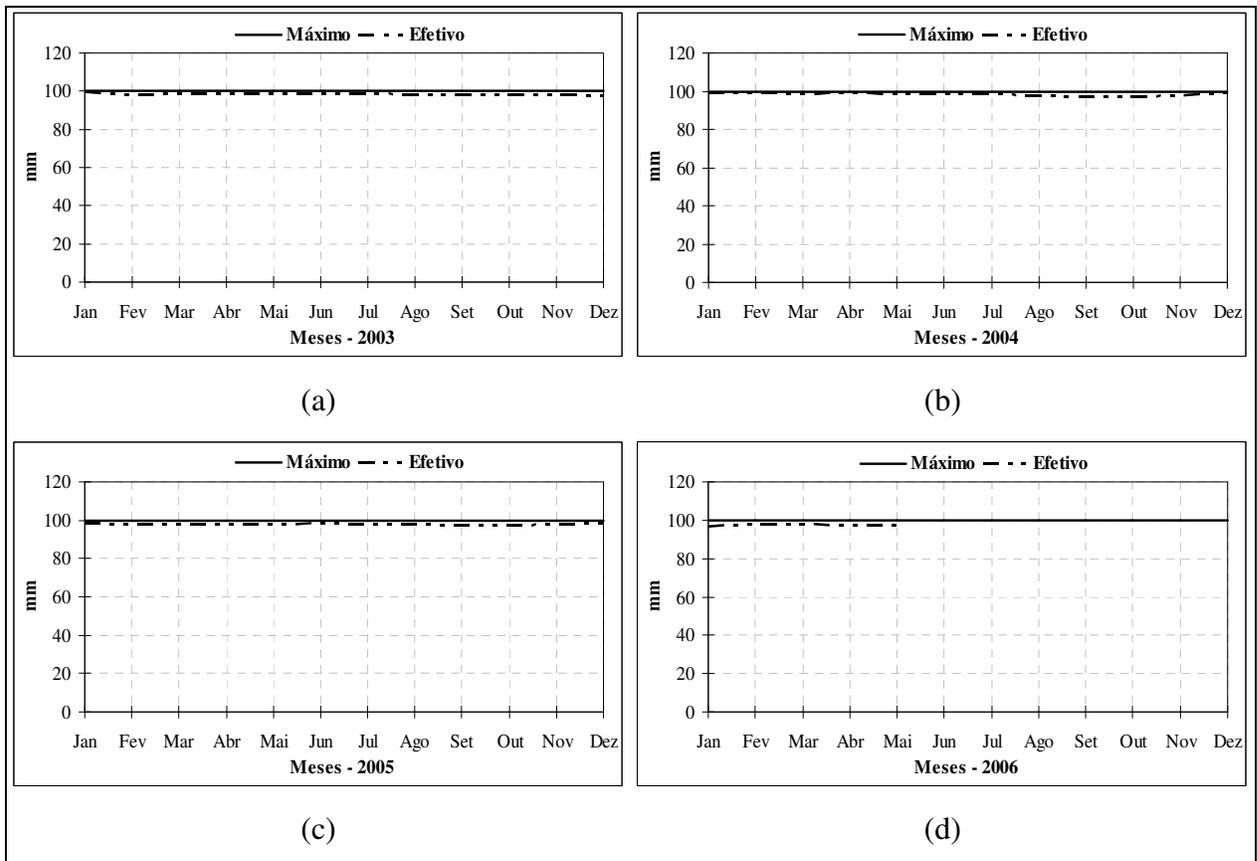


Figura 32 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 120% da ECA manejadas sem o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)

As Figuras 33, 34, 35 e 36 detalham o balanço hídrico climatológico do cafeeiro para o tratamento 160% da ECA, manejado durante todo o ano. Neste tratamento, nota-se que a maior quantidade de água aplicada em relação aos tratamentos anteriormente citados, promoveu maiores valores de excedente hídrico do que aqueles verificados nos tratamentos com lâminas menores. Por outro lado, os valores de déficit hídrico permaneceram muito próximos daqueles observados nos tratamentos 80% e 120% da ECA também manejados durante todo o ano.

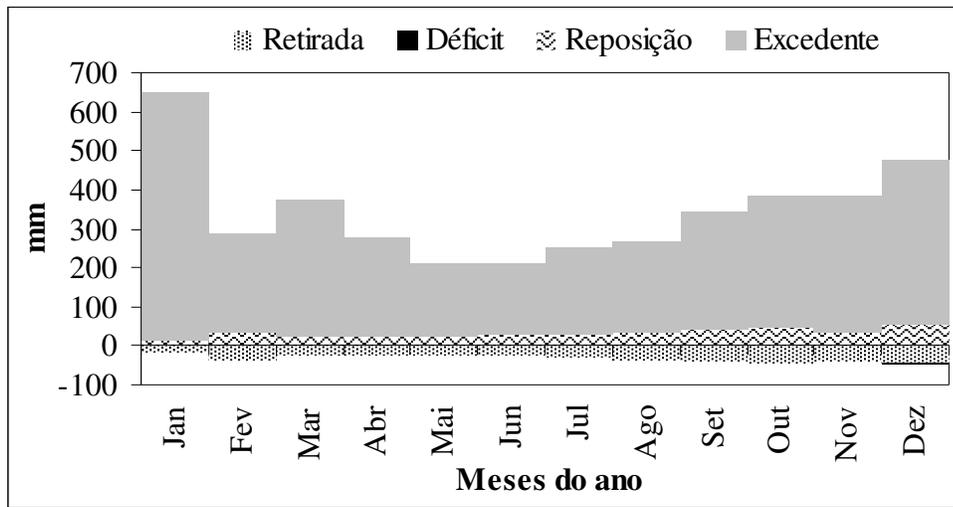


Figura 33 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 160% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm

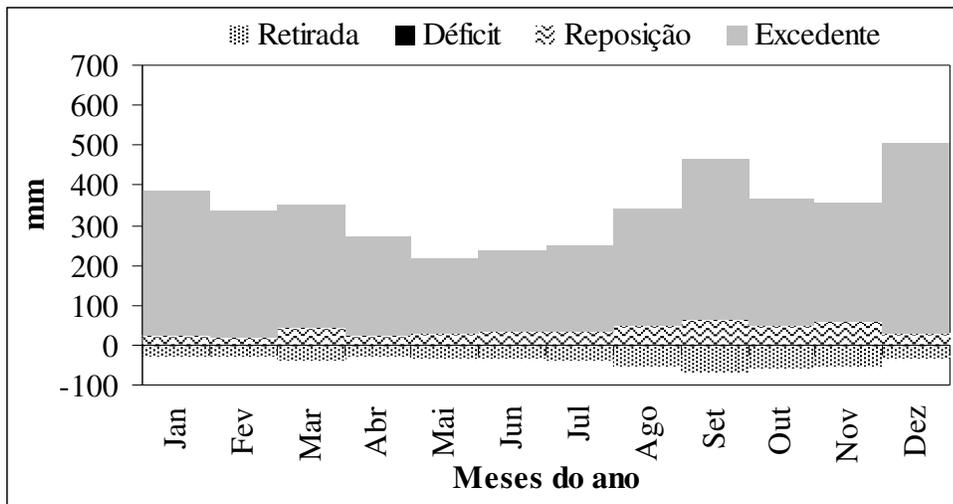


Figura 34 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 160% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm

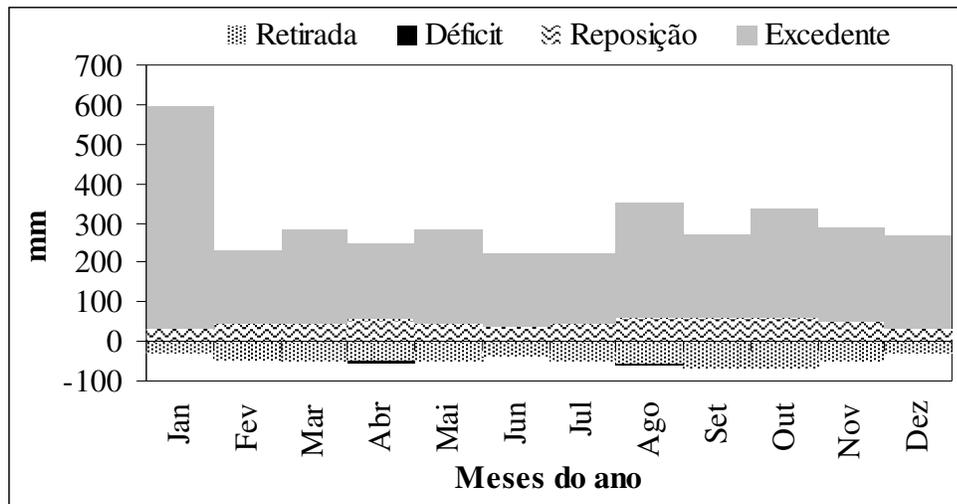


Figura 35 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 160% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm

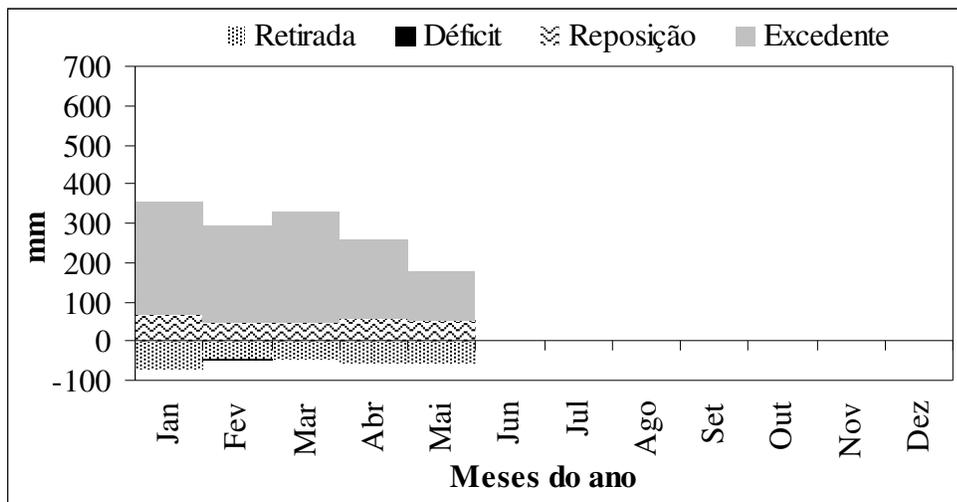


Figura 36 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 160% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, até maio de 2006. CAD = 100 mm

Diante dos altos valores de excedente hídrico, a transpiração relativa (Tabela 15) e os níveis de armazenamento efetivo da água do solo (Figura 37) permaneceram também elevados. Essa situação promoveu um maior desenvolvimento vegetativo das plantas em comparação com os tratamentos 40%, 80% e 120%, particularmente no diâmetro da copa (Figura 7).

No entanto, esse aumento da copa não influenciou a produtividade das plantas. Analisando a média das três safras em conjunto verificou-se que a lâmina de irrigação de 160% da ECA manejada durante todo o ano possibilitou a colheita de 57,6 sacas ha⁻¹, um valor pouco acima do verificado no tratamento de 40% da ECA.

Do ponto de vista agrônômico, o maior desenvolvimento das plantas quando não acompanhado por um aumento da produtividade é indesejável para a cultura do café, que apresenta um custo elevado de manutenção, principalmente quando irrigado.

Tabela 15 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de irrigação de 160% da ECA durante todo o ano, considerando a CAD igual a 100 mm

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	...	...	...	...	...	...	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,96
2004	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,99	0,99
2005	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,97
2006	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	...	...	...	...	...	...	...

Nota: a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível.

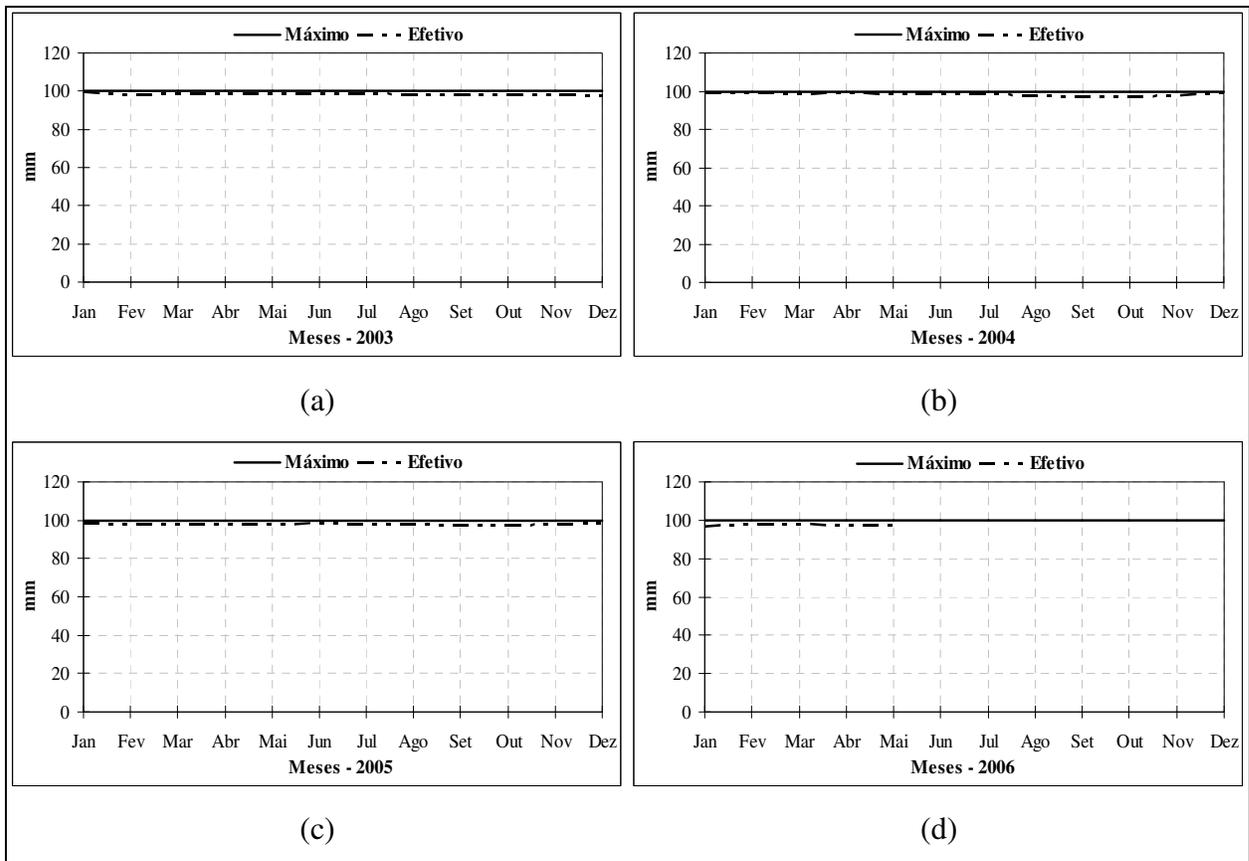


Figura 37 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 160% da ECA manejadas sem o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)

O extrato do balanço hídrico climatológico do cafeeiro irrigado com a lâmina de 200% da ECA durante os anos de 2003, 2004, 2005 e 2006 encontra-se, respectivamente, nas Figuras 38, 39, 40 e 41.

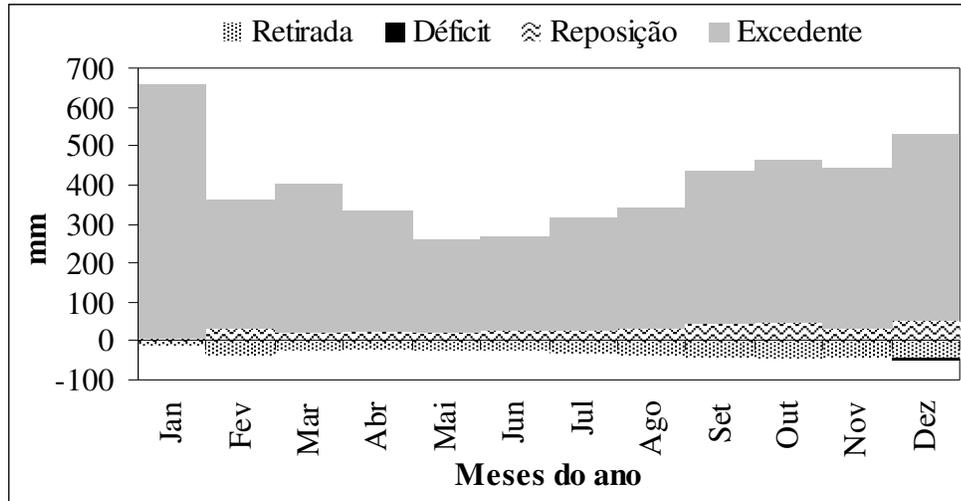


Figura 38 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 200% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm

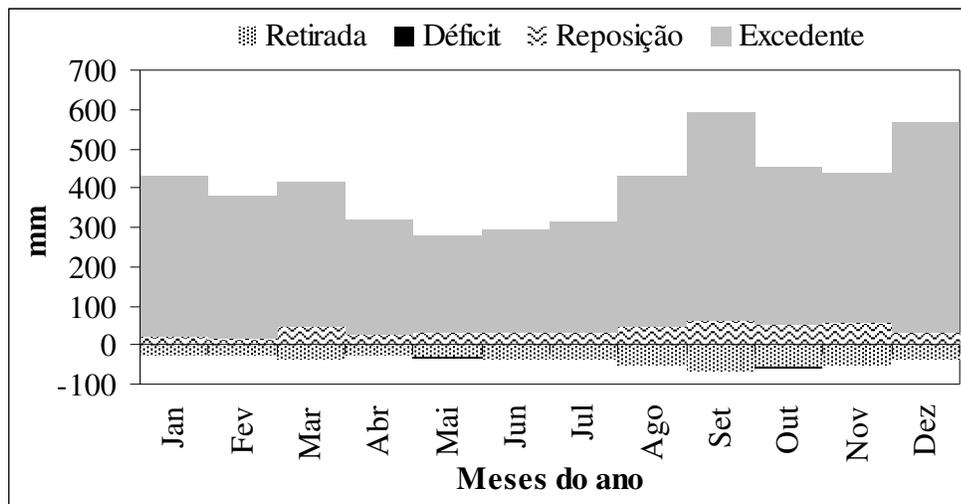


Figura 39 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 200% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm

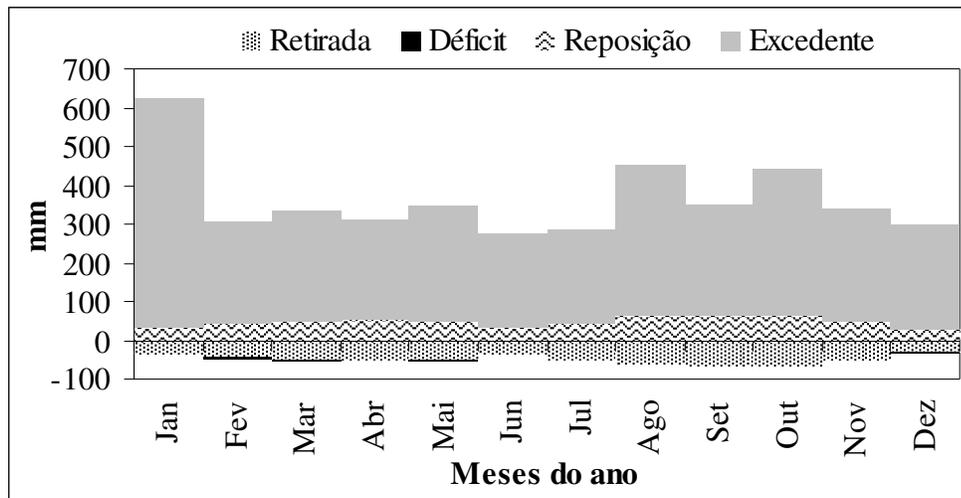


Figura 40 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 200% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm

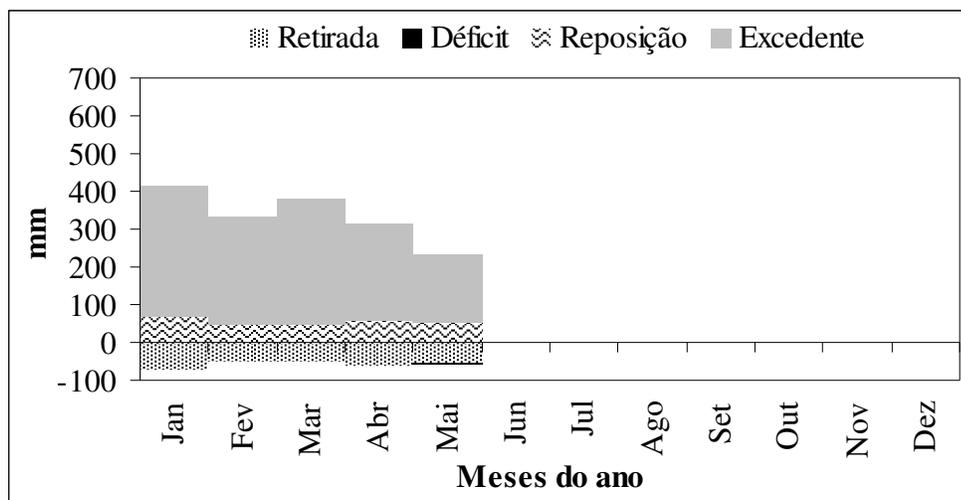


Figura 41 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 200% da ECA, manejadas sem o uso do repouso, até maio de 2006. CAD = 100 mm

Analisando as Figuras 38, 39, 40 e 41 nota-se que os valores de retirada e consequentemente reposição foram os mais baixos de todos os tratamentos testados. Isso está associado à grande quantidade de água aplicada pela lâmina de 200% da ECA, e que inevitavelmente, apresentou altos valores de excedente hídrico. Durante o período de avaliação

do experimento, que foi de julho de 2003 a maio de 2006, o maior excedente hídrico foi verificado em janeiro de 2005, alcançando um valor de 593,4 mm. O alto volume aplicado pela irrigação manteve muito próximo da unidade os valores de transpiração relativa (Tabela 16), bem como em patamares altos os de armazenamento de água efetivo do solo (Figura 42).

Tabela 16 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café cultivadas em Uberlândia-MG, manejadas com lâmina de irrigação de 200% da ECA durante todo o ano, considerando a CAD igual a 100 mm

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	...	...	...	...	...	...	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
2004	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,99	0,99
2005	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99
2006	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	...	...	...	...	...	...	...

Nota: a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

Essa grande quantidade de água pode ter lixiviado os nutrientes da região explorada pelo sistema radicular, limitando, portanto, a absorção dos mesmos pelas plantas. Essa situação pode influenciar sobremaneira a produtividade das plantas. No entanto, essa condição limitaria também o desenvolvimento das plantas, fato esse que não ocorreu, uma vez que as plantas submetidas à lâmina de 200% da ECA apresentaram o maior desenvolvimento da copa e um dos maiores em altura e diâmetro de caule (Figura 7 e Tabela 7).

Nesse sentido, pode-se pensar também, que o alto volume de água aplicada nesse tratamento poderia causar diminuição dos níveis de oxigênio molecular (O_2) no solo. Conforme Taiz e Zeiger (2004) a condição de hipoxia (baixo volume de oxigênio no solo) pode afetar sobremaneira as culturas. Conforme os autores, esse prejuízo é evidente inicialmente nas raízes, onde a taxa de respiração é retardada, influenciando o desenvolvimento das mesmas.

Posteriormente, essa menor atividade das raízes se reflete numa depleção dos níveis desejados de nutrientes na parte aérea, causando menor expansão da planta como um todo.

Entretanto, essa situação não foi verificada nas plantas que receberam a lâmina de 200% da ECA, uma vez que o seu desenvolvimento vegetativo foi, como em diâmetro da copa, superior aos demais tratamentos.

A produtividade média das três safras avaliadas no tratamento de 200% da ECA foi de 63,5 sacas ha^{-1} , um pouco inferior ao tratamento 80% da ECA, que produziu uma média de 70,5 sacas ha^{-1} , apesar de não ter havido diferença estatística entre eles (Tabela 3). Essa situação, aliada a menor quantidade de água utilizada, faz com que o tratamento com lâmina de 80% da ECA seja o mais vantajoso entre os dois.

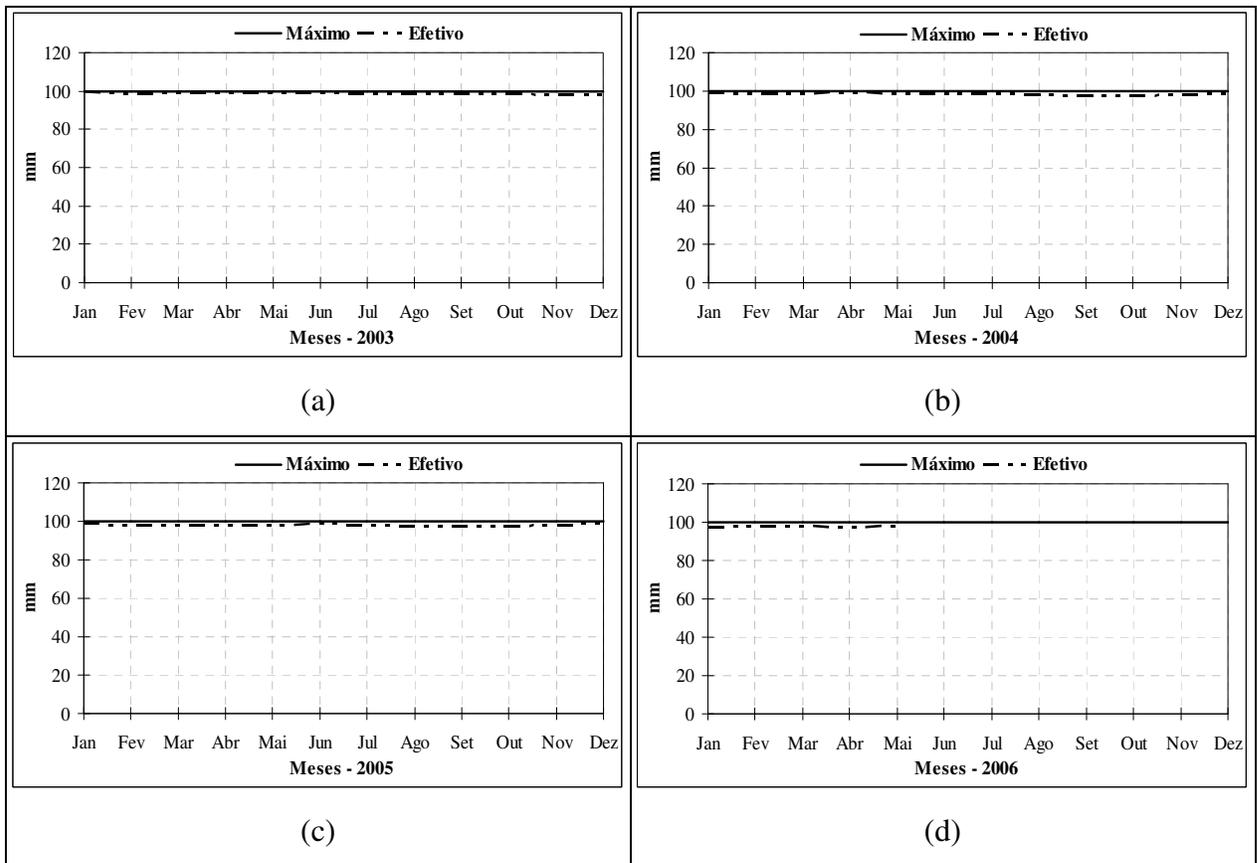


Figura 42 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 200% da ECA manejadas sem o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)

2.6.7.2.2 Balanço hídrico climatológico do cafeeiro sob repouso da irrigação em julho e agosto

Neste tópico foram discutidos os resultados dos balanços hídricos climatológicos dos tratamentos irrigados com as lâminas de 40%, 80%, 120%, 160% e 200% da evaporação da água do tanque classe A, submetidas à suspensão ou repouso da irrigação durante os meses de julho e agosto.

Existe um consenso generalizado de que o corte na irrigação do cafeeiro nos meses de julho e agosto favorece a uniformização da florada e conseqüentemente, uma melhor qualidade física e de bebida do café. Neste trabalho não foi verificada qualquer alteração na qualidade física

e de bebida dos grãos. No entanto, os dados médios dos três anos de produção evidenciaram que o repouso da irrigação em julho e agosto prejudicou a produtividade das plantas (Tabela 3).

Alguns pesquisadores têm afirmado, com base em experimentos realizados, que a suspensão da irrigação em julho e agosto não afeta a produtividade das plantas (SANTINATO; SILVA; FERNANDES, 2003; MATIELLO et al., 2005). No entanto, Guerra et al. (2003) verificaram que a suspensão da irrigação por 35 e 65 dias consecutivos em Planaltina-DF, a evapotranspiração das plantas de café apresentaram valores de 1,0 e 0,7 mm dia⁻¹, respectivamente.

Diante da menor produtividade verificada nos tratamentos com repouso, foi calculado o balanço hídrico climatológico do cafeeiro e a partir deste, foi estimado a transpiração relativa e o armazenamento efetivo ao longo dos três anos avaliados.

As Figuras 43, 44, 45 e 46 detalham o extrato do balanço hídrico climatológico do cafeeiro quando irrigado com lâmina de 40% da ECA, e submetido à suspensão da irrigação nos meses de julho e agosto, ao longo dos anos de 2003, 2004, 2005 e 2006, respectivamente. Apesar deste trabalho ter-se iniciado em julho de 2003, foi elaborado o balanço hídrico desde janeiro a fim de caracterizar melhor a condição hídrica quando do início do trabalho.

Analisando os resultados nota-se que o déficit hídrico em julho e agosto apresentou valores acumulados de 42,6 mm em 2003 (Figura 43), 50,9 mm em 2004 (Figura 44) e 93,8 mm em 2005 (Figura 45). Observa-se também, que o déficit hídrico em setembro foi maior do que o verificado nos tratamentos que receberam a irrigação o ano inteiro (Figuras 18, 19 e 20). Isso aconteceu porque no retorno da irrigação em setembro, não foi aplicada uma lâmina capaz de atingir a capacidade de água disponível de imediato, o que favoreceu a obtenção de valores baixos de transpiração relativa naquele mês (Tabela 17), o que pode ter contribuído para a diminuição da produção das plantas.

Com a retomada da irrigação em setembro, a água foi repostada paulatinamente no solo à medida que as irrigações foram retomadas, fazendo com que o armazenamento efetivo aumentasse devagar (Figura 47). À medida que as plantas foram crescendo, maior quantidade de água foi necessária para suprir a demanda hídrica das mesmas, o que implicou na acentuação do déficit hídrico também em outubro de 2005, quando se compara com o tratamento sem o uso do

repouso da irrigação (Figura 20). Para o restante dos meses os resultados foram iguais aos observados no tratamento com lâmina de 40% da ECA manejada o ano inteiro.

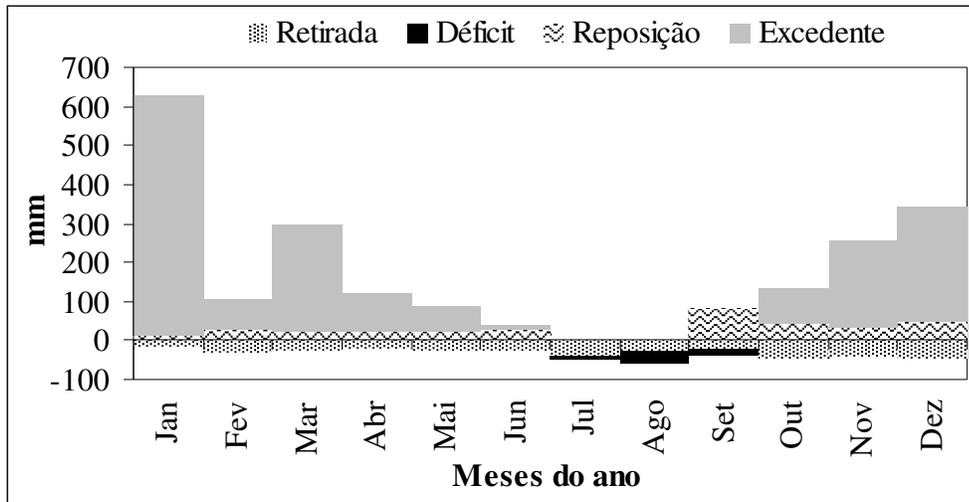


Figura 43 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 40% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm

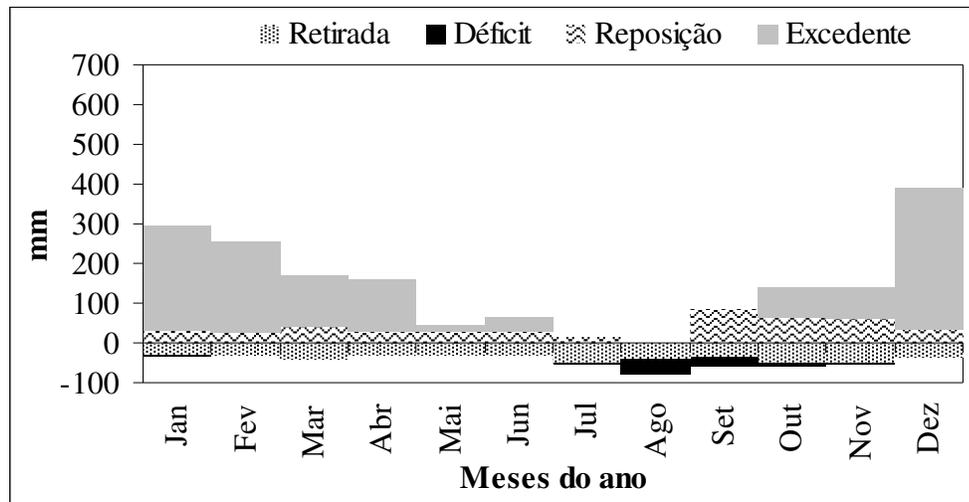


Figura 44 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 40% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm

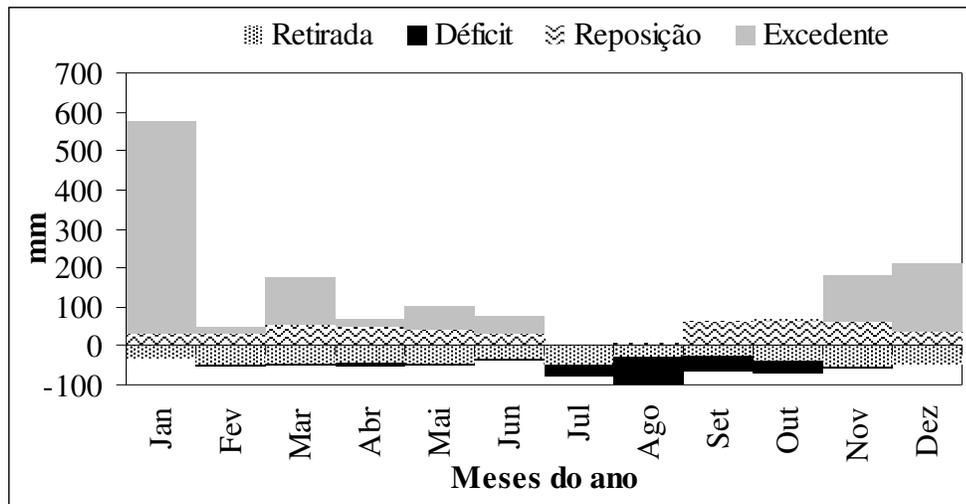


Figura 45 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 40% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm

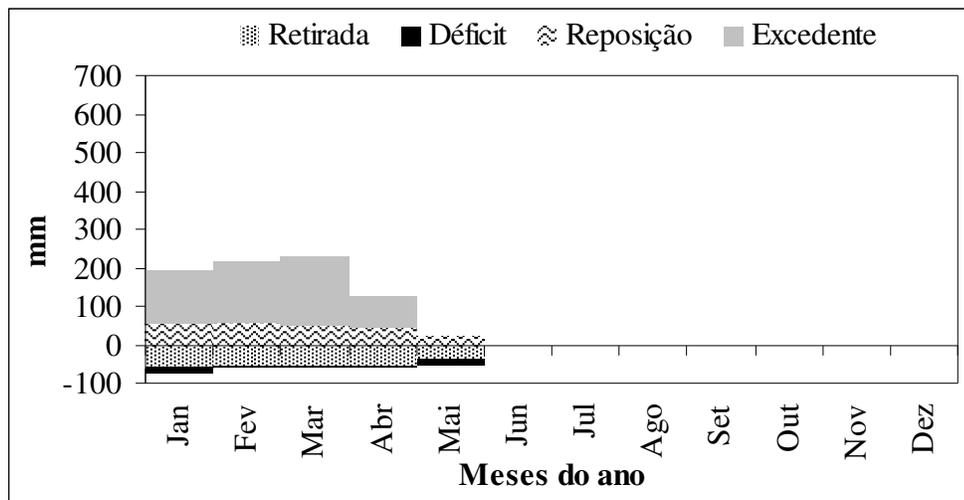


Figura 46 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 40% da ECA, manejadas com o uso do repouso, até maio 2006. CAD = 100 mm

Tabela 17 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de 40% da ECA e submetidas à suspensão da irrigação em julho e agosto. CAD igual a 100 mm

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	...	...	...	...	...	...	0,80	0,49	0,82	0,99	0,99	0,98
2004	0,98	0,99	0,95	0,98	0,94	0,99	0,87	0,48	0,76	0,92	0,95	0,96
2005	0,99	0,90	0,95	0,85	0,93	0,97	0,67	0,35	0,61	0,81	0,94	0,97
2006	0,86	0,89	0,97	0,78	0,79	...	...	...	...	...	...	...

Nota: a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

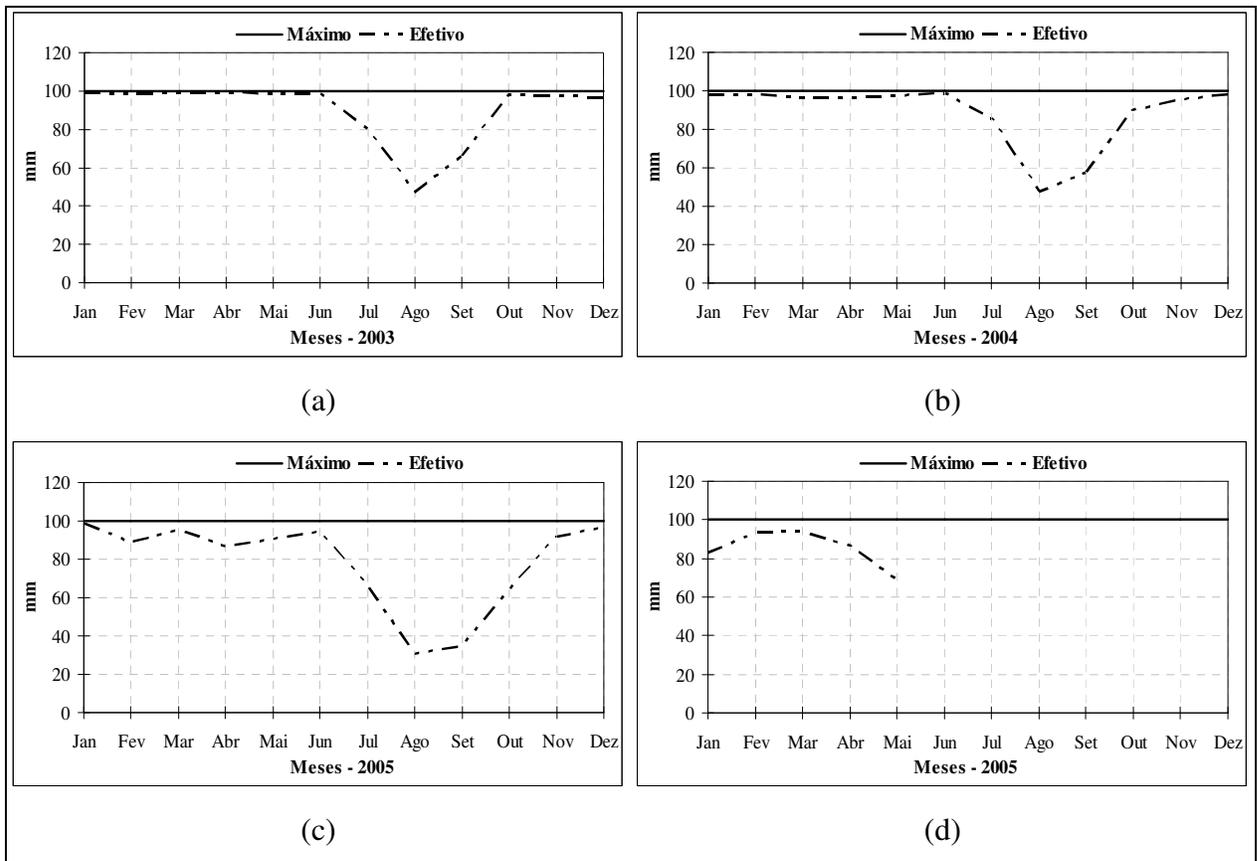


Figura 47 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 40% da ECA manejadas com o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)

Nas Figuras 48, 49, 50 e 51 estão compilados os resultados do balanço hídrico climatológico para o tratamento 80% da ECA, com a adoção do repouso nos meses de julho e agosto, durante os anos de 2003, 2004, 2005 e 2006, respectivamente. Analisando-as nota-se que a quantidade de água aplicada nesse tratamento foi suficiente para manter os valores de transpiração relativa em patamares mais altos do que o proporcionado pelo tratamento 40% (Tabela 18), principalmente no mês de setembro.

No que diz respeito ao armazenamento efetivo de água no solo, observa-se pela Figura 52, que a lâmina de 80% da ECA propiciou a elevação do mesmo já no mês de setembro, com exceção do ano de 2005 (Figura 52c), onde o armazenamento nesse mês chegou a 63 mm. Essa

diminuição na capacidade de reposição da água do solo pela lâmina de irrigação dada pelo tratamento de 80% da ECA, se deve ao aumento do índice de área foliar das plantas que ocorreu continuamente, aumentando a necessidade de água das mesmas.

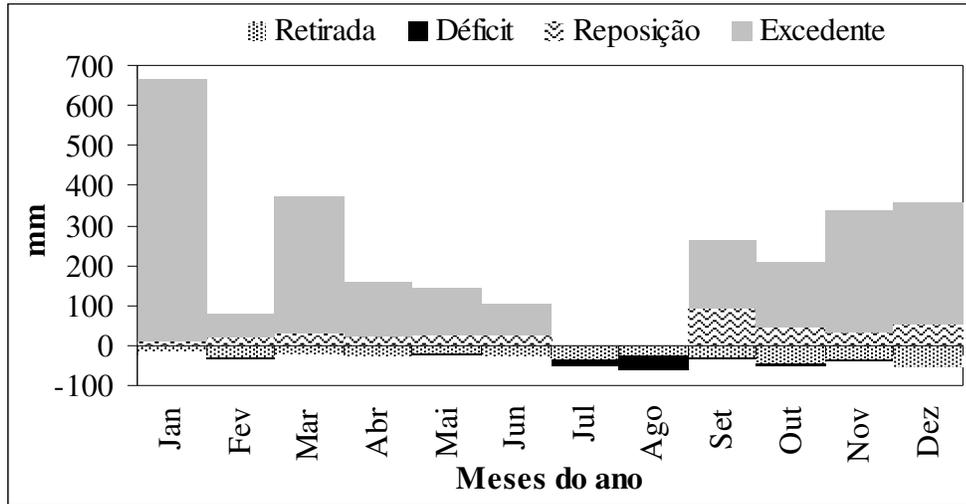


Figura 48 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 80% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm

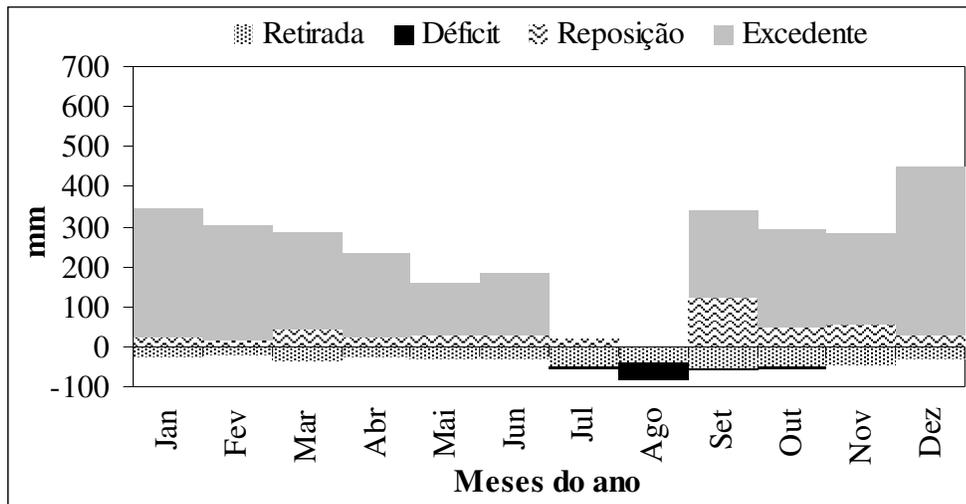


Figura 49 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 80% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm

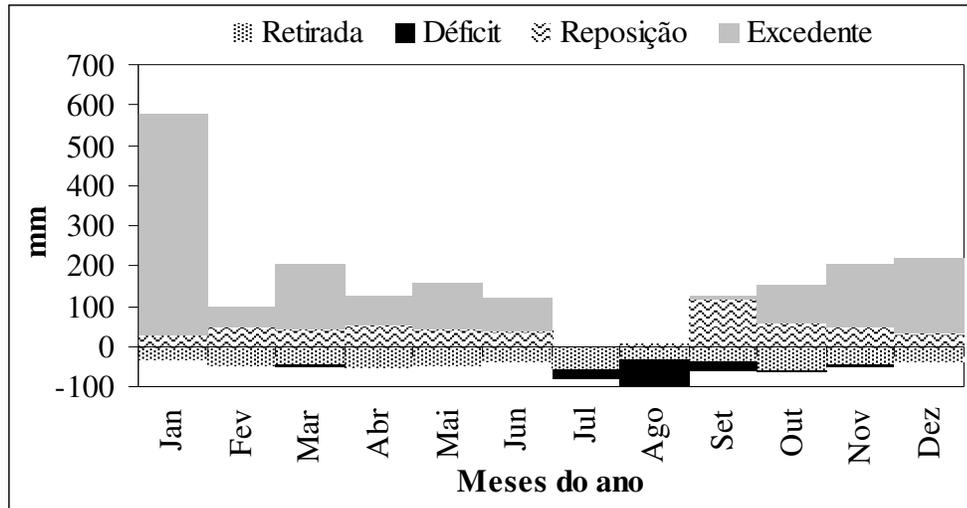


Figura 50 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 80% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm

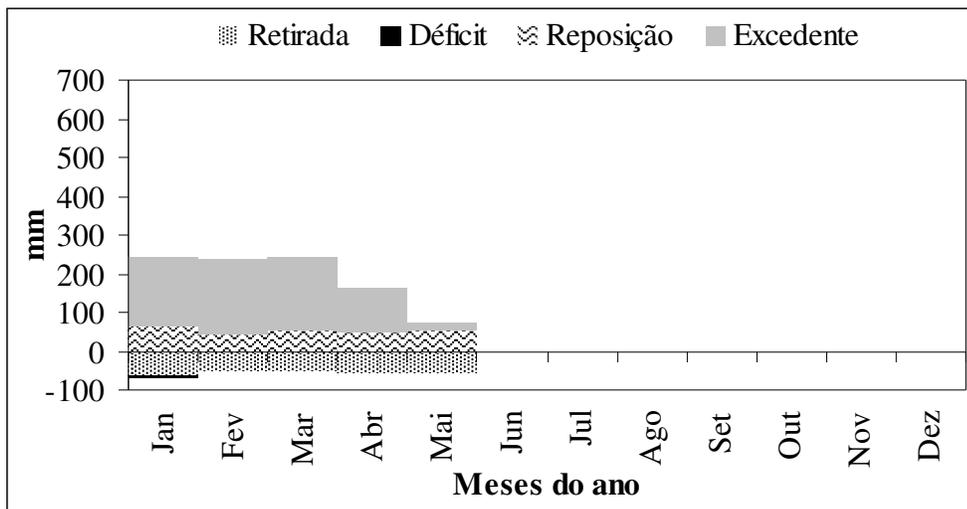


Figura 51 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 80% da ECA, manejadas com o uso do repouso, até maio 2006. CAD = 100 mm

Tabela 18 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de 80% da ECA e submetidas à suspensão da irrigação em julho e agosto. CAD igual a 100 mm

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	...	...	...	...	...	...	0,79	0,48	0,92	0,97	0,99	0,94
2004	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,87	0,48	0,95	0,98	0,99	0,98
2005	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,68	0,35	0,80	0,99	0,96	0,94
2006	0,98	0,91	0,96	0,98	0,98	...	...	...	...	...	...	...

Nota: a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

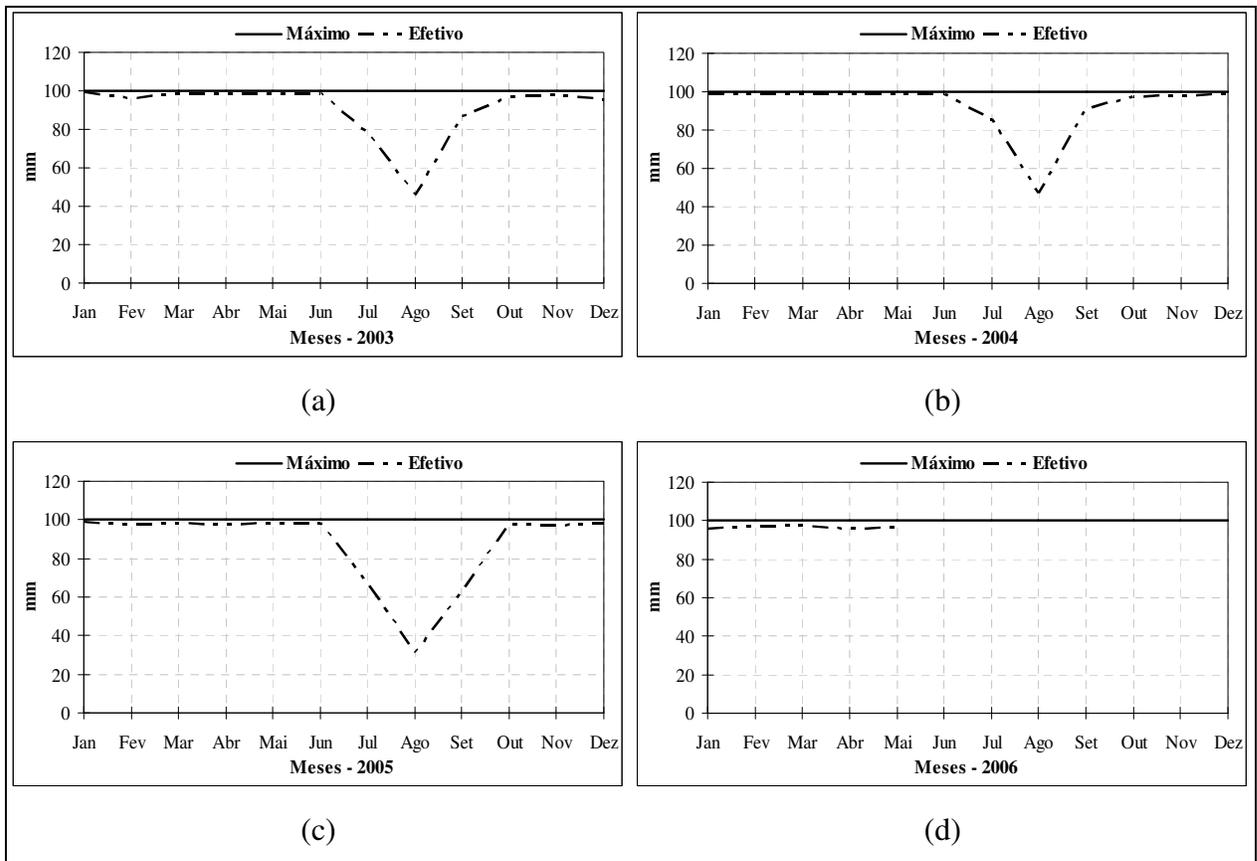


Figura 52 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 80% da ECA manejadas com o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)

Os extratos do balanço hídrico climatológico do tratamento 120% da evaporação da água do tanque classe A, manejado com a suspensão da irrigação em julho e agosto estão reunidos nas Figuras 53, 54, 55 e 56. Ao analisá-las verifica-se que o déficit hídrico em setembro foi menor do que aquele verificado no tratamento anterior, o que influenciou positivamente os valores de transpiração relativa nesse mês (Tabela 19). Por outro lado, foram verificados altos valores de excedente hídrico em todos os meses onde a irrigação foi realizada.

Com relação ao armazenamento efetivo da água no solo (Figura 57), verificou-se que a lâmina de irrigação de 120% da ECA forneceu água suficiente para repor rapidamente o armazenamento em setembro, principalmente em setembro de 2005 (Figura 57c), onde o valor

estimado foi de 80,6 mm, apesar da maior área foliar das plantas em relação ao início do experimento.

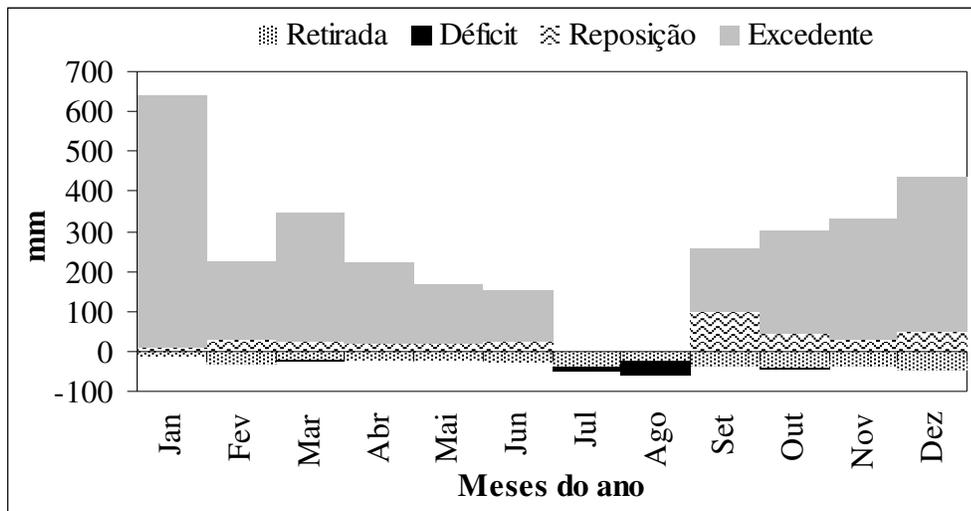


Figura 53 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 120% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm

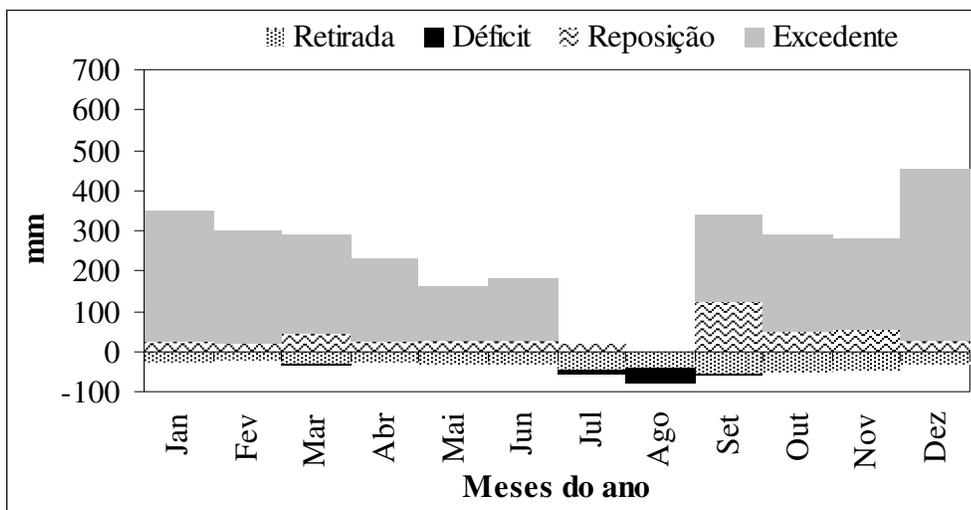


Figura 54 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 120% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm

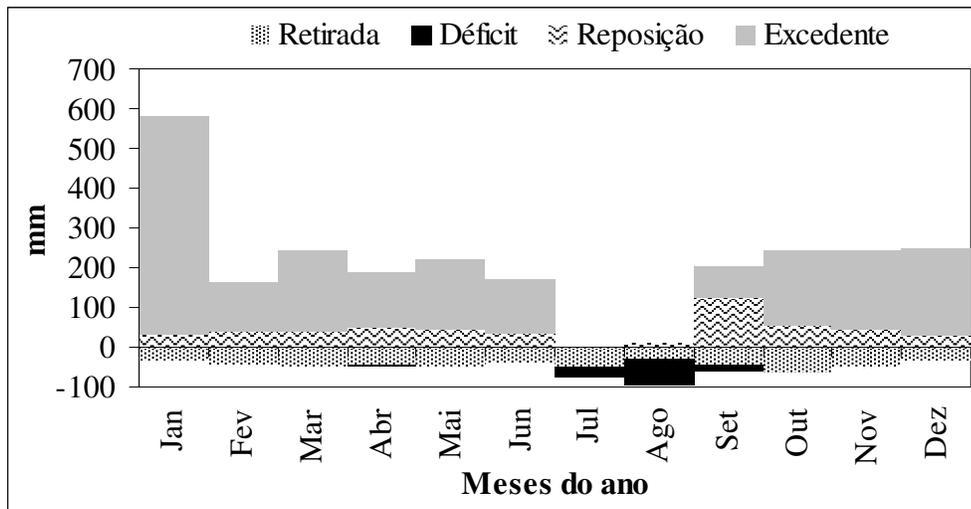


Figura 55 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 120% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm

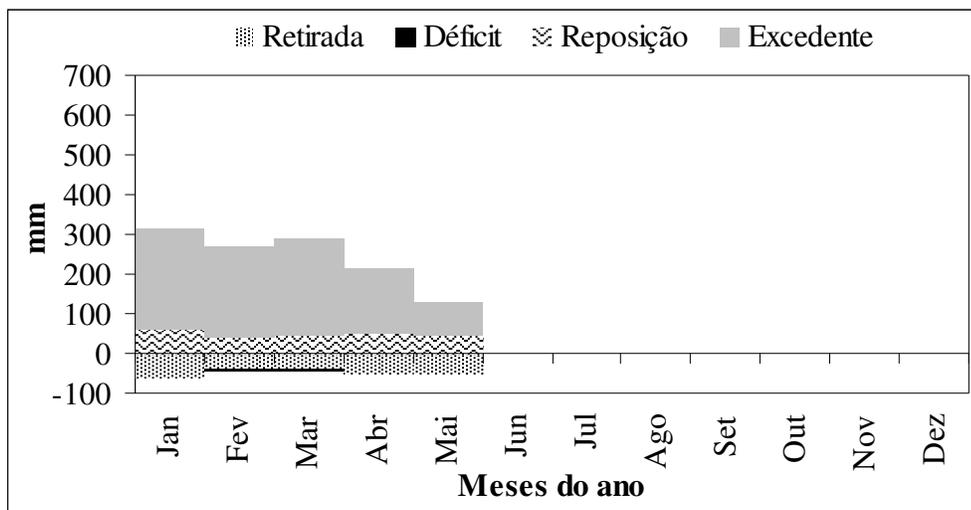


Figura 56 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 120% da ECA, manejadas com o uso do repouso, até maio de 2006. CAD = 100 mm

Tabela 19 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de 120% da ECA e submetidas à suspensão da irrigação em julho e agosto. CAD igual a 100 mm

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	...	...	...	...	...	...	0,80	0,49	0,95	0,99	0,99	0,98
2004	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,87	0,49	0,95	0,99	0,99	0,98
2005	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,69	0,37	0,90	0,99	0,99	0,99
2006	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	...	...	...	...	...	...	...

Nota: a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

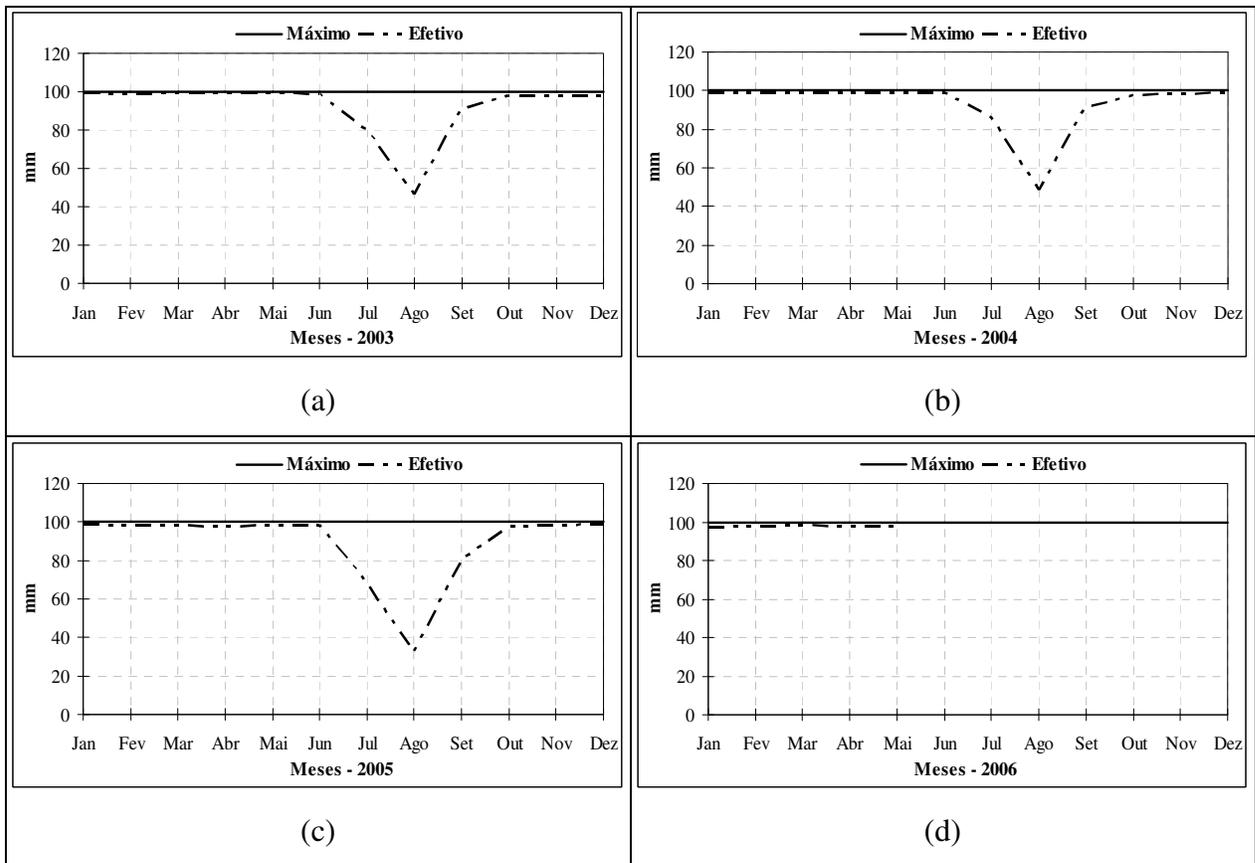


Figura 57 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 120% da ECA manejadas com o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)

Os extratos dos balanços hídricos climatológicos para o tratamento 160% da ECA, manejado com a suspensão da irrigação em julho e agosto estão apresentados nas Figuras 58, 59, 60 e 61. Neste tratamento, nota-se que os valores de déficit hídrico, bem como de transpiração relativa (Tabela 20) foram semelhantes àqueles verificados no tratamento 120% da ECA com adoção do repouso. Por outro lado, o excedente hídrico apresentou-se bastante acentuado, ultrapassando em muito os valores verificados no tratamento anterior. No que se refere ao armazenamento efetivo da água no solo (Figura 62), nota-se que a água retirada em julho e agosto foi repostada rapidamente a partir da retomada da irrigação em setembro, para todos os anos.

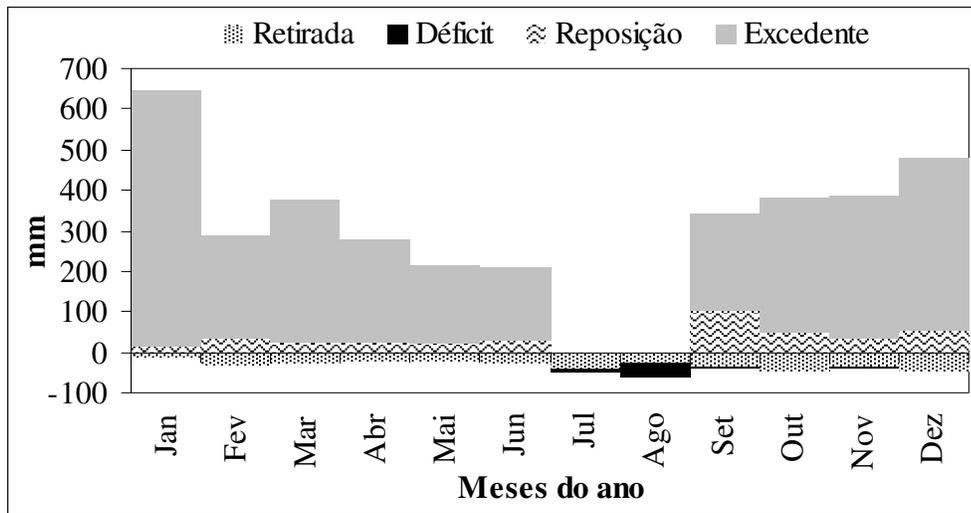


Figura 58 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 160% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm

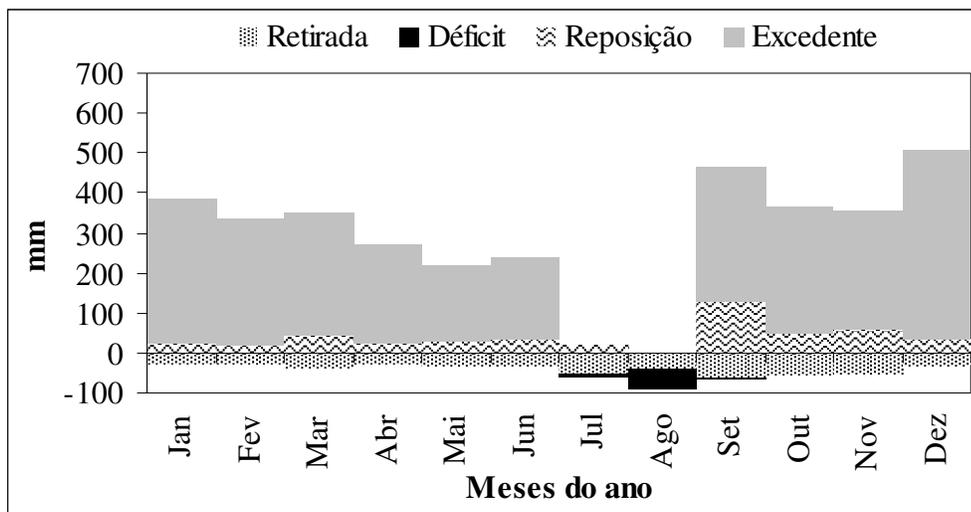


Figura 59 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 160% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm

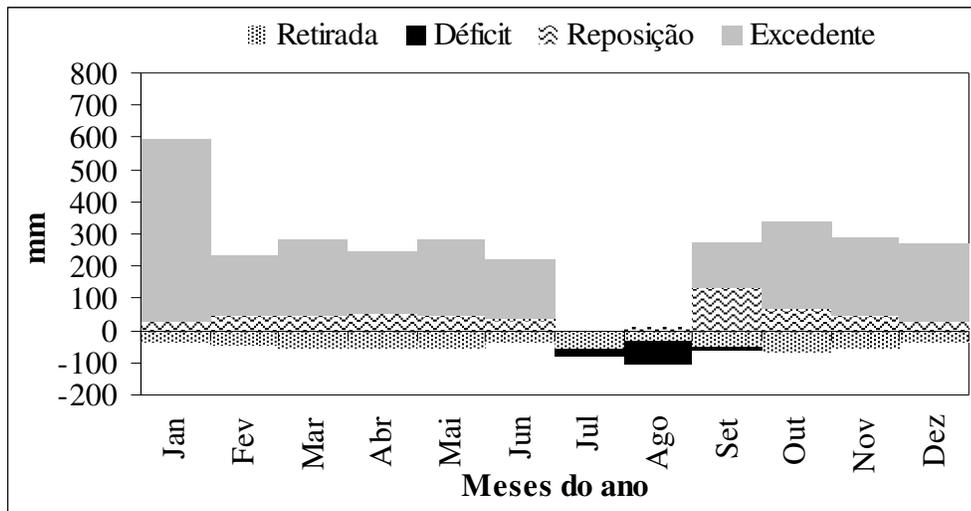


Figura 60 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 160% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm

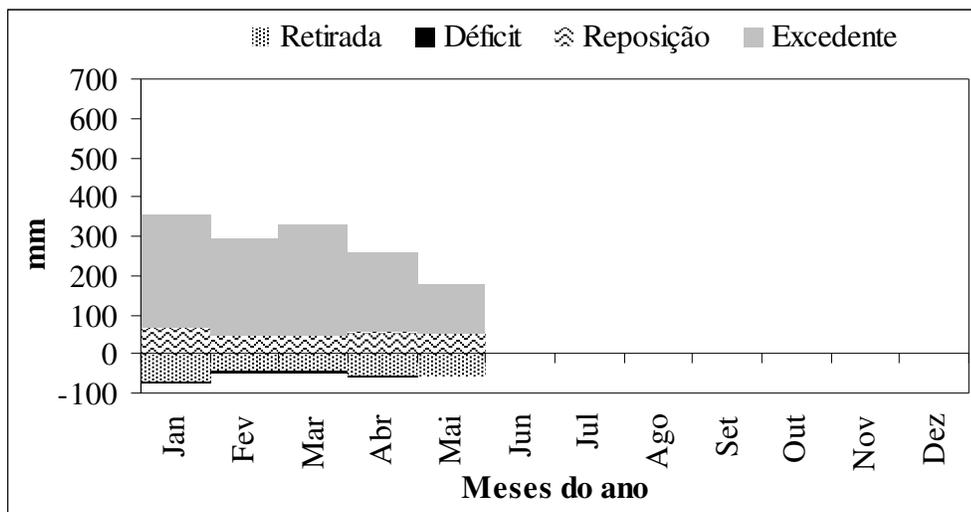


Figura 61 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 160% da ECA, manejadas com o uso do repouso, até maio de 2006. CAD = 100 mm

Tabela 20 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de 160% da ECA e submetidas à suspensão da irrigação em julho e agosto. CAD igual a 100 mm

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	...	...	...	...	...	...	0,79	0,46	0,97	0,99	0,99	0,96
2004	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,85	0,45	0,96	0,98	0,99	0,99
2005	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,67	0,33	0,92	0,99	0,99	0,97
2006	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	...	...	...	...	...	...	...

Nota: a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

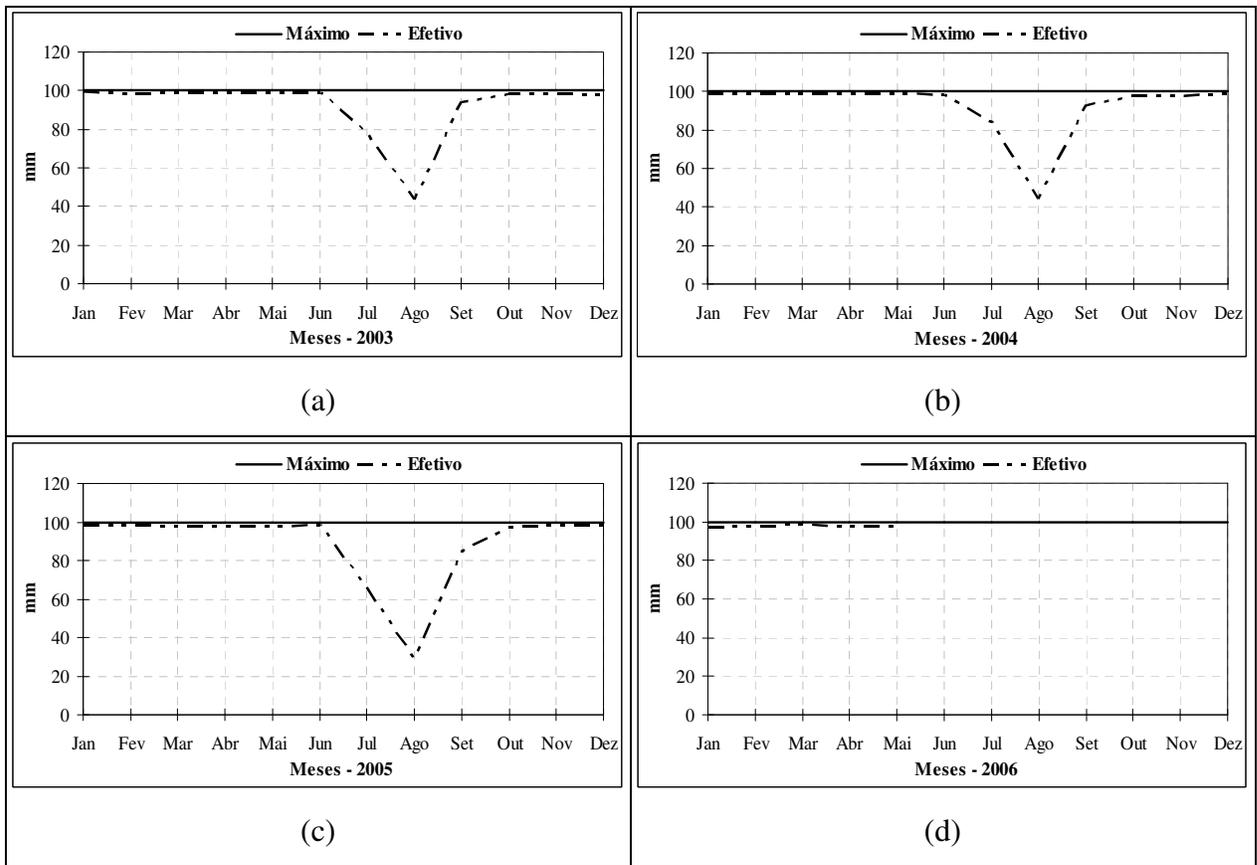


Figura 62 - Detalhe dos níveis de armazenamento da água do solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 160% da ECA manejadas com o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)

As Figuras 63, 64, 65 e 66 detalham o extrato do balanço hídrico climatológico para o tratamento 200% da ECA, manejado com o repouso da irrigação nos meses de julho e agosto. Analisando-as verifica-se que o déficit hídrico apresentou o menor valor quando se compara com os demais tratamentos com adoção do repouso investigados, o que permitiu a obtenção de altos valores de transpiração relativa (Tabela 21). Por outro lado, o excedente hídrico foi o mais alto entre todos esses tratamentos, promovendo a permanência de altos níveis de armazenamento efetivo de água no solo durante o período de irrigação (Figura 67).

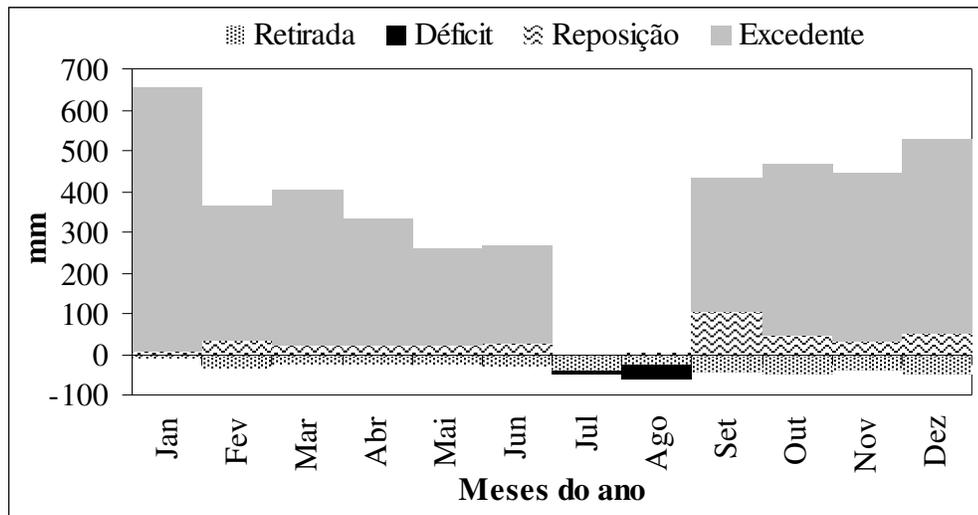


Figura 63 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 200% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2003. CAD = 100 mm

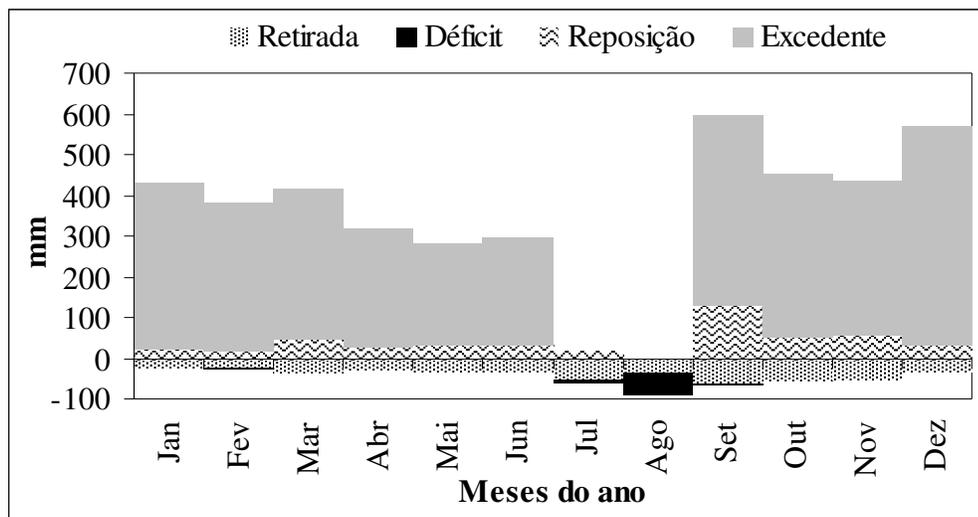


Figura 64 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 200% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2004. CAD = 100 mm

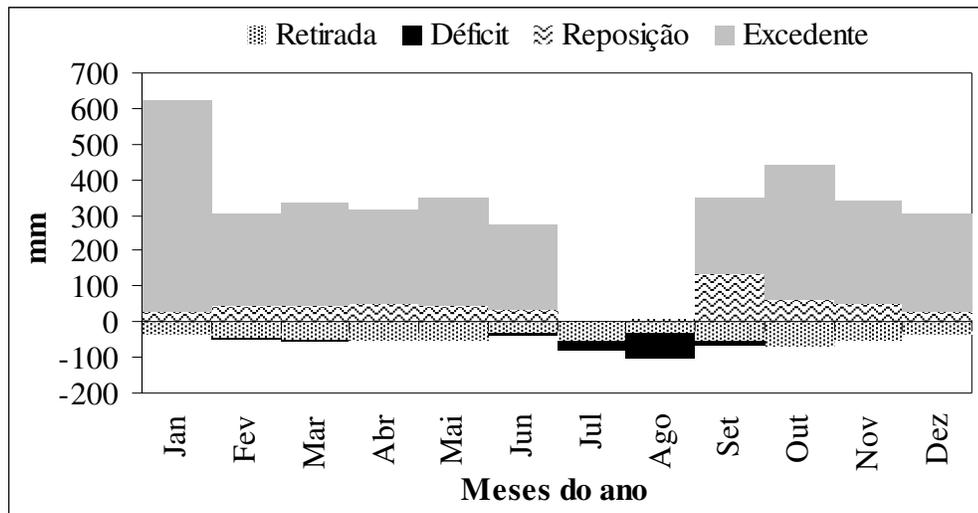


Figura 65 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 200% da ECA, manejadas com o uso do repouso, durante todo o ano de 2005. CAD = 100 mm

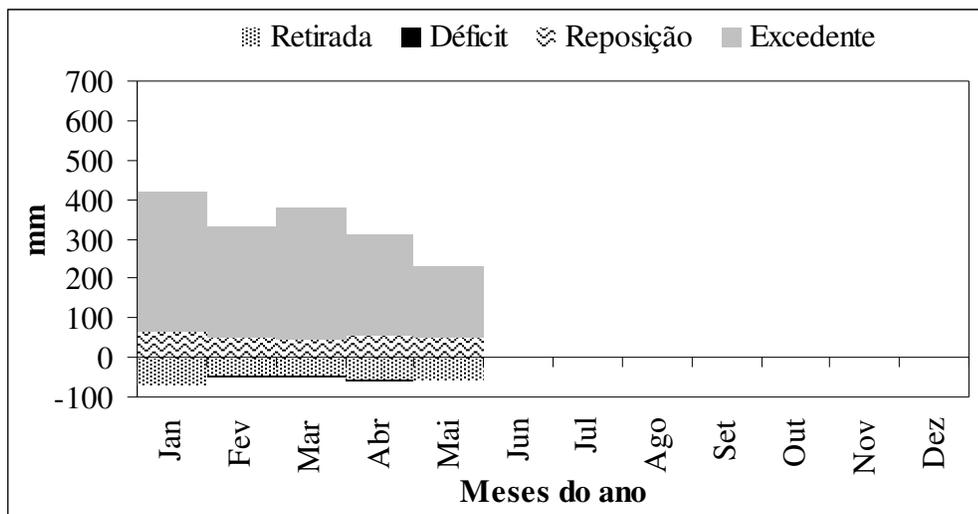


Figura 66 - Balanço hídrico climatológico do cafeeiro cultivado em Uberlândia-MG, com lâmina de irrigação de 200% da ECA, manejadas com o uso do repouso, até maio de 2006. CAD = 100 mm

Tabela 21 - Valores médios diários de transpiração relativa de plantas de café, manejadas com lâmina de 200% da ECA e submetidas à suspensão da irrigação em julho e agosto. CAD igual a 100 mm

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	...	...	...	...	...	...	0,79	0,46	0,98	0,99	0,99	0,99
2004	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,85	0,44	0,97	0,98	0,99	0,99
2005	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,67	0,33	0,93	0,99	0,99	0,99
2006	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	...	...	...	...	...	...	...

Nota: a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

Diante dos resultados apresentados pelos tratamentos submetidos ao repouso da irrigação nos meses de julho e agosto, infere-se que o déficit hídrico imposto durante esses meses contribuiu para a queda acentuada na produtividade das plantas, devido à depleção acentuada do armazenamento da água no solo, principalmente no mês de agosto, contrariando os resultados obtidos por Santinato, Silva e Fernandes (2003).

Além disso, os valores de transpiração real da cultura foram muito baixos nesses tratamentos, sendo estimados valores de $0,65 \text{ mm dia}^{-1}$ em 27/08/2003 no tratamento 80% da ECA; $0,72 \text{ mm dia}^{-1}$ em 28/08/2004 nos tratamentos 160% da ECA e 200% da ECA e; $0,73 \text{ mm dia}^{-1}$ em 01/09/2005, também nos tratamentos 160% da ECA e 200% da ECA. Esses valores estão coerentes com aqueles encontrados por Guerra et al. (2003) em Planaltina-DF. Esses autores verificaram em cafeeiros adultos da variedade cultivada Rubi-1192, que os valores mínimos de evapotranspiração real medidos por sonda de nêutrons após 65 dias sem chuva ou irrigação, foram de $0,7 \text{ mm dia}^{-1}$.

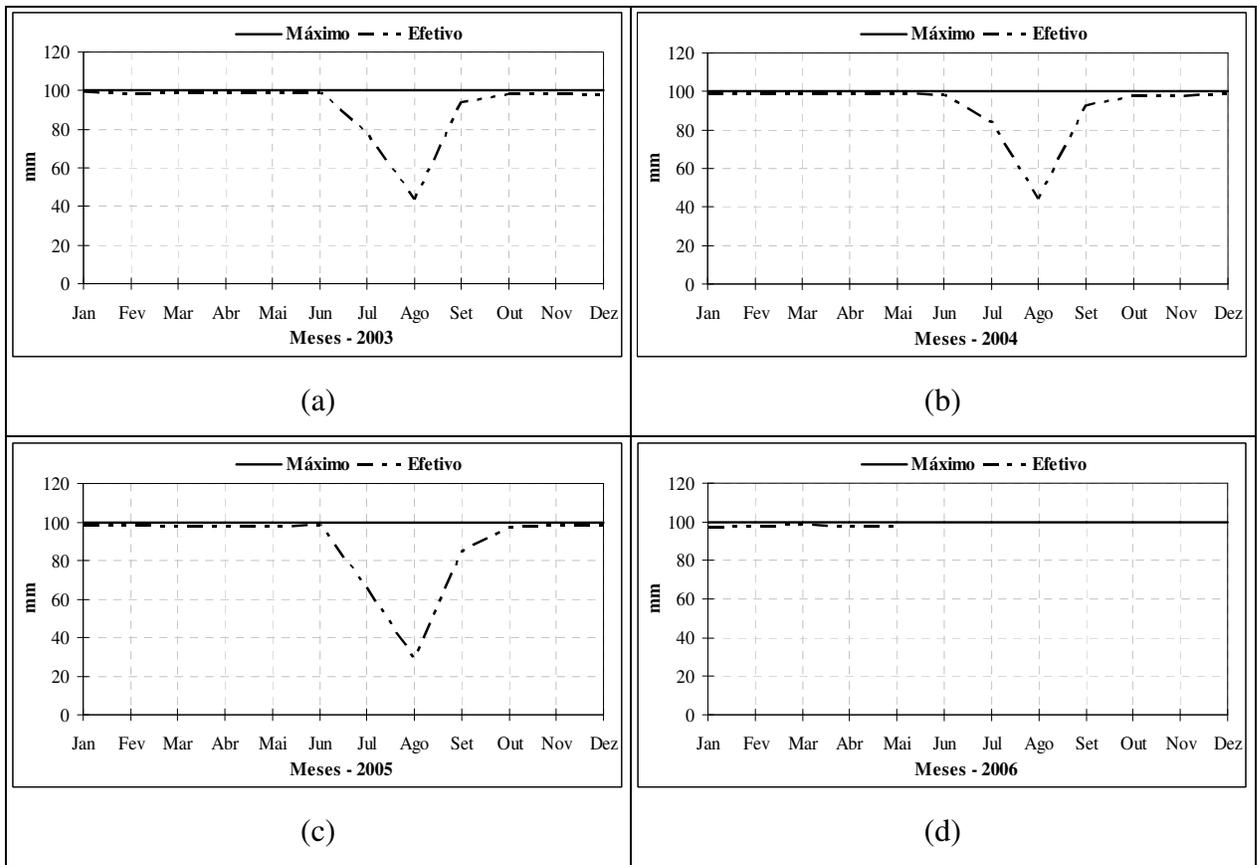


Figura 67 - Detalhe dos níveis de armazenamento de água no solo máximo (100 mm) e efetivo, estimados para o tratamento com lâmina de irrigação de 200% da ECA manejadas com o uso do repouso, durante os anos de 2003 (a), 2004 (b), 2005 (c) e 2006 (até maio) (d)

2.6.8 Resultados dos índices de eficiência no uso da água

Nos tópicos anteriores foi abordada a influência da irrigação em seus vários níveis ou lâminas e o tipo de manejo (com ou sem a adoção do repouso) nos parâmetros produtivos, de crescimento e de qualidade física e de bebida dos grãos produzidos pelos cafeeiros, bem como no armazenamento de água do solo. No entanto, com a crescente escassez de água que já se verifica em várias regiões do país, é importante que se avalie a eficiência com a qual as plantas estão utilizando esse recurso. Para tanto, foram calculados alguns índices que podem atestar tal eficiência, a qual em conjunto com as informações obtidas nos demais parâmetros avaliados se pode definir qual a lâmina de irrigação mais indicada.

Os resultados dos parâmetros de eficiência do uso da água calculados neste trabalho estão reunidos na Tabela 22. Analisando-a verifica-se que para a característica uso eficiente da água (UEA) o tratamento que melhor resultado promoveu é o 80% da ECA com irrigação contínua (sem suspensão da irrigação em julho e agosto), onde se observou que para cada milímetro de água transpirada pelas plantas foram produzidos 3,8 kg de café beneficiado.

Esse tratamento proporcionou o melhor resultado porque nele foi obtida a maior produtividade e a umidade do solo se manteve em nível adequado durante todo o tempo. Conforme citaram Lin et al, (1983), Srinivas et al., (1989) e Souza et al. (1998) a distribuição da água e a manutenção de níveis ótimos de umidade no solo durante todo o ciclo da cultura, reduzem as perdas de água por drenagem e os períodos de estresse hídrico da cultura, o que aumenta a eficiência no uso da água. Os menores valores de eficiência no uso da água foram proporcionados pelos tratamentos Testemunha ou sem irrigação (2,4) e 120% da ECA com adoção da suspensão da irrigação (2,4).

Dentre os tratamentos manejados com suspensão da irrigação, o 80% da ECA proporcionou o maior valor de UEA, alcançando 2,8. Através da Tabela 22 nota-se também, que ao se adotar esse tipo de manejo da irrigação (com suspensão), há uma piora significativa no índice UEA, uma vez que a produtividade foi diminuída de maneira acentuada nos tratamentos com repouso em relação àqueles que proporcionaram maiores produções quando manejados sem repouso da irrigação, porém, a transpiração real das plantas variou muito pouco entre as mesmas lâminas nos dois tipos de manejo (com e sem repouso da irrigação).

No que diz respeito ao uso eficiente da água de irrigação (UEAI), nota-se que o tratamento 40% da ECA com repouso da irrigação em julho e agosto propiciou o melhor resultado, seguido pelos tratamentos 40% da ECA e 80% da ECA sem repouso, os quais apresentaram 6,6, 5,9 e 3,6 respectivamente. Não obstante, verifica-se que esse índice diminuiu com o aumento da lâmina de irrigação. Esse decréscimo representa as perdas de água que ocorreram, principalmente por percolação profunda, quando se aumentou a quantidade de água aplicada, corroborando com os dados apresentados nos balanços hídricos climatológicos. Além disso, com os dados de UEAI apresentados na Tabela 18 pode-se inferir que nos casos onde a disponibilidade de água para a irrigação do cafeeiro cultivado na região de Uberlândia-MG for pequena, e se desejar obter o

máximo de eficiência da mesma, pode-se optar pela lâmina de 40% da ECA com a adoção da irrigação em julho e agosto, já que o valor de UEAI foi o mais alto.

Com relação ao índice de compensação da irrigação (I_c), o qual foi obtido pela relação entre a quantidade de água aplicada pela irrigação (I) e a aquela transpirada pela planta (Tr), nota-se que o tratamento 80% da ECA com repouso da irrigação proporcionou o melhor resultado (100,7%). Neste caso, interpreta-se que a irrigação conseguiu suprir 100,7% da necessidade de água da planta. Por outro lado, no tratamento cuja lâmina foi a de 40% da ECA, seja ela com ou sem repouso, verificou-se que a mesma não conseguiu suprir totalmente essa necessidade, o que foi comprovado pelos extratos dos balanços hídricos climatológicos. Com exceção dessas e da lâmina de 80% da ECA com repouso, os demais tratamentos apresentaram valores de I_c acima de 100%, indicando que a lâmina de irrigação supriu toda a água da planta e promoveu excessos que se perderam por percolação.

O índice quebra relativa de produção (Q) representou a porcentagem de diminuição na produção de cada tratamento em relação ao tratamento 80% da ECA sem repouso na irrigação, o qual propiciou a obtenção do maior valor de produtividade. Analisando a Tabela 18, nota-se que o tratamento Testemunha foi aquele onde a quebra de produção foi mais acentuada (57,2%). Observa-se também, que os tratamentos submetidos ao repouso da irrigação em julho e agosto proporcionaram as maiores quebras de produção.

Tabela 22 - Dados de produtividade (Pr_{kg}), lâmina de irrigação (I), transpiração real da cultura (Tr), uso eficiente da água UEA), uso eficiente da água de irrigação (UEAI), índice de compensação da irrigação (Ic) e quebra relativa de produção (Q)

Fatores	Tratamentos										
	Testemunha	Sem suspensão na irrigação					Com suspensão na irrigação				
		40	80	120	160	200	40	80	120	160	200
Pr_{kg} ($kg\ ha^{-1}$)	5.430	9.678	12.690	11.550	10.380	11.424	7.836	9.324	7.944	9.774	9.012
I (mm)	...	1.647	3569	5.696	7.918	10.239	1.195	3.378	4.315	6.070	7.921
Tr (mm)	2.237	3.044	3.319	3.825	3.791	3.827	3.171	3.356	3.296	3.602	3.620
UEA ($kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$)	2,4	3,2	3,8	3,0	2,7	3,0	2,5	2,8	2,4	2,7	2,5
UEAI ($kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$)	...	5,9	3,6	2,0	1,3	1,1	6,6	2,8	1,8	1,6	1,1
Ic (%)	...	54,1	107,5	148,9	208,9	267,5	37,7	100,7	130,9	168,5	218,8
Q (%)	57,2	23,7	0,0	9,0	18,2	10,0	38,3	26,5	37,4	23,0	29,0

Nota: a simbologia “...” significa que o valor numérico não está disponível

3 CONCLUSÕES

Considerando as condições nas quais o experimento foi conduzido, pôde-se concluir que: (1) a renda e a qualidade da bebida do café não foram influenciadas pelos tratamentos. Para todos os casos, a bebida foi classificada como “dura”; (2) a suspensão da irrigação durante os meses de julho e agosto melhorou sobremaneira a qualidade física do café, porém, a produtividade foi drasticamente diminuída; (3) a lâmina de irrigação de 80% da evaporação da água do tanque classe A, manejada com suspensão da irrigação em julho e agosto, promoveu um dos menores valores de catação, peneira 10 e defeito, além do melhor resultado para peneira 17/18; portanto, melhor condição física de grãos, porém, a quebra relativa de produção foi de 26,5%; (4) a lâmina de irrigação de 80% da evaporação da água do tanque classe A, manejada durante todo o ano, promoveu a maior produtividade média, o maior índice de eficiência no uso da água e um dos melhores resultados no índice de eficiência no uso da água de irrigação e índice de compensação da irrigação; (5) os modelos de regressão polinomial de terceiro grau, polinomial de segundo grau e raiz quadrada representaram de forma satisfatória o desempenho produtivo do cafeeiro em função da quantidade de água aplicada, porém o primeiro apresentou maior coeficiente de correlação; (6) os piores resultados para altura das plantas foram aqueles proporcionados pelos tratamentos Testemunha, 40% da ECA irrigado o ano inteiro, e 40% e 120% da ECA com suspensão da irrigação em julho e agosto. Os demais tratamentos se equipararam estatisticamente; (7) para o diâmetro da copa e do caule, os piores resultados foram proporcionados pelos tratamentos Testemunha e 40% da ECA irrigado o ano inteiro, sendo que os demais tratamentos não diferiram entre si; (8) independente do tipo de manejo (com ou sem suspensão na irrigação), o cafeeiro apresentou crescimento linear com o aumento da quantidade de água aplicada, com exceção do diâmetro do caule, que apresentou um ponto de máximo desenvolvimento na lâmina de 136,2% da ECA; (9) a maior eficiência no uso da água de irrigação foi conseguida pela lâmina de 40% da ECA com suspensão em julho e agosto, porém, houve diminuição na produtividade em 38,3%; (10) o balanço hídrico climatológico diário do cafeeiro mostrou que o armazenamento efetivo da água do solo para o tratamento Testemunha sofreu muita variação ao longo dos anos avaliados, permanecendo durante o mês de setembro,

abaixo de 30%; e (11) nos tratamentos com suspensão da irrigação, o armazenamento efetivo da água no solo ficou abaixo de 50% no mês de agosto, por outro lado, naqueles onde a irrigação foi realizada o ano todo o armazenamento permaneceu acima de 90%, com exceção do tratamento 40%, onde o armazenamento chegou a 75% em maio/2006.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PERRIER, A.; PEREIRA, L.S. An update for the definition of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, New Delhi, v. 43, n. 2, p. 1-34, 1994.

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

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **EP 458: field evaluation of microirrigation system**. St. Joseph, 1998. 7 p.

ARRUDA, F.B.; IAFFE, A.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R. O. Resultados anuais do coeficiente de cultura do cafeeiro em um ensaio em Pindorama/SP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000. Poços de Caldas. **Anais ...** Brasília: Embrapa Café; MINASPLAN, 2000. v. 2, p.790-793.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **Estatísticas: indicadores da indústria**. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/estatisticas.html>> Acesso em: 16 fev. 2008.

ASSUNÇÃO, W.L. **Climatologia irrigada no município de Araguari-MG**. 2002. 266 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2002.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6.ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 595 p.

BRUNO, I.P. **Balanço hídrico e avaliação da chuva na cultura do cafeeiro**. 2006. 52 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

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

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Item**, Brasília, n. 49, p. 8-13, 2001.

COELHO, G.; SILVA, A.M.; SATO, F.A.; SILVA, A.C.; SILVA, R.A.; JUNQUEIRA JUNIOR, J.A.; CUSTÓDIO, A.A.P. Efeito da irrigação e da fertirrigação sobre a produtividade do cafeeiro (safra 2001/2002 a 2003/2004). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 7., 2005, Araguari. **Anais ...** Araguari, 2005. p. 110-113.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS.
Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5º Aproximação. Viçosa, 1999. 359 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira. Café/Primeira estimativa/Janeiro/2008.** Disponível em:
<<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/Boletim.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2008.

DINAR, A. Economic factors and opportunities as determinants of water use efficiency in agriculture. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 14, p. 47-52, 1993.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements.** Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

DOURADO NETO, D.; SAAD, A.M.; LIER, Q.J. **Curso de agricultura irrigada.** Piracicaba: ESALQ, 1991. 190 p.

DOURADO NETO, D.; GARCÍA, G.A.; FANCELLI, A.L.; FRIZZONE, J.A.; REICHARDT, K. Balance hídrico cíclico y secuencial: estimación de almacenamiento de agua en el suelo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56 n. 3, p. 537-546, jul.1999.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412 p.

ESTERK, A.; SENSOY, S.; KÜÇÜKYUMUK, C.; GEDIK, I. Determination of plant-pan coefficients for field-grown eggplant (*Solanum melongena* L.) using class A pan evaporation values. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, v. 85, p. 56-66, 2006.

FABEIRO CORTÉS, C.; SANTA OLALLA, M.F.; LÓPEZ URREA, R. Production of garlic (*Allium sativum* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, v. 59, p. 155-167, 2003.

FARIA, M.A.; SILVA, E.L. de; GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, P.R.; COSTA, E.S.C.; SILVA, M.L.O.; SILVA, A.L. da. Produtividade das três primeiras safras do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002, Araguari. **Anais ... Araguari**, 2002. p. 29-32.

FAVARIN, J.L.; DOURADO NETO, D.; GARCIA, A.G.; VILLA NOVA, N.A.; FAVARIN, M.G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, jun. 2002.

FRIZZONE, J.A. **Análise de decisão econômica em irrigação**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Engenharia Rural, 2005. 371 p. (Série Didática, 17).

GERVÁSIO, E.S. **Efeito de diferentes lâminas de água no desenvolvimento do cafeeiro (*coffea arabica* L.) na fase inicial de formação da lavoura.**, 1998. 58 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

GUERRA, A.F.; RODRIGUES, G.C.; NAZARENO, R.B.; SAMPAIO, J.B.; SANZONOWICZ, C.; TOLEDO, P.M.R. Manejo de irrigação do cafeeiro no cerrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Araguari. **Anais ... Araguari**, 2003. p. 141.

GUIMARÃES, P.T.G.; SILVA, E.L. da; GARCIA, P.R.; COSTA, H.S.C.; SILVA, A.L. da; FARIA, M.A. de; SILVA, M.L.O. e. Crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes

lâminas de irrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002, Araguari. **Anais ...** Araguari, 2002. p. 20-23.

HOWELL, T.A.; CUENCA, R.H.; SOLOMON, K.H. Crop yield response. In: HOFFMAN, G, J.; HOWELL, T.A.; SOLOMON, K.H. (Ed.). **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1990. p. 93-122.

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

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução de C.H.B.A. Prado. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LETEY, J. Relationship between salinity and efficient water use. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 14, p. 75-84, 1993.

LIN, S.S.M.; HUBBEL, J.N.; SAMSON ISOU, S.C.S.; SPLITTSTOESSER, W.E. Drip irrigation and tomato yield under tropical conditions. **HortScience**, Fort Collins, v. 18, p. 460-461, 1983.

LIU, W.Z.; HUNSAKER, D.J.; LI, Y.S.; XIE, X.Q.; WALL, G.W. Interrelations of yield, evapotranspiration, and water use efficiency from marginal analysis of water production functions. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, v. 56, p. 143-151, 2002.

MANTOVANI, E.C. Cafeicultura irrigada: produtividade e rentabilidade com sustentabilidade. In: MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.R. (Ed.). **Irrigação do cafeeiro: informações técnicas e coletâneas de trabalhos**. Viçosa: Ed. UFV, 2003. p. 9-46. (Energia na Agricultura. Boletim Técnico, 8).

MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.R.; SILVA, T.C. da; MUDRIK, S.A. Avaliação dos efeitos da irrigação no crescimento e na produtividade em cafeeiros na região de Viçosa-MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 6., 2003, Araguari. **Anais ...** Araguari, 2003. p. 98-101.

MARTINS, C.P.; VILELA, L.A.A.; GOMES, N.M. Influência de diferentes lâminas de irrigação aplicadas nos parâmetros de crescimento do cafeeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 4., 2002, Araguari. **Anais ...** Araguari, 2002. p. 111-115.

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

MATTIELO, J.B.; DANTAS, S.F.A. Desenvolvimento do cafeeiro e do sistema radicular com e sem irrigação em Brejão (PE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 14., 1987, Campinas. **Trabalhos apresentados ...** Rio de Janeiro: PROCAFÉ, 1987. p. 165.

MATTIELO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. 5.ed. Rio de Janeiro: MAPA; SARC; PROCAFÉ-SPAE; DECAF; FUNDAÇÃO PROCAFÉ, 2005. 438 p.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981. 440 p.

PEREIRA, A.R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005.

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

PEREIRA, A.B.; VILLA NOVA, N.A.; GALVANI, E. Estimation of global solar radiation flux density in Brasil from a single measurement at solar noon. **Biosystems Engineering**, Edinburgh, v. 86, p. 27-34, 2003.

PIRES, R.C.M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F.B.; FOLEGATTI, M.V. Necessidades hídricas das culturas e manejo da irrigação. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. (Ed.). **Irrigação**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. v. 1, p. 121-194.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188 p.
RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1986. p. 13-85.

_____. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA S, O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Potafos, 1987. p. 119-145.

_____. Relações hídricas no cafeeiro. **Item**, Brasília, n. 48, p. 34-41, 2000.

RITSCHER, P.S.; SOUSA, V.F. de; CONCEIÇÃO, M.A.F.; SOUZA, V.A.B. de; COELHO, E.F. Efeito da época de suspensão da irrigação na produtividade do meloeiro (*Cucumis melo* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 10., 1994, Salvador. **Anais ...** Salvador, 1994. p. 135-142.

ROTONDANO, A.K.F. **Desenvolvimento vegetativo, produção e qualidade dos grãos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes lâminas de irrigação**. 2003. 61 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

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

SANTINATO, R.; SILVA, V.A.; FERNANDES, A.L.T. Manejo da irrigação por gotejo na fase de formação de lavoura na região de Franca - SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS. 29., 2003, Araxá. **Trabalhos apresentados ...** Rio de Janeiro: PROCAFÉ, 2003. p. 311-312.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A.L.P.; DUARTE, A.P.; SEIXAS, L. Efeito da irrigação por “tripa” na formação e produção do cafeeiro na região do cerrado de Patos de Minas, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS. 28., 2002, Caxambu. **Trabalhos apresentados ...** Rio de Janeiro: PROCAFÉ, 2002. p. 110-111.

SANTOS, C. M.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C.; CAETANO, A. R.; DOMINGUES, E. P.; BRONZI, S. S. Diagnóstico da cafeicultura irrigada no cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 1., 1998, Araguari. **Anais ...** Araguari, 1998. p. 120-144.

SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia aplicada à irrigação. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. (Ed.). **Irrigação**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. v. 1, p. 63-120.

SILVA, A.M.; SILVA, R.A.; COELHO, G.; OLIVEIRA, P.M.; SILVA, A.C.; SATO, F.A. Efeito da época de irrigação sobre a produtividade do cafeeiro (safra 01/02). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 6., 2003, Araguari. **Anais ...** Araguari, 2003. p. 75-79.

SILVA, E.L. da; MELO, L.Q. de; FARIA, M.A. de; CARVALHO, H.M. de; COLOMBO, A.; MORAIS, A.R. de; SCALCO, M.S. Influência de diferentes critérios de irrigação e densidade de plantio sobre o crescimento inicial do cafeeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002, Araguari. **Anais ...** Araguari, 2002. p. 150-155.

SILVA, M.G.; SOUZA, E.F.; BERNARDO, S.; GOMES, M.C.R.; PINTO, J.F. Efeito da irrigação por gotejamento no rendimento e peneira do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 7., 2005, Araguari. **Anais ...** Araguari, 2005a. p. 157-160.

SILVA, M.L.O.; FARIA, M.A.; MATTIOLI, W.; ANDRADE, G. P.C. Qualidade do café produzido pelo cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em seis safras, submetido a diferentes lâminas de irrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 7., 2005, Araguari. **Anais ...** Araguari, 2005b. p. 30-33.

SOARES, A.R. **Efeito da lâmina de irrigação e da porcentagem de área molhada no desenvolvimento e produção do cafeeiro em Patrocínio, MG**. 2005. 63 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

SOLOMON, K.H. Typical water production function. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURE ENGINEERS WINTER MEETING, 1985, Chicago. **Proceedings ...** Chicago: ASAE, 1985. p. 17-20. (ASAE. Paper, 85-2596).

SOUZA, V.F. de; COELHO, E.F.; FRIZZONE, J.A.; FOLEGATTI, M.V.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; OLIVEIRA, F.C. Frequência de irrigação por gotejamento na eficiência do uso da água no meloeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais ...** Poços de Caldas: SBEA, 1998. p. 214-216.

SRINIVAS, K.; HEGEDE, D.M.; HAVANAGI, G.V. Plant water relations, canopy temperature, yield and water-use efficiency of water melon (*Citrullus linatus* (Thamb.) Matsum et Nakai) under drip and furrow. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 64, n. 1, p.115-124, 1989.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de E. R. Santarém et al.. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TEODORO, R.E.F.; MELO, B.; CARVALHO, H.P.; NUNES, S.R.; FERREIRA, J.G. Determinação do coeficiente de cultura (kc) para o cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Apotã) utilizando lisímetro de drenagem, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 30., 2004, São Lourenço. **Anais ...** Rio de Janeiro: PROCAFÉ, 2004. p. 154.

TEODORO, R.E.F.; MELO, B.; CARVALHO, H.P.; FERNANDES, D.L.; RUFINO, M.A.; MORAES, D.F. Influência de diferentes lâminas de irrigação na qualidade dos grãos do cafeeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 7., 2005, Araguari. **Anais ...** Araguari, 2005. p. 15-17.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1992. 374 p.

VILLA NOVA, N.A.; FAVARIN, J.L.; ANGELOCCI, L.R.; DOURADO NETO, D. Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 1, p. 81-88, 2002.

VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. Estimativa da evapotranspiração com o Tanque Classe A. In: IRRIGAÇÃO DA CAFEICULTURA NO CERRADO, 6., 2000, Uberlândia. **Anais ...** Uberlândia: ICIAG; Universidade Federal de Uberlândia; Associação dos Cafeicultores de Araguari, 2001. p. 145-147.

APÊNDICE



Figura 1A - Detalhe da entrelinha de plantio



Figura 2A - Vista parcial do posto agrometeorológico da Fazenda Experimental do Glória/UFU



Figura 3A - Detalhe do tanque classe A



Figura 4A - Detalhe do pluviômetro



Figura 5A - Detalhe do gancho para o nivelamento da água do tanque classe, localizado dentro do poço tranquilizador



Figura 6A - Detalhe do tubo gotejador instalado no campo



Figura 7A - Detalhe do cavelete localizado na área experimental



Figura 8A - Vista parcial do reservatório e da casa de bombas



Figura 9A - Detalhe interno da casa de bombas



Figura 10A - Detalhe do método de colheita



Figura 11A - Detalhe do pano utilizado na colheita



Figura 12A - Café colhido passando por limpeza inicial (“abanação”)



Figura 13A - Café sendo colhido após a “varreção”



Figura 14A - Detalhe da camada de folhas abaixo da copa das plantas



Figura 15A - Vista frontal do renque de plantas, detalhando o formato cilíndrico da variedade cultivada Rubi-1192



Figura 16A - Detalhe das plantas do tratamento Testemunha à frente e do tratamento 200% da ECA sem repouso ao fundo, no dia 5 de outubro de 2004