

VARIABILIDADE ESPACIAL DAS PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS DIÁRIAS EM UMA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL, EM PINDORAMA, SP ⁽¹⁾

RODRIGO MERIGHI BEGA⁽²⁾; SIDNEY ROSA VIEIRA^(3,4); ISABELLA CLERICI DE MARIA⁽³⁾;
SONIA CARMELA FALCI DECHEN⁽³⁾; ORLANDO MELO DE CASTRO⁽³⁾

RESUMO

Estudou-se a variabilidade espacial das chuvas diárias em uma escala reduzida em Pindorama, São Paulo, Brasil, utilizando dados que cobriram um período de 32 anos. Os dados históricos de cinco pluviômetros, cujas distâncias entre si variam de 257 a 3.900 metros, foram submetidos à análise de correlação para determinar a variabilidade espacial. À medida que a distância entre os pluviômetros aumentou, o coeficiente de correlação dos dados de chuvas por eles medidos diminuiu, revelando que a precipitação pluvial depende das posições onde se localizam os pluviômetros. As médias diárias mostraram que pluviômetros próximos, porém sob maiores variações de altitude, possuem diferenças superiores a pluviômetros mais distantes, mas sob altitudes similares. Quanto ao comprimento da série, evidenciou-se que, para o estudo, as séries deveriam possuir no mínimo sete anos.

Palavras-chave: dependência espacial, séries temporais e análise de correlação.

ABSTRACT

SPATIAL VARIABILITY OF DAILY RAINFALL IN AN EXPERIMENTAL STATION IN PINDORAMA, STATE OF SÃO PAULO

Short distance spatial variability for rainfall data was studied for Pindorama, State of São Paulo, Brazil, using 32-years-long daily rainfall data. Thirty-two-years-long daily rainfall series for 5 rain gauges, for which the separation distances range from 257 to 3900 meters, were submitted to correlation analysis for the assessment of the spatial variability. It was concluded that as the distance between the rain gauges increases the correlation coefficient between them decreases, which indicates that the rainfall depends on the spatial location of the rain gauges. When daily data was analyzed, it was found that even for rain gauges located close together but with difference in altitude, the differences in rainfall between them is higher than when they are farther apart but in similar altitude. With respect to the length of the series, it was concluded that they should have at least seven years of data.

Key words: spatial dependence, time series, correlation analysis.

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, Curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônomo (IAC). Projeto parcialmente financiado com recursos da FAPESP. Recebido para publicação em 23 de junho de 2003 e aceito em 11 de agosto de 2004.

⁽²⁾ Centro Universitário Rio Preto - Rua Jorge Tibiriçá, nº. 2737, 15010-050 São José do Rio Preto (SP), E-mail:robega@terra.com.br

⁽³⁾ Instituto Agrônomo (IAC), Caixa Postal 28, 13001-970 Campinas (SP).

⁽⁴⁾ Com bolsa de produtividade do CNPq.

1. INTRODUÇÃO

Em muitas regiões agrícolas do Estado de São Paulo a precipitação pluvial, provavelmente, é um dos fatores de produção que mais limita o desenvolvimento das culturas, ao mesmo tempo que provoca grandes danos ambientais por meio da erosão hídrica. MELLO et al. (1994) julgam indispensável a caracterização espacial e temporal das condições hídricas para melhor entender o clima da região e ressaltam também a importância da caracterização da distribuição de chuva para as ciências ambientais e para a engenharia.

Para MELLART (1999), a distribuição da chuva ou precipitação pluvial depende da topografia local e do tipo de chuva. O autor observou importantes diferenças na variabilidade espacial das chuvas para distâncias relativamente pequenas (1 km), mas ressaltou que o grau de variabilidade muda de ano para ano e de região para região, o que torna necessário pesquisas regionais e constantes para obtenção de elementos mais significativos para a variabilidade espacial.

Constatou-se bastante uniformidade em chuvas frontais até mesmo para longas distâncias. Como exemplo, STOL (1972), reportando-se à Holanda em dezembro, notou um coeficiente de correlação entre pontos de medições com distâncias superiores a 60 quilômetros entre si de 0,9. Para chuvas convectivas, espera-se maior variabilidade. STOL (1972) observou em julho, também na Holanda, coeficientes de correlação de 0,5 para distâncias inferiores a 20 quilômetros.

Entretanto, REICHARDT et al. (1995), avaliando a variabilidade diária de chuva em uma escala local (1.000 ha), em Piracicaba, para o período de um ano, concluíram que os dados de chuva não estão correlacionados com a distância entre os pontos de observação e também que a variabilidade independe do tipo de chuva.

Utilizando o coeficiente de determinação entre os postos pluviométricos da região que se estende do rio Missouri até as Montanhas Rochosas do Colorado nos Estados Unidos, HUBBARD (1994) concluiu que um ano de dados pluviométricos não foi suficiente para avaliar a real relação entre o coeficiente de determinação e a distância; seria necessário, no mínimo, uma série com cinco anos de extensão. O autor sugere que a maior distância de separação entre postos pluviométricos deve ser de cinco quilômetros.

Outros autores, tais como HOPKINS (1979); HARCUN e LOFTIS (1987); CAMARGO e HUBBARD (1999) e CAMARGO et al. (2001) também utilizaram o coeficiente

de determinação (r^2) para estudar a variabilidade espacial de algumas variáveis climáticas.

Verificando os dados diários de precipitação pluvial de 19 estações meteorológicas do Estado de São Paulo, CAMARGO et al. (2001) concluíram que há grande variabilidade espacial nas precipitações, visto os baixos valores de r^2 , especialmente a partir de 20 quilômetros e nos meses de verão, quando há predomínio de chuvas convectivas. Os autores ainda sugerem a distância de 10 quilômetros como limite máximo de espaçamento entre os postos pluviométricos.

DESA e NIEMCZYNOWICZ (1996), estudando dados mensais de chuva na Malásia, observaram valores para o coeficiente de correlação maiores para distâncias menores e vice-versa, ou seja, valores inversamente proporcionais. Nos dados diários ocorreram resultados parecidos, porém não evidenciavam tanto as relações.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a ocorrência de variabilidade espacial das chuvas diárias ocorridas na Estação Experimental de Pindorama (SP).

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Pindorama (UPD), sede do Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Centro Norte, totalizando 532,8 ha em faixa aproximadamente alongada, com cerca de cinco quilômetros de comprimento e um quilômetro de largura.

O local possui altitudes que variam entre 498 e 594 metros, e o relevo apresenta-se mais ondulado à medida que a altitude aumenta. Grande parte da área está em declives entre 2% e 10%. Existem, porém, pequenas áreas quase planas nos topos das elevações e nas várzeas e outras com declives entre 10% e 20%, próximas a alguns cursos d'água. O clima, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw, definido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, sendo a precipitação pluvial média de 1.258 mm.

A UPD possui cinco pluviômetros com finalidades experimentais específicas, dispostos como se observa na figura 1. O Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) possui um pluviômetro tipo "Paulista", com área de captação de 500 cm², composto de corpo (reservatório e torneira) e funil (receptor cilíndrico cônico, saia, tubo e tela), instalado em janeiro de 1936 e situado a uma altitude de 520 metros.

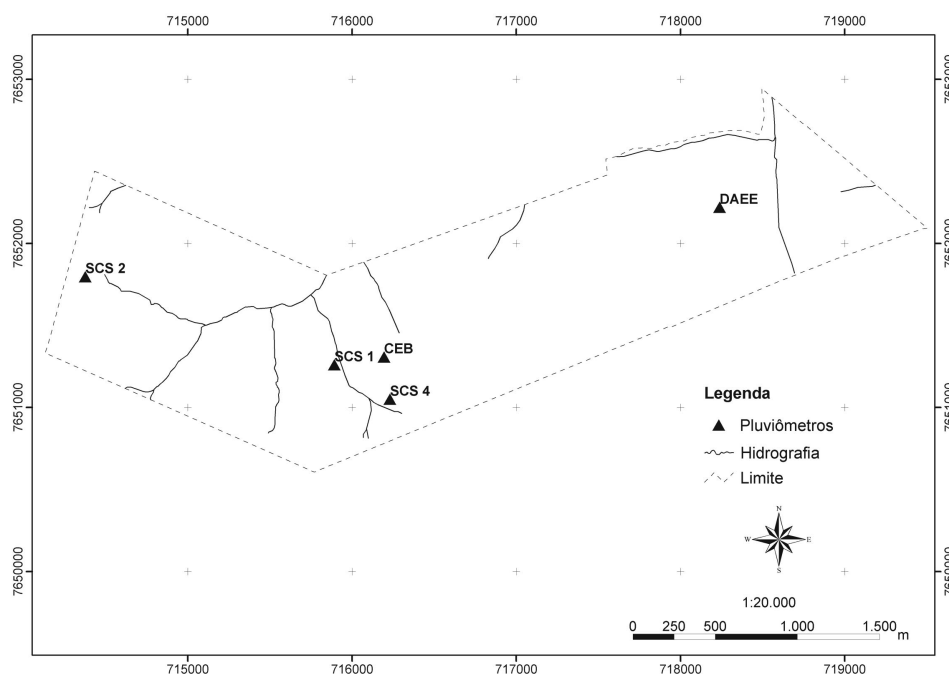


Figura 1. Localização dos pluviômetros na U.P.D. de Pindorama (SP).

O Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agrônomo possui três pluviômetros no local: Grupo 1, instalado em 1945, Grupo 2 e Grupo 4, instalados em 1960, denominados SCS1, SCS2 e SCS4, respectivamente, e localizados a 549, 577 e 572 m de altitude.

Também pertencente ao Instituto Agrônomo (IAC), o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica possui pluviômetro tipo Paulista, instalado em 1951, denominado CEB, e localizado a 568 m de altitude. As distâncias entre os pluviômetros, obtidas através do uso de Sistema de Posicionamento Global, estão expressas na tabela 1.

Para o presente estudo, utilizaram-se dados coletados entre 1.º de janeiro de 1962 e 30 de junho de 1993, exceto para SCS2, com interrupção nos dados de 1.º de setembro de 1981 a 31 de janeiro de 1985.

Calculou-se o coeficiente de correlação entre os pares de pluviômetros para toda a série de dados e para cada mês. O cálculo seguiu o método descrito por HANN (1977).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As informações estatísticas para os dados diários de precipitação pluvial dos cinco pluviômetros analisados, referentes ao período de 1962 a 1993 são apresentadas na tabela 2. Pelos resultados, notam-se algumas diferenças entre as médias diárias de precipitação pluvial.

Os valores expressos na tabela 2 foram obtidos a partir de 11.504 dias para SCS1, SCS4, CEB e DAEE e 10.255 dias para SCS2, significando que os valores médios são confiáveis, uma vez que a série histórica possui grande extensão, superior a 30 anos, como sugere Assis et al. (1991).

Na comparação dos valores das médias de cada pluviômetro, verifica-se diferença entre os dados que se acentua à medida que a distância entre eles aumenta, exceto para o pluviômetro SCS1. Esse fato pode ser indicativo de que a variância pode ser estruturada, ou seja, as médias de chuva apresentam dependência com as distâncias entre os pluviômetros.

Tabela 1. Distância em metros entre os pluviômetros da Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Pindorama

Pluviômetro	SCS2	SCS4	CEB	DAEE
SCS1	1.610,41	396,63	304,51	2.536,81
SCS2	-	1.997,72	1.887,52	3.893,83
SCS4	-	-	257,75	2.333,51
CEB	-	-	-	2.243,61

Tabela 2. Estatísticas para dados diários de precipitação pluvial para o período de 1962 a 1993 dos cinco pluviômetros da Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Pindorama

Pluviômetro	Média diária	Variância	C.V.	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão médio
	mm	mm ²	%	mm		
SCS1	4,2	133,18	274	0	158,0	11,54
SCS2	3,7	117,13	288	0	158,7	10,82
SCS4	3,8	112,49	277	0	142,2	10,60
CEB	3,8	105,20	269	0	151,2	10,25
DAEE	4,2	137,54	280	0	190,5	11,73

Pelo número de dias de precipitação pluvial (Tabela 3), observa-se que, mesmo para pluviômetros próximos (SCS1, SCS4 e CEB), há diferenças na ocorrência de chuvas diárias, ou seja, é possível chover em um ponto e a 300 metros dele não, contrariando a teoria defendida por JACKSON (1989). Convém salientar que a grande maioria das ocasiões em que ocorreu chuva em um ponto e não no outro, mesmo estando próximos, a altura da chuva foi pequena, muitas vezes não ultrapassando 5 mm. O pluviômetro CEB foi o que mediu mais dias com chuvas, entretanto, o total geral ocorrido foi inferior ao indicado nos pluviômetros DAEE e SCS1, o que refletiu na menor média dos dias com chuva. Apesar de proximidade entre CEB, SCS1 e SCS4 há consideráveis diferenças entre a ocorrência ou não de chuvas nesses pontos.

Na tabela 4 são apresentadas as informações estatísticas para os totais anuais de chuva nos cinco pluviômetros analisados, referentes ao período de 1962 a 1992. Os valores foram obtidos a partir de 31,5 anos para SCS1, SCS4, CEB e DAEE e 26,5 anos para SCS2. Vê-se que existem diferenças bastante grandes (cerca de 150 mm) entre os valores médios referentes ao pluviômetro SCS1 e os observados nos outros três pluviômetros: SCS2, SCS4 e CEB. Por outro lado, o valor médio para precipitações pluviais registradas em SCS1 (1.531,54 mm) é bastante semelhante ao do DAEE (1.519,63 mm). Embora as distâncias entre todos os pluviômetros seja pequena, nota-se que a posição no relevo (altitude e face de exposição) é o fator responsável tanto pelas semelhanças como pelas diferenças (Tabela 1).

Tabela 3. Informações sobre a ocorrência de chuvas* nos pluviômetros

Pluviômetro	Dias sem chuva		Dias com chuva		Média**	Total
	n.º	%	n.º	%		
SCS1	8.704	75,7	2.800	24,3	17,27	48.350,7
SCS2	7.825	76,3	2.430	23,7	15,82	38.452,8
SCS4	8.751	76,1	2.753	23,9	15,97	43.964,5
CEB	8.593	74,7	2.911	25,3	15,02	43.709,0
DAEE	8.616	74,9	2.888	25,1	16,64	48.057,6

* Considera-se dia com chuva quando o total diário for superior a 5 mm. ** Considerando-se apenas os dias com chuva.

Tabela 4. Informações estatísticas para dados anuais de precipitação pluvial

Pluviômetro	Média anual	Variância	CV	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão médio
	mm	mm ²	%	mm		
SCS1	1.531,5	128.987,6	23,45	876,4	2.458,9	359,2
SCS4	1.390,9	94.647,5	22,12	803,8	2.173,3	307,6
CEB	1.383,4	99.091,2	22,75	772,3	2.648,9	314,8
DAEE	1.519,6	157.892,3	26,15	814,4	2.247,3	397,4
SCS2	1.387,3	89.214,5	21,53	732,2	2.215,0	298,7

Da mesma forma que as médias diárias, na comparação dos valores das médias anuais de cada pluviômetro, há diferença entre os pluviômetros a qual se acentua à medida que a distância entre eles aumenta, exceto para SCS1. Em termos de altitude, convém lembrar que SCS1 está situado aproximadamente a 20 metros abaixo de SCS4 e CEB, revelando que existe uma influência do relevo, no caso o topoclima. A possibilidade de erros na medição praticamente está descartada uma vez que SCS1 e SCS4 são operados pelo mesmo funcionário e seguem o mesmo método.

Os valores expressos na Tabela 5 permitem uma análise da variação espacial das chuvas. A matriz de correlações para os pares de dados de cada pluviômetro é um indicativo da dependência espacial entre os dados.

A variabilidade espacial é pequena se comparada com os dados apresentados pela literatura, uma vez que o coeficiente de correlação não é inferior a 0,9 (REICHARDT et al., 1995; STOL, 1972). Entretanto há uma redução no coeficiente de correlação à medida que a distância entre os pluviômetros aumenta.

Esse fato pode ser verificado pela Figura 2, obtida através da plotagem dos coeficientes de

correlação entre os pluviômetros (Tabela 5) e as distâncias entre eles (Tabela 1).

Observa-se no gráfico que o coeficiente de correlação diminui à medida que aumenta a distância entre os pluviômetros, evidenciando variação espacial. Convém lembrar que REICHARDT et al. (1995) não verificaram resultados semelhantes, provavelmente por terem utilizado uma série temporal de apenas um ano, o que não é recomendado devido à variação que poderá ocorrer para séries curtas, como se nota na figura 3. Essa figura foi obtida pela representação dos coeficientes de correlação para diferentes comprimentos da série temporal, variando, nesse caso, de um a vinte anos. Utilizou-se o par de pluviômetros SCS2 e DAEE, pois foi aquele que apresentou as menores correlações. Observa-se que, quando aumenta o comprimento da série de anos considerados, diminui a variabilidade da série, o que se verifica em séries com sete anos de comprimento.

Nota-se em séries curtas, como a utilizada por REICHARDT et al. (1995), alta variação dos coeficientes de correlação, e seu uso não deve ser recomendado. A figura 3 mostra ainda a estabilização do coeficiente de correlação, a partir do sétimo ano, o qual deve ser o comprimento mínimo da série.

Tabela 5. Matriz de correlação entre os dados diários de chuva para cada par de pluviômetros

Pluviômetro	SCS4	CEB	DAEE	SCS2
SCS1	0,9921	0,9848	0,9267	0,9614
SCS4	-	0,9860	0,9299	0,9606
CEB	-	-	0,9365	0,9510
DAEE	-	-	-	0,9099

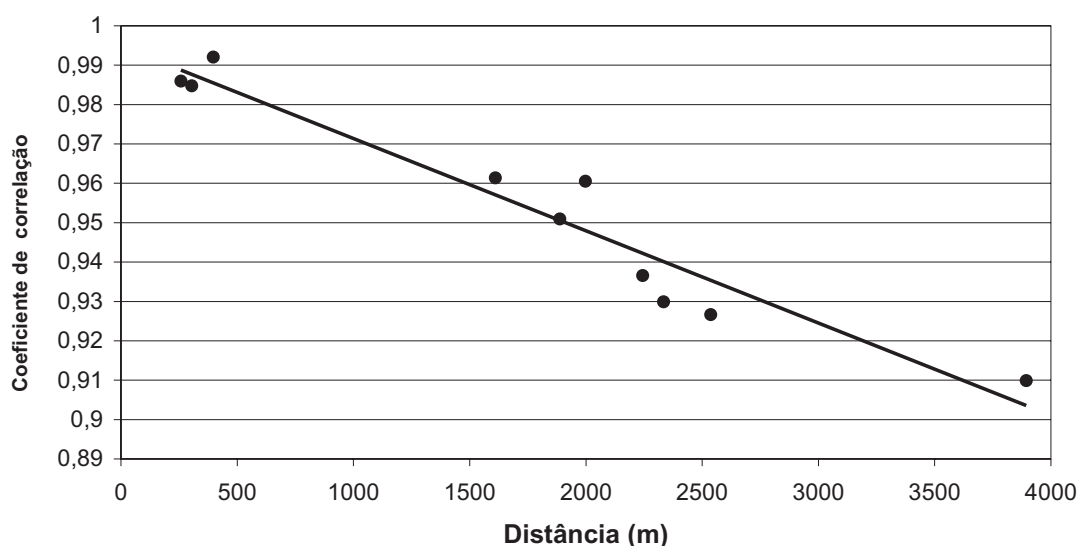


Figura2. Correlação entre as distâncias e os coeficientes de correlação dos dados de chuva diária para os pares de pluviômetros.

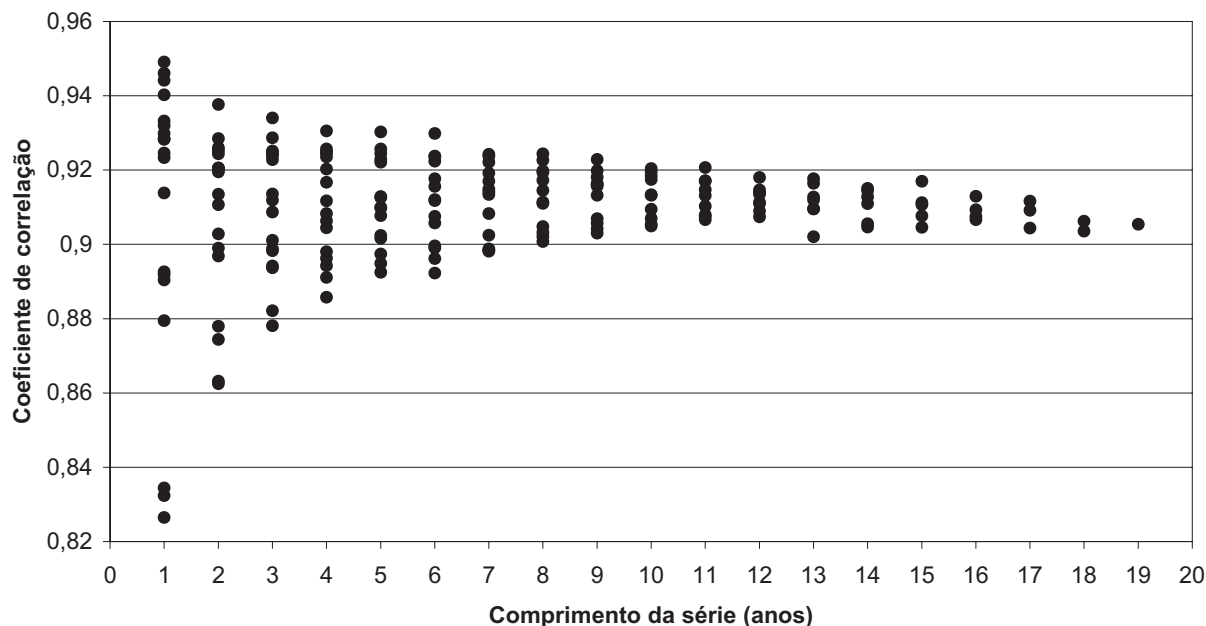


Figura 3. Variação do coeficiente de correlação com o aumento do comprimento da série temporal.

Pela matriz de correlação, notam-se os maiores valores do coeficiente de correlação para os pares SCS1 e SCS4, SCS1 e CEB e CEB e SCS4. Convém ressaltar que o pluviômetro SCS4 está localizado a aproximadamente 260 m do pluviômetro CEB que, por sua vez, dista cerca de 300 m de SCS1, indicativo de pequena ou quase nenhuma variabilidade espacial de chuva em pequenas distâncias.

Entretanto, para o par DAEE e SCS2, separados pela maior distância neste estudo, há redução no valor do coeficiente de correlação, evidenciando variabilidade espacial nos dados.

A constatação da existência da variabilidade espacial nos dados, principalmente, à medida que a distância entre os pluviômetros aumenta, pode ser muito importante para o planejamento de nova disposição de pluviômetros ou ainda se houver a necessidade de interpolação de valores para locais não medidos. Considerando que a variabilidade espacial é diretamente proporcional à distância entre os pluviômetros (Figura 2), a figura 4 está dividida em três partes: a primeira parte envolve os pares de pluviômetros com distância superior a 2.000 m (A), a segunda, com distância de 1.500 a 2.000 m (B), e a terceira, com distância inferior a 350 m (C) entre si.

Para os três gráficos foi mantida a mesma escala para o eixo das ordenadas para efeito comparativo entre cada gráfico, e os detalhes no gráfico “B” e “C” permitem uma comparação entre os meses.

No gráfico “A” da figura 4, nota-se que a variabilidade espacial é maior nos meses em que predominam chuvas convectivas, principalmente no período de novembro a março.

No par SCS2 e DAEE, o de maior distância entre si, observou-se coeficiente de correlação inferior a 0,90 para os meses de janeiro, fevereiro e março, além de novembro.

Verifica-se, no gráfico “B”, resultado parecido, ou seja, a variabilidade espacial é maior nos meses de maior incidência de chuvas convectivas.

Entretanto, os valores observados para o coeficiente de correlação são inferiores aos verificados para o gráfico “A” e as diferenças entre meses não são tão marcantes.

No gráfico “C”, para distâncias menores, inferiores a 350 m, observam-se altos valores do coeficiente de correlação, o que significa baixa variabilidade espacial em qualquer época do ano.

Assim, pode-se dizer que há variabilidade espacial nas chuvas diárias ocorridas na UPD de Pindorama. Essa variabilidade aumenta à medida que a distância entre os pontos de medições aumenta. Essa diferença é mais destacada nos meses com predomínio de chuvas convectivas, também relatado por STOL (1972) e CAMARGO et al. (2001).

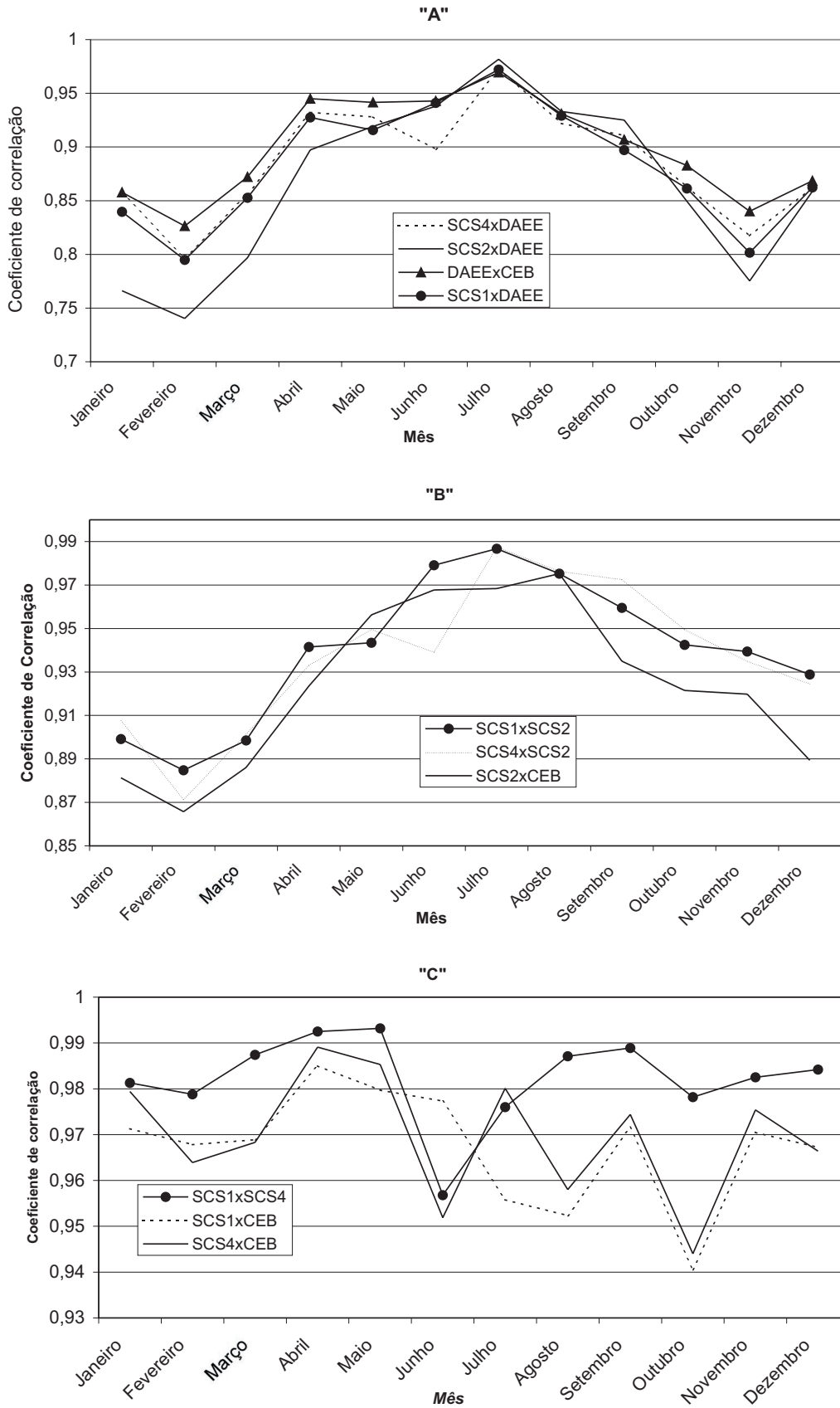


Figura 4. Variação mensal do coeficiente de correlação para cada par de pluviômetro.

4. CONCLUSÕES

1. Existe dependência espacial nas precipitações pluviais, que se acentua nos meses de predomínio de chuvas convectivas, à medida que aumenta a distância entre os pluviômetros.

2. Para se ter coeficientes de correlação de 0,9 ou mais, é necessário que a série temporal tenha um mínimo de sete anos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao pesquisador científico Dr. Marcelo Bento Paes de Camargo, do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica, do Instituto Agrônomo, a cessão dos dados do pluviômetro identificado como CEB.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, F.N.; ARRUDA, H.V., PEREIRA, A.R. **Aplicações de estatística à climatologia**. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 1996. 161p.
- 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, p. 141-148, 1999.
- CAMARGO, M.B.P.; BRUNINI, O.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; BARDIN, L. Variabilidade espacial e temporal de dados termoplúviométricos diários da rede de estações meteorológicas do Instituto Agrônomo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. volume I, p.207-208.
- DESA, M.N.; NIEMCZYNOWICZ, J. Temporal and spatial characteristics of rainfall in Kuala Lumpur, Malaysia. **Atmospheric Research**, Amsterdam, v.42, p.263-277, 1996.
- HANN, C. T. **Statistical methods in hydrology**. Ames: The Iowa State University Press, 1977. 378p.
- HARCUN, J.B.; LOFTIS, J.C. Spatial interpolation of Penman evapotranspiration. **Transactions of the American Society of Agriculture Engineer**, St. Joseph, v.30, n. 1, p.129-136, 1987.
- HOPKINS, J.S. The spatial variability of daily temperature and sunshine over uniform terrain. **Meteorology Managment**, v. 106, p. 278-292, 1979.
- HUBBARD, K.G. Spatial variability of daily weather variables in the high plains of the USA. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.68, p.29-41, 1994.
- JACKSON, I.J. **Climate, Water and Agriculture in the Tropics**. Longman: New York, 1989. 392 p.
- MELLAART, E.A.R. **Small-scale spatial rain distribution: the effect of temporal and spatial rain distribution on drought and crop yield at village level**. Nelspruit: Institute for Soil, Climate and Water, 1999. 18p.
- MELLO, M.H.A.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; LOMBARDI NETO, F. Hidrologia, Climatologia e Agrometeorologia. In : BERTOLINI, D.; CARRARO, E.; LOMBARDI NETO, F.; LEPSCH, I.F.; MELLO, M.H.A.; DRUGOWICH, M.I.; PEDRO JÚNIOR, M.J. & BELLINAZZI JÚNIOR, R. **Potencialidades agrícolas das terras do Estado de São Paulo**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1994. p.23-41. (Manual técnico, 39)
- REICHARDT, K.; ANGELOCCI, L.R.; BACCHI, O.O.S.; PILOTTO, J.E. Daily rainfall variability at a 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.
- STOL, Ph.Th.. The relative efficiency of the density of raingauge networks. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.15, n.3, p.193, 1972.