

## CONSIDERAÇÕES SOBRE O NÚMERO DE PLUVIÔMETROS NECESSÁRIOS EM EXPERIMENTOS DE BALANÇO HÍDRICO DE CAMPO

Isabeli Pereira Bruno<sup>1,8</sup>, Klaus Reichardt<sup>2,8</sup>, Adriana Lúcia da Silva<sup>3</sup>; Clóvis A. Volpe<sup>4</sup>; Luis Carlos Timm<sup>5</sup>; Osny Oliveira Santos Bacchi<sup>2</sup>; Durval Dourado-Neto<sup>1</sup>; Sônia Maria De Stefano Piedade<sup>1</sup>, Júlio César Martins de Oliveira<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo – ESALQ/USP, Av. Pádua Dias n.º 11, CP 9, Piracicaba-SP, CEP 13418-900, Piracicaba, SP. e-mail: ipbruno@cena.usp.br

<sup>2</sup>Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo – CENA/USP, Piracicaba, SP.

<sup>3</sup>Centro de Tecnologia Canavieira - CTC, Piracicaba, SP.

<sup>4</sup>Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.

<sup>5</sup>Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Pelotas, RS.

<sup>6</sup>Escola de Engenharia de Piracicaba - EEP, Piracicaba, SP, Brasil.

<sup>8</sup>Bolsista CNPq

### RESUMO

A chuva é um dos elementos climáticos que mais influenciam 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 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 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 IN FIELD EXPERIMENTS WITH WATER BALANCES

#### ABSTRACT

Rainfall is one of the climatic elements that mostly affects agricultural productivity and, therefore, its spatial distribution has to be well understood. Studies that employ rainfall amounts of a given location as a parameter for several types of agricultural models, usually make use of data from distant meteorological stations. This study was carried out in order to present more information on the number of 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 on a 0.2 ha area, it was concluded that only one gauge would be 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.

**Key words:** ideal number of raingauges, rainfall, spatial variability.

## INTRODUÇÃO

A água é um dos elementos climáticos mais diretamente relacionados à produção agrícola e, devido ao seu caráter aleatório, aumenta os riscos na programação das atividades deste setor (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 citado por BEGA et al. 2005), podendo também ser afetada pela presença de obstáculos.

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 2500 m para medidas diárias, mensais ou trimestrais, mas apenas anuais.

SILVA et al. (2006) estabeleceram balanços hídricos com valores acumulados de precipitação (P) para períodos de 14 dias, utilizando 5 pluviômetros em uma área de 0,2 ha em Piracicaba – SP, e observaram que apesar dos pluviômetros se encontrarem a distâncias pequenas (15 a 100 m), houve variabilidade entre suas leituras, com a maioria dos coeficientes de variação oscilando entre 1,9 a 4%, mas com alguns 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 aponta para a necessidade da medida de P com repetições em situações como as de seu experimento.

A variabilidade da chuva tem sido 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 et al. (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, empregando dados históricos de cinco pluviômetros distanciados de 250 a 4000 m de distância, e também concluíram que a medida da precipitação pluvial depende das posições onde se localizam os pluviômetros. Mellaart (1999), citado por Bega et al. (2005), observou diferenças na variabilidade espacial das chuvas para distâncias relativamente pequenas (1 km), e que o grau de variabilidade muda de acordo com o ano e a região.

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 et al. (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 serem a forma mais indicada para se estudar a variabilidade de chuva, eles tem sido muito

empregados 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).

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 foram usados os valores oferecidos por estações meteorológicas da região, que em geral se localizavam a grandes distâncias do local do experimento. Com o objetivo de contribuir para o esclarecimento dessa questão, neste trabalho faz-se uma análise de dados de 5 pluviômetros instalados em cultura de café, visando melhor definir o número ideal para este tipo de medida e fazendo comparações com duas estações meteorológicas, uma próxima e outra distante.

## MATERIAL E MÉTODOS

Com o intuito de verificar a quantidade necessária de pluviômetros para a medida da chuva em uma pequena área, foram utilizados dados de 5 pluviômetros (nomeados 2, 3, 5, 6 e 9), cujas 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 (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006), A moderado e textura argilosa. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen (1931), é 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, 1989).

A área experimental constituiu-se de uma cultura de café plantada em maio de 2001. O cafezal foi estabelecido com plantio em renque, ao longo de curvas de nível, tendo um espaçamento de 1,75 m entrelinhas e 0,75 m entre plantas. Nesta área de aproximadamente 0,2 ha foram instalados 5 pluviômetros (Ville de Paris) a 2,0 m 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. O início das avaliações experimentais se deu às 8:00 horas do dia 01 de Setembro de 2003, se estendendo por dois anos agrícolas, utilizando dados de chuva diários.

Como a chuva em experimentos de balanço hídrico agrícola é computada de forma acumulada dentro de cada período de balanço  $\Delta t$ , o estudo foi feito para chuvas acumuladas em  $\Delta t$  de 7, 14, 28, 56, 112 e 364 dias. Com o intuito de avaliar a necessidade das medidas com 5 repetições como feitas por Silva et al. (2006), procedeu-se a comparação de médias de 5, 4, 3 e 2 pluviômetros fazendo todas as combinações possíveis dos 5 pluviômetros, 4 a 4, 3 a 3 e 2 a 2, como se o experimento tivesse sido conduzido com apenas 5, 4, 3 ou 2 pluviômetros.

A análise dos dados foi feita através da estatística descritiva, usando variância ( $s^2$ ), desvio-padrão ( $s$ ), média ( $m$ ) e coeficiente de variação (CV) e análise de regressão. Como todas as séries de dados utilizados nas análises tem números de dados

n bem maior do que 30, justifica-se plenamente o uso desta estatística descritiva.

Os dados médios de precipitação dos 5 pluviômetros instalados na Fazenda Areão (A), também foram confrontados com os dados de precipitação de duas estações meteorológicas pertencentes à ESALQ/USP, em Piracicaba: i. Estação Agrometeorológica Automática do Departamento de Engenharia Rural (ER), localizada à cerca de 200 m do cafezal (CLIMAPIRACICABA, 2005), e ii. Estação Automática (AE) do Posto Agrometeorológico do Departamento de Ciências Exatas, localizada à cerca de 3 km do cafezal (LCE, 2005).

Apesar da condição em que foram instalados os cinco pluviômetros na Fazenda Areão não ter sido a ideal para se obter dados de precipitação pluviométrica, devido à presença de obstáculos como descrito anteriormente, esta é uma condição real e aqui foi utilizada 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 que se utilizam de chuva acumulada em balanços hídricos, realizados nos mesmos moldes aqui empregados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados 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 altos, sendo os três maiores 24%, 24% e 20% que correspondem às médias diárias de 30,9mm, 12,0mm e 2,1mm mostrando uma ocasional influência das condições de contorno nas medidas pluviométricas. O exemplo acima mostra também que os altos CVs são obtidos tanto para chuvas de grande como de pequena altura pluviométrica. Este fato fica evidenciado mediante a Figura 1, que representa regressões dos valores diários de quatro dos cinco pluviômetros em função de um deles (pluviômetro 2, tomado como referência 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  $\Delta t$  do balanço, pois nestes casos toma-se a chuva acumulada em cada período  $\Delta t$ . Contudo, de maneira geral os pluviômetros podem ser considerados equivalentes, visto que possuem  $R^2$  com valores bem próximos a 1.

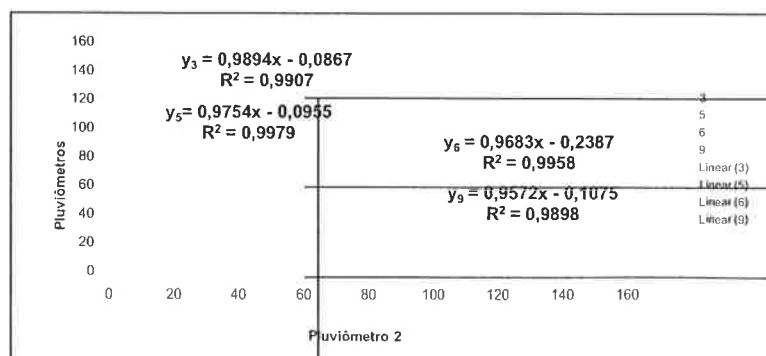
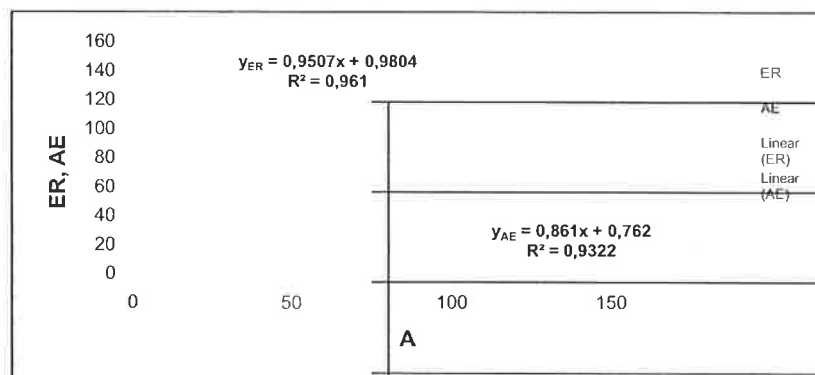


Figura 1. Regressão linear dos valores diários de precipitação (mm) do pluviômetro 2 em relação aos demais.

Para discutir a questão da necessidade de cinco pluviômetros foram calculados variâncias, desvios padrão, médias e coeficientes de variação (CV), para os dados diários e agrupados (acumulados) para  $\Delta t$  de 7, 14, 28, 56 e 112 dias para casos possíveis de medida utilizando todas as combinações possíveis dos cinco pluviômetros, 4 a 4, 3 a 3 e 2 a 2. Os dados mostram claramente que, como era esperado, a variabilidade das variâncias 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  $\Delta t = 7$  dias para combinações com 4 pluviômetros, a amplitude das variâncias foi de 3,002 a 5,493, com uma diferença de 2,492; para 3 pluviômetros, 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 mostraram que as médias apresentadas para cada período de acúmulo (diário, 7 em 7 dias, 14 em 14 dias, ...) não diferem entre si. Além disso, observou-se em todos os casos valores de CV baixos (não mostrados), nunca superiores a 6,14%. Em termos de médias de dados de 2 anos, pode-se portanto afirmar 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.

Na comparação dos valores médios de chuva (mm) para diferentes intervalos de tempo durante dois anos de medida dos cinco pluviômetros instalados na cultura de café, aqui chamada de A, com os dados das estações meteorológicas, ER e AE, fez-se regressões entre os dados e verificou-se alta correlação, como é mostrado na Figura 2, apesar de não tão alta como as regressões da Figura 1, feita entre os cinco pluviômetros do cafezal.



**Figura 2.** Regressão linear dos valores diários de precipitação (mm) de A em relação à ER e AE.

De qualquer forma verificou-se não haver diferença significativa entre as variâncias pelo Teste F e nem entre as médias pelo Teste t. Isto comprova que médias de chuvas coletadas em 2 anos em

estações meteorológicas distantes até 3 km do local em questão são equivalentes. Observa-se na Tabela 1 que os valores médios de A, apesar de estatisticamente iguais aos valores médios das estações, sempre são mais próximos de ER que de AE,

o que é esperado, já que A e ER estão mais próximos, entretanto, qualquer uma pode ter seus valores médios utilizados com igual

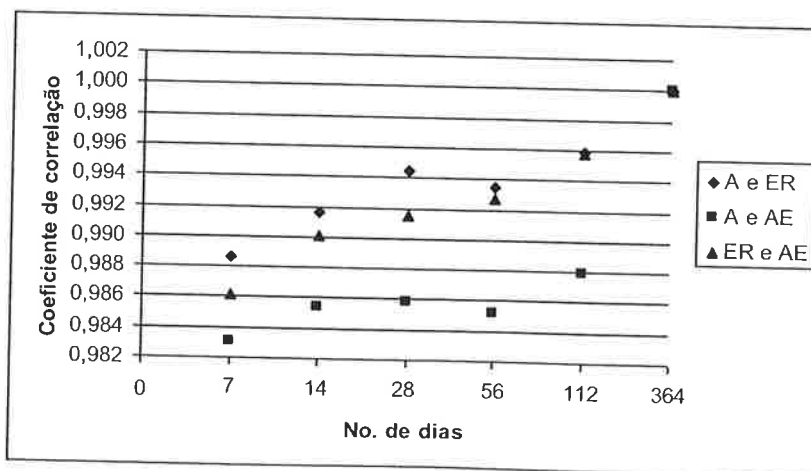
segurança. De maneira geral as medidas de chuva de AE sempre foram pouco menores que A e ER.

**Tabela 1.** Valores médios de precipitação pluviométrica (m) em mm, variância da média da precipitação pluviométrica ( $s^2$ ) 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):

	A			ER			AE		
	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
14 em 14 dias	46,3	2085,3	98,7	47,7	2129,8	96,8	42,7	1797,0	99,2
28 em 28 dias	92,6	5083,8	77,0	95,4	5086,3	74,8	85,5	4312,2	76,8
56 em 56 dias	185,1	11286,2	57,4	190,7	10700,2	54,2	171,0	8550,8	54,1
112 em 112 dias	343,8	35797,0	55,0	354,2	33746,9	51,9	317,5	26581,0	51,3
364 em 364 dias	1203,2	24077,0	12,9	1239,6	22618,5	12,1	1111,4	9685,5	8,9

Os coeficientes de correlação para os dados acumulados em vários  $\Delta t$  entre as médias dos cinco pluviômetros e as estações, são bastante altos, tendo variado de 0,983 a 1,00, como mostra a Figura 3. Pode-se notar ainda que à medida que o  $\Delta t$  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 3.** 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).

## CONCLUSÕES

Ao se analisar as médias de dois anos de observações de cinco pluviômetros dispostos em área de 0,2 ha, rodeada de alguns obstáculos, portanto 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 duas estações meteorológicas distantes de até 3 km, pode-se afirmar que qualquer uma delas representa muito bem as precipitações médias ocorridas na área de estudo.

## REFERÊNCIAS

- BEGA, R. M., VIEIRA, S. R., DE MARIA, I. C., DECHEN, S. C. F.; CASTRO, O. M. Variabilidade espacial das precipitações pluviais 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-árid areas of the United States high plains. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 93, p. 141-148, 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 agosto 2005.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2ª. Ed, 2006.
- 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, 1994.
- KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**. Walter D E Guyter & Co. Berlin, 1931. 390p.
- 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 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.
- 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.
- 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.
- PEZZOPANE, J.E.M; SENTELHAS, P.C.; ORTOLANI, A.A.; MORAES, A.V. C. Hourly rainfall pattern for three sites in the State of São Paulo, Brazil: a subsidy to agricultural practices planning. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 52, n. 1, 1995.
- 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 Agricola**, Piracicaba, v.52, n.1, p.43-49, 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 Agricola**, Piracicaba, v.63, n.2, p.105-114, 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 agrometeorológicos do município de Piracicaba**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Física e Meteorologia, 1989.