

Krigagem ordinária aplicada à precipitação pluviométrica nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina

Ordinary kriging Applied to the Rainfall in the States of Rio Grande do Sul and Santa Catarina

Carlos Alberto da Fonseca Pires¹, Janete Teresinha Reis², Ângela Isabel dos Santos Dullius¹,
Mariane Camargo Priesnitz³, Maria João Pereira⁴

¹Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil
calpires@terra.com.br; angeladullius@gmail.com;

²Universidade Federal da Fronteira Sul, RS, Brasil
reis.janete@gmail.com;

³Universidade Luterana do Brasil, RS, Brasil
dra.mariane@gmail.com;

⁴Universidade de Lisboa, Portugal
maria.pereira@tecnico.ulisboa.pt

Resumo

Os estados do Sul, segundo ROSSETI, (2000) apresentam desenvolvimento industrial, mas sua economia dependente da agricultura. A atividade agrícola e o rendimento das colheitas, por sua vez, dependem da ocorrência de precipitação pluvial. A atividade agrícola e o rendimento das colheitas, por sua vez, dependem da ocorrência de precipitação pluvial. Os localizados no extremo sul do país são influenciados basicamente pelo confronto entre sistemas atmosféricos extratropicais e intertropicais, caracterizando-se como uma região frontogenética. Estudos de ocorrência e espacialização de eventos climáticos têm utilizado a geoestatística, que está associada a uma classe de técnicas para analisar e inferir valores de uma variável. Krigagem é um processo geoestatístico de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou tempo, com base em valores adjacentes quando considerados interdependentes pela análise variográfica. Estimativas geoestatísticas são, em geral, superiores aos demais métodos de interpolação numérica, pois fazem uso da função variograma. Este estudo busca caracterizar as condições climáticas do Rio Grande do Sul estimando valores para a variável precipitação total mensal, construindo mapas representativos da distribuição espacial e temporal dessa variável no período de 1963 a 2012 utilizando Krigagem ordinária.

Palavras-chave: Krigagem ordinária; Geoestatística; Precipitação pluviométrica.

Abstract

The states of the South second (Rossetti, 2000) presents industrial development, but its economy dependent on agriculture. The agriculture and crop yields, in turn, depend on the occurrence of rainfall. The agriculture and crop yields, in turn, depend on the occurrence of rainfall. located on the south end are basically influenced by the confrontation between extratropical and intertropical atmospheric systems characterized as one frontogenetic region, occurrence of studies and spatial distribution of weather events have used geostatistics, which is associated with a technical class to analyze and infer values of a variable. Kriging is a geostatistical estimation process variable values distributed in space and / or time based on values when considered interdependent adjacent the variogram analysis. geostatistical estimates are generally higher than other numerical interpolation methods as make use of the variogram function. This study aims to characterize the climatic conditions of Rio Grande do Sul estimating values for variable monthly total precipitation, building representative maps of the spatial and temporal distribution of this variable in 1963 and 2012 using ordinary Kriging.

Keywords: Ordinary Kriging; Geostatistics; Rainfall.

Recebido: 08/05/2016 Aceito: 10/05/2016

Introdução

O estado do Sul segundo ROSSETI (2000) apresenta desenvolvimento industrial, mas sua economia dependente da agricultura. A atividade agrícola e o rendimento das colheitas, por sua vez, dependem da ocorrência de precipitação pluvial.

Segundo Ribeiro (2012), esses Estado são o cenário do confronto periódico entre sistemas atmosféricos opostos, originam-se tipos de tempo específicos e bem caracterizados quanto ao seu ritmo térmico e pluviométrico. Registra-se grande variabilidade no volume das chuvas que segundo Moreno (1961) está relacionada à compartimentação geomorfológica.

Vários autores têm discutido a alteração de temperatura da superfície do mar e sua influência na circulação atmosférica e padrões da célula de Walker (ROPEWSKI E HALPERT, 1987; SILVA, 2001; COELHO, 2001; GRIMM et al., 2004; SILVA, 2005; CARDOSO, 2005; SLEIMAN, 2008). Destacam-se também a relação entre anomalias positivas de precipitação e a ocorrência do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) que ocorre no Pacífico Equatorial (ROPELEWSKI e HALPERT, 1987; GRIMM et al., 1996; 2004; OLIVEIRA et al., 1998; SILVA, 2001; COELHO, 2001 e CARDOSO, 2005). Os localizados no extremo sul do país são influenciados basicamente pelo confronto entre sistemas atmosféricos extratropicais e intertropicais, caracterizando-se como uma região frontogênica, ou seja, onde os sistemas frontais podem se formar ou se intensificar (RIBEIRO, 2012).

Vários estudos de ocorrência e espacialização de

eventos climáticos têm utilizado a geoestatística, que está associada a uma classe de técnicas para analisar e inferir valores de uma variável distribuída no espaço ou no tempo (SILVA et al, 2003). A análise espacial de sistemas de precipitação tem sido discutida em diversos trabalhos destacam-se Costa et al (2008a e b); Durão et al (2009 a e b); Grimm e Tadeschi (2004); Pereira et al (2008); Soares (2009) Soares e Pereira (2009) e Soares et al (2009), entre outros.

Krigagem é um processo geoestatístico de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou tempo, com base em valores adjacentes quando considerados interdependentes pela análise variográfica (Pires e Strieder, 2006). Pode ser comparado com os métodos tradicionais de estimativa por médias ponderadas ou por médias móveis, mas a diferença fundamental é que somente a krigagem apresenta estimativas não tendenciosas e a mínima variância associada ao valor estimado.

As técnicas geoestatísticas podem ser usadas para descrever e modelizar padrões espaciais (variografia), além de prever valores em locais não amostrados (Andriotti, 2009).

Estimativas geoestatísticas são, em geral, superiores aos demais métodos de interpolação numérica, pois fazem uso da função variograma, que não é simplesmente uma função da distância entre pontos, mas depende da existência ou não do efeito pepita, da amplitude e da presença de anisotropia. A estimativa geoestatística tem por objetivo a modelagem do fenômeno espacial em estudo, ou seja, determinar a distribuição e variabilidade espaciais da variável de interesse (Yamamoto e Landim, 2015).

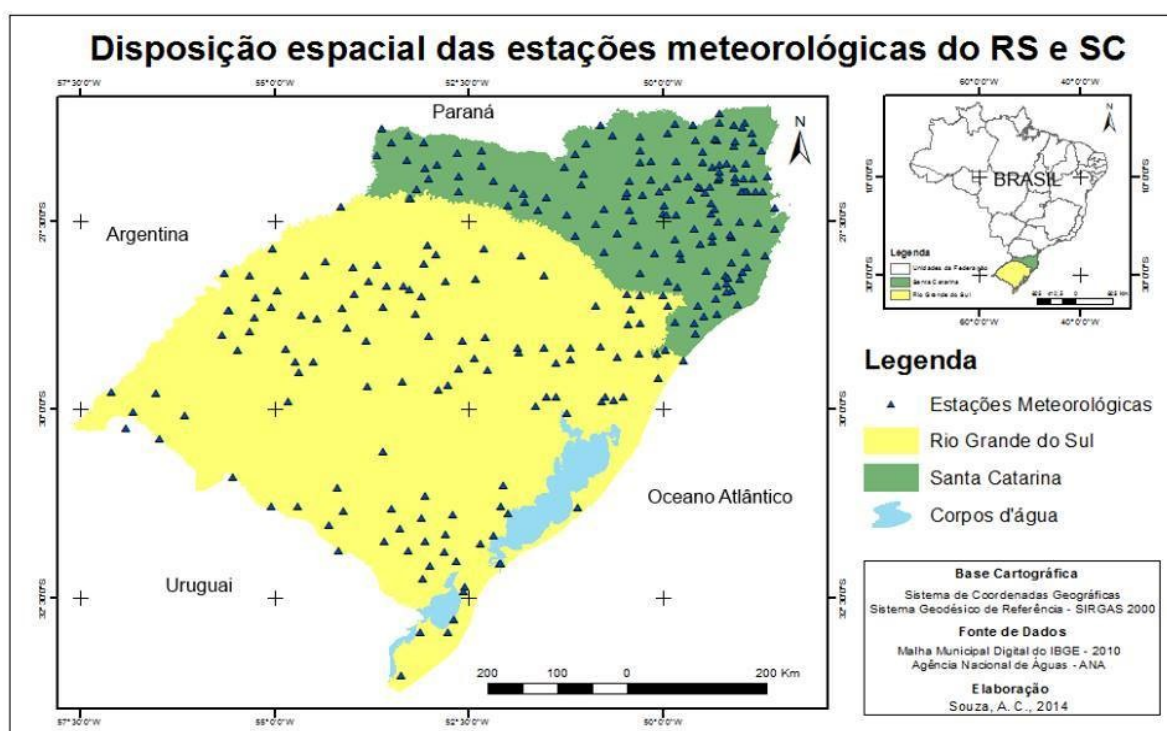


Figura 1 - Disposição espacial das estações meteorológicas da Agência Nacional de Água (ANA) do RS e SC
Fonte: Adaptado de: Souza, 2014

O estimador mais usual é a krigagem ordinária, cuja tradução, do francês *krigeage ordinaire*, deveria ser krigagem normal de acordo com Soares (2006, p. 69) citado por Yamamoto e Landim (2015). A partir deste entendimento, o presente estudo caracteriza as condições climáticas do Rio Grande do Sul estimando valores para as variáveis de precipitação total mensal, procurando a elaboração de mapas representativos quanto à distribuição espacial e temporal, no período de 1963 a 2012 utilizando Krigagem ordinária.

Metodologia

Área de estudo

A área de estudo é constituído pelos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. O conjunto de dados, para este trabalho, foi constituído a partir de 161 estações (Figura 1).

Abordagem metodológica

O banco de dados foi organizado a partir de planilhas fornecidas pela Agência Nacional das Águas (ANA) com os registros diários da precipitação.

Foram avaliadas 161 estações. As variáveis consideradas é total mensal da precipitação em cada estação, cuja localização é mostrada na Figura 1. A análise estatística e o modelamento geoestatístico foram feitos para cada variável considerando intervalos de 10 anos, mudando a janela de: 1960 – 1969; 1970 – 1979; 1980 – 1989; 1990 – 1999; 2000 – 2009 e 2010-2012.

O modelamento geoestatístico é feito com uso do software GeoMS do Centro de Recursos Naturais e Ambiente (CERENA) do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, Portugal.

O processo de krigagem se diferencia de outros métodos de interpolação pela forma de atribuição dos pesos. Segundo Yamamoto e Landim (2015), para entender a variação espacial do processo aleatório subjacente, deve-se levar em consideração a possibilidade de que o valor de cada ponto no espaço está relacionado, de algum modo, com valores obtidos de pontos situados a certa distância, sendo razoável supor que a influência é tanto maior quanto menor for à distância entre os pontos. Segundo Journel; Huijbregts, (1978, p. 32), citado por Yamamoto e Landim (2015) a inferência da continuidade espacial de uma variável regionalizada pode ser feita com valores amostrais tendo como base a estatística de dois pontos. Aplicando-se as definições da função covariância e função variograma, verifica-se que elas dependem apenas de dois pontos. 1 e .2, situados a uma distância $h = .1 - .2$, então cada par de pontos é considerado uma realização diferente, o que torna possível a inferência estatística dessas funções.

Segundo Yamamoto e Landim (2015) as estimativas geoestatísticas são, em geral, superiores aos demais

métodos de interpolação numérica, pois fazem uso da função variograma, que não é simplesmente uma função da distância entre pontos, mas depende da existência ou não do efeito pepita, da amplitude e da presença de anisotropia. A modelagem da distribuição e variabilidade espaciais da variável de interesse é feita geralmente em malhas regulares, que permitem analisar a inferência espacial com maior precisão.

O estimador clássico do variograma baseado nos dados amostrais é (Journel e Huijbregts, 1978). O variograma é a função geoestatística chave que caracteriza a variabilidade do padrão espacial (e temporal) de um determinado fenômeno. O variograma experimental ou variograma das amostras $g(h)$ é calculado a partir da metade da diferença média quadrada entre pares de dados que pertencem a uma certa classe de distância:

Os modelos de variograma e seus parâmetros são calculados tendo em consideração os variogramas experimentais, calculados a partir dos valores dos dados.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} [z(u_{\alpha}) - z(u_{\alpha} + h)]^2$$

Onde: $N(h)$ é o número de pares de pontos separados pelo vetor h .

O objetivo principal é definir o padrão de variabilidade espacial de um fenômeno físico no modelo de variograma, ao invés de obter o melhor ajuste da variância (Gooverts, 1997).

A análise geoestatística para a variável precipitação total foi feita a partir da eliminação dos valores altos errático do conjunto de dados. O critério de estabelecimento dos valores erráticos é média $\pm 1,5$ intervalo interquartilico, atividade realizada pela rotina geodata do programa GeoMS. A validação do modelo foi feita considerando todo o conjunto de dados, incluídos os valores erráticos. Os modelos foram gerando para cada década segundo cinco direções: quatro variograma espaciais no plano horizontal $(-90^{\circ}, 0)$; $(-45^{\circ}, 0)$; $(0^{\circ}, 0)$; $(45^{\circ}, 0)$ e um variograma temporal no plano vertical $(90^{\circ}, 90^{\circ})$ porque o banco de dados é tridimensional (x, y, z) , onde (x, y) são as coordenadas UTM e z é o tempo expresso em meses.

Resultados

Os modelos dos variogramas espaciais da variável precipitação total para os períodos estudados estão representados nas figuras 2 a 7. O modelo variográfico que melhor se ajustou foi o modelo esférico, conduzidos pelo aumento rápido e a posterior inflexão. Mostram que a dependência espacial entre as amostras é a mesma em todas direção no plano XY, sendo igual a 700.000 metros. No plano vertical, com dependência entre as amostras estão na ordem de 4 meses.

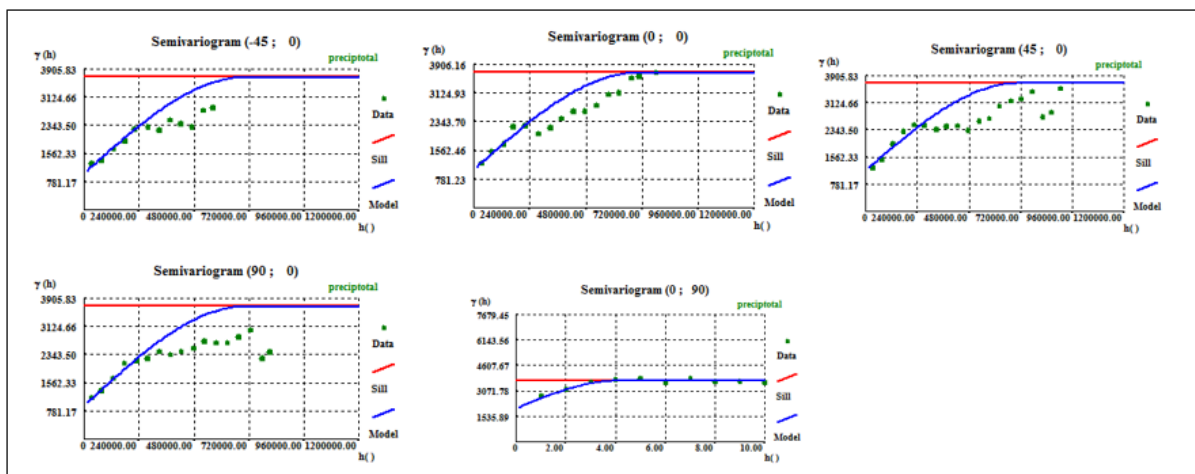


Figura 2 – Modelamento dos dados de precipitação total mensal na década 1 (1963-1969)

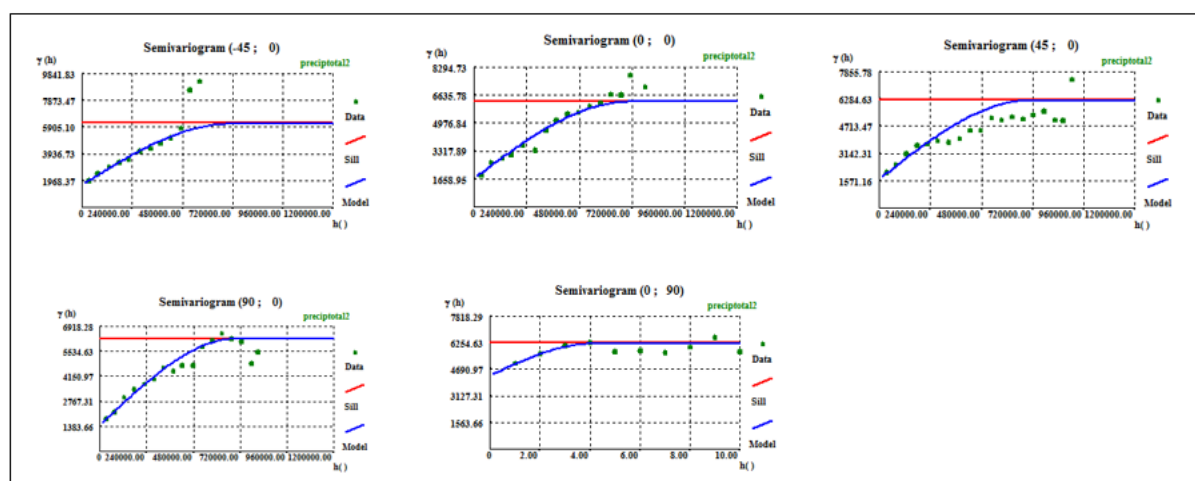


Figura 3 – Modelamento dos dados de precipitação total mensal na década 2 (1970-1979)

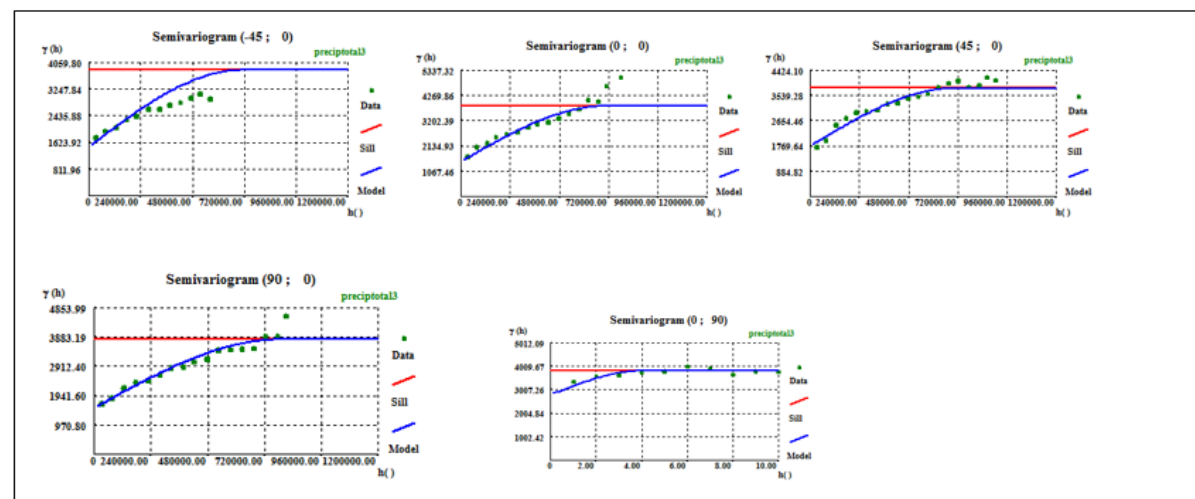


Figura 4 – Modelamento dos dados de precipitação total mensal na década 3 (1980-1989)

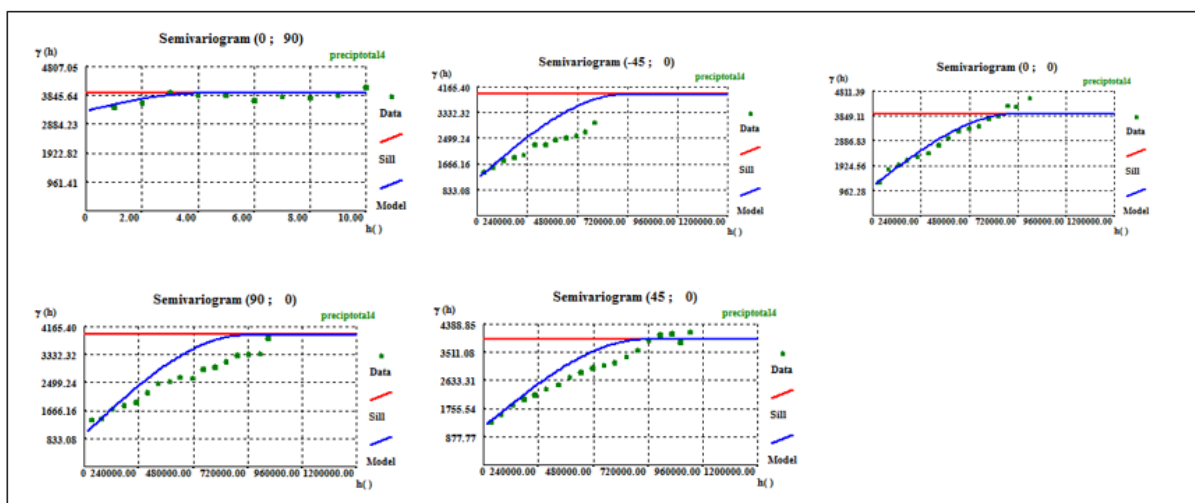


Figura 5 – Modelamento dos dados de precipitação total mensal na década 4 (1990-1999)

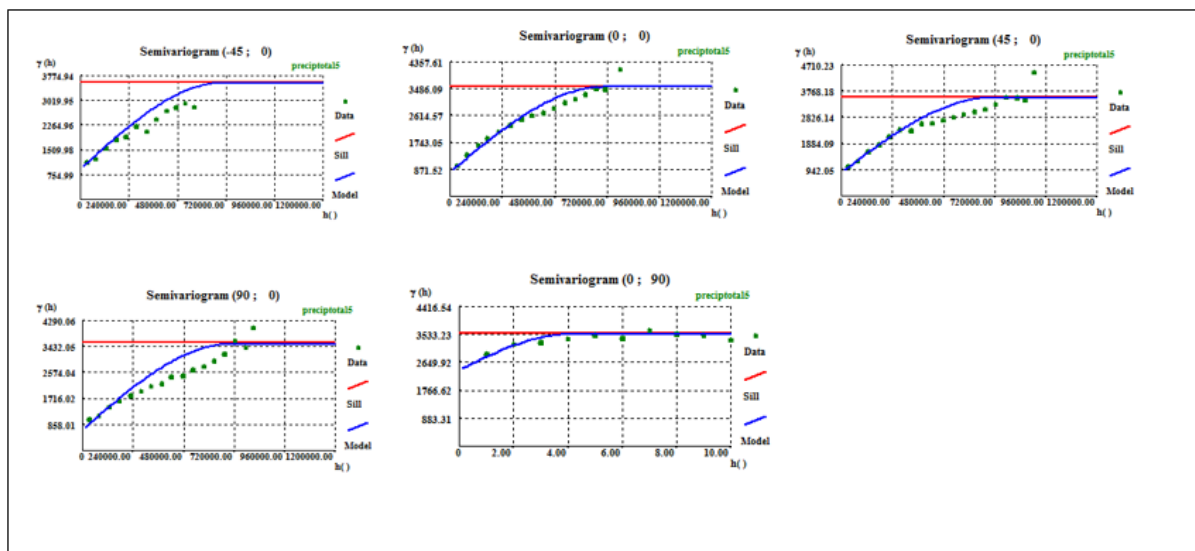


Figura 6 – Modelamento dos dados de precipitação total mensal na década 5 (2000-2010)

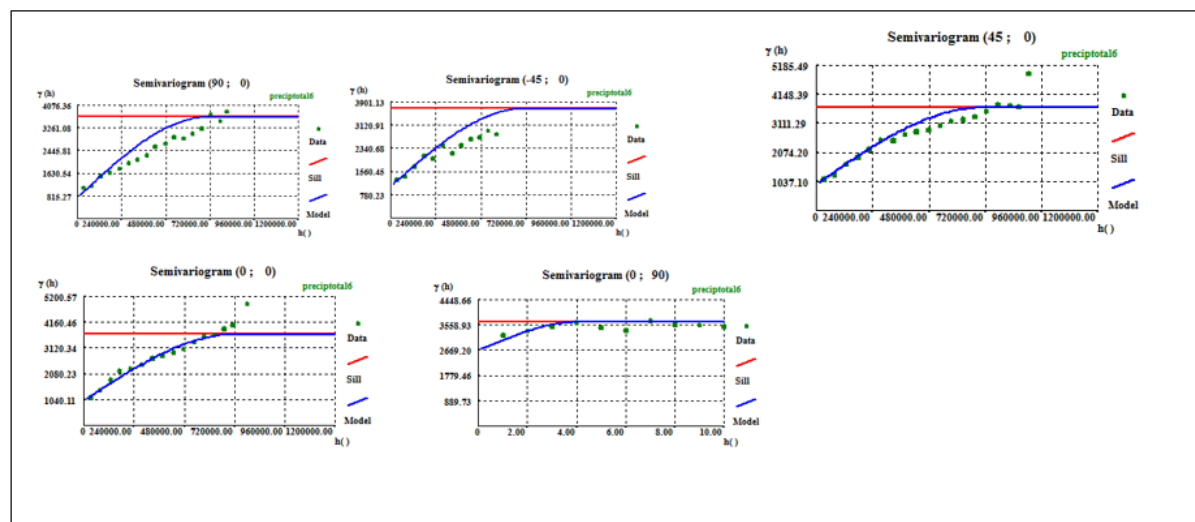


Figura 7– Modelamento dos dados de precipitação total mensal na década 6 (2010-2012)

Os parâmetros do modelamento geostatístico da variável precipitação, *a* espacial; *a* temporal; *C0* espacial; *C0* temporal; *Sill* espacial e *Sill* temporal estão apresentados na tabela1.

Os modelos geostatísticos foram ajustados a partir dos variogramas gerados com os dados sem os valores altos erráticos, em alguns casos superou 80% de acurácia, como mostra a figura 8.

Tabela 1 - Parâmetros do modelamento geostatístico da variável precipitação

	a espacial	a temporal	CO espacial	CO temporal	Sill espacial	Sill temporal
1963-1969	70000 0	4	1190	2023	3684	368 4
1970-1979	70000 0	4	1190	2023	3684	368 4
1980-1989	70000 0	4	1190	2023	3684	368 4
1990-1999	70000 0	4	1190	2023	3684	368 4
2000-2009	70000 0	4	1190	2023	3684	368 4
2010-2012	70000 0	4	1190	2023	3684	368 4

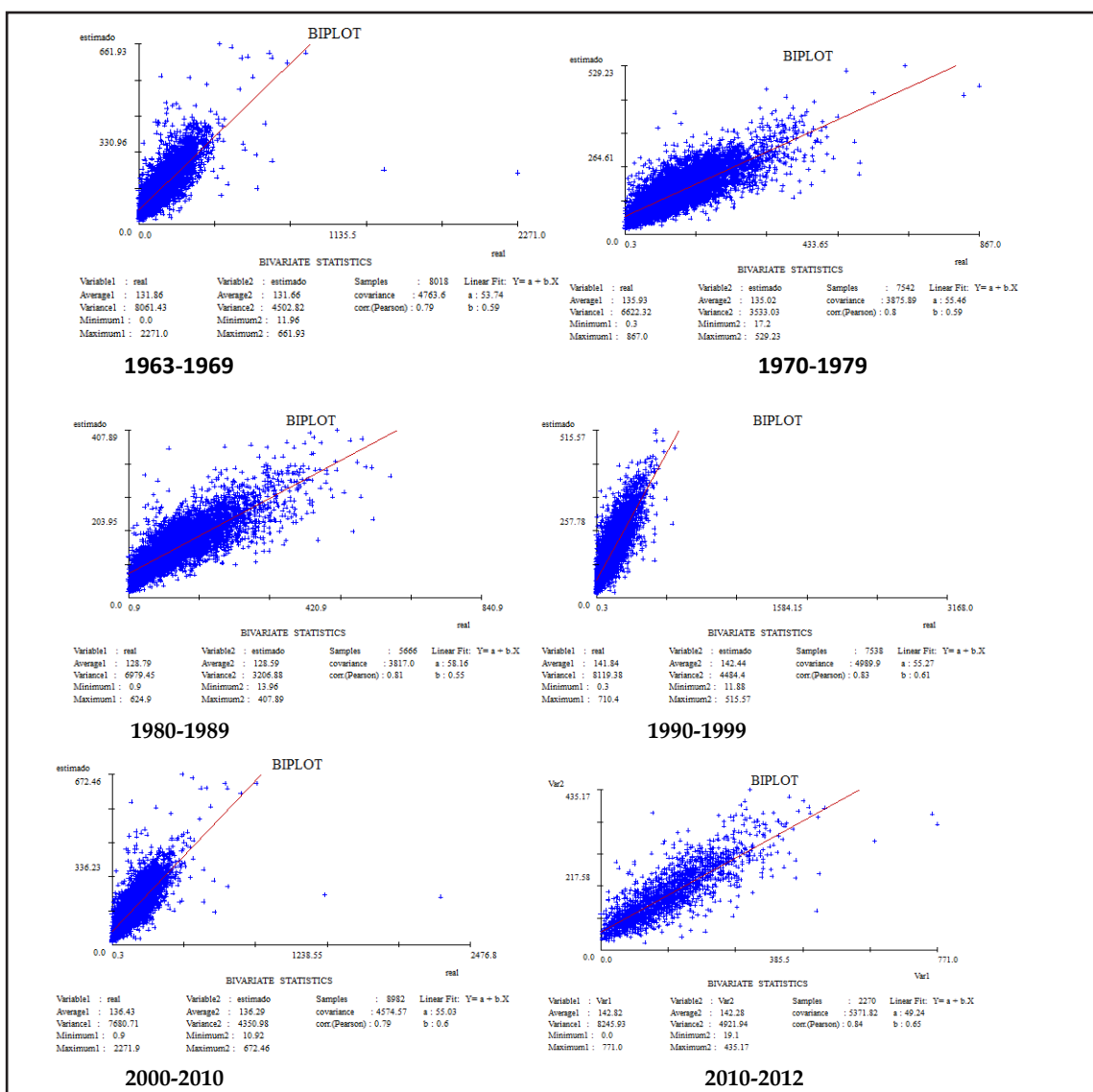


Figura 8 - Validação dos modelamentos geostatístico da variável precipitação total mensal

Os modelos ajustados para os períodos estudados foram usados para realização da krigagem ordinária da variável precipitação total mensal. Esses valores estimados têm características estatísticas muito próximas das características dos dados originais como mostra a figura 9

A aplicação da técnica de estimativa Krigagem or-

dinária permitiu a estimação de valores de precipitação total mensal em pontos não amostrados. Isso permitiu a construção de mapas com a distribuição espacial da variável ao longo do período de janeiro de 1963 até dezembro de 2012. Este trabalho escolheu aleatoriamente um mês em cada período estudado para mostrar esses resultados, mostrados na figura 10.

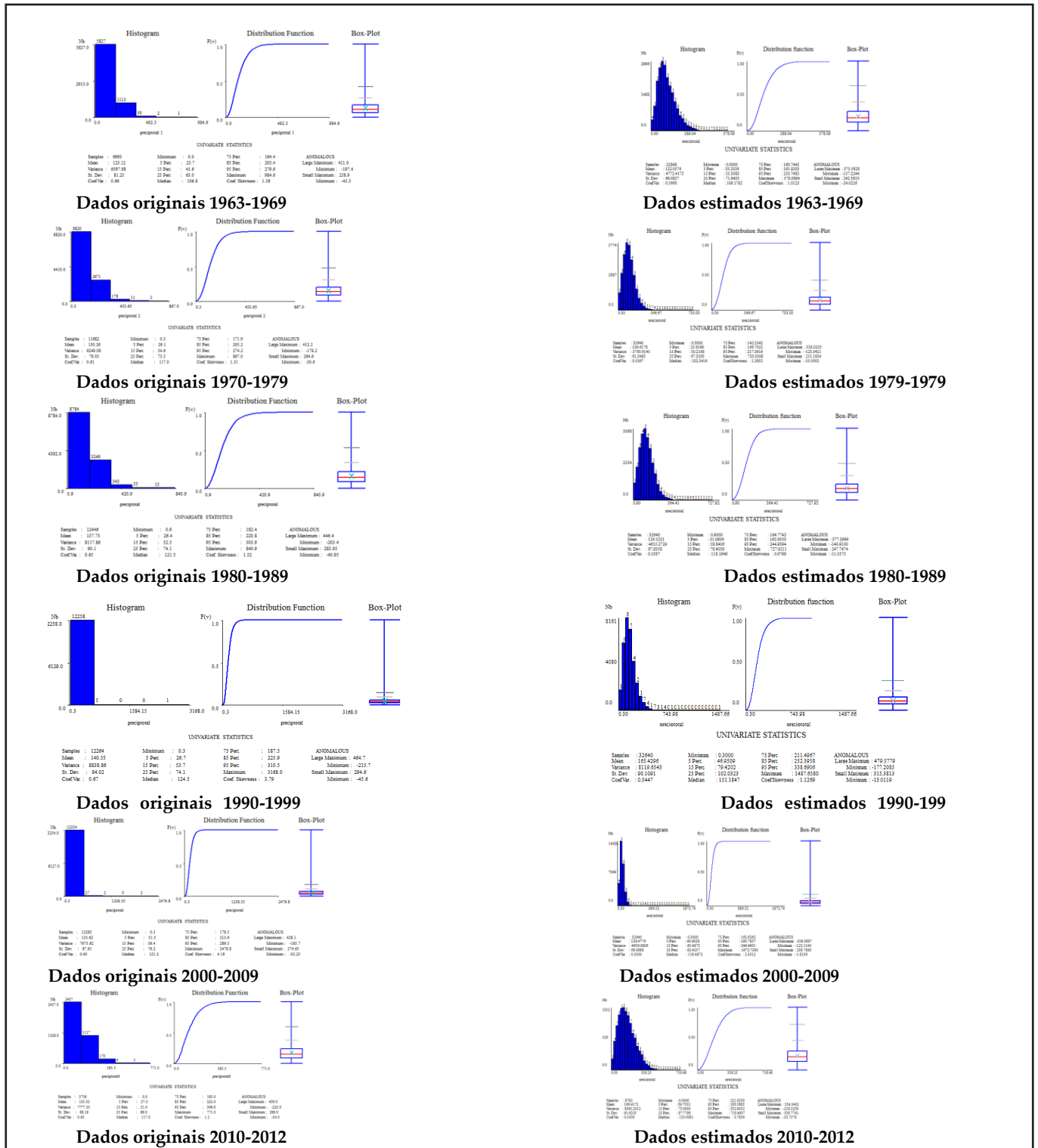


Figura 9 - Características dos dados originais e dados estimados

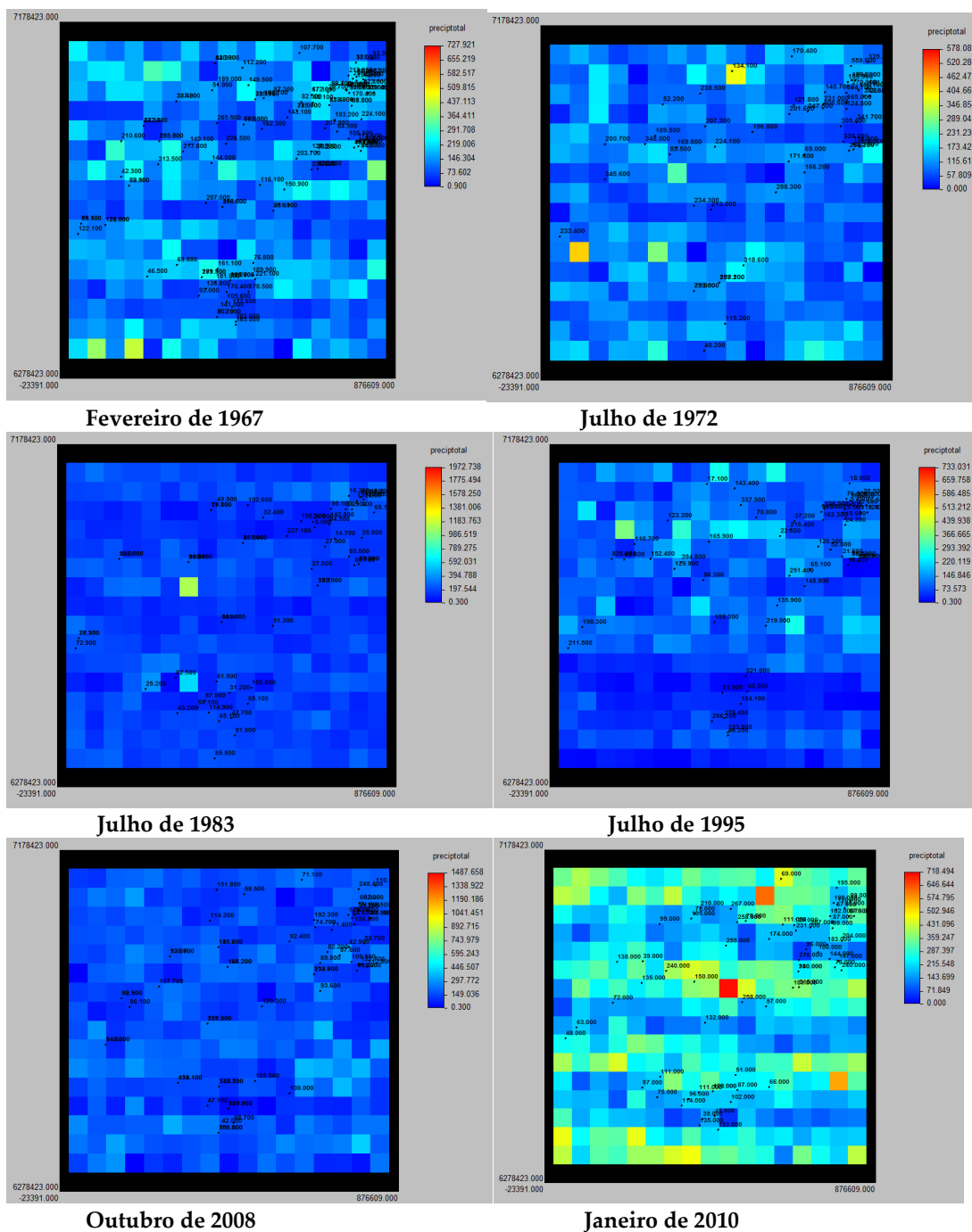


Figura 10 - Mapas com a distribuição espacial da variável da precipitação total mensal

Conclusão

A krigagem ordinária dos dados da variável precipitação total mensal para gerar mapas de distribuição espacial dessa variável pode ser uma alternativa para gerar estimativas mais confiáveis e com mapas com maior acurácia.

Agradecimentos

Agradecimento a CAPES, Ciência sem Fronteira, Bolsas no Exterior - processo 2270-13-7.

Referências

ANDRIOTTI, J. L. S. Fundamentos de estatística e geoestatística. São Leopoldo: Unisinos, 2009. v. 3, 165 p.

CARDOSO, A. O., (2005). Relações entre a TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico e as condições climáticas nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Tese de Doutorado ACA/IAG/USP, São Paulo.

COELHO, C. A. S., (2001). Anomalias de precipitação sobre a América do Sul e sua relação com a TSM dos

- oceanos Pacífico e Atlântico durante períodos de extremos de El Niño Oscilação Sul. Dissertação de Mestrado IAG/USP, São Paulo.
- COSTA A.C; DURÃO R; PEREIRA M. J; SOARES A. 2008b. Using stochastic space-time models to map extreme precipitation in southern. Portugal. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 8 (4): 763–773
- COSTA, A.C., DURAO, R., SOARES, A and PEREIRA, M. J., 2008a. A GEOSTATISTICAL EXPLORATORY ANALYSIS OF PRECIPITATION EXTREMES IN SOUTHERN PORTUGAL. *Revstat-Statistical Journal*, 6(1):21.
- DURÃO, R.M; PEREIRA, M. J; COSTA, A.C; DELGADO, J.; DEL BARRIO, G and SOARES, A. 2009a. Spatial-temporal dynamics of precipitation extremes in southern Portugal: a geostatistical assessment study. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*.
- GOOVERTS, P. Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford Univ. Press, 1997. 650p.
- GRIMM, A. M.; TADESCHI, R. G. (2004). Influência de eventos de El Niño e La Niña sobre a frequência de eventos extremos de precipitação no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, CD ROM. Fortaleza - CE, SBMET. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*.
- GRIMM, A. M.; TELEGINSKI, S.E.; COSTA, S.M.S.; GOMES, J. (1996). Anomalias de precipitação no sul do Brasil em eventos de El Niño. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão, Anais, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, p. 1098-1102.
- PEREIRA, M. J.; COSTA, a.C.; DURÃO, R. M. and, A. SOARES. 2008. Using stochastic space-time models to map extreme precipitation in southern Portugal. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8(4):763-773.
- PIRES, C. A. F.; STRIEDER, A. J. Modelagem Geoestatística de dados geofísicos, aplicada a pesquisa de Au no prospecto volta grande (Complexo Intrusivo Lavras do Sul, RS, BRASIL). *Revista Geomática*, nº 1, Vol. 1, 2006.
- RIBEIRO, A. de A. 2012. Eventos pluviais extremos e estiagens na região das Missões, RS: a percepção dos moradores do município de Santo Antônio das Missões /Arnaldo de Araujo Ribeiro. - Rio Claro: [s.n.], 198 f.
- ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S., (1987). Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño - Southern Oscillation. In: *Monthly Weather Review*, v. 115, p. 1606-1626.
- ROSSETI, L. A.; 2000 Agricultural zoning: asseming the risks of agriculture and providing trustworthy pointers for sustainable regional development. In: Workshop Making Sustainable Regional Development Visible, Proceedings. Áustria, p. 13-15, 2000.
- SILVA, G. A. M. 2005. Variabilidade inter-El Niños e seu impacto nos jatos de baixos níveis a leste dos Andes durante o verão austral. Dissertação de Mestrado. ACA/IAG/USP.
- SILVA, I. R. Variabilidade sazonal e interanual das precipitações da Região Sul do Brasil, associadas às temperaturas dos oceanos Atlântico e Pacífico. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.
- SILVA, S.A.B. et al. Aplicação da Geoestatística no Desenvolvimento de uma Base de Dados Climatológicos Para Uso no Modelo de Transferência Radiativa Brasil - SR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais eletrônicos. Belo Horizonte: INPE, 2003. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/eventos/XISBSR_2003_BH_11_294_Sheila_etal.pdf>. Acesso em: 12 abril. 2016.
- SLEIMAN, J. 2008. Veranicos ocorridos da porção Noroeste do estado do rio Grande do Sul entre 1978 e 2005 e sua associação às condições climáticas na atmosfera. Dissertação de Mestrado (Mestre em Geografia). Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008. 164f.
- SOARES, A. O. 2009. Spatial-temporal dynamics of precipitation extremes in southern Portugal: a geostatistical assessment study. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*.
- SOARES, A. O; DURÃO, R. M; PEREIS, M.J. and COSTA, A. C. M. 2009. Spatial-temporal dynamics of precipitation extremes in southern Portugal: a geostatistical assessment study.
- SOARES, A.; PEREIRA, M. J. Indicadores de desertificação – Desertwatch – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2009.
- YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. Conceitos e Aplicações. São Paulo: Oficina de textos, 2015. Acesso em: 08 de maio, 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/>