

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Balanço hídrico e avaliação da chuva na cultura do cafeeiro

Isabeli Pereira Bruno

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia**

Piracicaba

2006

Isabeli Pereira Bruno
Engenheiro Agrônomo

Balanço hídrico e avaliação da chuva na cultura do cafeeiro

Orientador:

Prof. Dr. KLAUS REICHARDT

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia**

Piracicaba

2006

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

Bruno, Isabeli Pereira

Balanço hídrico e avaliação da chuva na cultura do cafeeiro / Isabeli Pereira Bruno. - -
Piracicaba, 2006.
52 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.

1. Água do solo 2. Balanço hídrico 3. Café 4. Chuva 5. Evapotranspiração
6. Precipitação atmosférica I. Título

CDD 633.73

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

*À minha irmã,
Ana Luiza
Por seu amor, carinho e incentivo*

*E às minhas mães,
Maria Helena, Tereza e Nega
Por me ensinarem tanto sobre a vida*

DEDICO

*Ao Aldo Procópio,
Por ter tornado meus dias ainda mais felizes*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Klaus Reichardt pela paciente orientação, e por ter me ensinado, além de ciência, valores humanos.

Aos Professores do Departamento de Produção Vegetal, Pedro Jacob Christoffoleti e Durval Dourado Neto pelo inestimável auxílio em muitos momentos de meu mestrado.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pela oportunidade de realização deste trabalho, e ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

À Prof. Dr^a. Sônia Piedade, pela contribuição com as análises estatísticas.

À Dr^a. Adriana Lúcia da Silva, pela valiosa ajuda e pelos ensinamentos durante o desenvolvimento do curso.

Às secretárias Luciane Lopes e Sílvia Borghesi pela cooperação e disposição em resolver os problemas, e Sílvia Zinsly pela atenção e bom humor na revisão geral da dissertação.

Às colegas de república: Alessandra, Giselle, Mariana, Dolores e Daline pela convivência harmoniosa e em especial à Karla, pela ajuda com as referências.

Aos amigos: Éliada, Daphne, Yuri, Roberta, Luiz Tonin, Sayonara, Freddy, Cristiana, Marise, Luciara, Lourdes, Raul, Erick e Héctor pelas alegrias e pelo incentivo.

Aos membros das famílias Pereira e Bruno, pelas contribuições que me deram, cada um à sua maneira.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
Referências	13
2 BALANÇOS HÍDRICOS CLIMATOLÓGICOS E DE CAMPO PARA UMA CULTURA DE CAFÉ	15
Resumo	15
Abstract	15
2.1 Introdução	16
2.2 Desenvolvimento	17
2.2.1 Revisão Bibliográfica	17
2.2.2 Material e métodos	20
2.2.2.1 Balanço Hídrico de Campo	20
2.2.2.2 Balanços Hídricos Climatológicos de Cultura	21
2.2.2.3 Comparação entre balanços	23
2.2.3 Resultados e discussão	24
2.3 Conclusões	30
Referências	31
3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O NÚMERO DE PLUVIÔMETROS NECESSÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DA CHUVA EM EXPERIMENTOS DE CAMPO	34
Resumo	34
Abstract	34
3.1 Introdução	35
3.2 Desenvolvimento	36
3.2.1 Revisão Bibliográfica	36
3.2.2 Material e métodos	38
3.2.2.1 Comparação entre 5 pluviômetros	38
3.2.2.2 Comparação entre estações meteorológicas	38
3.2.3 Resultados e discussão	39

3.2.3.1 Comparação entre 5 pluviômetros	39
3.2.3.2 Comparação entre estações meteorológicas	47
3.3 Conclusões	50
Referências	51

RESUMO

Balanço hídrico e avaliação da chuva na cultura do cafeeiro

O cafeeiro é uma planta que tem seu crescimento e desenvolvimento fortemente afetado pelo regime hídrico, ora prejudicando, ora favorecendo a produção final, dependendo do estágio fenológico em que este se encontra durante uma possível seca. Para ter um conhecimento mais aprofundado do consumo de água do cafeeiro, assim como para um manejo da irrigação mais eficiente, uma ferramenta muito útil é o balanço hídrico, que pode ser medido no campo ou estimado através de modelos. O balanço hídrico de campo é demasiado trabalhoso, por isso os modelos são mais usados em virtude de sua rapidez e facilidade. No entanto, os modelos são frequentemente aplicados em condições agronômicas e ambientais diferentes das em que foram concebidos, necessitando de testes regionais. Um dos principais elementos de entrada para o cálculo do balanço hídrico é a precipitação pluviométrica, e o rigor em sua medida pode determinar se este será ou não condizente com a realidade, devendo sua variabilidade espacial ser levada em conta, o que não ocorre na maioria dos casos. O presente trabalho traz um estudo entre balanço hídrico medido no campo com café e os balanços hídricos climatológicos baseados na estimativa da evapotranspiração pelos métodos de Thornthwaite e Penman-Monteith, confeccionados em um programa computacional. Uma segunda parte trata do número ideal de pluviômetros a serem utilizados em uma área pequena, além das comparações destas medidas com duas estações meteorológicas. Ambos os estudos foram feitos para o município de Piracicaba – SP, com dados meteorológicos do período de 2003 a 2005.

Palavras-chave: armazenamento de água no solo, água disponível, número ideal de pluviômetros, precipitação.

ABSTRACT

Water balance and rainfall evaluation in a coffee crop

The coffee plant has its growth and development strongly influenced by the water regime, either in favor or depressing the final yield, all depending on phenological stage. In order to have a better knowledge of the water requirement of the coffee crop, and also to have a more efficient irrigation management, a very useful tool is the water balance, which can be obtained through direct field measurements or through model estimation. The first are laborious and costly, while the second are simple and fast to be obtained. However, models are frequently applied to agronomic or environmental conditions that differ from those in which they were developed. One of the most important components for the calculation of water balances is the rainfall, and the precision of its measurement determines the confidence of the balances, indicating the need of taking into account rainfall variability, which is neglected in most cases. This study makes a comparison between climatologic water balances, based on the estimation of the evapotranspiration through the methods of Thornthwaite and Penman-Monteith, obtained through a computational program, and field water balances of a coffee crop. A second part of this study deals with the ideal number of pluviometers to be used in small areas, and the comparison of these measurements with two automatic meteorological stations. Both studies were carried out in Piracicaba, SP, Brazil, with data collected during 2003 – 2005.

Keywords: soil water storage, available water, ideal number of raingauges, rainfall.

1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos em quantidade e qualidade segue sendo um dos principais desafios da humanidade face ao crescimento acelerado da população e ao desequilíbrio ambiental que este gera.

Para se obter uma produção satisfatória em qualquer cultivo os fatores climáticos exercem influência, e dentre estes, o suprimento de água adequado para determinada espécie é um dos mais relevantes. Quando o suprimento de água não atende às necessidades da planta, desenvolve-se o estresse hídrico, o que pode eventualmente ocasionar redução da fotossíntese afetando adversamente o crescimento da cultura e portanto a produtividade (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

A água é um dos principais constituintes dos vegetais e seu conteúdo varia com o tipo de órgão ou tecido e com o balanço hídrico da planta. É o solvente universal utilizado no transporte de gases, minerais e solutos nos vegetais, reagente nos processos metabólicos vegetais como a fotossíntese, atua no alongamento da célula e abertura de estômatos e regula a temperatura nos tecidos em virtude de seu alto calor específico e calor latente de vaporização, que permitem grande absorção de radiação e dissipação de energia (ANGELOCCI, 2002).

O café é um dos principais produtos agrícolas brasileiros, com uma área em produção de 2.217.666 ha, com produção total de 32.944 mil sacas de 60 kg beneficiadas, na safra 2005/2006. A maior parte do café consumido no mundo é da espécie *Coffea arabica*, mas a espécie *Coffea canephora* também é importante comercialmente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ, 2006).

A cultura do cafeeiro depende fortemente do regime hídrico, pois este afeta seu crescimento vegetativo e reprodutivo. Da Matta e Rena (2002) mostram que pequenas reduções na disponibilidade hídrica podem diminuir substancialmente o crescimento, ainda que sinais visíveis de déficit não tenham sido observados, e isso se deve ao fato de haver menor produção de nós disponível para a formação de flores e frutos, quando há seca. Não existe relação direta entre a área foliar e a transpiração total do cafeeiro, pois sua copa é capaz de manter as trocas gasosas em altos níveis, atestando o elevado grau de resistência à seca desta espécie.

Kumar e Tiezsen (1980) apud Da Matta e Rena (2002) explicam a elevada tolerância à seca que o cafeeiro apresenta à adaptação a sua região de origem, já que a Etiópia possui vários meses consecutivos sem chuvas apesar, da elevada precipitação pluviométrica anual (1500 a

2000m), o que provavelmente provocou a sincronia da planta em desencadear a quebra de dormência nesse período.

A periodicidade do crescimento vegetativo do cafeeiro está associada a diversos fatores ambientais e o suprimento de água é um deles, já que surtos de crescimentos são observados no início da estação chuvosa. Temperatura e radiação solar também são consideradas importantes para a periodicidade do crescimento vegetativo visto que mesmo sob irrigação contínua, em período frio e sem chuvas, as taxas de crescimento não foram alteradas (DA MATTA; RENA, 2002).

A seca assim como as baixas temperaturas estão associadas a períodos de dormência, sendo estes necessários para que as gemas florais retomem seu crescimento a partir de estímulos externos como a chuva, o que contribui para a concentração das floradas e, portanto, das colheitas (DA MATTA; RENA, 2002; PEZZOPANE et al., 2003). Na estação seca ocorre a preparação para a maturação reprodutiva dos ramos, como a determinação do número potencial de nós e formação das gemas florais, e é durante a estação chuvosa que ocorre a fase de construção, quando as gemas florais se desenvolvem, as flores se abrem e ocorre o crescimento vegetativo e dos frutos (RENA; MAESTRI, 2000). Após o período de repouso das gemas dormentes no nós dos ramos plagiotrópicos ocorre aumento substancial do potencial hídrico das gemas florais maduras, devido principalmente a um choque hídrico provocado por chuva ou irrigação. Nesse estágio as gemas se entumescem e os botões florais crescem devido à grande mobilização de água e nutrientes, que se estendem até a antese (PEZZOPANE et al., 2003). Quando esse grau de déficit hídrico não existe, como acontece na Costa Rica e Colômbia, pequenas variações na intensidade da radiação solar cumprem parcialmente este papel, já que floradas e colheitas nesses locais são contínuas (ALVIM, 1964 apud DA MATTA; RENA, 2002).

A exploração agrícola de qualquer cultura depende de chuva em quantidades adequadas ou fornecimento de água via irrigação proveniente da própria precipitação (WINTER, 1976). Durante o desenvolvimento da agricultura o homem tem conseguido controlar diversos componentes do meio, mas, no entanto o clima segue sem domínio completo, o que tem levado a produção agrícola a permanecer à mercê de ameaças freqüentes de secas periódicas. (DOORENBOS; PRUITT, 1997).

A água é uma das substâncias mais importantes da crosta terrestre participando em processos físico-químicos e biológicos. De toda a água do planeta Terra, apenas 2,5% é doce e

nesse percentual, apenas 0,3% está prontamente disponível ao homem em lagos e rios, sendo que deste último, 65% são utilizados em atividades agrícolas, o que evidencia a importância de se compreender seu ciclo para poder fazer uso mais adequado desse recurso (STIKKER, 1998).

A principal fonte de água para as plantas em sistemas tropicais é a chuva, também chamada de precipitação pluvial ou simplesmente precipitação, que caindo no solo, nele penetra a uma taxa que depende das suas propriedades físicas. A quantidade de chuva é medida em termos de volume de água precipitada por unidade de área, e sua medida é feita através de pluviômetros (REICHARDT, 1987). Se a taxa de precipitação não exceder a de infiltração, não haverá perdas dos excessos, e a água retida no reservatório do solo é absorvida principalmente pelas raízes das plantas e levadas através de seus caules às folhas, e evapotranspiram retornando à atmosfera onde se reúne à água evaporada das superfícies, constituindo assim o ciclo hidrológico (WINTER, 1976).

Como é preciso determinar as necessidades hídricas das culturas antes de se estabelecer o modelo de exploração agrícola com a possível utilização da irrigação, e como são difíceis e trabalhosos os procedimentos utilizados na avaliação direta do aproveitamento de água pelas culturas no campo, foram desenvolvidos diversos métodos para suas estimativas, e a maioria deles tem como resultado a evapotranspiração. Porém, estes métodos são frequentemente aplicados em condições agronômicas e ambientais diferentes das que foram concebidos, sendo necessárias calibrações (DOORENBOS; PRUITT, 1997).

Para auxiliar o conhecimento acerca das necessidades hídricas de uma cultura podemos utilizar seu balanço hídrico de cultura que é a somatória das quantidades de água que entram e saem de um elemento de volume de solo, em determinado intervalo de tempo, resultando na quantidade líquida de água que nele permanece (REICHARDT; TIMM, 2004). A evapotranspiração é um fator fundamental do balanço e pode ser determinada a partir de vários métodos (DOORENBOS; PRUITT, 1997), dentre os quais o de Thornthwaite e Penman-Monteith são bastante utilizados, o primeiro pela simplicidade dos cálculos e o segundo pela acurácia nos resultados, o qual é o recomendado pela FAO (ALLEN et al., 1989). A taxa de evapotranspiração está relacionada com a demanda evaporativa do ar, que pode ser expressa como a evapotranspiração de referência, que por sua vez prediz o efeito do clima sobre o nível de evapotranspiração da cultura, mediante correção pelo coeficiente de cultura (DOORENBOS; KASSAM, 2000).

O presente trabalho é constituído de dois capítulos que abordam os temas apresentados acima, em que o primeiro traz um estudo comparativo entre o balanço hídrico medido no campo e os balanços hídricos climatológicos baseados na estimativa da evapotranspiração pelos métodos de Thornthwaite e Penman-Monteith, confeccionados em um programa computacional. O segundo capítulo trata do número ideal de pluviômetros a serem utilizados em uma área pequena, assim como um estudo sobre a distância adequada entre o local que se deseja estudar e o de tomada dessas medidas, auxiliando desta forma pesquisas científicas que necessitem de medidas precisas de chuva. Ambos os estudos foram feitos para o município de Piracicaba – SP, com dados meteorológicos do período de 2003 a 2005.

Referências

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1989. 300 p.

ANGELOCCI, L.R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera**: introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: L. R. Angelocci, 2002. 272 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **Estatísticas**: produção agrícola. Disponível em: <http://www.abic.com.br/estat_pagricola.html#cafe_benef0506>. Acesso em: 12 out. 2006.

DA MATTA, F.M.; RENA, A.B. **Relações hídricas no cafeeiro**. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. Palestras... Brasília : Embrapa Café, 2002.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Necessidades hídricas das culturas. Tradução de H. R. Gheyi, J. E. C. Metri, F. A. V. Damasceno. **FAO Irrigação e Drenagem**, Campina Grande, v. 24, 1997. 204 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Tradução de H. R. Gheyi, A. A. de Souza, F. A. V. Damasceno. 2. ed. **FAO Irrigação e Drenagem**, Campina Grande, v. 33, 2000. 221 p.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações. Guaíba: Agropecuária, 2002. p. 152 – 154.

PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JR. M.J.; THOMAZIELLO, R.A.; CAMARGO, M.B.P. Escala para a avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n.3, p. 499-505, 2003.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

RENA, A.; MAESTRI, M. Relações hídricas no cafeeiro. **ITEM**, Brasília, n.48, p. 34-41, 2000.

STIKKER A. Water today and tomorrow: prospects for overcoming scarcity. **Futures**, Great Britain, v. 30, n. 1, p. 43 – 62, 1998.

WINTER, E.J. **A água, o solo e a planta**. Trad. Libardi, P. L.; Reichardt, K. São Paulo: EPU, Ed. USP, 1976. 164 p.

2 BALANÇOS HÍDRICOS CLIMATOLÓGICOS E DE CAMPO PARA UMA CULTURA DE CAFÉ

Resumo

A substituição de balanços hídricos completos medidos diretamente em condições de campo, por balanços hídricos climatológicos é vantajosa pois os primeiros são trabalhosos, de alto custo e demorados, ao passo que os climatológicos são simples, rápidos e se baseiam em dados climatológicos que já são de coleta rotineira. O presente trabalho fez uma comparação entre estes balanços em termos de estimativas de evapotranspiração, armazenamento de água no solo, capacidade de água disponível, perdas por escoamento superficial e drenagem profunda, por um período de dois anos, tomando como exemplo uma cultura de café, variedade Catuaí, de 3 a 5 anos de idade. É mostrado que os balanços hídricos climatológicos baseados na estimativa da evapotranspiração pelos métodos de Thornthwaite e Penman-Monteith, substituem razoavelmente as medidas de campo, porém subestimando as variáveis acima mencionadas.

Palavras-chave: evapotranspiração, armazenamento de água no solo, água disponível, déficit hídrico, excesso hídrico.

CLIMATOLOGICAL AND FIELD WATER BALANCES FOR A COFFEE CROP

Abstract

The replacement of complete water balances that are measured directly under field conditions, by climatologic water balances is advantageous since the first are laborious, of high cost and time consuming, and the second are simple, fast and based on climatological data monitored as a routine. This study makes a comparison between these methods in terms of estimative of evapotranspiration, soil water storage, soil available water, runoff losses, and drainage below root zone, during a two year period, taking as an example a coffee crop of the variety Catuaí, 3 to 5 years old. It is shown that the climatological water balances based on the estimation of the evapotranspiration through the methods of Thornthwaite and Penman-Monteith, can reasonably substitute field measured balances, however underestimating the above mentioned variables.

Keywords: evapotranspiration, soil water storage, available water, water deficit, water excess.

2 BALANÇOS HÍDRICOS CLIMATOLÓGICOS E DE CAMPO PARA UMA CULTURA DE CAFÉ

2.1 Introdução

Para o sucesso de qualquer cultivo, a água constitui-se como principal fator de produtividade, pois para completar seu ciclo de vida e se reproduzir, o vegetal necessita de elementos minerais essenciais e água. A água é fundamental também na absorção desses minerais, que movimentam-se no solo e na planta através dela, e dessa maneira participam dos processos vitais.

No cafeeiro a disponibilidade de água se reflete na bionalidade de safra, qualidade e quantidade do produto, concentração da colheita e sustentabilidade da planta (PICINI et al., 1999; PEZZOPANE et al., 2003). O cafeeiro é afetado nas suas diversas fases fenológicas por variáveis meteorológicas, como a distribuição pluviométrica e a ocorrências de défices e excessos hídricos, que interferem na fenologia e na produção de grãos. Essa interferência ocorre através da diminuição ou aumento de lançamentos de ramos e nós, queda das folhas para diminuição da perda de água durante períodos muito secos, diminuição ou aumento de absorção de água e nutrientes, diminuição ou otimização da fotossíntese, acúmulo de inibidores ou promotores de crescimento, quebra de dormência dos botões florais, desencadeamento da antese, formação de anomalias florais, queda de frutos, expansão e maturação dos frutos (RENA; MAESTRI, 1987; MEIRELES et al., 2003; PEZZOPANE et al. 2003).

As condições climáticas também são fundamentais na determinação de zonas de melhor produção de café no Brasil, apesar de outros fatores também atuarem, porém de maneira menos acentuada (PICINI et al. 1999).

O entendimento do consumo de água de uma cultura é o alicerce da produção, pois os recursos de água disponível são limitados, a curto ou a longo prazo. A determinação da quantidade hídrica disponível depende basicamente da variação do armazenamento de água do solo que é medida pelo balanço hídrico.

O balanço hídrico pode ser realizado através de medidas diretas no campo ou por modelos. Esses modelos muitas vezes são empregados em situações e para finalidades diferentes daquelas em que foram concebidos, o que pode levar a erros, que são de maior ou menor gravidade dependendo do uso ao qual se destina o balanço. Entretanto, a substituição de balanços

hídricos de campo por simulações que se utilizam de dados meteorológicos em conjunto com características hídricas do solo, poupa trabalho e permite sua transferência para outras situações similares (FARIA; CHIBANA, 2003; SOUZA; FRIZZONE; GERVÁSIO, 2002). Por isso, este trabalho teve como objetivo comparar os balanços hídricos climatológicos de cultura calculados através de modelos, com o balanço hídrico de campo, em uma cultura de café.

2.2 Desenvolvimento

2.2.1 Revisão Bibliográfica

O consumo de água pelas culturas agrícolas normalmente se refere a toda água perdida através da planta (transpiração e gutação) e da superfície do solo, além daquela retida nos tecidos vegetais. Apesar da alta quantidade de água retida nos tecidos, esta não chega a 1% do total evapotranspirado durante o ciclo de crescimento da planta, sendo então desprezível (REICHARDT; TIMM, 2004). O balanço hídrico é uma ferramenta útil para o entendimento deste consumo e auxilia o processo de tomada de decisões, para uniformização e manejo do sistema agrícola em relação aos seus aspectos quantitativos e qualitativos. Nos aspectos quantitativos, o conhecimento prévio do armazenamento de água de cada tipo de solo e exploração agrícola, torna possível quantificar para cada época do ano as variadas operações de cultivo, além de possibilitar a estimativa do rendimento agrícola. No aspecto qualitativo pode-se orientar o manejo no sentido de eliminar ou minimizar os riscos de poluição ambiental por uso inadequado de insumos agrícolas, entre outros (DOURADO-NETO et al, 1999).

O balanço hídrico consiste no somatório das quantidades de água que entram e saem de um elemento de volume de solo e, em dado intervalo de tempo, é a quantidade líquida de água que nele permanece (REICHARDT; TIMM, 2004). Na escala local, o balanço hídrico permite estabelecer a variação de armazenamento de água no solo e, portanto, a quantidade disponível para a cultura, em um intervalo de tempo, permitindo assim saber de défices hídricos ou excessos (SENTELHAS; ANGELOCCI, 2005). Esta contabilização pode ser feita tanto através de balanços agroclimatológicos, como é o caso do balanço hídrico de cultura quanto através do balanço hídrico medido diretamente no campo. Esse último envolve medidas no interior e na superfície do solo, sendo trabalhoso e dispendioso enquanto o climatológico baseia-se principalmente na medida de elementos de clima, conhecidas as características hidrológicas do solo.

Os componentes de entrada para o balanço hídrico são: precipitação, irrigação, orvalho, drenagem lateral como entrada, escoamento superficial como entrada e ascensão capilar. Os de saída são: evapotranspiração, escoamento superficial, drenagem lateral e drenagem profunda. No estabelecimento final do balanço, vários desses componentes são tomados como desprezíveis ou são agrupados para facilidade de cálculo (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

O balanço hídrico agrometeorológico de uma cultura segue os mesmos procedimentos do balanço hídrico climatológico seqüencial, sendo específico para acompanhar o armazenamento de água no solo em determinado período, e pode ser feito em várias escalas de tempo (diária, semanal, bissetimanal, decendial, ou mensal). Para tanto, emprega a evapotranspiração potencial ou máxima de uma cultura (ET_c), que é a água utilizada por determinada espécie vegetal em qualquer fase de seu desenvolvimento, quando não houver restrições hídricas. O cálculo da ET_c é feito através da evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente de cultura (K_c) (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Já o balanço hídrico de campo se utiliza de medidas diretas de todos os componentes, podendo deixar como incógnita a evapotranspiração atual da cultura. Ele é trabalhoso e exige a instalação de vários equipamentos no campo.

A evapotranspiração depende essencialmente da energia disponível para o processo de evaporação da água, e se houver água disponível no solo, a evapotranspiração é diretamente proporcional à energia disponível. Para que houvesse padronização da evapotranspiração de uma superfície de referência, foi introduzido o conceito de evapotranspiração de referência, que é a evapotranspiração de uma cultura hipotética de grama com altura de 0,12 m, resistência da superfície de 70s/m e albedo de 0,23 o que corresponde à quantidade de água evapotranspirada na unidade de tempo e de área por uma cultura de baixo porte (grama) em pleno estado de desenvolvimento, cobrindo totalmente o solo, de altura uniforme e sem deficiência de água (ALLEN et al.,1989). A evapotranspiração pode ser medida ou estimada, porém as medidas são demasiadamente onerosas e as estimativas na maioria das vezes são preferidas. O método de Thornthwaite (1948) foi desenvolvido para a estimativa da evapotranspiração potencial, ou seja, a água utilizada por uma extensa área completamente vegetada, por vegetação de porte baixo e em crescimento ativo e somente considera que a evapotranspiração seja resultante do balanço vertical de energia, e leva em conta apenas a temperatura e fotoperíodo. Praticamente, as superfícies de referência são as mesmas tanto para a evapotranspiração de referência como para a

evapotranspiração potencial. Atualmente, o método mais indicado para a determinação da E_{To} é o método de Penman-Monteith, parametrizado pela FAO, sendo também indicado o método do tanque Classe A (ALLEN et al., 1989).

O valor do coeficiente de cultura K_c , que multiplicado pela E_{To} da grama calcula a E_{Tc} de determinada cultura, varia de acordo com as fases fenológicas, espécies e variedades, sendo função da arquitetura da planta através do índice de área foliar (IAF, que é o somatório das áreas de todas as folhas em relação à área de terreno ocupada pela planta) e é estimado através de medidas precisas e simultâneas de E_{To} e E_{Tc} (REICHARDT; TIMM, 2004). O valor de K_c do cafeeiro varia para diferentes condições e locais, como visto em Villa Nova et al. (2002) que analisa trabalhos de diversos autores para então propor um método capaz de determinar o K_c do cafeeiro considerando variáveis climáticas e fitotécnicas. Dessa forma, o mais apropriado para estudos com elevado rigor é estimar o K_c para a cultura no local, e não apenas adotar valores estimados por terceiros.

Quando o déficit hídrico ocorre durante determinada parte do período de crescimento de uma cultura, seu efeito sobre o rendimento pode variar bastante dependendo do grau de sensibilidade da cultura nesse mesmo período, sendo em geral mais sensíveis ao déficit hídrico durante a emergência, floração, e início da frutificação (DOORENBOS e KASSAM, 2000).

A contribuição científica nesta área do conhecimento é vasta, sendo porém reduzida para a cultura do café. Pereira (1986) utilizou com sucesso o balanço hídrico climatológico em um solo podzolizado do Estado de São Paulo cultivado com cafeeiros 'Mundo Novo' com livre crescimento, 'Mundo Novo' recepado e 'Catuaí' para avaliação dos armazenamentos de água no solo, mínimo e máximo. Souza; Frizzone e Gervásio (2002) fizeram uma análise de simulação do balanço hídrico climatológico para cultura do cafeeiro, irrigado sob diferentes condições de manejo, na região de Lavras-MG. As análises foram realizadas com um modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro, denominado MORETTI, e os objetivos consistiram em avaliar as melhores opções do modelo para simular a evapotranspiração e estimar o armazenamento de água no solo. Meireles et al. (2003) caracterizou os períodos com excedentes e deficiências hídricas através do balanço hídrico seriado ou sequencial para cultura de café em Mococa, SP, região produtora de café arábica. Para a estimativa da disponibilidade hídrica do solo, utilizou o modelo de balanço hídrico de Thornthwaite & Mather (1955), em nível decendial, considerando a capacidade de água

disponível de 100 mm, conseguindo caracterizar vários períodos de deficiência e excesso hídricos, correlacionando-os com características fisiológicas da planta. Pezzopane et al. (2003), a partir do extrato do balanço hídrico na região de Campinas notaram que a ocorrência de chuvas de 28 mm após período seco promoveu a quebra de dormência das gemas, resultando em florescimento, o que já não foi confirmado em Mococa, pois a quebra de dormência só ocorreu após uma chuva de 68mm. Brunini et al. (2003) adaptou e converteu o método do balanço hídrico proposto por Thornthwaite-Mather para monitorar as condições agrometeorológicas do cafeeiro, englobando as diversas características de solo e clima. O modelo permite que diferentes localidades sejam avaliadas concomitantemente podendo ser traçadas as diretrizes necessárias para controle e mitigação das adversidades meteorológicas, em especial geadas e seca, e orientar as regiões mais afetadas e dar suporte a estimativa de quebra da produtividade agrícola. Picini (1999) em um desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro, para a região de Mococa, SP, concluiu que tais modelos devem considerar a bienalidade do cafeeiro que estão relacionados com as condições meteorológicas, e que a produtividade do cafeeiro é particularmente sensível ao estresse hídrico durante o florescimento e a formação do grão.

2.2.2 Material e métodos

2.2.2.1 Balanço Hídrico de Campo

Este tipo de balanço, aqui chamado de Bal C, serviu-se da equação clássica de balanço hídrico (REICHARDT; TIMM, 2004), onde as densidades de fluxo de água em um volume de controle (p = intensidade de chuva, i = taxa de irrigação, e = taxa de evapotranspiração, r = taxa de escoamento superficial, q_L = densidade de fluxo de água no solo do limite inferior do volume de controle, todos em $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) foram integrados em relação ao tempo (t), em períodos de 14 dias:

$$\int_{t_i}^{t_{i+14}} p dt + \int_{t_i}^{t_{i+14}} i dt - \int_{t_i}^{t_{i+14}} e dt - \int_{t_i}^{t_{i+14}} r dt \pm \int_{t_i}^{t_{i+14}} q_L dt + \int_{t_i}^{t_{i+14}} \int_0^L \frac{\partial \theta}{\partial t} dz dt = 0 \quad (1)$$

onde θ é a umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$), z a coordenada de profundidade e L a profundidade de limite do balanço.

Por solução das integrais da eq. (1) obtém-se:

$$P + I - ER - RO \pm QL + (S_{i+14} - S_i) = 0 \quad (2)$$

onde todas as unidades dos componentes integrados do balanço são dadas em mm:

P = precipitação pluvial; I = irrigação; ER = evapotranspiração atual; RO = escoamento superficial, enxurrada ou runoff; e QL = drenagem ou ascensão de água no limite inferior do volume de solo, na profundidade $z = L$ m; S = armazenamento de água no solo na camada de 0 – L m em t_i e em t_{i+14} :

$$S_{i+14} - S_i = \Delta S = \int_{t_i}^{t_{i+14}} \int_0^L \frac{\partial \theta}{\partial t} dz dt \quad (3)$$

A eq. (2) foi usada com valores médios de cinco repetições de medidas diretas de todos os componentes no campo, deixando a evapotranspiração atual ER como incógnita (SILVA et al., 2006b). A evapotranspiração potencial de referência ETo foi calculada pelo método de Penman-Monteith (Padrão FAO – 1998) e a evapotranspiração máxima da cultura ETc foi obtida com o uso de coeficiente de cultura estimado no próprio experimento. A chuva e a irrigação foram medidas em pluviômetros “Ville de Paris”; o armazenamento de água foi calculado pelo método trapezoidal, na camada 1m(L=1), a partir de medidas de umidade do solo com sonda de nêutrons; o escoamento superficial por meio de parcelas delimitadas de 12 m², com coleta da água por gravidade em tanques de 60 L; e os fluxos de água no solo estimados pela equação de Darcy, empregando uma relação K(θ) obtida no próprio campo (SILVA et al., 2006a) e gradientes de potencial medidos por tensiômetros instalados no limite inferior do volume de controle.

2.2.2.2 Balanços Hídricos Climatológicos de Cultura

Foram obtidos através de programa computacional do Departamento de Ciências Exatas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo - ESALQ/USP (ROLIM; SENTELHAS, 2006) que se baseiam nos métodos de Thornthwaite-Mather, onde a ETP é calculada pelos métodos de Thornthwaite ou Penman-Montheith (ALLEN

et al., 1989) e procuram estimar o armazenamento de água no solo, utilizando principalmente informações de clima e informações sobre características hídricas do solo. O primeiro é aqui chamado de Bal T, e o segundo de Bal PM.

Estes balanços hídricos de cultura tem sua equação simplificada em:

$$\pm \Delta ARM = P - ETc - DP \quad (4)$$

onde ΔARM = alteração (mm) do armazenamento da água, refere-se a uma camada de 1m de solo. O sinal de ΔARM indica déficit hídrico quando negativo e excesso de água quando positivo. Quando o ΔARM é negativo, DP é nula e quando positivo o excesso engloba o RO e DP. P = precipitação pluvial (mm) + irrigação (mm); ETc = evapotranspiração máxima da cultura (mm); DP = drenagem abaixo da zona radicular (mm). Ele permite ainda estimar retiradas e reposições hídricas no solo. O programa exige dados de entrada tais como: 1. a capacidade de água disponível (CAD):

$$CAD = S_{CC} - S_{PMP} \quad (5)$$

onde S_{CC} é o armazenamento na capacidade de campo e, S_{PMP} é o armazenamento de água no solo no ponto de murcha permanente, ambos em mm e correspondentes à camada de 1 m de solo; 2. o armazenamento do período anterior, dado pela diferença entre S_i da eq. (3) para $i = 1$ e S_{PMP} ; 3. a latitude local ϕ ; 4. o ano; 5. NDA que corresponde ao dia juliano de início do balanço; 6. os parâmetros I (índice de calor) e a (função cúbica de I) do método de Thornthwaite & Mather; 7. o número de dias que cobre o balanço, isto é, o Δt das eq. (1) e (2); 8. temperatura média do ar ($^{\circ}C$) para cada período; 9. precipitação pluvial mais irrigação para cada período; e 10. coeficiente de cultura (K_c).

Como saídas do programa tem-se: N = número de horas de brilho solar; ETP evapotranspiração potencial de Thornthwaite; ETc = evapotranspiração potencial da cultura ($ETc = K_c \cdot ETP$); $(P - ETc)$ = déficit hídrico do período; (NEG AC) = negativo acumulado que representa o somatório da seqüência de valores negativos de $P - ETc$; ARM = armazenamento de água no fim de cada período; ΔARM ou ALT = variação de armazenamento em cada período; ETR = evapotranspiração atual da cultura; DEF = déficit de água para a cultura, no período; EXC = excesso de água no período.

2.2.2.3 Comparação entre balanços

Para que pudessem ser comparados, os balanços hídricos de campo e os climatológico de cultura, o período analisado foi o mesmo, assim como o local. Os dados para os 50 balanços de 14 dias do Bal C foram trabalhados por Silva (2005) e foram também empregados nos Bal T e Bal PM, com dados de temperatura, umidade do ar e vento provenientes da estação meteorológica do Departamento de Engenharia Rural – ESALQ/USP (CLIMAPIRACICABA, 2006) localizada a cerca de 200m da área experimental.

Os balanços hídricos foram calculados para uma cultura de café (*Coffea arabica* L.), variedade Catuaí, linhagem IAC-144, com dois anos de idade em Piracicaba, SP, em solo classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférico (EMBRAPA, 1999), A moderado e textura argilosa, em períodos de 14 dias, por 2 anos consecutivos a partir de 01.09.03, quando as plantas tinham 1,2 m de altura. Para este estudo a camada de 1 m de profundidade foi determinada com base na recomendação de que o volume de controle tenha pelo menos 95% do sistema radicular, correspondente à idade dos cafeeiros.

O clima de Piracicaba é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, denominado "tropical de altitude" mesotérmico de inverno seco, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C. As médias anuais de temperatura, precipitação pluvial e umidade relativa são de 21,1°C, 1.257 mm e 74%, respectivamente. A estação seca ocorre entre os meses de abril e setembro, sendo julho o mês mais seco. O mês mais chuvoso oscila entre janeiro e fevereiro. O total das chuvas do mês mais seco não ultrapassa 30 mm (VILLA NOVA, 2003).

Para a comparação dos componentes obtidos através dos balanços Bal C, Bal T e Bal PM obtidos através das eq. (2) e (4) é preciso lembrar que:

1. P de Bal T e Bal PM engloba P + I de Bal C; 2. ETR e ER são equivalentes, mas obtidos por métodos diferentes; 3. $ARM = S_i - S_{PMP}$; 4. $\Delta ARM = ALT = \Delta S$; 5. $EXC = RO + QL$.

A comparação entre estes componentes foi feita através de regressões lineares, coeficientes de determinação e/ou comparações entre seus valores sequenciados. Para Bal T e Bal PM foram utilizados os seguintes dados, que correspondem aos dados de campo onde foram estabelecidos os Bal C: 1. CAD = 150 mm, sendo $S_{cc} = 370\text{mm}$ e $S_{PMP} = 220\text{mm}$; 2. Arm anterior = 25,2 mm; 3. latitude $\phi = -22,72^\circ$; 4. ano 2003; 5. NDA inicial = 243, correspondente à 1 de setembro; 6. I = 108,4 e a = 2,4; 7. $\Delta t = 14$ dias; 7. Kc = 1,08 obtido por Silva (2005).

2.2.3 Resultados e discussão

Pelas diferenças que os métodos apresentam, principalmente no que se refere aos cálculos de evapotranspiração real (ER e ETR), além da forma como é calculada a água que é retirada do solo, os resultados não deveriam ser semelhantes. No Bal T e Bal PM o armazenamento no tempo t , para uma determinada CAD, se relaciona exponencialmente com a diferença negativa ETP-P (negativo acumulado), enquanto que no Bal C o armazenamento é medido no campo. Mesmo assim, a comparação foi feita, uma vez que seria muito vantajoso se métodos climatológicos pudessem substituir o método mais trabalhoso de campo para a estimativa da evapotranspiração atual do café. A figura 1 mostra, para os 50 balanços de 14 dias, a evolução de evapotranspiração atual pelos três métodos. Existe uma boa concordância entre os métodos, porém com uma tendência dos climatológicos subestimarem Bal C, com um melhor desempenho do Bal PM em relação ao Bal T, como esperado. As regressões entre eles (Figura 2), ambas significativas pelo teste F, evidenciam a superioridade do Bal PM em relação ao Bal T. As equações de regressão com coeficientes angulares menores que 1 e coeficientes lineares positivos indicam valores de ER sempre maiores que ETR. Ao final do 1º. ano (balanço 25) as evapotranspirações acumuladas dos três balanços foram 1269 mm para Bal C, 995 mm para Bal T e 1083 mm para Bal PM, com diferença de 274 e 186 mm respectivamente, ou seja, a evapotranspiração de campo foi 22% e 15% maior que as estimadas pelo Bal T e Bal PM respectivamente. No 2º. ano (balanços 26 a 50) estes números foram 1162, 1039 e 1060mm respectivamente para Bal C, Bal T e Bal PM, com uma diferença de 123 mm entre Bal C e Bal T e 102 mm entre Bal C e Bal PM, onde a evapotranspiração de campo foi 11% e 9,0% maior em ambas. Assim sendo, em relação à evapotranspiração podemos dizer que nos dois anos tanto Bal T como Bal PM subestimaram suas medidas, da ordem de 16 e 12% respectivamente.

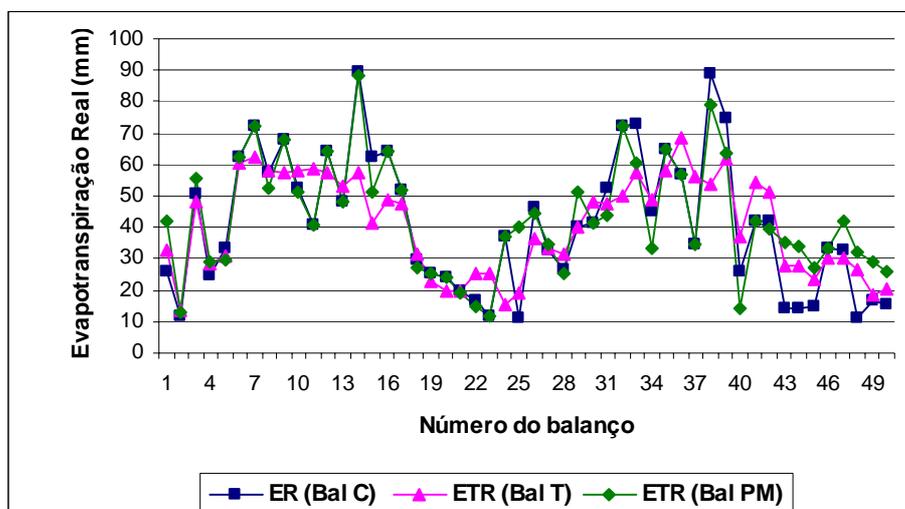


Figura 1- Variação da evapotranspiração real, em mm, do café para os 50 balanços, pelos métodos de campo (ER Bal C) e climatológicos (ETR Bal T e ETR PM)

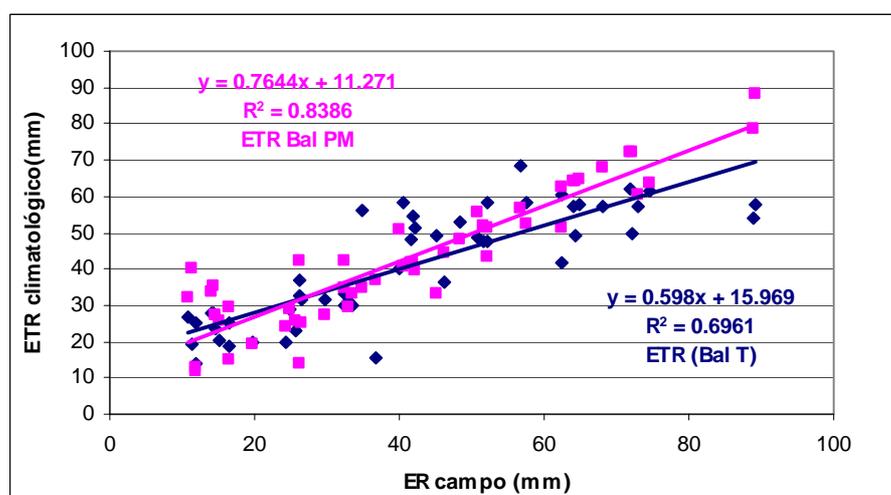


Figura 2- Regressões lineares entre ETR (mm) dos balanços climatológicos e ER (mm) do balanço de campo

Quanto às variações de armazenamento de água no solo ao final de cada período, $S_{i+14} - S_i$ para Bal C e ΔARM (ou ALT) para Bal T e Bal PM, também foram observadas diferenças entre os métodos (Figura 3), mas de uma maneira geral, um acompanhou o outro, também com uma superioridade de Bal PM. Estas diferenças são explicadas pelo fato do ARM ser o resultado de

várias operações feitas pelo programa e que cada balanço i depende do ARM anterior, de uma forma seqüencial. No caso do Bal C, cada valor de S_{i+14} é independente do anterior e medido diretamente no campo. Por isso, os coeficientes de determinação entre os valores dos métodos (Figura 4) foram relativamente baixos, mas significativo a 1% pelo teste F. As equações de regressão, com coeficientes lineares menores que 1 e coeficientes angulares praticamente nulos, também mostram variações maiores de ΔS no Bal C em relação a ΔARM nos Bal T e Bal PM. Com maior evapotranspiração no Bal C, ficam lógicos maiores valores de ΔS em relação ao ΔARM dos métodos climatológicos.

A quantidade de água disponível no solo ao final de cada balanço é dada por $(S_{i+14} - S_{PMP})$ para o Bal C e ARM para Bal T e Bal PM. A Figura 5 mostra a sua evolução para os três métodos e a figura 6 suas regressões com coeficientes de determinação relativamente baixos, mas significativos. As equações de regressão têm como coeficientes angulares valores próximos de 1, mostrando que as variações de ambos são próximas, mas têm coeficiente angulares de 18,71 (Bal PM) e 36,3 (Bal T), que indicam valores superiores para Bal PM e Bal T em relação a Bal C. Até o balanço 11 houve uma relação quase perfeita entre Bal T e Bal C, com uma ligeira subestimação para Bal PM. Sempre a água disponível pelo Bal T foi superestimada à Bal PM e muito mais em relação às medidas diretas de Bal C. Nesta fase as plantas de café já estavam bem mais desenvolvidas, com área foliar maior e, portanto, com maior exigência de água. No Bal T, com menor ETR, a água disponível várias vezes atingiu o valor máximo de 150 mm ao passo que no Bal C, após o balanço 11 a água disponível nunca mais atingiu o valor máximo. Para Bal PM as estimativas sempre se aproximaram mais de Bal C, porém sempre com uma superestimação de Bal PM em relação ao Bal C. Vê-se, portanto, que a substituição do balanço de campo pelos climatológicos, para a estimativa da água disponível no solo ou de défices hídricos é problemática, porém melhor para Bal PM.

A comparação do EXC de Bal T e Bal PM com a soma RO+QL do Bal C é apresentada na Figura 7 através de regressões praticamente idênticas, com R^2 também significativo e com valores individuais de precipitação variando muito. Para o Bal C, tanto RO como QL são de difícil medida. Em nosso caso, com plantio em nível ao longo de sulcos cobertos com serrapilheira, a componente RO foi apenas 5,7 mm no 1º. ano e 0,8 mm no 2º. ano, com média de 0,3% da chuva no período total, apesar do declive do terreno de 9,2% com erro de $\pm 0,3\%$. Este fato mostra um excelente controle desta componente nessas condições de campo. Assim, as

perdas no Bal C ficaram praticamente por conta do QL, que é um componente de difícil medida devido à variabilidade da função $K(\theta)$ utilizada em sua estimativa através da abordagem de Darcy-Buckingham e discutidas em maiores detalhes em Silva et al. (2006a). Já no Bal T e Bal PM, o EXC é calculado simplesmente pela diferença da água que sobra no balanço. Para os dois anos, o somatório de (RO+QL) e EXC apresentou uma diferença de apenas 87 e 11mm para Bal PM e Bal T respectivamente, e em favor de (RO+QL), indicando que o Bal T e Bal PM também subestimaram estas variáveis. Este fato torna-se mais relevante ainda quando o balanço hídrico é feito para avaliar perdas de fertilizante por RO ou lixiviação (QL).

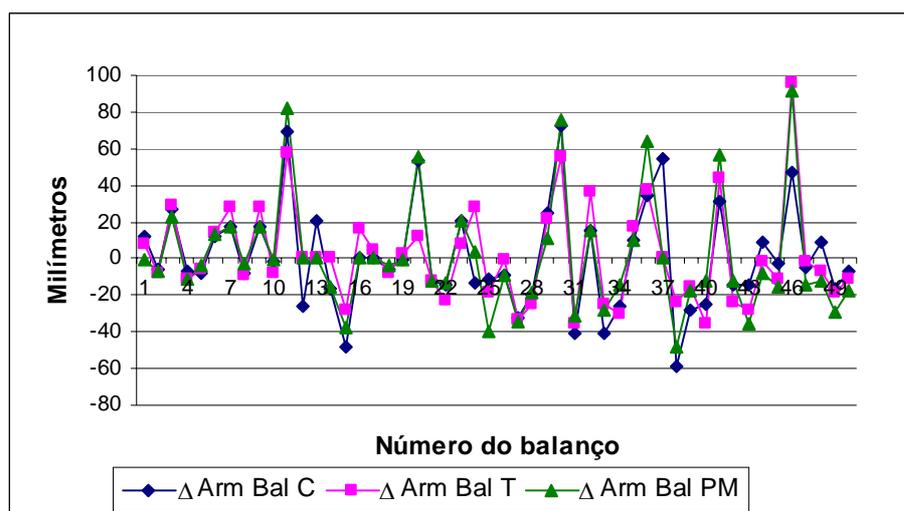


Figura 3- Variação do armazenamento de água no solo, em mm, para os 50 balanços

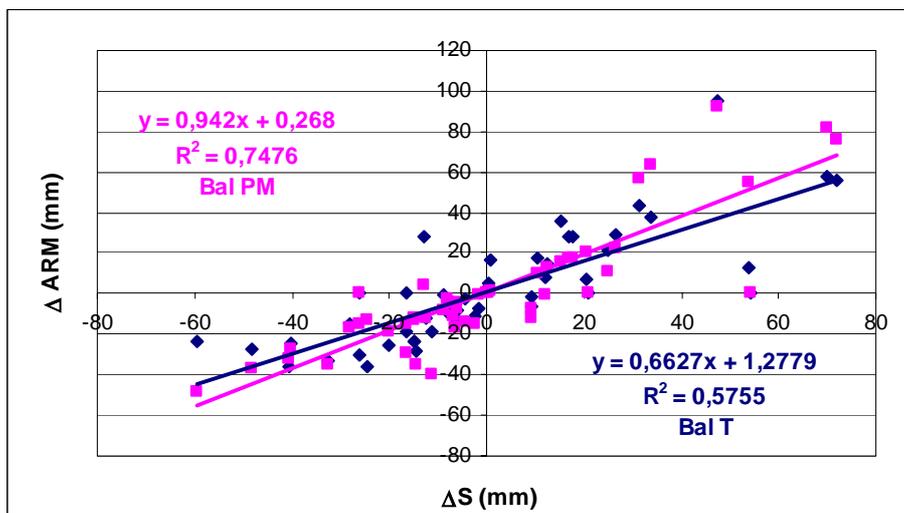


Figura 4- Regressão linear entre as variações de armazenamento ΔARM (mm) para Bal T e Bal PM em relação a ΔS (mm) do Bal C

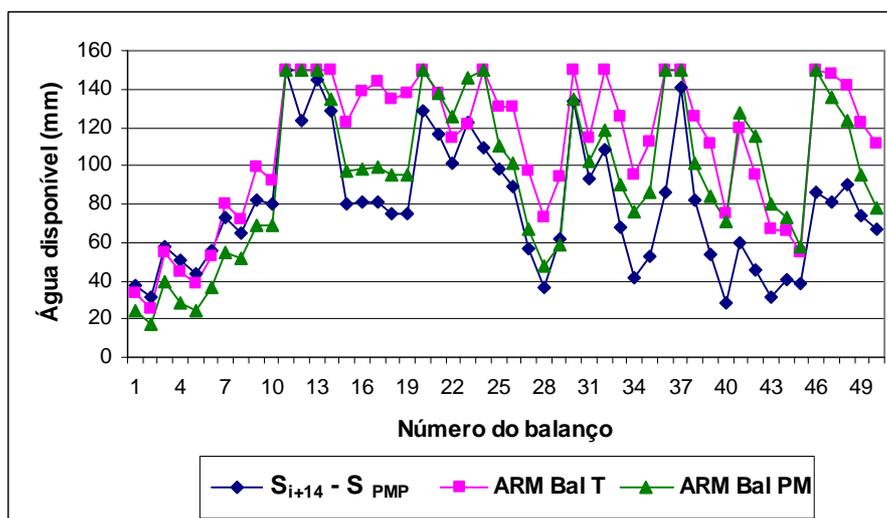


Figura 5- Quantidade de água disponível no solo (mm) ao final de cada balanço, pelo método de campo ($S_{i+14} - S_{PMP}$) e climatológico (ARM)

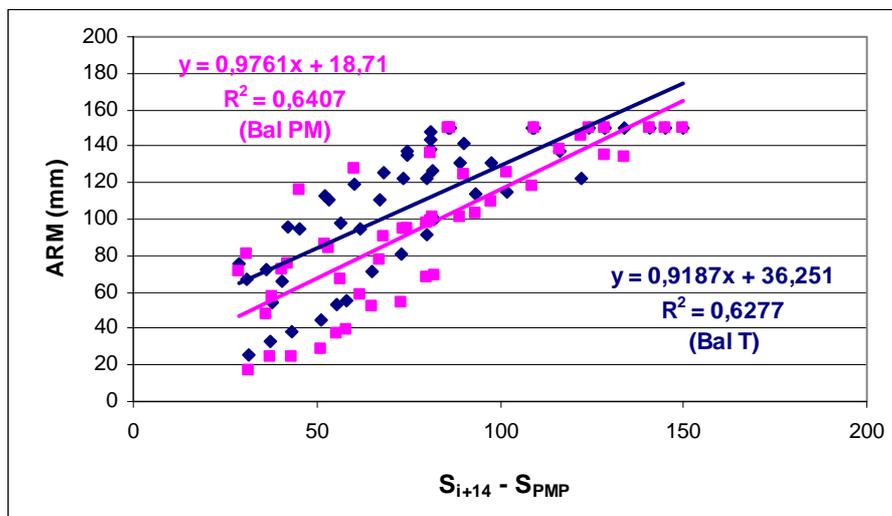


Figura 6- Regressão linear entre as quantidades (mm) de água disponível no solo ao final de cada balanço pelos métodos climatológicos (ARM) de Bal T e Bal PM e pelo método de campo ($S_{i+14} - S_{PMP}$)

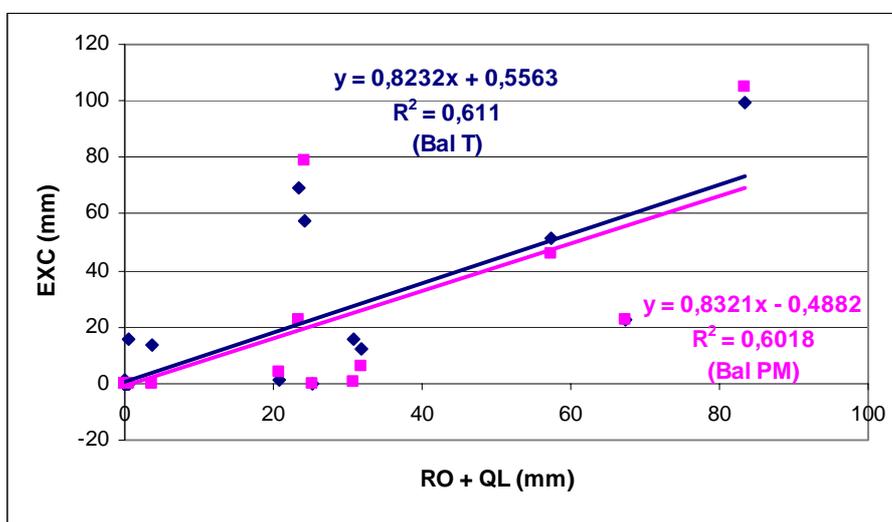


Figura 7- Regressão linear entre excesso de água (EXC), em mm, do Bal T e Bal PM, e ($RO + QL$), em mm, do Bal C

2.3 Conclusões

Em estudo com cultura de café verificou-se que métodos climatológicos seqüenciais de cálculo do balanço hídrico, baseados na estimativa da evapotranspiração pelos métodos de Thornthwaite e de Penman-Montheith, substitui razoavelmente o balanço hídrico realizado com medidas diretas no campo. Os métodos climatológicos subestimaram a evapotranspiração atual, as variações de armazenamento de água no solo com uma superioridade de Penman-Montheith em relação a Thornthwaite e, conseqüentemente a água disponível no solo para a cultura foi sempre maior do que aquela medida no campo. Estes balanços climatológicos também subestimaram o excesso de água, indicando assim uma menor drenagem abaixo da zona radicular e uma possível menor lixiviação de nutrientes.

Referências

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1989. 300 p.

BRUNINI, O.; CAMARGO, M.B.P.; PEDRO JUNIOR, M.J.; BLAIN, G.C.; BRUNINI, A.P.C.; CAPUTI, E.; SANTOS, R.L.; BRIGANTE, R.S.; ALMEIDA, E.L. Monitoramento agrometeorológico e o comportamento da cultura do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2003. p. 76.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T., (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 119-147.

CLIMAPIRACICABA, **Dados climáticos**: Piracicaba, SP, Brasil. Disponível em: <<http://www.climapiracicaba.hpg.ig.com.br/piradados.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2006.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Tradução de H. R. Gheyi, A. A. de Souza, F. A. V. Damasceno. 2. ed. **FAO Irrigação e Drenagem**, Campina Grande, v. 33, 2000. 221 p.

DOURADO-NETO, D.; GARCÍA, A. G.; FANCELLI, A. L.; FRIZZONE, J. A.; REICHARDT, K. Balance hídrico cíclico y secuencial: estimación de almacenamiento de agua en el suelo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 3, p. 573-546, jul- set.1999.

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

FARIA, R. T. CHIBANA, E. Y. Simulação do balanço hídrico do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2003. p. 79.

MEIRELES, E. J. L.; CAMARGO, M. B. P.; FAHL, J. I.; THOMAZIELLO, R. A.; NACIF, A. P.; BARDIN, L. Análise do balanço hídrico seqüencial decendial (2002) para a região cafeeira de Mococa, SP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2003. p. 53-54.

PEREIRA, A. R. Balanço hídrico de um solo podzolizado de Lins e Marília cultivado com cafeeiros. **Bragantia**, Campinas, v.45, n. 2, p. 239-247, 1986.

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

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JR. M. J.; THOMAZIELLO, R. A.; CAMARGO, M. B. P. Escala para a avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n.3, p. 499-505, 2003.

PICINI, A. G; CAMARGO, M. B. P.; ORTOLANI, A. A.; FAZUOLI, L.C.; GALLO, P. B. Desenvolvimento e testes de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v.58, n. 1, p. 157-170, 1999.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C., **Disciplinas do Departamento de Ciências Exatas**: Meteorologia Agrícola. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/angelocci/BHaula.xls>>. Acesso em: 10 jan. 2006.

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. **Balanço Hídrico**: BH Climatológico, normal e seqüencial, de cultura e para controle da irrigação, Aula 9, 2005. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/aula9.pps>>. Acesso em: 08 dez. 2005.

SILVA, A.L. **Variabilidade dos componentes do balanço hídrico**: um estudo de caso em uma cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no Brasil. 2005. 72 p. Tese (Doutorado em Agronomia). – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA, A. L.; REICHARDT, K.; ROVERATTI, R.; BACCHI, O. O. S.; TIMM, L. C.; OLIVEIRA, J. C. M.; DOURADO-NETO, D. On the use of soil hydraulic conductivity functions in the field. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam. 2006(a). No prelo.

SILVA A. L.; ROVERATTI, R.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; TIMM, L. C.; BRUNO, I. P., OLIVEIRA, J. C. M.; DOURADO NETO, D. Variability of water balance components in a coffee crop grown in Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n 2, p.105-114, 2006 (b).

SOUZA, J. L. M.; FRIZZONE, J. A. ; GERVÁSIO, E. S. . Simulação do balanço hídrico climatológico decedial para a cultura do cafeeiro, na região de Lavras, Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002, Araguari. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2002. p. 156-161.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W; MATHER, J.R. The water balance. **Publications in Climatology**, New Jersey, v.8, n 1, 104 p. 1955.

VILLA NOVA, N.A. **Dados meteorológicos do município de Piracicaba**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciências Exatas, 2003. 1 v.

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

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O NÚMERO DE PLUVIÔMETROS NECESSÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DA CHUVA EM EXPERIMENTOS DE CAMPO

Resumo

A chuva é um dos elementos climáticos que mais influencia na produtividade agrícola e, portanto sua distribuição espacial deve ser bem compreendida. Estudos que utilizam a quantidade de chuva de determinado local como parâmetro para os mais variados modelos agrícolas muitas vezes tomam medidas de estações meteorológicas distantes. O presente trabalho foi realizado para trazer mais informações acerca do número ideal de pluviômetros a serem utilizados em uma área pequena, assim como saber a distância adequada entre o local que se deseja estudar e o de tomada das medidas de precipitação. Ao se analisar os dados de cinco pluviômetros dispostos em 0,2 ha de uma cultura de café concluiu-se que apenas um pluviômetro seria necessário para representar esta área. Comparando-se medidas médias de precipitação dos cinco pluviômetros com as de três estações meteorológicas, pode-se afirmar que qualquer uma delas representa muito bem as precipitações ocorridas até 3 km de distância, desde que os dados sejam acumulados em pelo menos sete dias.

Palavras-chave: Número ideal de pluviômetros, precipitação, variabilidade espacial.

CONSIDERATION ON THE NUMBER OF RAINGAUGES NEEDED TO ESTIMATE RAINFALL IN FIELD EXPERIMENTS

Abstract

Rainfall is one of the climatic elements that mostly affect agricultural productivity and, therefore, its spatial distribution that to be well understood. Studies that employ rainfall amounts of a given location as a parameter for all types of agricultural models, make use of data from distant meteorological stations. This study was carried out in order to present more information on the ideal number or raingauges to be used in a small area, as well as to know the safe distance between the study area and the rainfall measurement site. When analyzing data from five raingauges distributed over a 0.2 ha coffee crop, it was concluded that only one gauge would have been needed to represent the area. Comparing the averages of the five raingauges with data of three meteorological stations, one can say that any one of them can well represent rainfall up to 3 km of distance from the study site, when data is accumulated for at least seven days.

Keywords: ideal number of raingauges, rainfall, spatial variability.

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O NÚMERO DE PLUVIÔMETROS NECESSÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DA CHUVA EM EXPERIMENTOS DE CAMPO

3.1 Introdução

A umidade disponível no solo é um dos fatores primários na determinação da quantidade e qualidade do produto agrícola ao final de uma safra. O cafeeiro para vegetar e frutificar necessita de água e visando suprir estas necessidades através da irrigação, ou para o manejo eficiente da lavoura, deve ser feito o monitoramento da água no solo. O balanço hídrico consiste no cálculo da quantidade líquida de água disponível no solo, e para tanto deve-se ter o conhecimento mais acurado possível dos valores de chuva do período que se deseja estudar.

Doorenbos e Pruitt (1997) afirmam que em um determinado período as chuvas variam enormemente, e considerar seus valores médios baseados em observações de curtos períodos pode ocasionar uma aproximação grosseira sujeita a erros. Reichardt (1987) ressalta a importância da variabilidade de chuvas de verão em regiões tropicais e subtropicais. Tais chuvas são muito localizadas, e freqüentemente chove em dado local, mas não em algumas centenas de metros adiante, levantando o questionamento: quantos pluviômetros são necessários para representar determinada área?

Não obstante, em estudos que utilizam a quantidade de chuva de determinado local, essa variabilidade na maioria das vezes não é levada em conta, sendo geralmente medida em um único ponto e extrapolada como se a precipitação fosse homogênea em área total.

A falta de rigor com que muitos trabalhos científicos empregam dados de chuva, com estes servindo até como base para novos modelos agrícolas, levanta o questionamento se o número de pluviômetros empregados em cada caso é o correto. Na maioria das vezes são usados os valores oferecidos por estações meteorológicas da região, que em geral se localizam a distâncias relativamente grandes do local do experimento. Com o objetivo de contribuir para o esclarecimento dessa questão, este trabalho faz uma análise dos dados de 5 pluviômetros instalados em cultura de café, visando melhor definir o número ideal e fazendo comparações com duas estações meteorológicas, uma próxima e outra distante.

3.2 Desenvolvimento

3.2.1 Revisão Bibliográfica

As relações entre a água e o sistema solo-planta atmosfera são complexas, o que tem gerado grande quantidade de informações sobre esses processos (DOORENBOS; KASSAM, 2000). As taxas de precipitação são muito diferentes para zonas temperadas e zonas tropicais, determinando o tipo de vegetação da região, e sua caracterização é fundamental para o planejamento agrícola. O Brasil devido à sua extensão territorial apresenta uma grande variedade de condições de pluviosidade (REICHARDT, 1987).

Em regiões tropicais a chuva é a principal forma pela qual a água retorna da atmosfera para a superfície terrestre, tornando-se assim um fator muito importante para a produtividade agrícola. O índice de medida de chuva mais usado em experimentos agrícolas é a altura pluviométrica (milímetros), e o equipamento básico para sua medição é o pluviômetro (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Ela é um dos elementos climáticos mais diretamente relacionados à produção agrícola e, devido ao seu caráter aleatório, aumenta os riscos na programação das atividades do setor agrícola (MELO JÚNIOR et al., 2006).

As chuvas se distribuem de maneira irregular tanto em escala temporal, o que tem sido bem estudado, quanto espacial. A variabilidade pluviométrica em escala espacial é dependente de fatores como topografia e tipo de chuvas (MELLART, 1999 apud BEGA et al. 2005), além da presença de obstáculos. Doorenbos e Pruitt (1997) evidenciam a importância de se identificar a época e os períodos de défices de chuvas, pois cada cultura tem sua fase de sensibilidade à seca.

Em trabalho realizado em Piracicaba – SP, Reichardt et al. (1995) ilustram bem a variabilidade diária da chuva em uma escala local (1000 ha), pelo período de um ano. Os autores observaram que os coeficientes de variação para dez pontos de medida distribuídos ao acaso em toda a área variaram de 2,2 a 169,3%, para valores diários, independente do tipo de chuva, concluindo que um ponto de observação não representa áreas distantes dele de 1000 a 2500m para medidas diárias, mensais ou trimestrais, mas apenas anuais.

Silva et al. (2006) trabalharam com valores acumulados de precipitação para períodos de 14 dias, com um número de 5 pluviômetros em uma área de 0,2 ha em Piracicaba – SP, e observou que apesar dos pluviômetros se encontrarem a distâncias pequenas (15 a 100 m), houve variabilidade entre suas leituras, com coeficientes de variação de 1,9 a 4%, mas alguns com de valores maiores, acima de 10%. Os autores afirmam que CVs maiores são justificados por valores

médios baixos, ou condições locais impostas por obstáculos, e concluem que a variabilidade dos dados justifica a necessidade da medida de precipitação com repetições em situações como as do experimento.

A variabilidade da chuva já foi avaliada segundo vários aspectos. Pezzopane et al. (1995) se preocuparam com a avaliação da chuva em escala horária, em três locais do Estado de São Paulo e observaram diferenças significativas nos totais de chuva horária. Mc Conkey; Nicholaichuk e Cutforth (1990) estudaram a variabilidade espacial da chuva em Saskatchewan, Canadá, por um período de 32 anos e verificaram diferenças entre tipos de chuvas e distâncias entre pluviômetros. Bega et al. (2005) estudaram a variabilidade espacial das chuvas diárias em uma escala reduzida em Pindorama, SP, empregando dados históricos de cinco pluviômetros distanciados de 250 a 4000 m, e também concluíram que a medida da precipitação pluvial depende das posições onde se localizam os pluviômetros. Mellart (1999), citado por Bega et al. (2005), observou diferenças na variabilidade espacial das chuvas para distâncias relativamente pequenas (1 Km), mas o grau de variabilidade muda de acordo com ano e região. Reichardt (1987) sugere que um critério a ser utilizado é um pluviômetro a cada 1 a 5 Km², sendo que em experimentos há necessidade de se medir a chuva o mais próximo possível da parcela.

Em abordagens mais sofisticadas, Mazzarella e Tranfaglia (2000), aplicaram conceitos de geometria fractal para caracterizar as distribuições espaciais de chuva em uma região com variabilidade geofísica e Mc Collum; Gruber e Ba (2000) fizeram comparações entre medidas de pluviômetros com medidas de satélite, na África equatorial.

Apesar da utilização da regressão linear e do coeficiente de determinação não ser a análise mais indicada para se estudar a variabilidade de chuva, ela tem sido muito empregada por pesquisadores de todo o mundo para verificar variáveis climáticas, como mostram os trabalhos de Hubbard (1994), Camargo e Hubbard (1999) e Hopkins (1979) citado por Bega et al. (2005).

3.2.2 Material e métodos

3.2.2.1 Comparação entre 5 pluviômetros

Com o intuito de verificar a necessidade da medida da chuva por meio de 5 pluviômetros (nomeados 2, 3, 5, 6 e 9), fez-se a comparação de médias de 5, 4, 3 e 2 pluviômetros, fazendo as possíveis combinações. Essas medidas foram realizadas por Silva (2005) na fazenda Areão da ESALQ/USP em Piracicaba, SP, (22°42'S, 47°38'W, 580m de altitude) em cultura de café desenvolvida em solo classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférico (EMBRAPA, 1999), A moderado e textura argilosa. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, denominado "tropical de altitude" mesotérmico de inverno seco, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C. As médias anuais de temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa são de 21,1°C, 1.257 mm e 74%, respectivamente. A estação seca ocorre entre os meses de abril e setembro, sendo julho o mês mais seco. O mês mais chuvoso oscila entre janeiro e fevereiro. O total das chuvas do mês mais seco não ultrapassa 30 mm (VILLA NOVA, 2003).

Em maio de 2001 o cafezal foi estabelecido com plantio feito em renque, ao longo de curvas de nível, tendo um espaçamento de 1,75 m entrelinhas e 0,75 m entre plantas. Em área de aproximadamente 0,2 ha foram instalados 5 pluviômetros (Ville de Paris) a 1,2m de altura, com área de captação nivelada, distantes entre si de 15 a 100 m. Próximo à área (100 a 200 m) encontram-se obstáculos como floresta de pinus, árvores isoladas de eucalipto, um silo, um galpão e pomares de árvores frutíferas de porte bem maior que o café, que bem poderiam afetar as medidas de chuva.

Como a chuva em experimentos agrícolas também é computada de forma acumulada, o estudo foi feito para chuvas diárias e acumuladas em 7, 14, 28, 56 e 112 dias. A análise estatística foi feita através da variância (s^2), desvio-padrão (s), média (m), coeficiente de variação (CV) e amplitude de variação da variância (amplitude). Também foi realizada a análise de regressão dos valores diários de precipitação do pluviômetro 2, tomado ao acaso como padrão em relação aos demais.

3.2.2.2 Comparação entre estações meteorológicas

Os dados médios de precipitação dos 5 pluviômetros instalados na Fazenda Areão (A), foram confrontados com os dados de precipitação de duas estações meteorológicas pertencentes à

ESALQ/USP, em Piracicaba-SP, 23°43'33" S, 47°38'00" W, 576 metros de altitude. A Estação Agrometeorológica Automática do Departamento de Engenharia Rural (ER) (CLIMAPIRACICABA, 2005) está localizada à 200 m do cafezal, e as estações Convencional (CE) e Automática (AE) do Posto Agrometeorológico do Departamento de Ciências Exatas (LCE, 2005) estão localizadas à cerca de 3 Km do cafezal.

Apesar da condição em que foram instalados os cinco pluviômetros na Fazenda Areão não ser a ideal para obtenção de dados de precipitação pluviométrica, como descrito anteriormente, esta é uma condição real e aqui foi aplicada para se verificar o quanto suas medidas se aproximam daquelas das estações agrometeorológicas. Isso foi feito com o propósito de validar ou não as informações das estações para o fornecimento de dados de chuva para experimentos realizados nos mesmos moldes aqui empregados.

A análise dos dados foi feita através de testes de médias (testes t e F), do uso das médias, da variância e da correlação. A comparação diária de dados de chuva é muitas vezes comprometida pelo fato das leituras das estações automáticas se iniciarem às 0:00h de cada dia, as dos cinco pluviômetros às 8:00h de cada dia, e da estação convencional às 9:00h. Para valores acumulados de sete ou mais dias, essa discrepância passa a ter pouco significado.

3.2.3 Resultados e discussão

3.2.3.1 Comparação entre 5 pluviômetros

A análise dos dados pluviométricos dos cinco pluviômetros instalados na cultura de café mostrou pouca influência dos obstáculos dispostos à volta do campo experimental, sendo que o coeficiente de variação médio de suas médias diárias foi da ordem de 4,77%. Para alguns eventos de chuva, porém, estes coeficientes foram bem altos, sendo os três maiores 23,73%, 23,73% e 19,94% que correspondem às médias de 30,9mm, 12,0mm e 2,1mm mostrando uma ocasional influência das condições de contorno nas medidas pluviométricas. O exemplo mostra também que os altos CVs são obtidos tanto para chuvas grandes como pequenas. Este fato fica evidenciado mediante a Figura 1, que representa regressões dos valores de quatro pluviômetros em função de um deles (pluviômetro 2, tomado como padrão ao acaso). Nesta figura notam-se vários desvios pontuais onde um pluviômetro se distinguiu bastante do outro. Estas diferenças podem ser significativas e de grande importância dependendo do uso que é feito das leituras

pluviométricas mas, para efeito de balanço hídrico, elas se amortizam tanto mais quanto maior for o Δt do balanço, pois nestes casos toma-se a chuva acumulada em cada período Δt . Contudo, de maneira geral os pluviômetros podem ser considerados equivalentes, visto que possuem R^2 com valores bem próximos a 1, mostrando que as equações se ajustam aos dados, além do coeficiente de correlação variando de 0,99 a 1.

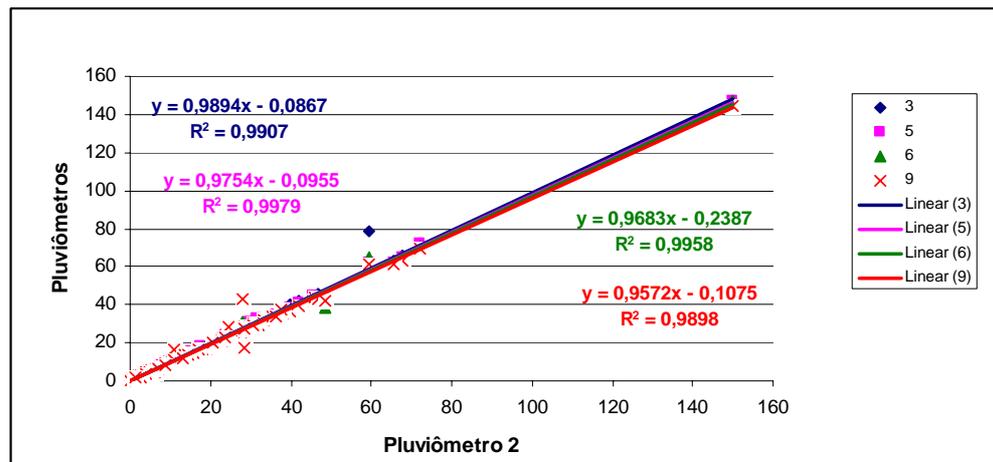


Figura 1- Regressão linear dos valores diários de precipitação (mm) do pluviômetro 2 em relação aos demais

Para discutir a questão da necessidade de cinco pluviômetros tomamos as tabelas abaixo que apresentam variâncias, desvios padrão, médias e coeficientes de variação (CV), para os dados diários e agrupados (acumulados) para Δt de 7, 14, 28, 56 e 112 dias para casos possíveis de medida com cinco, quatro, três e dois pluviômetros. Em cada um desses casos foram tomadas todas as combinações possíveis dos cinco pluviômetros, 4 a 4, 3 a 3 e 2 a 2. As variâncias mostram claramente que, como era esperado, sua variabilidade entre as combinações aumenta com a redução do número de pluviômetros, o que é evidenciado pelas amplitudes de variação das variâncias entre as combinações. Por exemplo, para os valores acumulados de $\Delta t = 7$ (Tabela 3.2) para combinações com 4 pluviômetros, os extremos das variâncias foram de 3,002 a 5,493, com uma diferença de 2,492; para 3 pluviômetros, variaram de 2,332 a 7,385 com uma diferença de 5,054; e para 2 pluviômetros, de 0,863 a 9,940, com uma diferença de 9,077. Isso mostra que as médias de 5 pluviômetros são muito mais precisas que as de 4, e estas que as de 3, e estas que as de 2 pluviômetros. Este fato, contudo, torna-se de menor importância face aos testes de

comparação de médias que mostrou que as médias apresentadas para cada período de acúmulo (diário, 7 em 7 dias, 14 em 14 dias, ...) não diferem entre si. Além disso, observamos em todas as tabelas valores de CV baixos, nunca superiores a 6,15%.

Pode-se afirmar, portanto, que o uso de cinco pluviômetros não foi necessário para as condições experimentais descritas, e que mesmo nas condições onde obstáculos estejam dispostos à volta, um pluviômetro seria suficiente.

Tabela 3.1 - Médias de variância (s^2), desvio padrão (s), média (m) e coeficiente de variação (CV) para dados diários de precipitação pluviométrica, nas combinações dos 5 pluviômetros, 5 a 5, 4 a 4, 3 a 3 e 2 a 2, para dois anos de medida

(continua)

Combinações	s^2	S	m	CV	Amplitude
5	1,336	0,584	15,113	4,770	-
4 a 4	0,967	0,515	15,195	4,444	0,724
	1,646	0,615	15,185	4,687	
	1,691	0,642	15,121	5,136	
	1,070	0,576	15,065	4,873	
	1,306	0,495	15,002	4,186	
3 a 3	1,106	0,472	15,317	3,751	1,665
	1,290	0,573	15,233	4,705	
	2,302	0,698	15,219	5,095	
	0,637	0,513	15,157	4,707	
	1,357	0,629	15,143	4,972	
	1,445	0,664	15,059	5,516	
	0,835	0,426	15,073	3,981	
	1,822	0,542	15,059	4,238	
	1,726	0,542	14,975	4,500	
0,842	0,362	14,899	3,147		
2 a 2	1,628	0,404	15,435	2,548	2,807
	0,558	0,469	15,321	3,999	
	1,110	0,650	15,195	5,679	
	2,227	0,804	15,173	6,152	

Tabela 3.1 - Médias de variância (s^2), desvio padrão (s), média (m) e coeficiente de variação (CV) para dados diários de precipitação pluviométrica, nas combinações dos 5 pluviômetros, 5 a 5, 4 a 4, 3 a 3 e 2 a 2, para dois anos de medida

(conclusão)

Combinações	s^2	S	m	CV	Amplitude
	1,131	0,391	15,196	3,405	
	1,131	0,499	15,069	4,393	
	3,050	0,650	15,048	4,893	
	0,243	0,257	14,956	2,828	
	1,285	0,411	14,934	2,997	
	0,998	0,293	14,808	2,474	

*Amplitude = s^2 máximo - s^2 mínimo

Tabela 3.2 - Médias de variância (s^2), desvio padrão (s), média (m) e coeficiente de variação (CV) para dados semanais de precipitação pluviométrica, nas combinações dos 5 pluviômetros, 5 a 5, 4 a 4, 3 a 3 e 2 a 2, para dois anos de medida

(continua)

Combinações	s^2	S	m	CV	Amplitude
5	4,371	1,638	34,873	4,530	-
4 a 4	3,002	1,157	35,061	4,035	2,492
	5,340	1,389	35,037	4,619	
	3,792	1,301	34,760	4,586	
	5,493	1,448	34,891	4,960	
	4,227	1,106	34,616	3,882	
3 a 3	3,160	1,063	35,342	3,597	5,054
	3,943	1,292	35,148	4,316	
	7,385	1,582	35,115	5,188	
	4,908	1,432	34,941	4,840	
	5,073	1,505	34,747	5,287	
	2,332	1,155	34,974	4,173	
	2,572	0,953	34,781	3,421	
	5,907	1,216	34,748	4,059	
	5,572	2,037	34,554	4,271	
	2,855	0,805	34,380	2,965	
2 a 2	4,162	0,914	35,613	2,860	9,077
	2,104	1,072	35,352	3,782	
	4,028	1,475	35,060	5,064	
	8,054	1,843	35,012	6,139	

Tabela 3.2 - Médias de variância (s^2), desvio padrão (s), média (m) e coeficiente de variação (CV) para dados semanais de precipitação pluviométrica, nas combinações dos 5 pluviômetros, 5 a 5, 4 a 4, 3 a 3 e 2 a 2, para dois anos de medida

(conclusão)

Combinações	s^2	S	m	CV	Amplitude
	3,214	0,875	35,062	2,997	
	3,640	1,124	34,770	3,810	
	9,940	1,470	34,722	4,866	
	0,863	0,577	34,509	2,365	
	4,567	0,924	34,461	2,971	
	3,137	0,640	34,169	2,527	

*Amplitude = s^2 máximo - s^2 mínimo

Tabela 3.3 - Médias de variância (s^2), desvio padrão (s), média (m) e coeficiente de variação (CV) para dados de precipitação pluviométrica acumulados de 14 em 14 dias, nas combinações dos 5 pluviômetros, 5 a 5, 4 a 4, 3 a 3 e 2 a 2, para dois anos de medida

(continua)

Combinações	s^2	S	m	CV	Amplitude
5	7,964	1,954	53,472	4,459	-
4 a 4	5,609	1,734	53,760	4,133	4,389
	9,673	2,076	53,723	4,531	
	9,998	2,156	53,499	4,909	
	7,291	1,937	53,299	4,423	
	7,250	1,632	53,077	3,734	
3 a 3	5,654	1,600	54,192	3,655	8,810
	7,303	1,940	53,893	4,615	
	13,333	2,374	53,844	5,132	
	4,955	1,742	53,627	4,218	
	9,552	2,141	53,577	4,617	
	9,844	2,246	53,278	5,101	
	4,523	1,408	53,330	3,411	
	10,153	1,818	53,281	3,893	
	9,512	1,800	52,982	4,148	
4,812	1,178	52,716	2,703		
2 a 2	6,832	1,389	54,607	3,241	15,495

Tabela 3.3 - Médias de variância (s^2), desvio padrão (s), média (m) e coeficiente de variação (CV) para dados de precipitação pluviométrica acumulados de 14 em 14 dias, nas combinações dos 5 pluviômetros, 5 a 5, 4 a 4, 3 a 3 e 2 a 2, para dois anos de medida

(conclusão)

Combinações	s^2	S	m	CV	Amplitude
	4,689	1,618	54,207	3,720	
	8,562	2,236	53,759	5,333	
	16,059	2,765	53,684	5,802	
	5,440	1,319	53,762	2,850	
	6,515	1,658	53,314	4,013	
	17,110	2,219	53,240	4,780	
	1,615	0,866	52,914	2,368	
	7,909	1,373	52,840	2,762	
	4,912	0,913	52,392	2,113	

*Amplitude = s^2 máximo - s^2 mínimo

Tabela 3.4 - Médias de variância (s^2), desvio padrão (s), média (m) e coeficiente de variação (CV) para dados de precipitação pluviométrica acumulados de 28 em 28 dias, nas combinações dos 5 pluviômetros, 5 a 5, 4 a 4, 3 a 3 e 2 a 2, para dois anos de medida

(continua)

Combinações	s^2	S	m	CV	Amplitude
5	16,500	3,117	96,249	3,594	-
4 a 4	12,554	2,800	96,769	3,445	8,077
	19,646	3,307	96,702	3,576	
	20,631	3,422	96,299	3,904	
	15,703	3,045	95,939	3,425	
	13,965	2,672	95,539	3,189	
3 a 3	12,449	2,625	97,545	2,984	17,662
	16,215	3,128	97,008	3,790	
	26,725	3,772	96,919	3,971	
	20,128	3,327	96,439	3,442	
	12,359	2,809	96,528	3,412	
	21,262	3,491	95,901	3,893	

Tabela 3.4 - Médias de variância (s^2), desvio padrão (s), média (m) e coeficiente de variação (CV) para dados de precipitação pluviométrica acumulados de 28 em 28 dias, nas combinações dos 5 pluviômetros, 5 a 5, 4 a 4, 3 a 3 e 2 a 2, para dois anos de medida

(conclusão)

Combinações	s^2	S	m	CV	Amplitude
	9,193	2,260	95,995	3,065	
	19,280	2,981	95,905	3,210	
	18,323	2,905	95,368	3,452	
	9,064	1,991	94,888	2,330	
2 a 2	14,181	2,342	98,292	2,460	29,951
	12,389	2,676	97,572	2,903	
	21,175	3,572	96,766	4,245	
	33,463	4,175	96,632	4,236	
	10,777	2,099	96,772	2,548	
	13,290	2,627	95,966	3,531	
	32,532	3,598	95,832	3,754	
	3,512	1,377	95,246	2,196	
	14,532	2,353	95,112	2,264	
	9,148	1,541	94,306	1,815	

*Amplitude = s^2 máximo - s^2 mínimo

Tabela 3.5 - Médias de variância (s^2), desvio padrão (s), média (m) e coeficiente de variação (CV) para dados de precipitação pluviométrica acumulados de 56 em 56 dias, nas combinações dos 5 pluviômetros, 5 a 5, 4 a 4, 3 a 3 e 2 a 2, para dois anos de medida

(continua)

Combinações	s^2	S	m	CV	Amplitude
5	43,543	5,445	185,095	2,805	-
4 a 4	35,920	4,953	186,094	2,650	18,710
	50,256	5,784	185,965	2,855	
	54,630	5,998	185,190	3,053	
	40,857	5,260	184,498	2,797	
	36,054	4,740	183,729	2,439	
3 a 3	32,869	4,643	187,587	2,318	48,199
	46,723	5,580	186,554	2,959	

Tabela 3.5 - Médias de variância (s^2), desvio padrão (s), média (m) e coeficiente de variação (CV) para dados de precipitação pluviométrica acumulados de 56 em 56 dias, nas combinações dos 5 pluviômetros, 5 a 5, 4 a 4, 3 a 3 e 2 a 2, para dois anos de medida

(conclusão)

Combinações	s^2	S	m	CV	Amplitude
	67,866	6,608	186,382	3,183	
	36,168	4,890	185,631	2,743	
	51,815	5,854	185,459	2,986	
	55,776	6,024	184,426	3,176	
	27,919	3,939	184,605	2,215	
	48,475	5,366	184,433	2,611	
	48,157	5,148	183,400	2,592	
	19,667	3,475	182,477	1,823	
2 a 2	32,970	4,330	189,023	1,998	77,634
	35,797	4,460	187,638	2,355	
	62,994	6,326	186,088	3,521	
	87,347	7,245	185,831	3,673	
	29,841	3,818	186,100	1,974	
	9,713	2,235	183,165	1,467	
	32,302	4,308	182,908	2,036	
	16,986	2,660	181,358	1,302	
	44,204	4,618	184,550	2,587	
	83,281	6,560	184,292	3,054	

*Amplitude = s^2 máximo - s^2 mínimo

Tabela 3.6 - Médias de variância (s^2), desvio padrão (s), média (m) e coeficiente de variação (CV) para dados de precipitação pluviométrica acumulados de 112 em 112 dias, nas combinações dos 5 pluviômetros, 5 a 5, 4 a 4, 3 a 3 e 2 a 2, para dois anos de medida

(continua)

Combinações	s^2	S	m	CV	Amplitude
5	124,739	9,410	343,748	2,536	-
4 a 4	100,403	8,408	345,603	2,274	55,171
	142,167	10,005	345,364	2,624	
	155,574	10,353	343,925	2,774	
	122,880	9,468	342,639	2,590	

Tabela 3.6 - Médias de variância (s^2), desvio padrão (s), média (m) e coeficiente de variação (CV) para dados de precipitação pluviométrica acumulados de 112 em 112 dias, nas combinações dos 5 pluviômetros, 5 a 5, 4 a 4, 3 a 3 e 2 a 2, para dois anos de medida

(conclusão)

Combinações	s^2	S	m	CV	Amplitude
	102,670	8,454	341,210	2,319	
3 a 3	79,242	7,501	348,375	1,909	140,968
	124,980	9,370	346,457	2,556	
	190,137	11,416	346,138	2,974	
	111,875	8,941	344,742	2,464	
	159,300	10,651	344,423	2,816	
	171,177	10,939	342,505	2,937	
	85,517	7,137	342,838	1,908	
	139,991	9,807	342,519	2,611	
	136,003	9,104	340,600	2,471	
	49,169	6,028	338,885	1,807	
2 a 2	41,596	5,354	351,042	1,509	255,810
	105,934	8,021	348,471	1,992	
	198,339	11,748	345,593	3,203	
	285,501	13,374	345,114	3,400	
	90,196	6,889	345,614	1,635	
	135,003	8,232	342,735	2,196	
	243,313	12,121	342,257	3,191	
	31,352	4,111	340,164	1,319	
	86,465	8,000	339,685	2,314	
	29,691	3,929	336,807	1,123	

*Amplitude = s^2 máximo - s^2 mínimo

3.2.3.2 Comparação entre estações meteorológicas

Foi feita a comparação dos valores médios de chuva (mm) de dois anos de medida dos cinco pluviômetros instalados na cultura de café, aqui chamada de A, com os dados das estações meteorológicas, ER, CE e AE. Através da análise dos dados verificou-se não haver diferença significativa entre as variâncias pelo Teste F e nem entre as médias pelo Teste t, como se pode observar na Tabela 3.7. Isto comprova que médias de chuva coletada em 2 anos em estações meteorológicas distantes até 3 Km do local em questão, sejam elas automáticas ou convencionais,

são confiáveis. Como mencionado, ao se analisar os dados diários de precipitação apareceram discrepâncias entre eles, devido à diferença no horário de leitura realizada em cada uma das estações.

Tabela 3.7 - Resultado dos testes F e t para comparação de variâncias entre o valor médio da precipitação dos cinco pluviômetros da Fazenda Areão (A), do Departamento de Engenharia Rural (ER) e do Departamento de Ciências Exatas (AE) e (CE)

Teste F: duas amostras para variâncias

	A e ER	A e AE	A e CE	ER e AE	ER e CE	AE e CE
7 em 7 dias	0,489 NS	0,195 NS	0,259 NS	0,202 NS	0,268 NS	0,414 NS
14 em 14 dias	0,470 NS	0,299 NS	0,345 NS	0,273 NS	0,318 NS	0,448 NS
28 em 28 dias	0,500 NS	0,342 NS	0,373 NS	0,341 NS	0,372 NS	0,467 NS
56 em 56 dias	0,464 NS	0,319 NS	0,353 NS	0,352 NS	0,387 NS	0,463 NS
112 em 112 dias	0,472 NS	0,363 NS	0,380 NS	0,390 NS	0,407 NS	0,482 NS
364 em 364 dias	0,490 NS	0,360 NS	0,392 NS	0,369 NS	0,401 NS	0,465 NS

NS= não significativo

Teste-t: duas amostras para variâncias equivalentes

	A e ER	A e AE	A e CE	ER e AE	ER e CE	AE e CE
7 em 7 dias	0,865 NS	0,657 NS	0,745 NS	0,535 NS	0,616 NS	0,906 NS
14 em 14 dias	0,876 NS	0,684 NS	0,765 NS	0,572 NS	0,647 NS	0,914 NS
28 em 28 dias	0,888 NS	0,712 NS	0,786 NS	0,606 NS	0,676 NS	0,921 NS
56 em 56 dias	0,893 NS	0,721 NS	0,793 NS	0,613 NS	0,683 NS	0,922 NS
112 em 112 dias	0,918 NS	0,363 NS	0,842 NS	0,700 NS	0,755 NS	0,940 NS
364 em 364 dias	0,834 NS	0,553 NS	0,663 NS	0,419 NS	0,510 NS	0,841 NS

NS= não significativo

Observando a Tabela 3.8 notamos que os valores médios de A, apesar de estatisticamente iguais aos valores das estações sempre são mais próximos de ER que de AE e CE, o que é esperado, já que A e ER estão mais próximas. Entretanto, qualquer uma pode ter seus valores usados com igual precisão. De maneira geral as medidas de chuva de AE e CE sempre foram pouco menores que A e ER.

Tabela 3.8. Valores médios de precipitação pluviométrica (m) em mm, variância da média da precipitação pluviométrica (s^2) em mm^2 e coeficiente de variação (CV) dos cinco pluviômetros da Fazenda Areão (A), e dos valores de precipitação (mm) do Departamento de Engenharia Rural (ER) e do Departamento de Ciências Exatas (AE) e (CE)

	A			ER			AE			CE		
	m	s^2	CV	m	s^2	CV	m	s^2	CV	m	s^2	CV
7 em 7 dias	23,1	890,3	129,0	23,8	885,7	124,8	21,4	750,9	128,2	21,8	783,8	128,3
14 em 14 dias	46,3	2085,3	98,7	47,7	2129,8	96,8	42,7	1797,0	99,2	43,7	1864,0	98,9
28 em 28 dias	92,6	5083,8	77,0	95,4	5086,3	74,8	85,5	4312,2	76,8	87,3	4458,3	76,5
56 em 56 dias	185,1	11286,2	57,4	190,7	10700,2	54,2	171,0	8550,8	54,1	174,6	9029,4	54,4
112 em 112 dias	343,8	35797,0	55,0	354,2	33746,9	51,9	317,5	26581,0	51,3	324,3	27596,9	51,2
364 em 364 dias	203,2	24077,0	12,9	1239,6	22618,5	12,1	1111,4	9685,5	8,9	1135,1	12043,5	9,7

Os coeficientes de correlação para os dados acumulados em vários Δt entre as médias dos cinco pluviômetros e as estações, são bastante altos, tendo variado de 0,983 a 1,000 como mostra a Figura 2. Podemos notar ainda que à medida que o Δt aumenta, também aumenta a correlação mostrando que todos os valores de precipitação podem ser usados, tanto em medidas acumuladas para sete dias como para dois anos.

Esses dados contrariam as afirmações de Bega et al. (2005) que séries temporais curtas apanhadas em diferentes locais apresentam pequena correlação, e que somente a partir do sétimo ano ocorre estabilização do coeficiente de correlação. Neste estudo, séries temporais de 2 anos para dados coletados em até 3 km de distância apresentaram altíssima correlação.

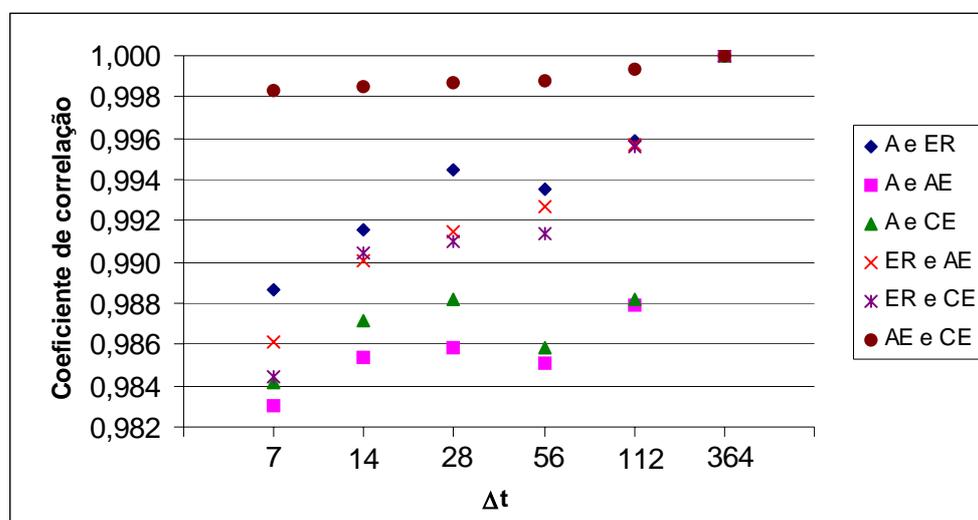


Figura 2- Correlação entre os valores de chuva acumulados dos dados médios dos pluviômetros da Fazenda Areão (A) e valores das estações meteorológicas do Departamento de Engenharia Rural (ER) e do Departamento de Ciências Exatas (AE) e (CE)

3.3 Conclusões

Ao se analisar os dados de cinco pluviômetros dispostos em área de 0,2 ha cercada de obstáculos, que estão fora das normas para coleta de dados de chuva, concluiu-se que apenas um pluviômetro seria necessário para representar esta área. Comparando-se medidas médias de precipitação dos cinco pluviômetros com as de três estações meteorológicas distantes até 3 km, pode-se afirmar que qualquer uma delas representa muito bem as precipitações ocorridas, desde que os dados sejam acumulados em pelo menos sete dias.

Referências

- BEGA, R.M.; VIEIRA, S.R.; DE MARIA, I.C.; DECHEN, S.C.F.; CASTRO, O.M. Variabilidade espacial das precipitações pluviiais diárias em uma estação experimental, em Pindorama, SP. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.1, p.149-156, 2005.
- CAMARGO, M.B.P.; HUBBARD, K.G. Spatial and temporal variability of daily weather variables in sub-humid and semi-arid areas of the United States high plains. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 93, n. 2, p. 141-148, Feb. 1999.
- CLIMAPIRACICABA, **Dados climáticos fazenda de ensino e pesquisa**: Fazenda Areão – Área de Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP. Disponível em: <<http://www.climapiracicaba.hpg.ig.com.br/piradados.htm>>. Acesso em: 05 ago. 2005.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Necessidades hídricas das culturas. Tradução de H. R. Gheyi, J. E. C. Metri, F. A. V. Damasceno. **FAO Irrigação e Drenagem**, Campina Grande, v. 24, 1997, 204p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Tradução de H. R. Gheyi, A. A. de Souza, F. A. V. Damasceno. 2. ed. **FAO Irrigação e Drenagem**, Campina Grande, v. 33, 2000. 221 p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- HUBBARD, K.G. Spatial variability of daily weather variables in the high plains of the USA. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.68, n. 1/2, p.29-41, Mar. 1994.
- LCE. **Dados climáticos da base de dados meteorológicos**: Estação convencional, estação automática, posto agrometeorológico – Área de Física e Meteorologia, Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/postocon.html>>. Acesso em: 04 ago. 2005.
- MAZZARELLA, A.; TRANFAGLIA, G. Fractal characterisation of geophysical measuring networks and its implication for an optimal location of additional stations: an application to a rain-gauge network. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 65, n. 3/4, p. 157 – 163, Apr. 2000.

MC CONKEY, B.G.; NICHOLAICHUK, W.; CUTFORTH, H.W. Small area variability of warm-season precipitation in a semiarid climate. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 49, n. 3, p. 225 – 242, Feb. 1990.

MC COLLUM, J.R.; GRUBER, A.; BA, M.B. Discrepancy between gauges and satellites estimates of rainfall in equatorial Africa. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 39, n. 5, p. 666 – 679, May. 2000.

MELO JUNIOR, J.C.F., SEDIYAMA, G.C., FERREIRA, P.A.; LEAL, B.G.; MINUSI, R.B. Distribuição espacial da frequência de chuvas na região hidrográfica do Atlântico, Leste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.417-425, Abr./Jun. 2006.

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

PEZZOPANE, J.E.M.; SENTELHAS, P.C.; ORTOLANI, A.A.; MORAES, A.V.C. Caracterização da chuva horária em três locais do estado de São Paulo: um subsídio ao planejamento de operações agrícolas de campo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 52, n. 1, p.70-77, Jan./Abr. 1995.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.

REICHARDT, K., ANGELOCCI, L.R., BACCHI, O.O.S., PILOTTO, J.E. Daily rainfall variability at a local scale (1,000 ha), in Piracicaba, SP, Brazil, and its implications on soil water recharge. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.52, n.1, p.43-49, Jan./Apr. 1995.

SILVA, A.L.; ROVERATTI, R.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; TIMM, L.C.; BRUNO, I.P.; OLIVEIRA, J.C.M.; DOURADO NETO, D. Variability of water balance components in a coffee crop in Brazil, **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.63, n.2, p.105-114, Mar./Abr. 2006.

SILVA, A.L. **Variabilidade dos componentes do balanço hídrico**: um estudo de caso em uma cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no Brasil. 2005. 72 p. Tese (Doutorado em Agronomia). – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005

VILLA NOVA, N.A. **Dados meteorológicos do município de Piracicaba**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciências Exatas, 2003. 1 v.