



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA UNIPAMPA

DENIS RAFAEL SILVEIRA ANANIAS

**COMPARAÇÃO DE DOIS INTERPOLADORES NA ANÁLISE ESPACIAL DA
PRECIPITAÇÃO ANUAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.**

**ITAQUI
2018**

DENIS RAFAEL SILVEIRA ANANIAS

**COMPARAÇÃO DE DOIS INTERPOLADORES NA ANÁLISE ESPACIAL DA
PRECIPITAÇÃO ANUAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para aprovação no curso de Graduação em Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Pampa Campus Itaqui.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Rodrigues Liska

**ITAQUI
2018**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

A532c Ananias, Denis Rafael Silveira
COMPARAÇÃO DE DOIS INTERPOLADORES NA ANÁLISE ESPACIAL DA
PRECIPITAÇÃO ANUAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL / Denis
Rafael Silveira Ananias.

31 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade
Federal do Pampa, INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA,
2018.

"Orientação: Gilberto Rodrigues Liska".

1. Krigagem. 2. inverso da distância ponderada. 3. chuva.
I. Título.

DENIS RAFAEL SILVEIRA ANANIAS

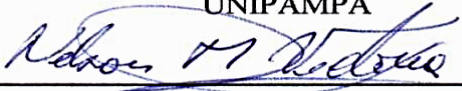
**COMPARAÇÃO DE DOIS INTERPOLADORES NA ANÁLISE ESPACIAL DA
PRECIPITAÇÃO ANUAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para aprovação no curso de Graduação em Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Pampa Campus Itaqui.


Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 7 de Dezembro de 2018
Banca examinadora:



Prof. Dr. Gilberto Rodrigues Liska
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Nelson Mario Victoria Bariani
UNIPAMPA



Prof. Me. Leonard Niero da Silveira
UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Mario Carneiro Ananias e Ieda da Silveira Ananias, por terem me ensinado valores que fazem de mim a pessoa que sou hoje.

Em especial à minha esposa, Andreia Dias Farias por sempre estar ao meu lado me ajudando, apoiando e incentivando durante todo o curso, sempre com muito carinho, compreensão, amor e paciência.

Ao meu professor orientador, Prof. Dr. Gilberto Rodrigues Liska, pelos ensinamentos, pelo incentivo sempre entusiasmado e pela confiança.

A todos docentes que fizeram parte da minha formação acadêmica.

RESUMO

A precipitação é uma das variáveis de maior variabilidade espacial do ciclo hidrológico e uma das principais fontes de erros de modelos hidrológicos. Uma correta análise da distribuição espacial das precipitações pluviométricas é de suma importância para o planejamento dos recursos hídricos de bacias hidrográficas, além de dar suporte a estudos climatológicos e meteorológicos. Este trabalho tem como objetivo comparar o desempenho de métodos de interpolação: inverso da distância ponderada (IDP) e Krigagem na análise da distribuição espacial da chuva. Para tanto, utilizaram-se dados referentes às precipitações anuais do estado do Rio Grande do Sul de 1961 á 2017. Foram usados diferentes números de pontos próximos ao ponto a ser estimado para determinar qual a melhor proporção de amostra resultou em mapas de distribuição pluviométrica mais precisos. A avaliação dos métodos foi feita pelo erro quadrático médio (EQM), o coeficiente de determinação (R^2) e a raiz quadrada do erro quadrático médio. A fim de sustentar os resultados, foi condizido um estudo de simulação de campos aleatórios e o desempenho do método geoestatístico e clássico para o fenomeno exposto foi avaliado em termos de precisão e acurácia obtidos por simulação Monte Carlo. Os resultados apontam que o interpolador de Krigagem ordinária obteve o menor EQM e maior R^2 . Pode-se concluir que o método geoestatístico krigagem utilizando nove pontos (50% do conjunto de dados) mais próximos foi o que melhor representou a distribuição espacial da precipitação no estado do Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: krigagem ordinária, chuva, inverso da distância ponderada, geoestatística, validação cruzada.

ABSTRACT

Precipitation is one of the variables with the most variation within the water cycle and one of the main reasons for hydrologic modelling error. An accurate analysis of rainfall spatial distribution is of utmost importance for managing watershed's water resources, in addition to giving support to climatological and meteorological studies. The goal of this work is to compare the performance of two interpolation methods: Inverse distance weighted (IDW) and Kriging in the analysis of rain spatial distribution. To do so, annual precipitation data from the state of Rio Grande do Sul (Brazil) spanning from 1961 through 2017 were used. To determine which sample proportion results in more precise rainfall distribution maps, a certain amount of near points to the estimated point were used. For that, Mean Squared Error (MSE), Coefficient of Determination (R^2) and Root-Mean-Squared Error (RMSE) were used. To support the results, it was conducted a random fields simulations study and the performance of the geostatistic and classic methods for exposed case was evaluated in terms of precision and accuracy obtained by Monte Carlo simulation. The results indicate that the Ordinary kriging interpolator shows the lowest MSE and higher R^2 . It can be concluded that the geostatistical method of kriging utilizing nine closer points was the one that better represented rainfall spatial distribution in the state of Rio Grande do Sul.

Keywords: Ordinary kriging, rain, inverse distance weighted, geostatistics, cross-validation

SUMÁRIO

Apresentação	8
1 Introdução	8
2 Área, materiais e métodos	9
2.1 Localização da área	10
2.2 Materiais	10
2.3 Métodos	11
2.3.1 Inverso da Distância Ponderada	11
2.3.2 Krigagem Ordinária	11
2.3.3 Avaliação dos modelos	13
3 Resultados e discussão	14
5 Conclusões	22
Referências bibliográficas	23
Anexos	26

Apresentação

O trabalho de conclusão de curso está apresentado na forma de artigo científico a ser submetido à Revista Pesquisas em Geociências E-ISSN 1807-9806 (versão eletrônica).

Autores

Denis Rafael Silveira Ananias¹ & Gilberto Rodrigues Liska².

¹Acadêmico do curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e tecnologia. Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Itaqui RS, Brasil.

²Docente da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Itaqui, Dr. em estatística e experimentação agropecuária.

1 1 Introdução

2

3 Compreender a distribuição espacial de dados oriundos de fenômenos ocorridos no
4 espaço constitui hoje um grande desafio para elucidação de questões centrais em diversas
5 áreas do conhecimento (CAMARA *et al.*, 2004).

6 A chuva é umas das três formas de precipitação. Assim a chuva ocorre quando a
7 Umidade Relativa do Ar (URA) está saturada (BARATTO & WOLLMANN, 2015). Ela pode
8 ser originada por diferentes fatores e suas características estão relacionadas com a origem que
9 pode ser ciclônica, convectiva ou orográfica. As três formas de chuva são causadas por
10 massas de ar quente e úmido que alcançam grandes altitudes onde a temperatura é mais baixa
11 causando a condensação e conseqüentemente a precipitação. As chuvas ciclônicas são
12 contínuas de baixa intensidade e se estendem por grandes áreas, são o encontro de uma massa
13 de ar frio e seco com a de ar quente, a de ar frio por ser mais densa causa a elevação da massa
14 quente. As convectivas são de curta duração, intensas e abrangem pequenas áreas, são
15 causadas pelo movimento ascendente das massas de ar quente. As orográficas são causadas
16 quando as massas de ar quente encontram uma barreira topográfica, como por exemplo,
17 montanhas, serras, são de baixa intensidade e longa duração se localizando apenas na área da
18 barreira (MONTEIRO, 2001).

19 O monitoramento de chuvas possibilita compreender o ciclo hidrológico que
20 influencia a dinâmica ecológica e ambiental, afetando também atividades de caráter
21 econômico e social. (MORALES & ARAUJO, 2017).

22 Segundo Britto *et al.* (ROSSETI, 2000, apud 2008), mesmo o Estado do Rio Grande
23 do Sul sendo desenvolvido industrialmente, a base da sua economia é dependente da
24 agricultura e apesar dos grandes avanços que aconteceram neste setor durante os últimos anos,
25 a atividade agrícola e o rendimento das colheitas dependem da ocorrência de precipitação
26 pluvial.

27 A análise de variáveis climáticas passa essencialmente por duas etapas: uma
28 exploratória, utilizando-se de estatística descritiva no objetivo de verificar a normalidade dos
29 dados e descartar a necessidade de transformação no conjunto e ainda identificar a existência
30 de possíveis outliers; e a segunda, que se fundamenta em ajuste de modelos estatísticos
31 matemáticos aos dados, que podem estudar os fenômenos com diferentes abordagens, como a
32 ocorrência de valores extremos (LISKA *et al.*, 2013; SANSIGOLO, 2008), distribuição
33 temporal (BRITTO *et al.*, 2008), distribuição espacial (CAMARA *et al.*, 2004; DE
34 CARVALHO *et al.*, 2012), intensidade do fenômeno (MELLO *et al.*, 2003), entre outros.

35 Para analisar a distribuição espacial da chuva normalmente utiliza-se de interpoladores que
36 podem ser clássicos ou geoestatístico.

37 Os métodos de interpolação são utilizados com o objetivo de avaliar a variabilidade
38 espacial de um determinado atributo, baseado em dados amostrais situados numa localidade
39 de interesse (JIMENEZ & DOMEQ, 2008, apud GARDIMAN JUNIOR *et al.*, 2012).

40 A geoestatística tem início na década de 1960 com uma série de publicações de
41 Georges Matheron com bases teóricas em um método de interpolação espacial denominado de
42 krigagem desenvolvido pelo sul-africano Daniel G. Krige (YAMAMOTO, 2013). A
43 geoestatística é um conjunto de métodos estatísticos apropriados para analisar um atributo de
44 um fenômeno que tem distribuição contínua sobre uma área geográfica.

45 Entre os diversos métodos de interpolação, citam-se o Inverso da distância ponderada
46 (IDP), Krigagem, métodos de vizinho mais próximo, Spline e Topo-to-Raster. Segundo
47 Chirinos & Mallqui (2016), os interpoladores mais utilizados são krigagem, inverso da
48 distância e spline. Os resultados obtidos em cada um dos métodos podem ser diferentes para
49 um mesmo conjunto de dados.

50 O inverso da distância ponderada (IDP) é um interpolador univariado de médias
51 ponderadas que utiliza a distância entre os pontos amostrados para estimar um atributo de
52 interesse e tem se destacado pela facilidade de sua aplicabilidade. A krigagem se utiliza de
53 uma função de covariância contínua, que explica o comportamento da variável no espaço, se
54 destaca na literatura por apresentar estimativas não tendenciosas e a mínima variância
55 associada ao valor estimado.

56 A escolha de interpoladores para dados climáticos não é uma tarefa simples e o
57 resultado final não depende apenas do interpolador. O processo de interpolação exige
58 conhecimento acerca da natureza do dado a ser interpolado e da distribuição espacial das
59 amostras (PERIN *et al.*, 2015).

60 Este trabalho tem como objetivo comparar o desempenho de métodos de interpolação:
61 inverso da distância ponderada (IDP) e Krigagem na análise da distribuição espacial da
62 precipitação no estado do Rio Grande do Sul. Além disso, analisar como a variação do
63 número de observações usadas para prever a quantidade de chuva em regiões desprovidas de
64 estações meteorológicas pode influenciar no mapa de predição. Por fim, construir mapas de
65 quantidades de chuva anual média, mediana e máxima para todo território do estado do Rio
66 Grande do Sul.

67

68 **2 Área, materiais e métodos**

69 2.1 Localização da área

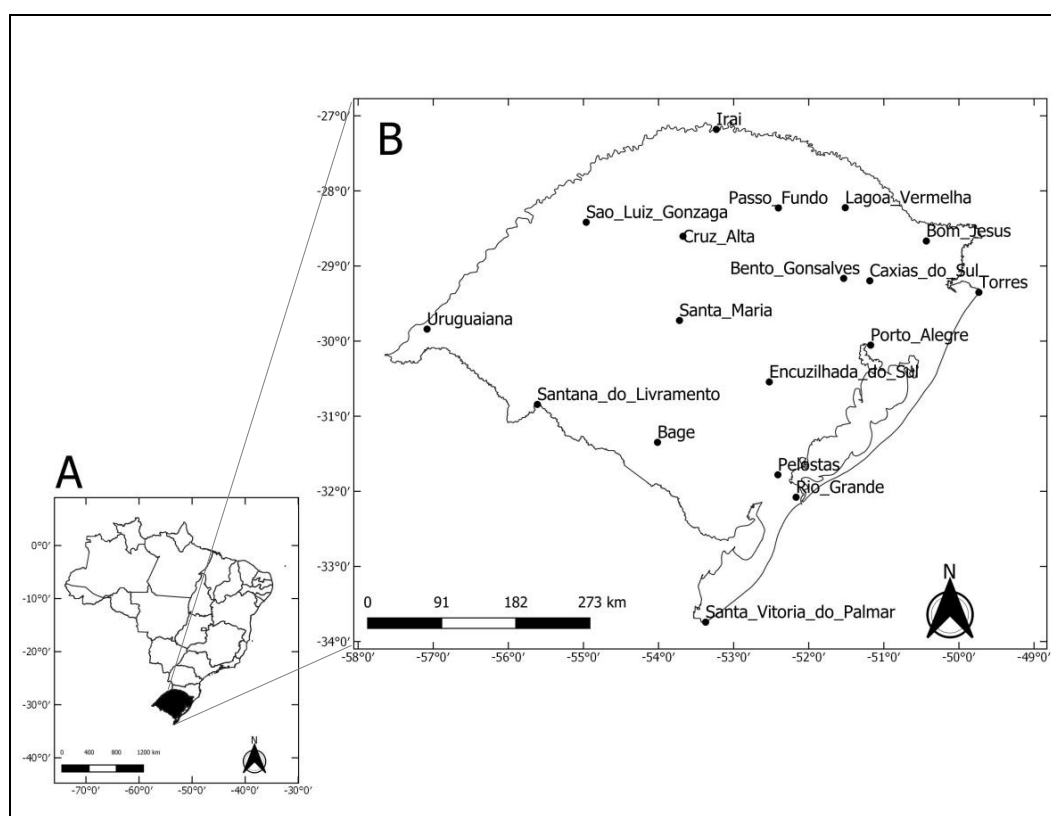
70

71 O Rio grande do Sul é o estado mais ao sul do país (Fig. 1), com uma área territorial
 72 de 281.737.888 km² (IBGE, 2017). O relevo é representado por Planalto e Chapadas da Bacia
 73 do Paraná, Depressão Periférica sul-rio-grandense, Planalto sul-rio-grandense e Planície da
 74 Lagoa dos Patos e Mirim (ROSS, 1985). Conforme Sartori (2003),

75

76 Por sua localização em zona de transição, o clima do Rio Grande do Sul reflete a
 77 participação de Sistemas Atmosféricos Extratropicais (massas e frentes polares) e
 78 de Intertropicais (massas tropicais e Correntes Perturbadas), embora os primeiros
 79 exerçam o controle dos tipos de tempo em 90% dos dias do ano, proporcionando
 80 também a distribuição mensal e anual das chuvas.

81



82 Figura 1. Mapa de localização. A) Localização do estado do Rio Grande do Sul no Brasil; B)
 83 Localização das 18 estações meteorológicas no estado.

84 *Figure 1. Localization map. A) Location of the state of Rio Grande do Sul in Brazil; B) Location of the*
 85 *18 meteorological stations in the state.*

86

87 2.2 Materiais

88

89 O conjunto de dados foi obtido junto ao banco de dados meteorológicos para ensino e
 90 pesquisa, (BDMEP). Serão utilizadas informações de 18 estações convencionais de

91 monitoramento e compreende o período de 1961 a 2017 totalizando 56 anos de análise. A
 92 variável considerada será a precipitação acumulada mensal, os dados serão separados por ano
 93 e extraído o máximo, a média e a mediana de cada estação, formando assim uma subsérie com
 94 os valores médios, medianos e máximos anuais de cada estação. Os pontos georreferenciados
 95 que formam o polígono do Rio Grande do Sul serão extraídos de um arquivo do tipo Shapefile
 96 disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

97

98 2.3 Métodos

99

100 2.3.1 Inverso da Distância Ponderada

101

102 O inverso da distância ponderada (IDP), interpolador univariado de médias
 103 ponderadas, é um interpolador clássico que utiliza a distância entre os pontos amostrados para
 104 determinar o valor dos pontos de interesse. Assim, para estimar um ponto não amostrado em
 105 uma determinada localização, foi utilizada a equação (1) descrita por (MELLO *et al.*, 2003).

$$Z^*(u_i) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z(u_i)}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}}, \quad (1)$$

106 em que d_i é a distância entre os pares de observação (u_i), p é um parâmetro de potência
 107 geralmente igual a dois. Na equação (1), parâmetros de potência maiores enfatizam pontos
 108 mais próximos, tornando o resultado menos suave. Parâmetros de potência menores enfatizam
 109 pontos mais distantes, tornando o resultado mais suave, porém menos preciso (MARCUIZZO
 110 *et al.*, 2011).

111

112 2.3.2 Krigagem Ordinária

113

114 Krigagem é um método geoestatístico que se baseia na Teoria das Variáveis
 115 Regionalizadas, a qual supõe que a variação espacial de um fenômeno é dependente de sua
 116 localização.

117 A variação espacial no método da Krigagem é quantificada por um semivariograma.
 118 Esse por sua vez é calculado pela equação (2).

$$2\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^n [Z(u_i) - Z(u_i + h)]^2, \quad (2)$$

119 em que, h é o vetor distância entre os pares de observações, $N(h)$ é o número de pares

120 ordenados e $Z(u_i)$ e $Z(u_i + h)$ são valores observados nas respectivas localizações.

121 O semivariograma empírico estimado por $\hat{\gamma}(h)$ fornece um gráfico ao qual se ajusta
122 uma função, gerando assim um semivariograma teórico. Essa função deve representar o
123 melhor possível o comportamento de $\hat{\gamma}(h)$. Foram utilizados semivariogramas omnidirecional.

124 Foram considerados três modelos teóricos de semivariograma: modelo Gaussiano,
125 esférico e exponencial. Todos esses modelos têm como parâmetros: Alcance (a), distância
126 dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente; Patamar (C) é o
127 valor máximo do semivariograma dentro do seu intervalo de alcance; Efeito Pepita (C_0) é o
128 valor do semivariograma para distância zero.

129 O ajuste dos modelos teóricos foi feito pelos métodos de quadrados mínimos
130 ordinários (mqo) e quadrados mínimos ponderados (mqp), para determinar qual se ajustaria
131 melhor ao gráfico gerado por $\hat{\gamma}(h)$. A escolha do melhor semivariograma foi auxiliada pelo
132 critério de Cambardella, o qual quantifica o grau de dependência espacial (CAMBARDELLA
133 *et al.*, 1994). O grau de dependência é obtido expressando o efeito pepita como uma
134 porcentagem do patamar, assim semivariogramas com efeito pepita $\leq 25\%$ do patamar são
135 considerados com forte dependência espacial, de dependência moderada quando o efeito
136 pepita está entre 25 e 75% e fraca dependência se efeito pepita é $> 75\%$.

137 O estimador de krigagem ordinária (Ko) se caracteriza por ser um método utilizado
138 quando não se conhece a média regionalizada dos dados. Para se estimar a quantidade de
139 chuva em um local não amostrado ($Z^*(u_i)$), foi utilizado o seguinte estimador de krigagem
140 ordinária,

$$Z^*(u_i) = \sum_{i=1}^n \lambda^{KM} Z(u_i) + \sum_{i=1}^n \lambda^{Ko} [Z(u_i) - \sum_{i=1}^n \lambda^{KM} Z(u_i)], \quad (3)$$

141 em que $Z(u_i)$ é o valor observado, λ^{Ko} refere-se aos pesos calculados com base nos n dados
142 $Z(u_i)$, $\sum_{i=1}^n \lambda^{KM} Z(u_i)$ é o estimador da média para cada região. Maiores detalhes sobre a
143 estimação da média podem ser vistos em (YAMAMOTO, 2013).

144 Caso seja identificada tendência nas precipitações em longitude e/ou latitude, esta
145 pode ser modelada pela Krigagem Universal. Ao invés de considerar a média regional $m(u)$
146 desconhecida, podendo ser estimada por uma média em torno de uma região com os n pontos
147 mais próximos (krigagem ordinária), ajusta-se um polinômio de primeiro grau ou de ordem
148 superior para a tendência e/ou covariáveis. Supondo que se tem uma tendência de primeiro
149 grau em n pontos. Então

$$m(u) = \beta_0 + \beta_1 x(u), \quad (4)$$

150 em que x pode ser a direção da tendência.

151 Para verificar a influência dos pontos vizinhos na predição de pontos não amostrados,
 152 foram construídos os mapas dos métodos IDP e Ko considerando frações de pontos vizinhos
 153 aos que serão estimados, dadas por 10, 20, 30, 50, 70 e 100% do conjunto de dados. As
 154 frações formadas pelos 18 pontos são equivalentes a 2, 4, 6, 9, 13 e 18 vizinhos.

155

156 2.3.3 Avaliação dos modelos

157

158 A qualidade das estimativas foi avaliada pelo método *leave-one-out* que é um caso
 159 particular do *k-fold*, também conhecido como validação cruzada. Segundo Andriotti (2004), o
 160 método *leave-one-out* consiste em retirar um ponto amostral do conjunto de dados e calcular a
 161 estimativa para esse ponto. Repetindo o procedimento para todos os pontos do conjunto da
 162 amostra e ao final comparando o ponto conhecido com o estimado obtém-se o erro quadrático
 163 médio (EQM) dessas discrepâncias. Nesse sentido, foram utilizados três métodos para
 164 avaliar os resíduos calculados pela validação cruzada, EQM, R^2 e a raiz quadrada do EQM.
 165 Conforme a equação (5), o EQM sempre será positivo, uma vez que considera a diferença
 166 quadrática entre o valor omitido da validação cruzada e o observado numa dada posição.
 167 Quando o EQM é nulo, indica que o valor observado e o obtido da validação cruzada são
 168 idênticos, contudo essa situação dificilmente ocorre.

$$EQM = \frac{\sum_{i=1}^n (Z(u_i) - Z^*(u_i))^2}{n} \quad (5)$$

169 O coeficiente de determinação (R^2), equação (6), varia entre 0 e 1, indicando, em
 170 percentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados e, dessa forma,
 171 quanto maior o R^2 , maior a concordância entre a precipitação estimada da validação cruzada e
 172 a observada. Autos valores de R^2 significa que os valores estimados estão próximos aos
 173 observados e, caso isso ocorra a razão na equação (6) terá valores pequenos e portanto altos
 174 valores para R^2 .

$$R^2 = 1 - \frac{SQR}{SQT} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Z(u_i) - Z^*(u_i))^2}{\sum_{i=1}^n (Z(u_i) - \bar{Z}(u_i))^2}, \quad (6)$$

175 em que $\bar{Z}(u_i)$ é a média.

176 Um estudo por simulação computacional foi conduzido com o intuito de avaliar o
 177 desempenho dos métodos geoestatísticos e clássico utilizados. Para tal, foi utilizado o método
 178 baseado em simulação Monte Carlo, o qual consiste em fazer várias realizações de um
 179 fenômeno segundo parâmetros pré-estabelecidos. Ao fim dessas simulações, pode-se calcular
 180 a média e o desvio-padrão das simulações e estes representam medidas de acurácia e precisão,

181 respectivamente (RIZZO, 2008). Dessa forma, foram considerados dois cenários:

- 182 1) Campos aleatórios gerados considerando estrutura de dependência espacial segundo o
 183 melhor resultado do método geoestatístico;
- 184 2) Campos aleatórios gerados considerando estrutura de dependência espacial diferente
 185 dos melhores resultados obtidos pelo método geoestatístico.

186 Finalizando a metodologia proposta, foi utilizado o programa R versão 3.3.2 (R CORE
 187 TEAM, 2018) e os pacotes geoR (DIGGLE & RIBEIRO JR, 2007), gstat (PEBESMA, 2004),
 188 sp (PEBESMA & BIVAND, 2005) e rgdal (BIVAND & KEITT, 2018).

189

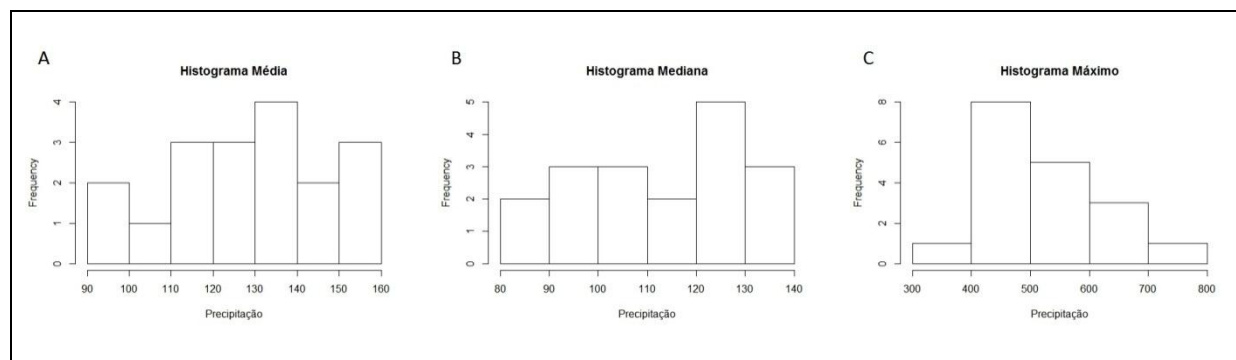
190 3 Resultados e discussão

191

192 Os gráficos das análises exploratórias são apresentados na figura 2, é possível perceber
 193 nos histogramas da média e mediana uma pequena assimetria negativa, -0,231671 e -
 194 0,230965 respectivamente, enquanto para o máximo a assimetria é positiva 0,583762, isso
 195 sugere que os dados podem não seguir uma distribuição normal, no entanto é possível assumir
 196 a normalidade dos dados diante dos resultados do teste de Shapiro-Wilk (ROYSTON, 1982),
 197 a 5% de significância, com os seguintes p valores: para o máximo 0,5466, para média 0,3167
 198 e para mediana 0,06111.

199 A relação da variável precipitação com as coordenadas latitude e longitude é
 200 apresentada na figura 3, onde é possível constatar que não existe tendência em torno da
 201 longitude para nenhuma das medidas em estudo. Para latitude a média e mediana apresentam
 202 uma tendência à medida que as coordenadas aumentam os valores observados também, o que
 203 indica que a tendência pode ser modelada.

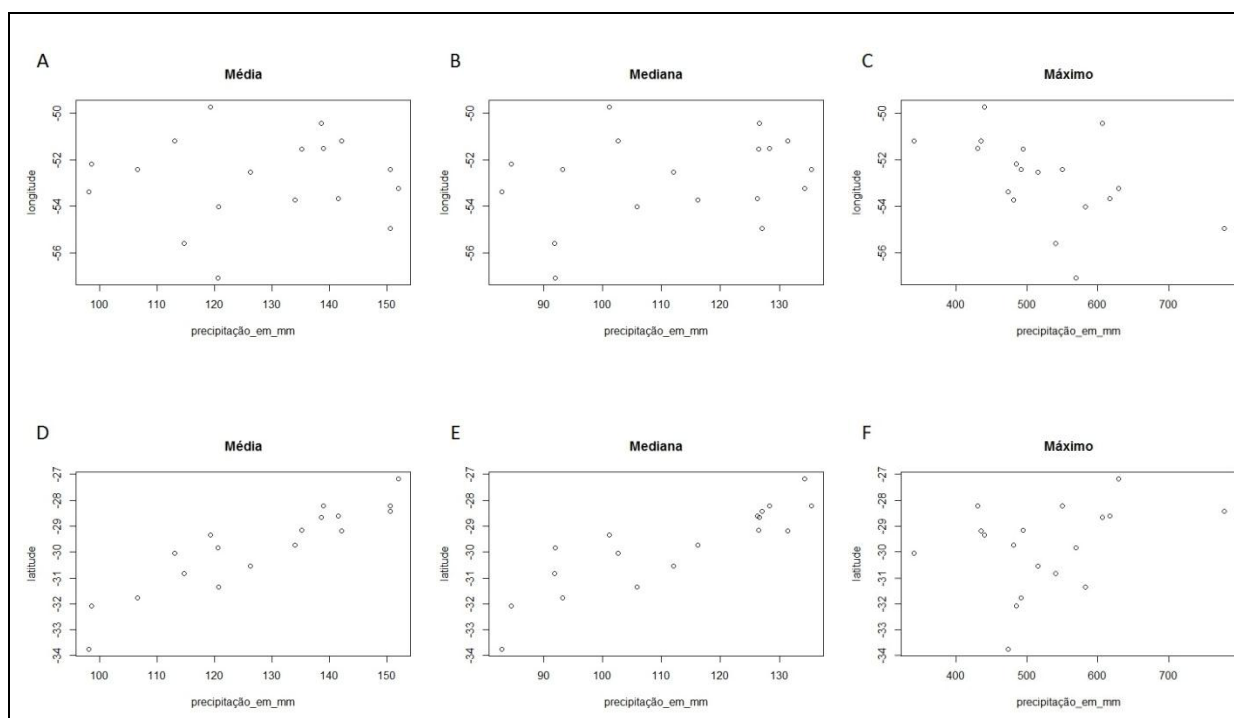
204



205 Figura 2. Histogramas da precipitação em mm. A) Histograma da média; B) Histograma da mediana;
 206 C) Histograma do máximo.

207 *Figure 2. Histograms of precipitation in mm. A) Histogram of the mean; B) Histogram of the median;*

208 C) Histogram of the maximum.



209 Figura 3. Gráficos de relação das precipitações média, mediana e máxima com as coordenadas latitude
 210 e longitude. A); B); C) Variáveis com relação a longitude; D); E); F) Variáveis com relação a latitude.
 211 *Figure 1. Relation graphs of mean, median and maximum rainfall with latitude and longitude*
 212 *coordinates. A); B); C) Variables with respect to longitude; D); E); F) Variables with respect to*
 213 *latitude.*

214

215 Os valores de ajuste do semivariograma são apresentados na tabela 1 e os gráfico na
 216 figura 4. Para escolha do método e modelo que melhor se ajusta ao semivariograma empírico
 217 foi analisado o grau de dependência espacial calculado por Cambardella e raiz quadrada do
 218 erro quadrático médio. Os valores do teste de Cambardella estão todos dentro do mesmo
 219 intervalo menor que 25%, indicando forte dependência espacial (CAMBARDELLA *et al.*,
 220 1994). Para as variáveis analisadas na krigagem ordinária (Ko) o modelo Gaussiano é o que
 221 apresentou o menor valor da RQEQM para média e a mediana, ajustado pelo método de
 222 mínimos quadrados ponderados (mqp). Para o máximo o modelo exponencial ajustado por
 223 mínimos quadrados ordinários (mqo) foi o melhor. Na krigagem universal (Ku) a média foi
 224 ajustada pelo modelo esférico por mqp e a mediana com modelo Gaussiano por mqo.
 225 Carvalho *et al.* (2009), concluíram em seu estudo que o método de mínimos quadrados
 226 ponderados permite a estimação dos parâmetros do modelo com maior precisão. Isso reflete
 227 no menor valor de soma de quadrados do resíduo.

228

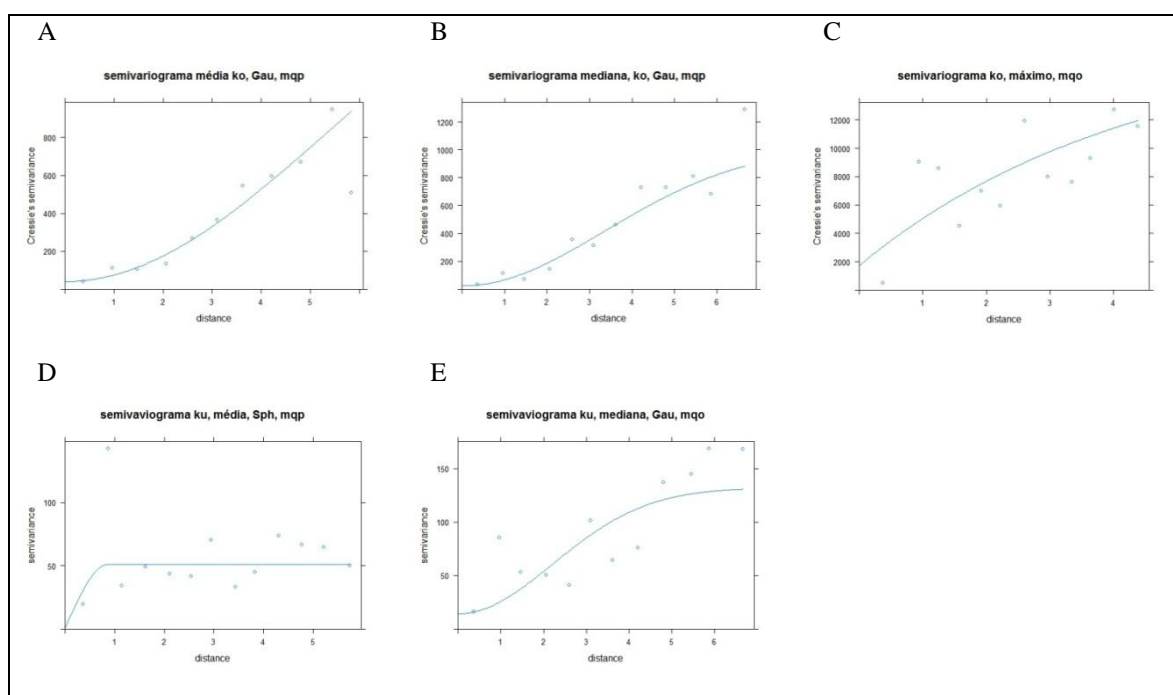
229 Tabela 1. Estimativas dos parâmetros (C_0), contribuição (C) e alcance (a) dos semivariogramas pelos
 230 métodos dos mínimos quadrados ordinários (mqo) e ponderados (mqp), resultados do critério de
 231 Cambardella e raiz quadrada do erro quadrático médio (RQEQM).

232 *Table 1. Estimates of the parameters (C_0), contribution (C) and reach (a) of the semivariograms by
 233 the ordinary least squares (ols) and weighted (olw) methods and results of the Cambardella criterion
 234 and square root mean squared error (RQEQM).*

Variável	Método	Modelo	C_0	C	A	Cambardella	RQEQM
Krigagem ordinária							
Média	Mqp	Gaus	40,07	2065,703	7,623926	1,94	6,945507
Mediana	Mqp	Gaus	23,5598	1023,56	4,756494	2,30	7,175538
Máximo	Mqo	Expo	3939,121	16680,54	5,787269	23,62	83,98531
Krigagem universal							
Média	Mqp	Esfé	51,16276	51,16276	0,873987	1,62	7,681061
Mediana	Mqo	Gaus	14,23	131,95	3,1244	10,78	8,115588

235

236



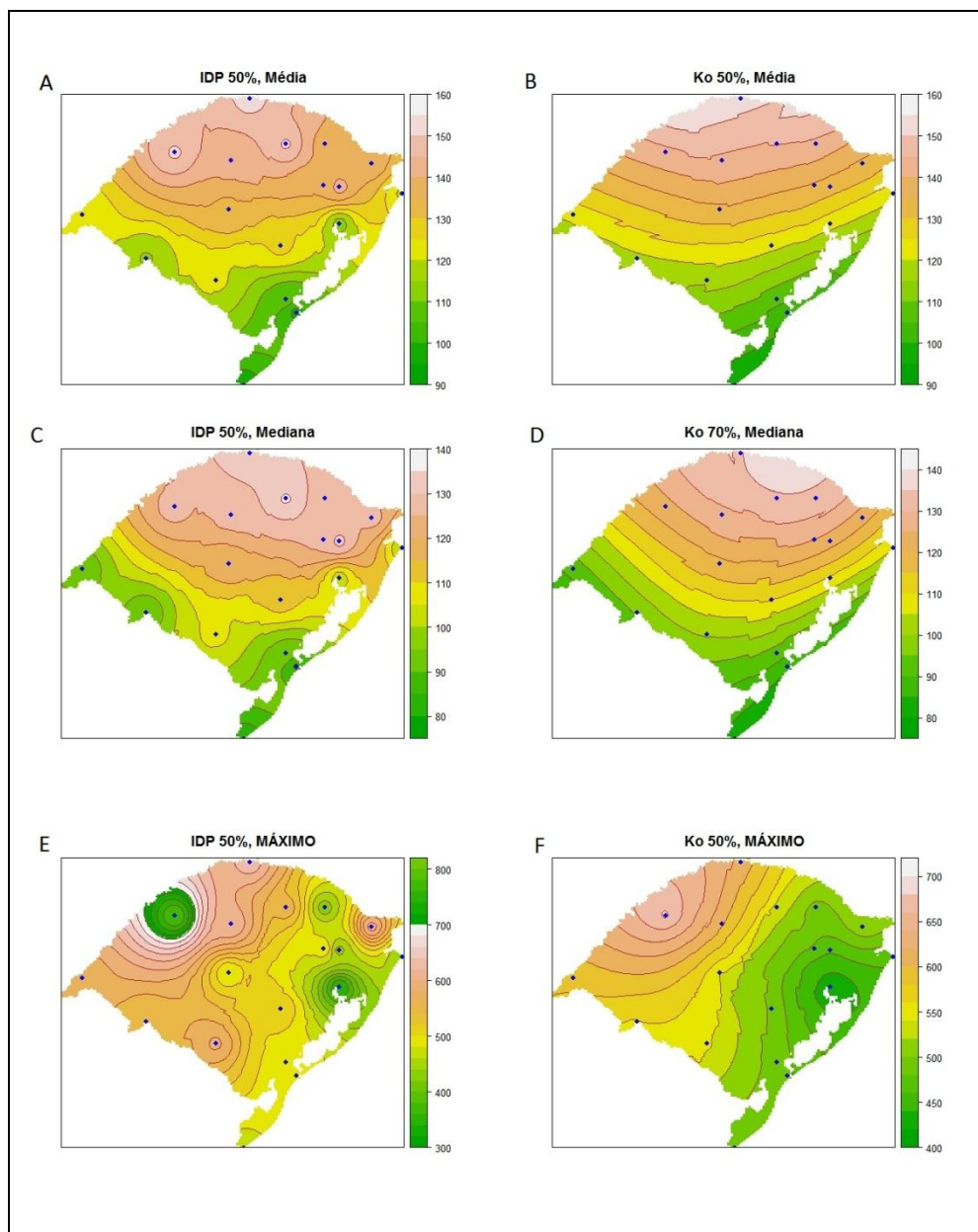
237 Figura 4. Ajustes do semivariograma teórico ao empírico. A) semivariograma da média para Ko, B)
 238 semivariograma da mediana para Ko, C) semivariograma do máximo para Ko, D) semivariograma da
 239 média para Ku, E) semivariograma da mediana para Ku.

240 *Figure 4. Adjustments from the theoretical semivariogram to the empirical. A) semivariogram of the
 241 mean for Ok, B) semivariogram of the median for Ok, C) semivariogram of the maximum for Ok, D)
 242 semivariogram of the mean for Uk, E) semivariogram of the median for Uk.*

243

244 A figura 5 apresenta os mapas gerados para IDP e krigagem. É possível notar que as

245 superfícies de estimativas fornecidas pelo IDP apresentam algumas regiões de precipitação
 246 bem delimitadas gerando algumas ilhas ou pontos localizados nas proximidades dos pontos de
 247 amostragem. Os mapas fornecidos pela Krigagem apresentam superfícies mais suaves e
 248 evidenciando zonas de transição entre os diferentes níveis de precipitação.
 249



250 Figura 5. Mapas de previsão de níveis de precipitação. A) Mapa da média gerado com o IDP
 251 utilizando 50% do conjunto de dados; B) Mapa da média gerado com o krigagem ordinária utilizando
 252 50% do conjunto de dados; C) Mapa da mediana gerado com o IDP utilizando 50% do conjunto de
 253 dados; D) Mapa da mediana gerado com o krigagem ordinária utilizando 70% do conjunto de dados;
 254 E) Mapa do máximo gerado com o IDP utilizando 50% do conjunto de dados; F) Mapa do máximo
 255 gerado com o IDP utilizando 50% do conjunto de dados.

256 *Figure 5. Prediction maps of precipitation levels. A) Map of the average generated with the IDW*

257 *using 50% of the data set; B) Map of the average generated with ordinary kriging using 50% of the*
258 *data set; C) Map of the median generated with the IDW using 50% of the dataset; D) Map of the*
259 *median generated with ordinary kriging using 70% of the data set; E) Map of the maximum generated*
260 *with the IDW using 50% of the data set; F) Map of the maximum generated with the IDW using 50%*
261 *of the dataset.*

262

263 Para Marcuzzo *et al.* (2011) a formação dessas ilhas é uma característica do IDP e são
264 formadas porque à medida que a distância entre o ponto interpolado e o ponto de amostragem
265 tende à zero, o peso atribuído a influência do ponto amostrado sobre o interpolado tende ao
266 infinito assim pontos estimados muito próximos a um observado sofrem influência
267 praticamente apenas dele.

268 Como visto na figura 3 para a média e mediana as precipitações em diferentes
269 latitudes sugerem a existência de tendência. Para contemplar essa característica nas
270 estimativas de precipitação, foi utilizada a Krigagem universal, com o ajustamento de um
271 polinômio de primeiro grau.

272 Os resultados da validação cruzada para a média e mediana são apresentados na tabela
273 2, para a média os modelos apresentaram o menor EQM com 50% do conjunto de dados que
274 equivale a nove pontos. Segundo Andriotti (2004) o número de amostras vizinhas requeridas
275 depende da configuração de locações amostradas e do grau de anisotropia, e para amostras
276 irregularmente espaçadas é de 10 amostras. A krigagem ordinária apresentou o melhor
277 resultado com um erro de 3,1 mm, correspondendo a 31,62%, menor que o IDP e um
278 coeficiente de determinação de 84,12%.

279 Medeiros *et al.* (2017) concluíram em seu trabalho de análise da precipitação média
280 acumulada anual, que a krigagem universal foi a que apresentou menor erro de predição sendo
281 a mais indicada para a região do estado do Rio Grande do Norte. É preciso observar que esses
282 autores fazem uma análise unicamente visual dos mapas de krigagem e variância de krigagem
283 para chegar a essa conclusão.

284 Resultados encontrados neste estudo mostram uma pequena diferença nos valores de
285 EQM, indicando a Ko como a mais apropriada para a média. Analisando os valores da
286 RQEQM é possível perceber que a diferença dos erros da Ko e Ku é de 0,88 mm de
287 precipitação. Esse resultado indica que considerar a suposta tendência na modelagem não
288 trouxe melhoria substancial nas estimativas de krigagem. o que leva a considerar a
289 equivalência entre elas. Sendo assim a tendência observada nos dados pode ter mais relação
290 com outras variáveis como a altitude. Esse resultado está de acordo com, Baratto &

291 Wollmann (2015) que estudaram o perfil topo-oro-pluviométrico do Rio Grande do Sul.
 292 Segundo os autores é possível traçar dois perfis no Estado sendo um no sentido sul-norte e
 293 outro sentido oeste-nordeste e concluem que, a precipitação pluviométrica é influenciada pela
 294 orografia e essa influência é mais expressiva no sentido sul-norte entre Santa Maria e Júlio de
 295 Castilho.

296 Para a mediana os interpoladores divergiram quanto ao número ideal de vizinhos
 297 próximos, o menor valor do EQM para Ko foi obtido com 70% dos pontos e o melhor
 298 resultado foi obtido com para Ku utilizando 100% do conjunto. No caso do IDP a menor
 299 RQEQM foi com 50% do conjunto de dados, porem par outras quantidades de numero de
 300 pontos não houve grandes discrepâncias entre as RQEQM's, mostrando que para a mediana o
 301 IDP apresentou resultados aproximadamente constantes (Tab. 2).

302

303 Tabela 2. Resultados da validação cruzada para média e mediana, erro quadrático médio (EQM), raiz
 304 quadrada do erro quadrático médio (RQEQM) e coeficiente de determinação (R^2).

305 *Table 2. Results of cross-validation for mean and median, mean squared error (MSE), square root*
 306 *mean squared error (SRMSE) and coefficient of determination (R^2).*

N° de pontos	Método	EQM	RQEQM	R^2 (%)	EQM	RQEQM	R^2 (%)
		Média			Mediana		
10%	Ko	118,4322	10,88266	58,69	122,2118	11,05495	62,36
	Ku	3202,611	56,59161	5,78	2401,901	49,00919	17,17
	IDP	117,71	10,84942	59,35	129,42	11,37629	60,54
20%	Ko	81,12548	9,006968	71,60	75,26956	8,675803	75,80
	Ku	103,9585	10,19601	70,37	117,6669	10,84744	70,98
	IDP	102,28	10,11336	64,86	118,04	10,86462	64,71
30%	Ko	62,52018	7,906971	78,25	66,54048	8,157235	78,76
	Ku	69,88063	8,359463	77,60	81,91812	9,050863	75,69
	IDP	105,99	10,29514	75,69	124,84	11,17318	62,52
50%	Ko	45,05119	6,712018	84,12	55,5171	7,45098	82,07
	Ku	57,69929	7,596005	80,37	78,94543	8,885124	76,8
	IDP	96,35	9,815804	69,75	113,89	10,67193	68,28
70%	Ko	46,25375	6,801011	83,82	50,92408	7,136111	83,75
	Ku	65,60481	8,09968	78,55	72,05245	8,488371	79,01
	IDP	112,36	10,6	65,91	127,73	11,30177	65,57
100%	Ko	48,24007	6,945507	83,38	51,48834	7,175538	83,41
	Ku	58,9987	7,681061	79,61	65,86276	8,115588	80,10
	IDP	124,80	11,17139	62,66	140,05	11,83427	62,42

307

308 Os valores do coeficiente de variação (R^2) relacionados aos melhores resultados da
 309 krigagem, ordinária e universal, da média e mediana são maiores que 70%, isso significa que
 310 a escolha do número de pontos está corretamente determinada. Os valores do R^2 do IDP

311 69,75% para média e 68,28% para mediana indicam que os valores estimados são
 312 moderadamente próximos aos reais. Para Lundgren *et al.* (2017), a validação cruzada (VC)
 313 fornece estimativa de erros consistentes com os erros verdadeiros em amostras irregularmente
 314 espaçadas e quando $R^2 \geq 70\%$ pode-se usar a VC como determinante do melhor número de
 315 pontos.

316 Foram escolhidos três pontos não amostrados em diferentes regiões do Estado a fim de
 317 verificar se as estimativas para essas localidades estão dentro da margem de erro médio do
 318 modelo de Ko. Para a cidade de Itaquí, localizada na fronteira oeste, considerando a
 319 precipitação média anual compreendida no período de janeiro a dezembro de 2017, o modelo
 320 subestimou a precipitação em 2,02 mm. Para cidades de Jaguarão e Frederico Westphalen a
 321 precipitação observada refere-se ao período de julho de 2017 a junho de 2018, para Jaguarão
 322 localizada no sul do estado foi superestimado em 3,65 mm e Frederico Westphalen no norte
 323 em 2,68 mm (Tab. 3).

324

325 Tabela 3. Estimativas de precipitação média anual para pontos não amostrados.

326 *Table 3. Annual mean precipitation estimates for non-sampled points.*

Cidade	Estação	Observado	Estimado
Itaquí	ANA	133,30	131,28
Jaguarão	INMET	101,18	104,83
Frederico Westphalen	INMET	148,50	151,18

327

328 A análise da precipitação máxima anual apresentou altos valores para o erro
 329 quadrático médio (EQM) (Tab. 4). O menor resultado para EQM foi obtido com o método
 330 IDP utilizando 50% do conjunto de dados equivalentes aos nove pontos mais próximos do
 331 ponto estimado. A raiz quadrada do EQM expressa o erro na mesma proporção da variável,
 332 sendo assim, o melhor ajuste apresentou um erro médio de 85,37 mm de precipitação. Os
 333 baixos valores para o coeficiente de determinação (R^2) são resultados diretos dos valores do
 334 EQM e no máximo conseguem explicar 22,95% da precipitação ocorrida.

335 Como os valores de R^2 estão muito distantes de 70%, entende-se que os modelos não
 336 se aplicam a valores de máximos, esses valores podem ser abordados por outras distribuições
 337 de probabilidade que não são consideradas nesse trabalho. Convêm ressaltar que como a
 338 figura 3 não fornece indicativo de tendência para o máximo da precipitação na direção da
 339 latitude ou longitude, não foi realizada a krigagem universal para essa variável.

340 O modelo de krigagem com o ajuste do semivariograma teórico utilizado mostrou-se
 341 satisfatório para a média e mediana da precipitação. Pode-se então testar esse modelo para

342 outras variáveis com o uso de algoritmos que simulem o comportamento das mesmas no
 343 mesmo espaço amostral deste estudo, determinando assim o nível de robustez ou
 344 evidenciando a sensibilidade do modelo às diferentes situações amostrais.

345

346 Tabela 4. Resultados da validação cruzada para a precipitação máxima anual.

347 *Table 4. Cross-validation results for the maximum annual precipitation.*

N° de pontos	Método	EQM	RQEQM	R ² (%)
10%	Ko	8653,102	93,02205	15,57
	IDP	8706,009	93,306	13,42
20%	Ko	8342,93	91,33964	14,99
	IDP	7837,343	88,52877	16,58
30%	Ko	7447,983	86,3017	20,80
	IDP	7650,533	87,46733	17,38
50%	Ko	7298,514	85,43134	22,05
	IDP	7288,606	85,37333	20,85
70%	Ko	7515,115	86,68976	22,95
	IDP	7783,578	88,22459	15,60
100%	Ko	7332,411	85,6295	22,51
	IDP	7870,385	88,71519	14,77

348

349 Com o objetivo de avaliar o comportamento dos interpoladores diante de um novo
 350 conjunto de dados, utilizou-se o método de Monte Carlo para simular diferentes cenários
 351 como mencionado na seção 2.3.3.

352 Os resultados da simulação (Tab. 5) apontam que no espaço amostral Gaussiano a Ko
 353 apresentou maior acurácia e precisão para todos conjuntos de amostras simulados.
 354 Demonstrando assim ser robusto quando submetido a um conjunto de dados diferente do qual
 355 foi modelado.

356

357 Tabela 5. Resultados da simulação de Monte Carlo para os melhores resultados dos métodos (Met),
 358 Krigagem ordinária (Ko) e inversa da distância ponderada (IDP), com campo aleatório gerado sobre a
 359 suposição de dependência espacial pelo Semivariograma Gaussiano, parâmetros pepita $C_0=40,07$,
 360 contribuição $C=2065,703$ e alcance $a=7,623926$, em diferentes tamanhos amostrais. Os resultados
 361 estão em termos de erro quadrático médio (EQM) e raiz quadrada do erro quadrático médio
 362 (RQEQM).

363 *Table 5. Results of the Monte Carlo simulation for the best results of the methods (Met), ordinary*
 364 *kriging (Ok) and inverse of the weighted distance (IDW), with random field generated on the*
 365 *assumption of spatial dependence by the Gaussian Semivariogram, nugget $C_0= 40.07$, contribution*
 366 *$C= 2065.703$ and range $a= 7.623926$, in different sample sizes. The results are in terms of mean*

367 *squared error (MSE) and square root of mean squared error (SRMSE).*

Met	Medidas Descritivas	EQM				RQEQM			
		100	200	500	750	100	200	500	750
Ko	Média	63,13	56,2	44,82	44,14	7,81	7,36	6,69	6,64
	Desvio padrão	25,19	26,25	3,62	2,64	1,47	1,39	0,26	0,20
IDP	Média	117,45	135,65	194,90	224,73	10,67	11,48	13,83	14,87
	Desvio padrão	45,02	47,67	56,02	59,13	3,88	1,96	1,90	1,91

368

369 Para analisar o comportamento dos interpoladores quando submetidos ao cenário 2, os
 370 campos aleatórios foram gerados sob a hipótese de um campo Exponencial com parâmetros
 371 C_0 , C e a escolhidos aleatoriamente. Os resultados da tabela 6 apontam que com o menor
 372 número de amostras, 100 observações, o inverso da distância ponderada apresentou melhor
 373 desempenho, sendo mais acurado, uma vez que apresentou menor média Monte Carlo do
 374 EQM, e mais preciso, com menor desvio padrão Monte Carlo do EQM, que a krigagem
 375 ordinária. Para os outros tamanhos de amostras esse resultado não se manteve, sendo, portanto
 376 a krigagem a mais acurada e precisa.

377

378 Tabela 6. Resultados da simulação de Monte Carlo para os melhores resultados dos métodos (Met),
 379 Krigagem ordinária (Ko) e inversa da distância ponderada (IDP), com campo aleatório gerado sobre a
 380 suposição de dependência espacial pelo Semivariograma Exponencial, parâmetros pepita $C_0=1$,
 381 contribuição $C=0$ e alcance $a=0,1$, em diferentes tamanhos amostrais. Os resultados estão em termos
 382 de erro quadrático médio (EQM) e raiz quadrada do erro quadrático médio (RQEQM).

383 *Table 6. Results of the Monte Carlo simulation for the best results of the methods (Met), ordinary*
 384 *kriging (Ok) and inverse of the weighted distance (IDW), with random field generated on the*
 385 *assumption of spatial dependence by the Exponential Semivariogram, nugget $C_0= 1$ contribution $C =$*
 386 *0 and range $a = 0.1$, in different sample sizes. The results are in terms of mean squared error (MSE)*
 387 *and squared root of mean squared error (SRMSE).*

Met	Medidas Descritivas	EQM				RQEQM			
		100	200	500	750	100	200	500	750
Ko	Média	1,032	1,014	1,005	1,006	1,013	1,006	1,002	1,003
	Desvio padrão	0,163	0,108	0,059	0,047	0,080	0,053	0,029	0,023
IDP	Média	1,028	1,043	1,025	1,027	1,011	1,020	1,012	1,013
	Desvio padrão	0,156	1,126	0,068	0,057	0,076	0,062	0,033	0,028

388

389 **5 Conclusões**

390

391 O método geoestatístico krigagem foi o que melhor representou a distribuição espacial
392 da precipitação no estado do Rio Grande do Sul com as estimativas mais próximas das
393 observadas.

394 Para a média, a krigagem ordinária e universal apresentaram a menor erro quadrático
395 médio utilizando somente nove pontos para os cálculos, isso representa uma diminuição no
396 custo computacional.

397 Os resultados da simulação atestam ser a krigagem o interpolador com o maior grau de
398 confiabilidade nas estimativas de precipitação segundo os cenários avaliados.

399 Os métodos estatísticos utilizados nesse estudo não se mostraram adequados para
400 análise de valores de máximos.

401 Para trabalhos futuros recomenda-se a utilização de um conjunto de dados com o
402 máximo de pontos amostrais possíveis para verificar se com uma malha de amostras mais
403 densa o número mínimo de pontos se mantém.

404

405 **Referências bibliográficas**

406 Andriotti, J. L. S. 2004. Fundamentos de estatística e Geoestatística. São Leopoldo, Unisinos,
407 165p.

408 Baratto, J. & Wollmann, C. A. 2015. Perfil topo-oro-pluviométrico do estado do Rio Grande
409 do Sul, Brasil. Revista Interface, 10: 40–55.

410 Bivand, R. & Keitt, T. E R. B. rgdal: Bindings for the “Geospatial” Data Abstraction Library.,
411 2018. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=rgdal>>

412 Britto, F. P., Barletta, R. & Mendonça, M. 2008. Variabilidade espacial e temporal da
413 precipitação pluvial NO Rio Grande do Sul: Influência do fenômeno el niño oscilação sul.
414 Revista Brasileira de climatologia, : 37–48.

415 Camara, G. et al. Análise Espacial e Geoprocessamento. In: Análise espacial de dados
416 geográficos. Brasília: Embrapa, 2004. p. 208.

417 Cambardella, C. A. et al. 1994. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa
418 Soils. Soil Science Society of America Journal, 58 (5) : 1501.

419 Carvalho, J. R. P. De., Vieira, S. R. & Grego, C. R. 2009. Comparação de métodos para ajuste
420 de modelos de semivariograma da precipitação pluvial anual. Revista Brasileira de
421 Engenharia Agrícola e Ambiental, 13 (4): 443–448.

422 Chirinos, L. R. & Mallqui, C. G. 2016 Comparación entre Interpoladores Espaciales en el
423 Estudio de Distribución de Partículas Sedimentables Insolubles en la Cuenca Atmosférica de
424 Lima y Callao. Información tecnológica, 27 (4): 111–120.

425 De Carvalho, J. R. P., Assad, E. D. & Pinto, H. S. 2012. Interpoladores geoestatísticos na

- 426 análise da distribuição espacial da precipitação anual e de sua relação com altitude. Pesquisa
427 Agropecuaria Brasileira, 47 (9): 1235–1242.
- 428 Diggle, P. J. & Ribeiro JR, P. J. 2007. Model based geostatistics. [s.1.] springer, 242p.
- 429 Gardiman Junior, B. S. et al. 2012. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da
430 precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES) / Analysis of interpolation techniques for
431 spatial rainfall distribution in river basin Itapemirim (ES). Revista Ambiência, 8 (1): 61–71.
- 432 IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Área territorial. disponível em:
433 <[https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/por-cidade-estado-
434 estatisticas.html?t=destaques&c=43](https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/por-cidade-estado-estatisticas.html?t=destaques&c=43)>. Acesso em 30 de outubro. 2018.
- 435 Liska, G. R. et al. 2013. Estimativas de velocidade máxima de vento em Piracicaba – SP Via
436 séries temporais e teoria de valores extremos. Revista Bras . Biom, 31 (2): 295–309.
- 437 Lundgren, W. J. C., Silva, J. A. A. DA. & Ferreira, R. L. C. 2017. A Precisão da Estimativa
438 do Erro da Krigagem pela Validação Cruzada. Floresta e Ambiente, 24.
- 439 Marcuzzo, F. F. N., Andrade, L. R. & Melo, D. C. R. 2011. Métodos de interpolação
440 matemática no mapeamento de chuvas no estado do Mato Grosso. Revista Brasileira de
441 Geografia Física, 4: 793–804.
- 442 Medeiros, F. J., Lucio, P. S. & Silva, H. J. F. 2017. Análise de Métodos de Krigagem na
443 Estimativa da Precipitação no Estado do Rio Grande do Norte (Analysis of Kriging Methods
444 in the Estimation of Rainfall on Rio Grande do Norte State). Revista Brasileira de Geografia
445 Física, 10 (5): 1668.
- 446 Mello, C. R. et al. 2003. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos
447 parâmetros da equação de chuvas intensas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27 (5): 925–
448 933.
- 449 Monteiro, M. A. 2001. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem
450 dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. Geosul, 16 (31): 69–78.
- 451 Morales, R. A. V. & Araujo, C. E. S. DE. 2017. Avaliação e Comparação de Dois Métodos de
452 Qualificação de Dados Diários de Precipitação no Estado de Santa Catarina. Revista
453 Brasileira de Meteorologia, 32 (1): 65–75.
- 454 Pebesma, E. J. 2004. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. Computers &
455 Geosciences, 30 (7): 683–691.
- 456 Pebesma, E. J. & Bivand, R. S. 2005. Classes and methods for spatial data in R. R news, 5
457 (2): 9–13.
- 458 Perin, E. B. et al. 2015. Interpolação das variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação:
459 Revisão dos métodos mais eficientes. Geografia, 40 (2) : 269–289.
- 460 R core team. R: A Language and Environment for Statistical Computing, vienna, 2018.
461 Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>
- 462 Rizzo, M. L. 2008. Monte Carlo Methods in Inference. In: Statistical Computing With R. 1.

- 463 (Ed.). Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, p. 153–182.
- 464 Ross, J. L. S. 1985. Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação. Geography
465 Department, University of Sao Paulo : 25–39.
- 466 Royston, J. P. 1982. An Extension of Shapiro and Wilk's W Test for Normality to Large
467 Samples. Applied Statistics, 31 (2): 115.
- 468 Sansigolo, C. A. 2008. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima
469 e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). Revista Brasileira de
470 Meteorologia, 23 (3): 341–346.
- 471 Yamamoto, J. K. 2013. Geoestatística conceitos e aplicações. [s.1] Oficina de Textos, 215p.
- 472

Anexos



Conteúdo Da Revista

Submissões

- [Submissões Online](#)
- [Diretrizes para Autores](#)
- [Política de Privacidade](#)

Submissões Online

Já possui um login/senha de acesso à revista Pesquisas em Geociências?

[ACESSO](#)

Não tem login/senha?

[ACESSE A PÁGINA DE CADASTRO](#)

O cadastro no sistema e posterior acesso, por meio de login e senha, são obrigatórios para a submissão de trabalhos, bem como para acompanhar o processo editorial em curso.

Diretrizes para Autores

Instruções aos Autores

Os manuscritos devem ser cuidadosamente preparados pelos autores observando as instruções aqui apresentadas. Um modelo de documento (*template*) está disponível para acesso e utilização como padrão na confecção do arquivo de texto, incluindo quadros e tabelas.

[Arquivo modelo para preparação dos manuscritos](#)

Considerações gerais

1. Os manuscritos devem ser originais, com temática relacionada com a área de Geociências, conforme tabelas de áreas de conhecimento do CNPq e da CAPES.
2. Os manuscritos devem estar em consonância com os códigos de nomenclatura estratigráfica, zoológica e/ou botânica (nos casos dos manuscritos em paleontologia), bem como devidamente redigidos observando as normas de redação da língua mãe.

3. Na submissão, o autor correspondente deverá declarar que (i) o trabalho não foi publicado anteriormente (exceto na forma de um resumo ou como parte de uma palestra ou de um trabalho de conclusão de curso, tese ou dissertação); (ii) o trabalho não está sendo avaliado para publicação em outro órgão de divulgação; (iii) todas as informações apresentadas no manuscrito são de responsabilidade do autor correspondente, bem como dos demais coautores, se houver; e, (iv) se aceito, não será publicado na mesma forma por outro meio.

Língua

4. Línguas aceitas para submissão e publicação: português, espanhol ou inglês.

5. Textos e ilustrações devem ser preparados em uma só língua (exceto quando indicado).

6. Manuscritos redigidos em português: além do resumo, devem conter *abstract*.

7. Manuscritos redigidos em espanhol: além do *resumen*, devem conter *abstract*.

8. Manuscritos redigidos em inglês: além do *abstract*, devem conter resumo. Conservar a homogeneização da língua inglesa no formato americano ou britânico.

9. Termos não traduzidos de outra língua, distinta daquela a que se refere o manuscrito, devem constar em itálico.

Formatação do manuscrito para submissão

10. Cada manuscrito pode conter um total de até 40 páginas, incluindo referências, ilustrações e apêndices (quando houver). Páginas excedentes poderão ser publicadas mediante consulta prévia.

11. Utilizar o *software* Microsoft Word para produção do texto, com todas as margens ajustadas em 2,5 cm, espaço 1,5 entre linhas, fonte *Times New Roman*. Manter a formatação do texto o mais simples possível.

12. Todas as páginas do texto devem ser sequencialmente numeradas na margem superior direita.

13. As linhas devem estar numeradas de modo contínuo do início ao fim do texto.

14. Título do trabalho: alinhado à esquerda, em negrito, fonte tamanho 14. Manuscritos redigidos em português ou espanhol deverão ter o título vertido para língua inglesa e posicionados logo abaixo do título original em uma nova linha. Manuscritos em inglês deverão ter o título vertido para a língua portuguesa, também posicionado abaixo do título original.

15. Nome dos autores: tamanho 12, com a margem alinhada à esquerda, escritos em sequência, separados por vírgulas (e "&" antes do último); o último sobrenome de cada autor deverá ser escrito em caixa alta; exemplo: Carla Amaral RITTER, Pedro Luiz MENDONÇA & Adam SMITH (incluir números sobrescritos referentes aos vínculos institucionais explicitados a seguir).

16. Vínculo institucional dos autores: fonte 11, alinhado à esquerda, espaço simples (1), segunda linha com deslocamento da segunda linha em 0,63 cm; adaptar estritamente conforme os exemplos que seguem; não utilizar abreviações nos nomes das instituições.

1 Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil (E-mail: xxxx@xxx).

2 Centro de Ciência do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Av. dos Astronautas, 1.758, CEP 12.227-010, São José dos Campos, SP, Brasil (E-mail: xxxx@xxx, yyyy@yyyy).

17. Resumo, *resumen* e *abstract*: devem abordar de forma clara e concisa a problemática, os objetivos, os métodos, os resultados e as conclusões, nesta ordem; comportar até 20 linhas, em fonte

11, parágrafo único (reco de 1 cm à direita e à esquerda), espaço entre linhas simples, sem citações bibliográficas.

18. Palavras-chave (para manuscritos em português e inglês), *Palabras clave* (manuscritos em espanhol) e *Keywords* (manuscritos em português, espanhol e inglês): lista de até seis termos, separados por vírgula, fonte 11, espaço entre linhas simples, recuo de 1 cm à direita e à esquerda; evitar utilizar termos já descritos no título.

19. Organizar o texto nas seguintes seções: 1 Introdução; 2 Área; material e métodos (inserir nesta seção informações sobre o estado de arte: p. ex. caracterização geológica, estratigráfica, fundamentação teórica); 3 Resultados; 4 Discussão dos resultados; 5 Conclusões; Agradecimentos (opcional); e Referências bibliográficas. Em manuscritos com características particulares, formas distintas de divisão poderão ser aceitas, mediante consulta prévia.

20. Todo o texto, a partir da seção 1 Introdução (excetuando-se os agradecimentos), deve ser confeccionado em fonte 12, justificado, com primeira linha de cada parágrafo com recuo do lado esquerdo de 1,25 cm.

21. Os títulos das seções deverão constar ordenadamente com algarismos arábicos, em negrito, alinhados à esquerda, sem recuo, fonte 12.

22. Os subtítulos devem ser ordenados com algarismos arábicos, alinhados à esquerda, sem recuo, em itálico (p. ex.: 2.1 *Localização da área*, 2.2 *Estratigrafia*, 2.3 *Métodos*), assim sucessivamente, até a terceira ordem (p. ex.: 3.2.1), fonte 12.

23. Agradecimentos: sem numeração, fonte 11, espaço simples entre linhas, alinhado à esquerda, sem recuo, incluindo, quando cabíveis, números de projetos/processos, agências de fomento, esclarecimento sobre a relação do manuscrito como parte constituinte de dissertações ou teses de doutoramento etc. Os autores não devem fazer agradecimentos às suas próprias instituições.

24. As ilustrações (coloridas ou preto e branco) devem ser inseridas no arquivo Microsoft Word, para conversão em pdf, na posição desejada, centralizadas, com a respectiva legenda na posição superior (no caso de tabelas e quadros) ou inferior (figuras). A primeira citação de uma ilustração no texto deve ser feita antes de sua inserção. Ordenar as ilustrações de modo fluido, de modo a facilitar a leitura do texto e sua posterior e imediata visualização.

25. Materiais suplementares vinculados ao manuscrito (tais como mapas e figuras em formatos distintos, listas, tabelas com dados detalhados) poderão ser publicados, sob consulta, somente na forma *online*.

26. Recomendações gerais sobre a formatação: (i) não usar hifenização no processador de texto; (ii) usar negrito, itálico, subscrito, sobrescrito etc., somente quando pertinente; (iii) não importar tabelas e equações de programas gráficos (use o processador de texto para criá-las); (iv) não utilizar notas de rodapé; (v) utilizar sempre os símbolos internacionais de medidas ao invés dos nomes completos (p. ex.: 7 m ao invés de 7 metros).

Ilustrações

27. Ilustrações: figuras, tabelas e quadros são considerados ilustrações.

28. Figuras: são ilustrações gráficas, imagens fotográficas ou fotomicrográficas, com extensão jpg, ou jpeg, ou tiff; em resolução compatível para publicação (mínima de 300 dpi).

29. Tabelas: compreendem ilustrações que armazenam informações numéricas, construídas com bordas laterais abertas; não devem ultrapassar uma página em extensão; editadas em *Word* ou *Excel*.

30. Quadros: são ilustrações contendo elementos textuais, construídos com bordas fechadas; não devem ultrapassar uma página em extensão; editados em *Word* ou *Excel*.

31. Em casos excepcionais, apêndices poderão compor o manuscrito, alocados após as referências.

32. Numeração das ilustrações: o número das figuras, tabelas e quadros é independente (p. ex.: figura 1, figura 2, quadro 1, quadro 2, tabela 1), constituindo numeração e ordenamento próprios para cada tipo de ilustração, de forma sequencial.

33. Figuras compostas: trata-se de ilustração com mais de uma parte interna (vide exemplos na lista abaixo). Nestes casos, da parte deve conter uma letra maiúscula no canto superior esquerdo, em tamanho não maior que 14, conforme exemplos que seguem. A legenda deve ser iniciada por um título geral para a figura como um todo, seguida de suas respectivas partes.

Exemplo: Hadlich et al. (2017, v. 44, n. 3, p. 403)

Figura 1. Contexto geológico regional. A) Localização do Cinturão Dom Feliciano no sul do Brasil (adaptada de Chemale Jr., 2007); B) Domínios interno, central e externo do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Catarinense e falhas que os delimitam (adaptado de Basei et al., 2011a); C) Geologia da região de Gaspar (com base em Wildner et al., 2014).

Recomendação: atentar para as normas de pontuação, que devem ser seguidas, estritamente conforme exemplos.

34. No texto, as ilustrações deverão ser citadas conforme os exemplos apresentados: “A coluna estratigráfica do intervalo estudado é apresentada na figura 5.” “Dos táxons registrados, somente *G. occidentalis* (Fig. 7A) e *G. obovata* (Fig. 7B e C) correspondem....” “As características pluviométricas da área estão listadas, por município, no quadro 2, enquanto os valores das temperaturas médias e precipitação são apresentados separadamente (Tab. 3 e 4).”

35. Todas as ilustrações devem ser preparadas e inseridas no texto de modo a não necessitar ampliações ou reduções, com legibilidade e dimensões compatíveis a uma largura máxima de 8 ou 16,5 cm (para uma coluna ou para a largura da página, respectivamente) e altura máxima de 24 cm, considerando o uso econômico dos espaços disponíveis. Evitar espaços internos em branco.

36. Ilustrações coloridas poderão ser publicadas na versão eletrônica da revista, desde que a mesma seja apresentada também na versão em preto e branco, com conteúdo equivalente para publicação na versão impressa. No caso de utilização de gradientes de cor (ex. tons de cinza), garantir que os tons escolhidos sejam discerníveis no formato eletrônico e impresso.

37. Legendas dos manuscritos redigidos em português: todas as legendas das ilustrações devem vir acompanhadas de sua versão integral na língua inglesa.

38. Legendas dos manuscritos redigidos em espanhol: todas as respectivas legendas das ilustrações devem vir acompanhadas de sua versão integral na língua inglesa.

39. Legendas dos manuscritos redigidos em inglês: todas as respectivas legendas das ilustrações devem vir acompanhadas de sua versão integral na língua portuguesa.

40. Nos casos de figuras compostas, dar nome geral à figura e, logo após, às suas partes, tal como exemplificado a seguir: Figura 1. Mapa de localização. A) Bacia de Campos; B) Localização da área de mapeamento (polígono azul). *Figure 1. Location map. A) Campos Basin; B) Location of mapping area (blue polygon).*

41. Recomendações adicionais: (i) não usar qualquer tipo de arquivo otimizado para tela (tais como GIF, BMP, PICT, WPG); (ii) molduras das figuras devem ter espessura compatível com os caracteres internos; (iii) escalas gráficas devem ser expressas nas áreas das ilustrações; (iv) todos os símbolos devem ser explicados convenientemente nas legendas gráficas (dentro da figura) ou na legenda textual; (v) os menores símbolos ou letras devem ter uma altura mínima de 1 mm); (vi) sugere-se o uso da fonte Arial narrow para as ilustrações; (vii) no modelo de documento disponível no sítio da revista é apresentada uma tabela e um quadro, rigorosamente preparados conforme o padrão da revista.

42. Cada mapa ou imagem de localização deve comportar: seta Norte; escala de barra em quilômetros (km) ou metros (m); grade/malha e informação do sistema de coordenadas; fuso; datum.

Referências bibliográficas

43. Ao longo do texto e nas legendas, as citações devem seguir os formatos dos seguintes exemplos: Santos (1970), Smith & McGregor (1956), Lange (1947a, 1947b), e para três ou mais autores: Lange *et al.* (1951). Quando entre parênteses, referenciar os vários artigos primeiramente em ordem cronológica e, como segundo critério, em ordem alfabética, conforme os seguintes exemplos: (Lange, 1947a, 1947b; Lange *et al.*, 1951; Smith & McGregor, 1956; Axel, 1970; Smith, 1970).

44. O emprego do termo *apud* como recurso à citação de obras não consultadas diretamente pelo autor é desencorajado, salvo em casos excepcionais.

45. As referências devem ser listadas ao final do texto, separadas entre si por um espaço simples, ordenadas em alfabeticamente pelo sobrenome do primeiro autor, seguido dos demais autores, conforme, criteriosamente, os exemplos fornecidos.

Livros:

Passchier, C.W., Myers, J.S. & Kroner, A. 1990. *Field geology of high-grade gneiss terrains*. Berlin, Springer-Verlag, 150p.

Capítulos de livro:

Brown, G.C. 1982. Calc-alkaline intrusive rocks: their diversity, evolution and relation to volcanic arcs. *In*: Thorpe, R.S. (Ed.). *Andesites: orogenic andesites and related rocks*. London, John Wiley, p. 437-460.

Artigos em periódicos:

Andrés, M.F. 2008. Modelización del flujo em acuífero confinado sin discretización temporal. *Boletín Geológico y Minero*, 119(2): 273-282.

Russo, R.W. 1997. Facies and facies models. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 256(3/4): 7-34.

Russo, R.W. & Silver, P.J. 1996. Cordillera formation, mantle dynamics, and the Wilson cycle. *Geology*, 24(1): 5-35.

Russo, R.W., Silver, P.J. & Ramos, V. 1994. Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward. *Sedimentology*, 33(supl.): 4-27.

Sommer, F.W. 1959. Introdução ao estudo sistemático dos gêneros paleozóicos de esporos dispersos. II - Pollenites. *Boletim do Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia*, 197: 5-91.

Trabalhos publicados em anais de eventos:

Schneider, R.L., Mühlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R.A., Daemon, R.F. & Nogueira, A.A. 1974. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, SBG, v. 1, p. 41-66.

Trabalhos acadêmicos:

Macedo, F.P. 1982. *Petrologia do complexo granítico de São Gabriel, RS*. Porto Alegre, 193p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Massoli, M. 1991. *Relação entre o embasamento cristalino e os sedimentos basais do Subgrupo*

Itararé na região de Salto de Pirapora, SP. São Paulo, 94p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Silva, W.G. 2008. *Bioestratigrafia e variações relativas do nível do mar na Planície Costeira do Rio Grande do Sul: estudo da seção neogênica/quaternária do poço 2-CA-1-RS com base em registros palinológicos.* Porto Alegre, 84p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Relatórios internos e outras produções institucionais:

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2004. *Vocabulário básico de recursos minerais e meio ambiente.* 2a. ed., Rio de Janeiro, IBGE, 332p.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 2002. *Diagnóstico das condições das encostas marginais dos reservatórios dos rios Tietê e Paranapanema.* São Paulo, IPT, 440p. (Relatório 23.302).

Malcom, H.J. 1979. *Report on biostratigraphical results of samples from Colorado Basin.* Houston, EXXON/SIEXF, 152p. (Internal Report).

Mapas:

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.* São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 2 v., escala 1:1.000.000.

Documentos em meio eletrônico:

Camargo, K.C. & Spoladore, A. 2009. Considerações geológicas e geomorfológicas sobre a distribuição de cavernas carbonáticas ao primeiro planalto paranaense. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 30., 2009, Montes Claros. Anais...* Montes Claros. p. 1-17. Disponível em: < http://www.sbe.com.br/anais30cbe/30cbe_011-017.pdf >. Acesso em: 30 set. 2009.

Frater, H. 1998. *Landforms of the Earth.* Berlin, Springer, 1 CD-ROM.

Hinrichs, R. & Soares, A.P.P. 2001. Análise de metais pesados em pilhas e baterias. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 8., 2001, Curitiba. Anais...* Curitiba, SBGq. 1 CD-ROM.

Micheels, A., Bruch, A. & Mosbrugger, V. 2009. Miocene climate modeling sensitivity experiments for different CO2 concentrations. *Palaeontologia Electronica*, 12(2): 1-19. Disponível em: <http://palaeo-electronica.org/2009_2/172/index.html>. Acesso em: 05 out. 2009.



Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
 Av. Bento Gonçalves, 9500 - Prédio 43113
 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil
 E-mail: pesqgeoc@ufrgs.br