




Artigo

## Banco de Dados Espacial de Precipitação do Estado do Rio Grande do Sul

João Paulo Brubacher<sup>1</sup> , Guilherme Garcia de Oliveira<sup>1</sup> , Laurindo Antonio Guasselli<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>*Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.*

Recebido em: 11 de Fevereiro de 2021 - Aceito em: 30 de Maio de 2021

### Resumo

Atualmente, ao obter séries históricas de precipitação, é necessário realizar o preenchimento de falhas, interpolar e estimar a precipitação para área de interesse, principalmente em locais com baixa densidade de estações pluviométricas. Então, este estudo teve como objetivo gerar um banco de dados espacial com séries históricas de precipitação para o estado do Rio Grande do Sul, que permita a consulta a índices de precipitação por bacia, por município e por coordenadas geográficas, sem a necessidade de pós-processamento. A metodologia foi estruturada em cinco etapas: adquirir, organizar e preencher falhas das séries históricas de precipitação; interpolar, por meio do método Inverso da Potência da Distância (IPD), dados de chuva para uma malha regular com resolução espacial de 20 km; calcular índices de precipitação (Tempo de Retorno, Chuva Média Mensal e Anual, Índice de Anomalia de Chuvas (IAC), Número de dias de Precipitação); codificar e dividir bacias hidrográficas a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE); gerar banco de dados: organizar matrizes e tabelas para consultas. A validação cruzada da interpolação apresentou um EMA (Erro Médio Absoluto) que variou entre 1,02 e 3,20 mm, enquanto o EMQ (Erro Médio Quadrático) variou entre 6,4 e 8,4 mm. A disponibilização desse banco de dados na internet, com um arquivo de saída compatível com a maioria dos softwares de SIG, representa um ganho importante em pesquisas que necessitem utilizar longas séries temporais.

**Palavras-chave:** séries temporais, preenchimento de falhas, interpolação espacial, ottocodificação.

## Spatial Database of Precipitation of Rio Grande do Sul

### Abstract

Currently, when getting time series of precipitation, it is necessary to perform gap filling, interpolate and estimate precipitation for the study area, mainly in areas where there is a low density of rainfall stations. This study aimed to generate a spatial database with historical time series of precipitation for the state of Rio Grande do Sul, that allows the consultation of precipitation indexes by watershed, by municipality and by geographic coordinates. The methodology was structured in five stages: acquisition, organization and gap filling in time series of precipitation; interpolation, by the method Inverse Distance weighting (IDW), rain data for a regular grid with spatial resolution of 20 km; calculate precipitation rates (precipitation return, average monthly and annual rain, Rainfall Anomaly Index (RAI), number of rainy days); coding and dividing river basins from the Digital Elevation Model (DEM); generate database: organize matrices and tables to consult. The cross validation of the interpolation presented Mean Absolute Error (MAE) that varied between 1,02 and 3,20 mm, while the Mean Square Error (MSE) varied between 6,4 and 8,4mm. The availability of this database on the internet, with an output file compatible with most GIS software, represents an important gain in research that needs to use long time series.

**Keywords:** historical time series, gap filling, spatial interpolation, Pfafstetter code.

### 1. Introdução

A análise da variabilidade espacial e temporal do regime de precipitação é essencial em estudos que envolvem desde obras de engenharia até medidas mitigadoras relacionadas a eventos extremos. Além de fundamentais

para a nossa compreensão das bacias hidrográficas e dos processos hidrológicos (Goodrich *et al.*, 2008), é uma das variáveis climáticas de maior influência no meio ambiente, na economia e na sociedade (Minuzzi e Lopez, 2014).

Embora as análises das variações climáticas se destaquem em nível mundial (Dore, 2005; Wang *et al.*, 2018; Ghumman *et al.*, 2020; Tabari, 2020), a importância do monitoramento e o registro de séries temporais de precipitação permitem que projetos técnicos sejam viabilizados, no planejamento e prevenção de desastres (Chou *et al.*, 2013; Barcellos *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2021), normais climatológicas (Arguez *et al.*, 2012; Reboita e Kruche, 2018; Vieira *et al.*, 2018), projetos agrícolas e de engenharia hidráulica (Beijo *et al.*, 2005; Menezes *et al.*, 2010; Costa, 2016), entre outros. Esses estudos demandam séries longas de precipitação para serem viáveis, no entanto, dificuldades na sua obtenção e no seu processamento são recorrentes (Trenberth, 2011; Brubacher *et al.*, 2020; Veber *et al.*, 2020).

O Guia de Práticas Hidrológicas da Organização Meteorológica Mundial (OMM) (WMO, 2008) destaca a necessidade de maior coordenação dos esforços para que a coleta de dados atenda às necessidades dos gestores de água no futuro. Problemas relacionados à acessibilidade de dados, compatibilidade e confiabilidade terão que ser resolvidos para atender a essas necessidades.

Para tornar viáveis as propostas da OMM, no entanto é necessário considerar a realidade que se impõe a países de proporções continentais, como o Brasil. No estado do Rio Grande do Sul, assim como em outros estados brasileiros, as principais limitações em relação aos dados disponíveis se devem à baixa densidade da rede pluviométrica e ao pequeno período de observações disponível (Silva *et al.*, 2002).

Atualmente, as principais fontes de obtenção de dados de precipitação no Brasil, são as plataformas Hidroweb e o Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). O Hidroweb é uma ferramenta do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e oferece acesso ao banco de dados das informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reúne dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos. Segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA), o sistema conta com 2767 estações que monitoram, principalmente, as chuvas. O BDMEP do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) permite o acesso ao banco de dados meteorológicos, que inclui mais de 400 estações. Pesquisadores em todo o Brasil fazem uso desses bancos de dados (Vianna *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2020).

Em nível mundial, a OMM define normas técnicas internacionais, com recomendações para as instituições usuárias e mantenedoras para gerenciamento e identificação das redes de estações meteorológicas por meio de códigos (WMO, 2015). No caso das análises geradas por interpolação ou por equações de regressão, é fundamental conhecer o processo de geração dos dados meteorológicos pontuais (Vianna *et al.*, 2017). Parte desse conhecimento está armazenado nos metadados das estações meteorológicas,

composto pelas informações ou parâmetros auxiliares aos dados coletados (WMO, 2017).

Embora os constantes problemas de continuidade de medição afetem a formação de um banco de dados (Geraldini, 2017), as estações existentes permitem a sua consulta pontual. No entanto, caso o pesquisador tenha interesse em obter índices de precipitação (médias, máximas, etc.) por unidade territorial, como municípios ou bacias hidrográficas, é necessário o pós-processamento desses dados.

Criar bancos de dados (Goodrich *et al.*, 2008), que além da localização das estações pluviométricas possam expandir essas informações, por meio de malhas regulares, que sejam de acesso prático a índices pluviométricos, sem necessidade de pós-processamento, pode agilizar estudos científicos e técnicos nas áreas da climatologia, meteorologia e hidrologia.

Visando auxiliar o acesso a séries temporais de precipitação, este trabalho teve como objetivo gerar um banco de dados espacial com série histórica de chuvas, que permite consultar os índices de precipitação, por meio de uma malha regular de células, abrangendo bacias hidrográficas e municípios do Rio Grande do Sul, de acesso rápido e prático, sem a necessidade de pós-processamento.

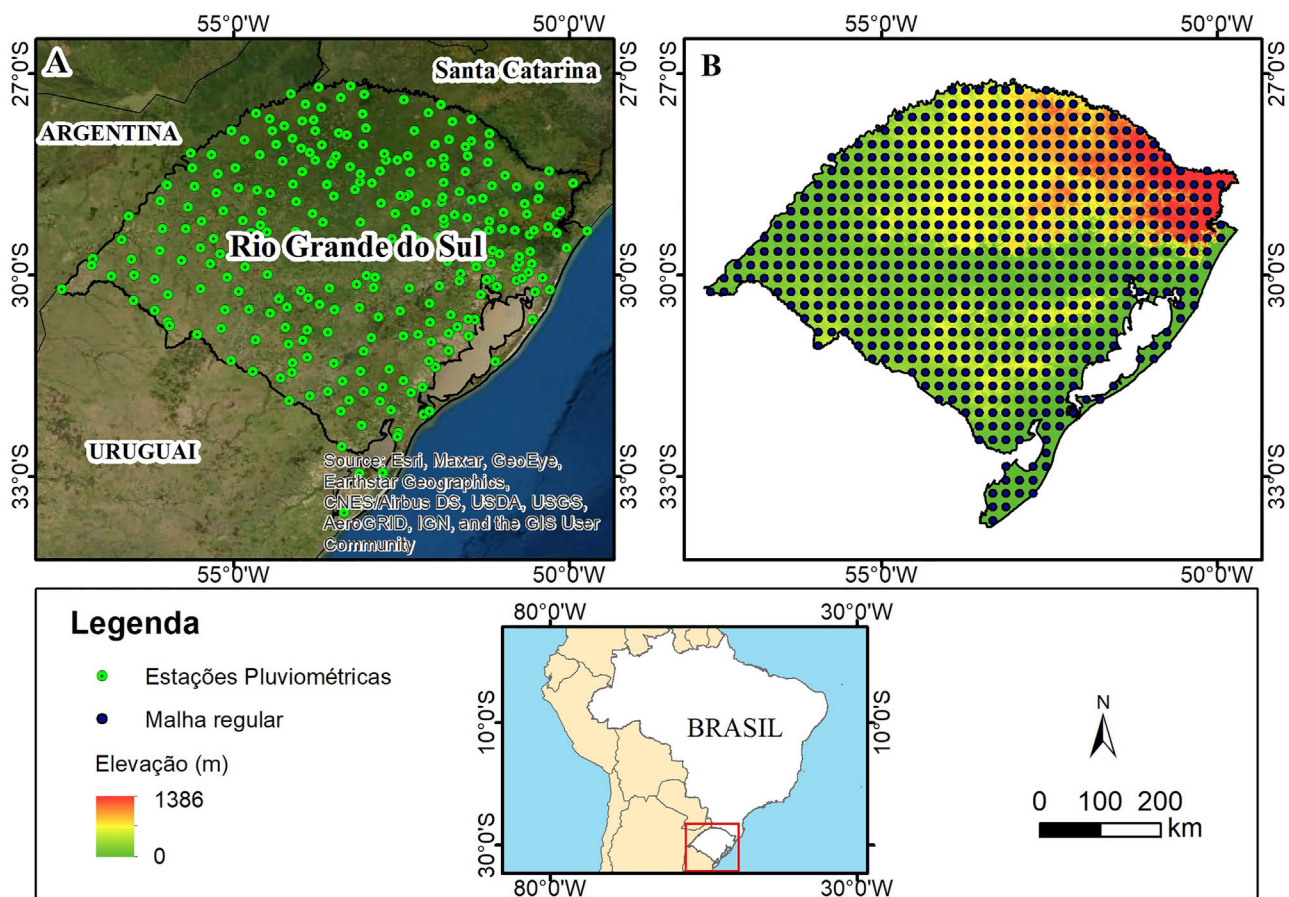
## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Área de estudo

O estado do Rio Grande do Sul localiza-se no sul do Brasil, divisa com o estado de Santa Catarina a nordeste, Argentina a noroeste, Uruguai a sudoeste e Oceano Atlântico ao leste (Fig. 1). Essa localização coloca o estado em uma zona climática de transição submetida, ciclicamente, a centros de pressão e sistemas atmosféricos atuantes no sul da América do Sul, com a participação de Sistemas Atmosféricos Extratropicais (massas e frentes polares) e Sistemas Intertropicais (massas tropicais e correntes perturbadas) (Sartori, 2003; Reboita e Kruche, 2018; Borsato e Mendonça, 2015). A principal característica dessa influência condiz ao fato de o estado registrar grandes variações de precipitação entre as áreas geográficas menos chuvosas (1200 mm anuais) e mais chuvosas (2000 mm anuais) (Rossato, 2011).

O regime pluviométrico no estado do Rio Grande do Sul não é homogêneo (Kahn e Kim, 1998; Forgiarini *et al.*, 2013). As particularidades do relevo sul-rio-grandense mostram diferentes comportamentos de precipitação (Sartori, 2003). A pluviosidade é condicionada principalmente pela dinâmica atmosférica em relação ao relevo que, através de sua compartimentação, promove a distribuição espacial da precipitação (Britto *et al.*, 2006; Barato e Wolmann, 2015).

Em relação à variabilidade sazonal da precipitação no estado do Rio Grande do Sul, Teixeira *et al.* (2013) verificaram, no período entre 1913 e 2009, que os meses



**Figura 1** - A) Estações pluviométricas; B) malha regular de células, para interpolação espacial das precipitações diárias de Pixels, e variação da elevação do terreno, estado do Rio Grande do Sul.

mais chuvosos foram setembro e outubro, com 153,36 e 151,02 mm; e entre fevereiro e agosto os menos chuvosos, com 123,65 mm e 128,26 mm.

Segundo [Rossato \(2011\)](#), as características variam entre as regiões. Na região Centro-Sul do estado, por exemplo, chove entre 1200 e 1700 mm anuais, distribuídos em 70-100 dias de chuva, e na região Centro-Norte chove entre 1700 e 2000 mm anuais em 110-150 dias de chuva.

## 2.1. Métodos

Para atingir o objetivo proposto, esse estudo foi estruturado em 5 etapas: a) adquirir, organizar e preencher falhas das séries históricas de precipitação; b) interpolar espacialmente dados de chuva para uma malha regular com resolução espacial de 20 km; c) calcular os índices de precipitação (Tempo de Retorno, Chuva Média Mensal e Anual, Índice de Anomalia de Chuvas, Número de dias de Chuvas); d) otocodificar e dividir as bacias hidrográficas a partir do Modelo Digital de Elevação; e) gerar banco de dados: organizar matrizes e tabelas para consultas.

### 2.2.1. Aquisição, organização de séries históricas e preenchimento de falhas

A primeira etapa consistiu na aquisição e organização dos dados de precipitação disponíveis no Hidroweb, da Agência Nacional de Águas ([ANA, 2019](#)), e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), obtidos por meio do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Foram utilizados dados de 287 estações pluviométricas ([Fig. 1](#)), com séries completas ou parciais no período entre 01/01/1987 e 31/12/2016, totalizando 30 anos de registros. Os dados foram organizados em uma matriz, em que cada linha representa um dia e cada coluna uma estação.

Para o preenchimento das falhas foram utilizados dois métodos: Regressão Linear Múltipla (RLM), em que a precipitação no posto com falhas é correlacionada estatisticamente com a precipitação de postos vizinhos ([Naghetini e Andrade Pinto, 2007](#)); e Redes Neurais Artificiais (RNA), modelos matemáticos empíricos, com capacidade de armazenar e disponibilizar conhecimento experimental, por meio de treinamento e de resposta aos estímulos (variáveis de entrada), segundo [Tokar e Markus \(2000\)](#).

Para a Regressão Linear Múltipla, as informações pluviométricas do posto  $Y$  são correlacionadas com as observações correspondentes de vários postos vizinhos, por meio de uma equação linear (Eq. (1)).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_i \cdot X_i + \varepsilon \quad (1)$$

em que  $Y$  é a variável dependente, nesse caso, a precipitação estimada;  $X_1, X_2, \dots, X_i$ , são as variáveis independentes, nesse caso os postos considerados;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{2i}$ , são os coeficientes da regressão;  $\varepsilon$  indica o erro residual.

O treinamento da RNA foi realizado pelo método retropropagativo com múltiplas camadas (Rumelhart *et al.*, 1986), usando a Regra Delta (Widrow e Hoff, 1960) para atualizar os pesos sinápticos da rede. A função de ativação para os neurônios foi a sigmoide unipolar, não linear, contínua e derivável em todo o seu domínio. Uma série de validação cruzada paralela à série de treinamento foi utilizada para evitar o superajustamento do modelo. O modelo de RNA utilizado é representado pela Eq. (2).

$$RNA\left(\frac{(xt - pi)}{Si}\right) = f_o\left(\sum_h w_o w_h \sum_i w_h \left(\frac{(xt - pi)}{Si}\right) + b_h + b_o\right) + e_o \quad (2)$$

em que  $w_h, b_h, f_h, w_o, b_o, e_o$  são os pesos sinápticos ( $w$ ); tendência ( $b$ ); funções de ativação ( $f$ ), respectivamente, das camadas ocultas ( $h$ ); das camadas de saída ( $o$ );  $e_o$  é o erro esperado da camada de saída.

Foi escolhida a estrutura de RNA com apenas uma camada oculta, assim como nos estudos de Depiné *et al.* (2014) e Oliveira *et al.* (2014), tendo em vista que essa arquitetura de RNA tem a capacidade de solucionar problemas complexos e gerar uma grande quantidade de conexões sinápticas, conforme o teorema apresentado por Hetch-Nielsen (1987) e reforçado por Hornik *et al.* (1989). O número de neurônios na camada oculta foi testado, variando entre  $ni - 2$  e  $ni + 4$  para cada configuração de dados de entrada ( $ni$  = número de *inputs*). Essa variação de número de neurônios foi escolhida com base em aplicações anteriores de RNA em hidrologia, como em Oliveira *et al.* (2013) e Depiné *et al.* (2014).

Uma vez que a inicialização dos pesos é aleatória, foram executadas 20 iterações para cada configuração, com taxa de aprendizagem redefinida para 0,01 no início de cada uma. Isso é necessário para minimizar a chance do treinamento estacionar em um mínimo local. A aceleração da convergência ocorre pela variação da taxa de aprendizado durante os ciclos de treinamento, a partir das soluções apresentadas em Vogl *et al.* (1988). Foi definido um número máximo de 5.000 ciclos de aprendizagem para interrupção, caso a rede não atinja o limiar de convergência pré-estabelecido.

Visando comparar os dois métodos, foi desenvolvido um algoritmo no software MATLAB, com os seguintes critérios: i) para uma estação vizinha ser considerada apta para o preenchimento de falhas, o coeficiente de correlação linear ( $r$ ) da precipitação nos dois locais deve ser igual ou superior a 0,6 e a distância máxima entre as estações não pode ultrapassar 100 km; ii) três é o número mínimo de estações vizinhas para executar o processo de preenchimento; iii) o conjunto amostral de treinamento e de validação dos modelos de RLM e RNA, em cada estação, é sempre o mesmo. Esses critérios foram propostos em Brubacher *et al.* (2020).

### 2.2.1. Interpolação pelo método IPD

A interpolação dos dados de precipitação foi realizada em ambiente MATLAB, com base em uma grade regular com resolução espacial de 20 km, abrangendo o estado do Rio Grande do Sul, totalizando 627 pontos de grade (células) (Fig. 1).

A interpolação pelo método Inverso da Potência da Distância (IPD) é uma alternativa viável para interpolar a precipitação diária em bacias hidrográficas ou locais sem dados pluviométricos, utilizando estações meteorológicas adjacentes (Assad e Evangelista, 1994; Viola *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2011; Wanderley *et al.*, 2012).

O IPD limita a interpolação ao intervalo dos valores utilizados, isto é, não gera uma resposta de saída fora do domínio de valores de entrada dos postos pluviométricos vizinhos. Os pesos são avaliados durante o processo de interpolação, tal que a influência de cada ponto é inversamente proporcional à distância do nó da grade. É um ponderador versátil, fácil de programar e bastante preciso (Lam, 1983). Estabelece que o peso de uma estação ou ponto amostral é inversamente proporcional a sua distância (elevada a uma determinada potência) do local onde se deseja estimar o valor (Eq. (3)).

$$xp = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^p} \cdot x_i\right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^p}\right)} \quad (3)$$

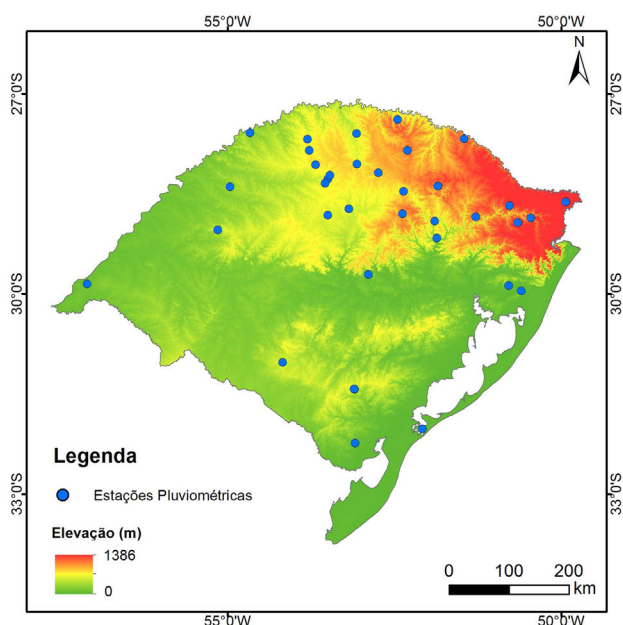
em que  $x_p$  é o atributo interpolado;  $x_i$  é o valor do atributo do  $i$ -ésimo ponto de amostragem;  $d_i$  é a distância euclidiana entre o  $i$ -ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado;  $n$  é o número de amostras;  $p$  é a potência escolhida.

Para chegar a melhor combinação de variáveis, foram testadas 60 combinações de interpolação, variando raio de procura, potência, quantidade de estações por quadrante (nordeste, sudeste, sudoeste e noroeste) e número mínimo de quadrantes com estações que atendem os critérios para uso (Tabela 1).

Para análise da melhor combinação, foram escolhidas 35 estações pluviométricas, de forma aleatória, regularmente distribuídas no estado (Fig. 2). Dois índices

**Tabela 1** - Combinações de valores testados para interpolação pelo método IPD.

Potência	Raio (graus decimais)	Nº máximo de estações por quadrante	Nº mínimo de quadrantes com dados disponíveis
1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	0,3°; 0,6°; 1,0°	2; 3	3; 4
Total de combinações: 60			



**Figura 2** - Estações pluviométricas utilizadas para validação.

estatísticos foram utilizados para mensurar a melhor combinação: Erro Médio Absoluto (EMA) (Eq. (4)); e Erro Médio Quadrático (EMQ) (Eq. (5)).

$$EMA = \left( \sum_i^n \frac{E - O}{O} \right) \cdot \frac{1}{n} \quad (4)$$

em que *EMA* = Erro Médio Absoluto; *E* = Valor estimado pela interpolação; *O* = Valor observado; *n* = Número de observações.

$$EMQ = \sum \frac{(E - O)^2}{n} \quad (5)$$

em que *EMQ* = Erro Médio Quadrático; *E* = Valor estimado pela interpolação; *O* = Valor observado; *n* = Número de observações.

### 2.2.3. Cálculo dos índices de precipitação

A partir da interpolação, foram atribuídos dados de chuva para cada uma das 627 células. Foram calculados dados agregados para o período entre 1987 e 2016: a) médias mensais; b) acumulados anuais; c) acumulados men-

sais; d) Índice de Anomalia de Chuva (IAC); d) tempo de retorno (TR); e) número de dias de precipitação. O IAC pode ser utilizado para avaliar a variabilidade temporal da precipitação, destacando os anos mais úmidos e mais secos da série temporal. Foi desenvolvido por Rooy (1965) e apresenta duas equações gerais, uma utilizada para períodos de anomalias positivas (Eq. (6)) e outra para anomalias negativas (Eq. (7)):

$$IAC = 3 \left[ \left( \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right) \right], \text{ anomalias positivas} \quad (6)$$

$$IAC = -3 \left[ \left( \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right) \right], \text{ anomalias negativas} \quad (7)$$

em que *N* = Precipitação atual; *-N* = Precipitação média da série histórica; *-M* = Média das dez maiores precipitações; *-X* = Média das dez menores precipitações da série.

A classificação de anos mais secos e de mais úmidos segue a metodologia utilizada por Freitas (2004) e Araújo (2009) que consideram o seguinte (Tabela 2).

Para a análise do tempo de retorno (TR), é necessário determinar as precipitações máximas anuais, com diferentes durações de chuva. Foram considerados TR de 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 1000 anos, e ajustada à distribuição de probabilidades de Gumbel, indicada para valores extremos (Gumbel, 1958).

A distribuição de Gumbel, conhecida como distribuição do valor extremo, é muito utilizada em estudos de precipitação, pela sua adequação às séries de precipitações máximas e pela simplicidade dos cálculos para estimação de seus parâmetros (Millington et al., 2011). Beijo et al. (2003), Alves et al. (2013) e Hartmann et al. (2020) estimaram a precipitação máxima utilizando esse método.

A análise de Gumbel delimita valores máximos e mínimos (valores extremos) de uma amostra de variáveis aleatórias independentes, identicamente distribuídas, quando o tamanho da amostra aumenta. Para o ajuste desta distribuição de probabilidades, é necessário extrair a média (*μ*) e a variância (*s*<sup>2</sup>) do conjunto amostral de precipitações para calcular os parâmetros de escala (*θ*) (Eq. (8)), e de forma (*β*), (Eq. (9)). Para qualquer probabi-

**Tabela 2** - Classes de Intensidade do Índice de Anomalia de Chuva.

Faixa do IAC	Classe de intensidade
>4	Extremamente úmido
2 a 4	Muito úmido
0 a -2	Seco
0 a 2	Úmido
-2 a -4	Muito seco
<-4	Extremamente seco

Fonte: Freitas (2004) e Araújo (2009).

lidade de ocorrência ( $P$ ) é possível calcular a Precipitação máxima ( $P_{max}$ ) utilizando a (Eq. (10))

$$\vartheta = \frac{\sqrt{6s^2}}{\pi} \quad (8)$$

$$\beta = \mu - 0,5772\vartheta \quad (9)$$

$$P_{max} = \beta - \vartheta \cdot \ln[-\ln(1 - P)] \quad (10)$$

em que  $\mu$  = Média das precipitações diárias máximas anuais;  $s^2$  = Variância das precipitações diárias máximas anuais;  $\vartheta$  e  $\beta$  = Parâmetros do modelo de distribuição de probabilidades de Gumbel;  $P$  = probabilidade de ocorrência ( $1/TR$ );  $P_{max}$  = Precipitação Máxima.

#### 2.2.4 Ottocodificação e divisão de bacias hidrográficas

A extração de bacias hidrográficas foi realizada a partir dos dados Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), um Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), em 2003, para a América do Sul, com resolução espacial de 90 m, refinado pelo Projeto TOPODATA, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para 30 m.

Os dados foram obtidos do site do INPE (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>) e processados no software ArcGIS 10.3, com os seguintes procedimentos: filtragem (para remoção de informações discrepantes); direções de fluxo (Jenson e Domingue, 1988); áreas acumuladas de drenagem, em que cada pixel tem valor correspondente à soma das áreas dos pixels que deságuam nele (Jenson e Domingue, 1988; Tarboton *et al.*, 1991); e extração automática da drenagem de acordo a hierarquia (Strahler,

1952) (Fig. 3), com base nas direções de fluxo e na grade de áreas acumuladas.

Segundo Strahler (1952), os canais sem tributários são designados de primeira ordem, os canais de segunda ordem são os que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem e assim por diante. Na extração automática de drenagem, foram definidos patamares considerando-se desde as bacias de 4ª ordem até as grandes bacias hidrográficas de 8ª ordem, do estado do Rio Grande do Sul (Guaíba e Uruguai).

A codificação das bacias foi baseada no método Pfafstetter (1989) com cada sub-bacia associada a uma superfície de drenagem denominada ottobacia. No sistema de ottocodificação original, para diferenciação entre rio principal e tributário se utiliza a respectiva área de drenagem como variável de decisão (Silva *et al.*, 2008). A ottocodificação da ANA (2015) considera apenas duas grandes áreas hidrográficas no RS. Entretanto, a metodologia proposta nesse estudo considerou 3 grandes bacias hidrográficas: rio Uruguai, lago Guaíba e Litorânea. A bacia Litorânea apresenta significativas diferenças com relação às demais, como apresentar baixa amplitude altimétrica e desaguar diretamente no Oceano Atlântico, no território do RS.

O processo de codificação e divisão das bacias foi realizado a partir das bacias de maior ordem. O primeiro dígito do código de uma bacia hidrográfica qualquer se refere à bacia de ordem maior a qual ela pertence. Após classificar as bacias de maior ordem, passa-se à divisão de bacias da ordem imediatamente inferior, sendo atribuído, assim, um segundo dígito ao código. A partir da codificação das bacias de sexta ordem foram inseridos dois dígitos, pois algumas bacias superiores resultaram em mais de

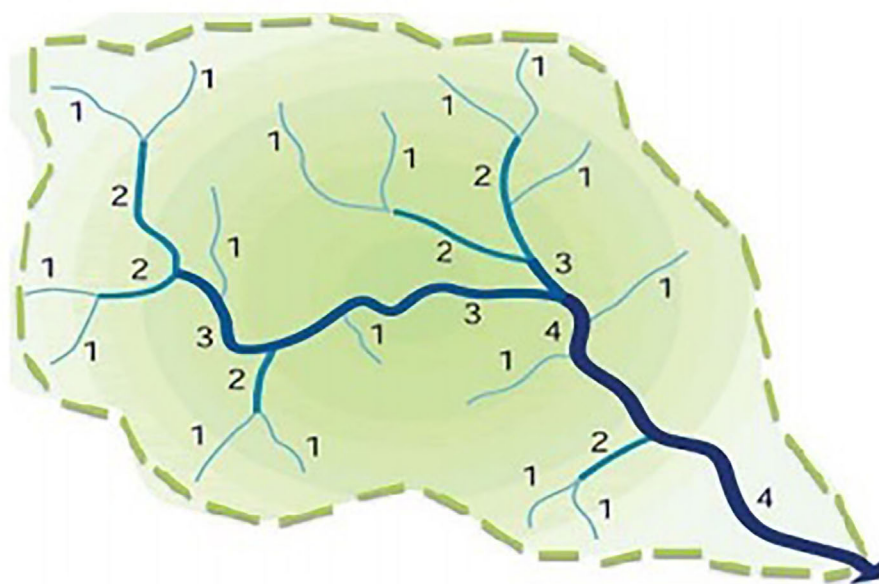


Figura 3 - Diagrama do sistema de ordenação de fluxo, baseado em Strahler (1952). Fonte: Afonso e Silva (2014).

10 sub-bacias. A codificação segue sucessivamente até a menor ordem desejada.

Nesse estudo, as bacias foram divididas da 8ª ordem até a 4ª ordem, resultando em 1.052 sub-bacias de 4ª ordem, codificadas com 8 dígitos numéricos. Para exemplificar a codificação, utilizamos uma bacia de quarta ordem, com o seguinte código sequencial: 14040412. A partir desse código, é possível afirmar que essa sub-bacia pertence a bacia 1 (oitava ordem), bacia 14 (sétima ordem), bacia 1404 (sexta ordem), bacia 140404 (quinta ordem) e, por fim, 14040412 (quarta ordem).

### 2.2.5 Criação do banco de dados

O banco de dados gerado consiste em um conjunto de arquivos vetoriais, tabelas e matrizes, estruturadas e armazenadas de modo a permitir consultas a séries temporais e índices de precipitação por unidades territoriais do RS. Para acesso às informações do banco de dados, foi criado o sítio eletrônico: <https://sites.google.com/view/bdchuvvars>.

Os arquivos vetoriais disponíveis no banco se referem: i) a grade de interpolação, na geometria de pontos, com 627 células regularmente distribuídas sobre o território do RS; ii) aos polígonos das bacias hidrográficas otocodificadas, com 1053 unidades em cinco diferentes ordens hierárquicas de drenagem; iii) aos limites municipais, na forma de polígonos, obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2019), em formato shapefile, que permite sua abertura em Sistemas de Informações Geográficas.

A partir de operações espaciais, como junção de tabelas por localização e estatísticas zonais, foram extraídas e organizadas tabelas e planilhas com extensão “.xlsx”, para consultas nos *softwares* Microsoft Excel e MATLAB. As seguintes tabelas estão disponíveis no banco de dados:

- i) Tabela de precipitação diária. Planilha com a precipitação diária em cada célula da grade de interpolação. Cada linha corresponde a um dia do período entre 01/01/1987 e 31/12/2016, e cada coluna uma célula localizada no RS;
- ii) Tabela de localização das células. Planilha com o código identificador de cada célula da grade de interpolação, contendo latitude, longitude, código da bacia na qual a célula está inserida e o código do município no qual está inserido;
- iii) Tabela de bacias e células mais próximas. Planilha com a indicação da célula mais próxima, e se refere apenas às bacias de 4ª ordem que não possuem nenhuma célula no seu interior;
- iv) Tabela de municípios e células mais próximas. Planilha com a indicação da célula mais próxima de municípios com pequena área territorial, e que não possuem nenhuma célula no seu interior.

Essas planilhas foram importadas para o MATLAB, e foi criado um arquivo com extensão “.mat”, resultando

em um banco de dados organizado em matrizes para consulta a partir de um script, desenvolvido no editor de códigos do próprio software. O usuário necessita apenas indicar: a data inicial e final da consulta; o tipo de recorte espacial (por bacia, por município ou coordenadas geográficas); e o código identificador da bacia/município ou coordenadas geográficas do ponto de interesse.

A partir da consulta, o algoritmo faz os seguintes procedimentos: identifica as células da grade de interpolação associadas ao recorte espacial selecionado pelo usuário; realiza o recorte temporal dos dados considerando as datas selecionadas; e gera as seguintes saídas para a área de interesse: i) séries temporais de precipitação média diária, mensal e anual; ii) séries temporais de precipitação máxima diária e anual; iii) séries temporais mensais e anuais de número de dias com precipitação; iv) série temporal com desvio de precipitação mensal em relação à normal de precipitação no período; v) normais climatológicas de precipitação acumulada mensal e número de dias com chuva; vi) precipitação acumulada anual média histórica; vii) precipitação máxima diária por TR. As saídas são salvas em formato “.xlsx”, permitindo o acesso a planilhas eletrônicas, como o Microsoft Excel.

## 3. Resultados

Os resultados foram organizados em 3 partes: a interpolação e os índices de precipitação resultantes, com base na malha regular; a delimitação e a codificação de bacias; e o banco de dados. Inicialmente, são apresentados os parâmetros utilizados para a interpolação da precipitação, depois os índices de precipitação, com mapas e gráficos das precipitações mensais e anuais, do Tempo de Retorno (TR) e do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC). A última parte dos resultados refere-se ao acesso e estrutura do banco de dados.

### 3.1. Interpolação

Para analisar as 60 combinações de variáveis com o método IPD (Quadro 1), foram considerados diferentes expoentes, raios de abrangência, número máximo de estações por quadrante e número mínimo de quadrantes com estações. A validação cruzada foi realizada em 35 estações pluviométricas distribuídas no estado (Fig. 2).

De modo geral, o Erro Médio Absoluto (EMA) da interpolação da chuva diária aumenta sensibilidade. O EMA das combinações com potência 1 (inverso da distância simples) foi de 2,41 mm/dia, enquanto ao usar a potência 3 (inverso da distância ao cubo) foi de 2,46 mm/dia.

O parâmetro de maior sensibilidade é o raio de busca para as estações vizinhas utilizadas na interpolação. De modo geral, quanto menor o raio de busca, menor é o EMA, variando de 1,74 mm/dia para o raio de 0,3° até 3,11 mm/dia para o raio de 1°. Porém, ao usar um raio mais rigoroso e restritivo de busca, a interpolação acaba

não sendo realizada por falta de estações em muitos locais e datas, inviabilizando a construção do banco de dados espacial.

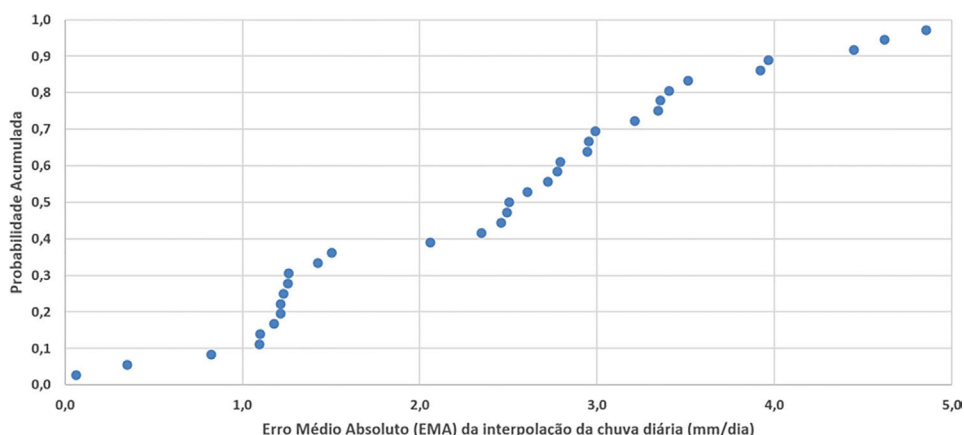
A escolha entre usar até 2 ou 3 estações por quadrante não resultou em diferença significativa de erro no processo de interpolação. Aceitando até 3 estações pluviométricas vizinhas por quadrante, o EMA reduziu de 2,43 mm/dia para 2,42 mm/dia. Por sua vez, ao aceitar a interpolação em locais sem estações pluviométricas em um dos quadrantes, incrementa-se o erro no processo de interpolação espacial. O EMA considerando pelo menos 1 estação em cada um dos quadrantes foi de 2,25 mm/dia, enquanto ao flexibilizar e aceitar um quadrante sem estações vizinhas o EMA foi de 2,61 mm/dia.

Considerando esses resultados e a perspectiva de interpolar a chuva diária para uma grade regular no estado do RS, foi escolhida a seguinte combinação de parâ-

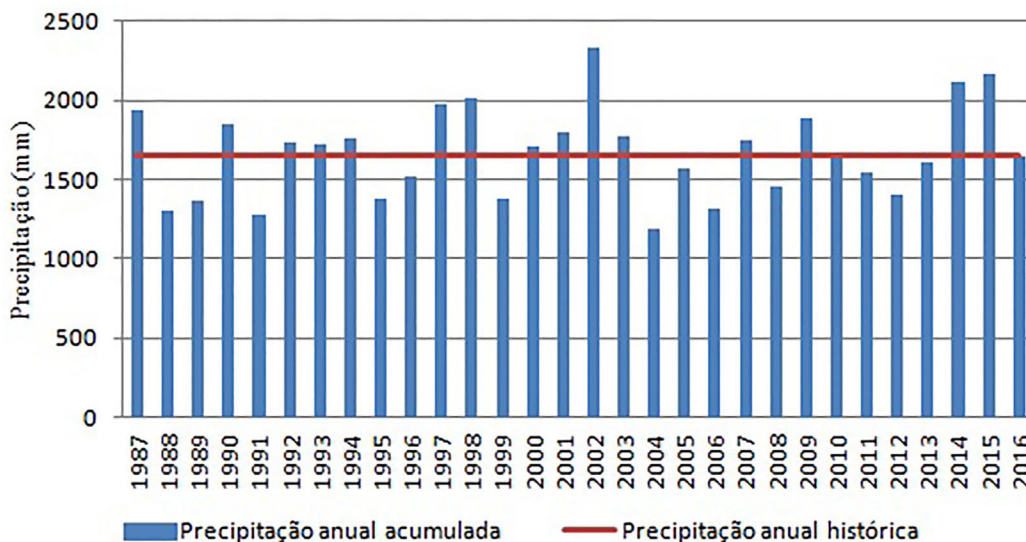
metros: potência = 1; raio de abrangência =  $0,6^\circ$ ; número máximo de estações por quadrante = 3; número mínimo de quadrantes com estações = 4. Essa combinação resultou em EMA de 2,39 mm/dia. A Fig. 4 mostra o gráfico de probabilidade acumulada do EMA ao interpolar a precipitação diária, considerando as 35 estações usadas no processo de validação cruzada.

### 3.2. Índices de precipitação

Com base na interpolação dos dados de precipitação entre 1987 e 2016, foram calculados dados relativos à precipitação para o estado do Rio Grande do Sul, considerando a interpolação das 627 células da malha regular. O gráfico da precipitação anual acumulada e da precipitação anual média (Fig. 5) mostra que a média do total acumulado anual foi de 1656 mm, que o menor valor do



**Figura 4** - Gráfico da probabilidade acumulada do erro médio absoluto no processo de interpolação diária para 35 estações pluviométricas do RS usadas na validação cruzada.



**Figura 5** - Gráfico da precipitação anual acumulada e da precipitação anual média, entre 1987 e 2016, estado do Rio Grande do Sul.



total acumulado foi de 1188 mm em 1991, e que o maior valor do foi de 2328 mm em 2002.

O Índice de Anomalia de Chuvas (IAC), quando aplicado para a variação anual, mostra alternância entre valores positivos e negativos (Fig. 6). Foram considerados como muito úmidos, os anos de 2002, com o maior IAC (6,1) do período analisado, e os anos de 2014 e 2015 com IAC de 4,2 e 4,6, respectivamente. Foram considerados como precipitação abaixo da média os anos de 2004, extremamente seco com IAC (-4,7) e os anos de 1988, 1991 e 2006 com IAC de -3,5, -3,8 e -3,44, respectivamente.

Quando a análise do IAC se aplica para a variação mensal, o gráfico da Fig. 7 auxilia na compreensão dos anos mais e menos chuvosos. O mês de novembro de 2009 apresenta um IAC positivo (10,9), o maior do período analisado. A precipitação em novembro de 2009 ajuda a

explicar o acumulado anual e o alto valor de IAC daquele ano. Outros meses considerados extremamente úmidos foram junho de 2014, outubro de 1997 e julho de 1987 (7,6; 7,4 e 7,3, respectivamente).

Em relação ao IAC negativo, em 2013, os meses de julho e dezembro foram extremamente secos (-6,8 e -6,9, respectivamente), assim como junho de 2016 e março de 1997 (-6,9 e -6,8).

Para entender a dinâmica espacial do IAC, a Fig. 8 apresenta os três anos mais secos (1988, 1991, 2004), de acordo com a média das células, e os três anos mais chuvosos (2002, 2014, 2015). Os anos de 2010, 2013 e 2016 apresentam valores de IAC mais próximos de zero, ou seja, mais próximos da média para o estado do Rio Grande do Sul

Entre os anos mais secos, há regiões que se destacam como extremamente secas (IAC < -4) e muito secas (-2 a

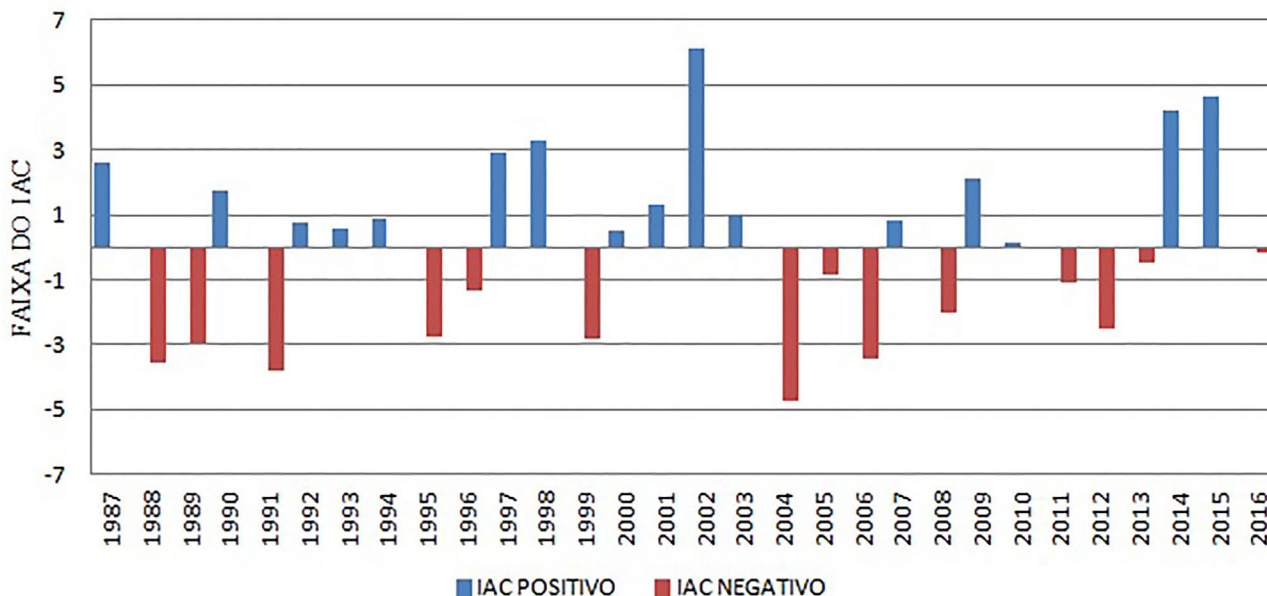


Figura 6 - Índice de anomalia de chuvas (IAC), entre 1987 e 2016, estado do Rio Grande do Sul.

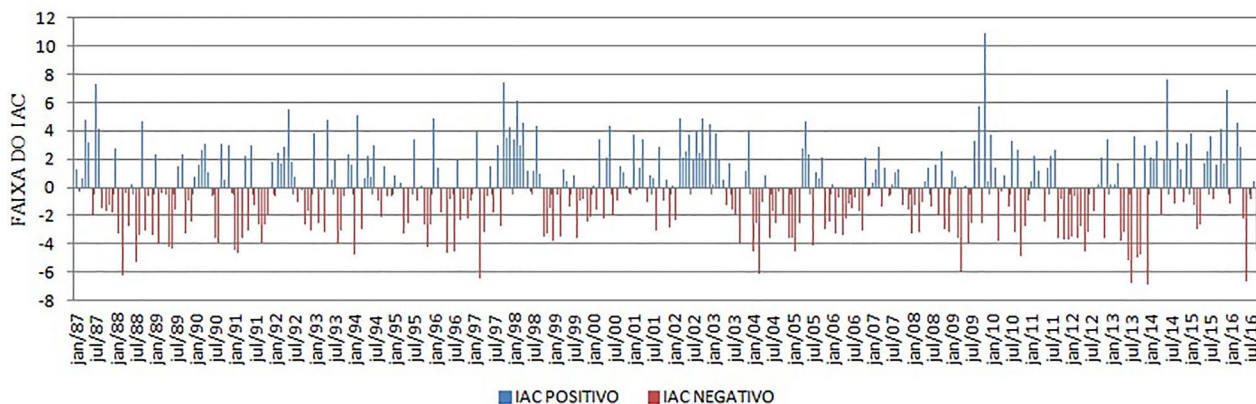
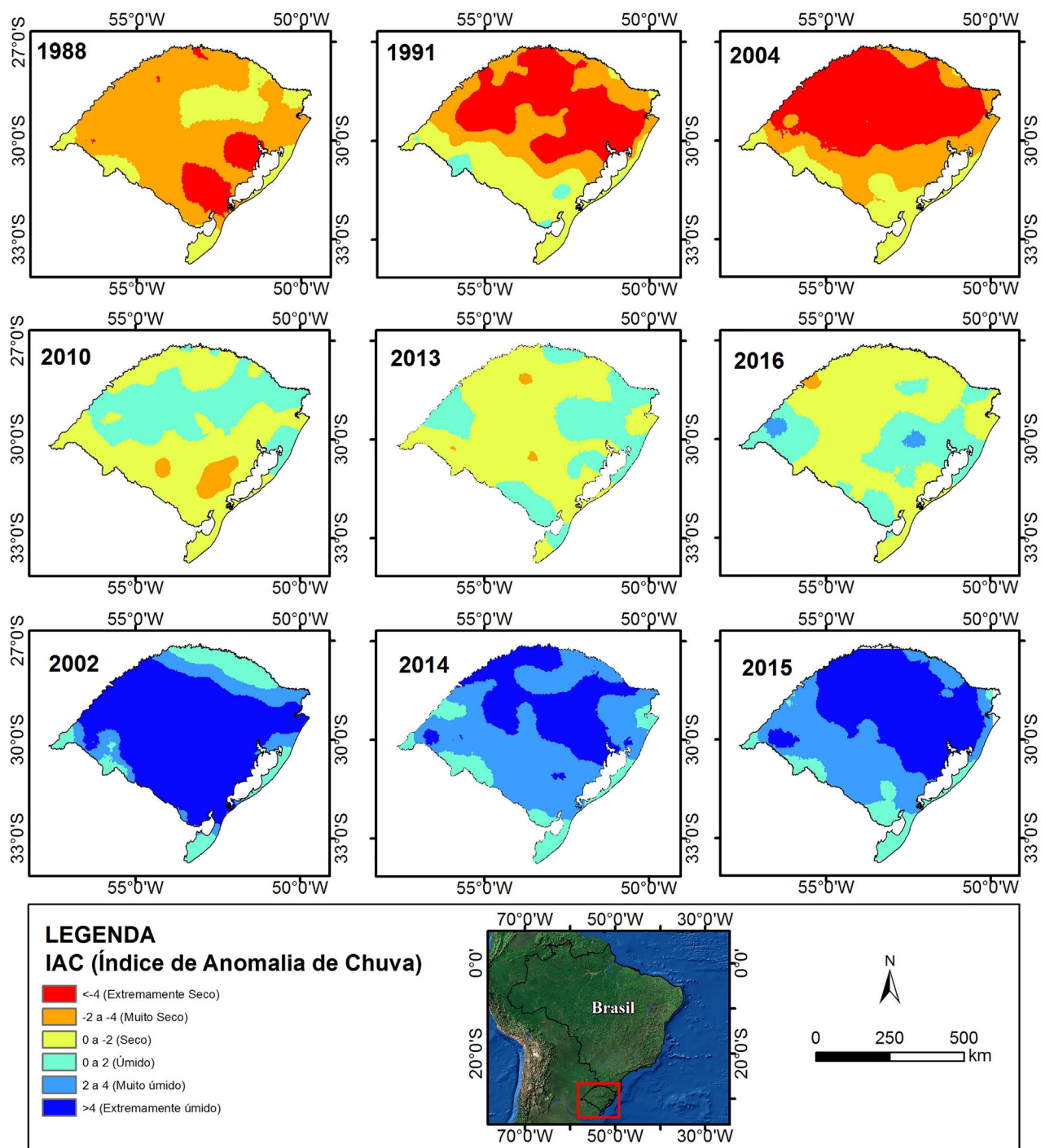


Figura 7 - Índice de Anomalia de Chuvas Mensal (IAC), entre 1987 e 2016, estado do Rio Grande do Sul.



**Figura 8** - Espacialização do IAC dos três anos mais secos (1988, 1991 e 2004), dos três anos com IAC mais próximos de zero (2010, 2013 e 2016) e dos três anos mais chuvosos (2002, 2014 e 2015), entre 1987 e 2016, estado do Rio Grande do Sul.

-4). Na média, 1991 foi um dos anos mais secos do período analisado, ainda assim, as regiões sul e sudoeste apresentaram áreas mais úmidas do que o restante do estado. Entre os anos mais chuvosos, a variação vai de úmido (0 a 2) a extremamente úmido (>4), com destaque para o ano de 2002, quando praticamente todo o estado foi considerado extremamente úmido (>4).

Na espacialização do TR, aplicado para as precipitações diárias, Tabela 3, os maiores valores ocorrem nas regiões noroeste e norte do estado, que se destacam devido à maior possibilidade de ocorrências de precipitações diárias acima da média, Fig. 9.

Na região oeste, há um ponto que apresenta uma variabilidade discrepante em relação às células do entorno.

**Tabela 3** - Valores de Precipitação para diferentes Tempos de Retorno, estado do Rio Grande do Sul.

TR (anos)	Precipitação (mm)
2	77,7
5	96,8
10	109,4
20	121,5
50	137,2
100	149,0
1000	187,8

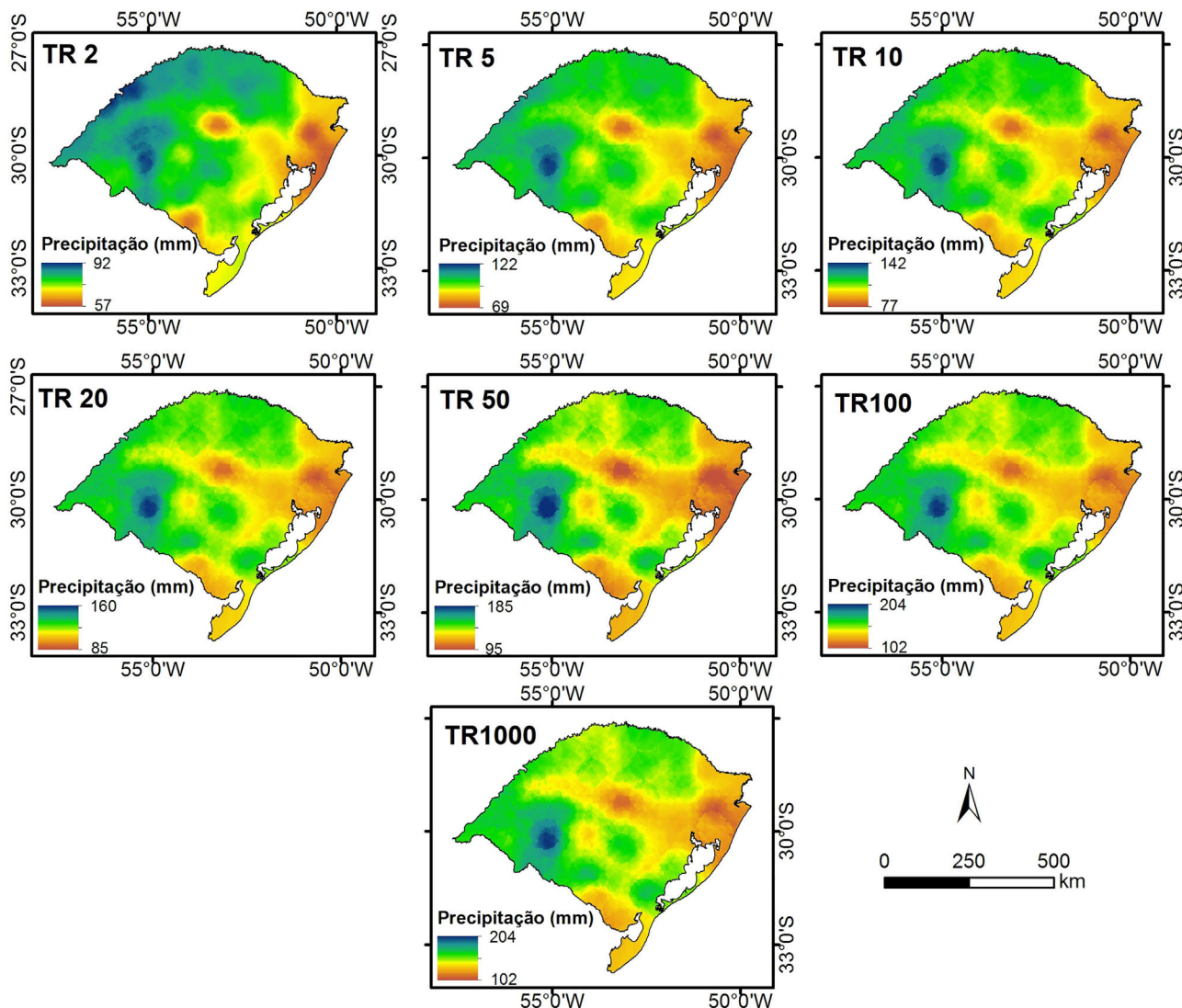
Esse fenômeno faz com que essa região apresente os maiores valores de Tempo de Retorno considerando a área do estado. Com essa discrepância, no processo de preenchimento de falhas, uma das estações apresentou valores superiores às demais, destacando-se também nas células daquela região, no processo de interpolação espacial.

A distribuição anual da precipitação demonstra diferenças entre as regiões sul e norte, para o período entre 1987 e 2016. O extremo sul do estado apresenta os índices mais baixos de precipitação, com uma média de 1188 mm, enquanto a região norte apresenta os maiores índices do estado, com média de 2020 mm (Fig. 10).

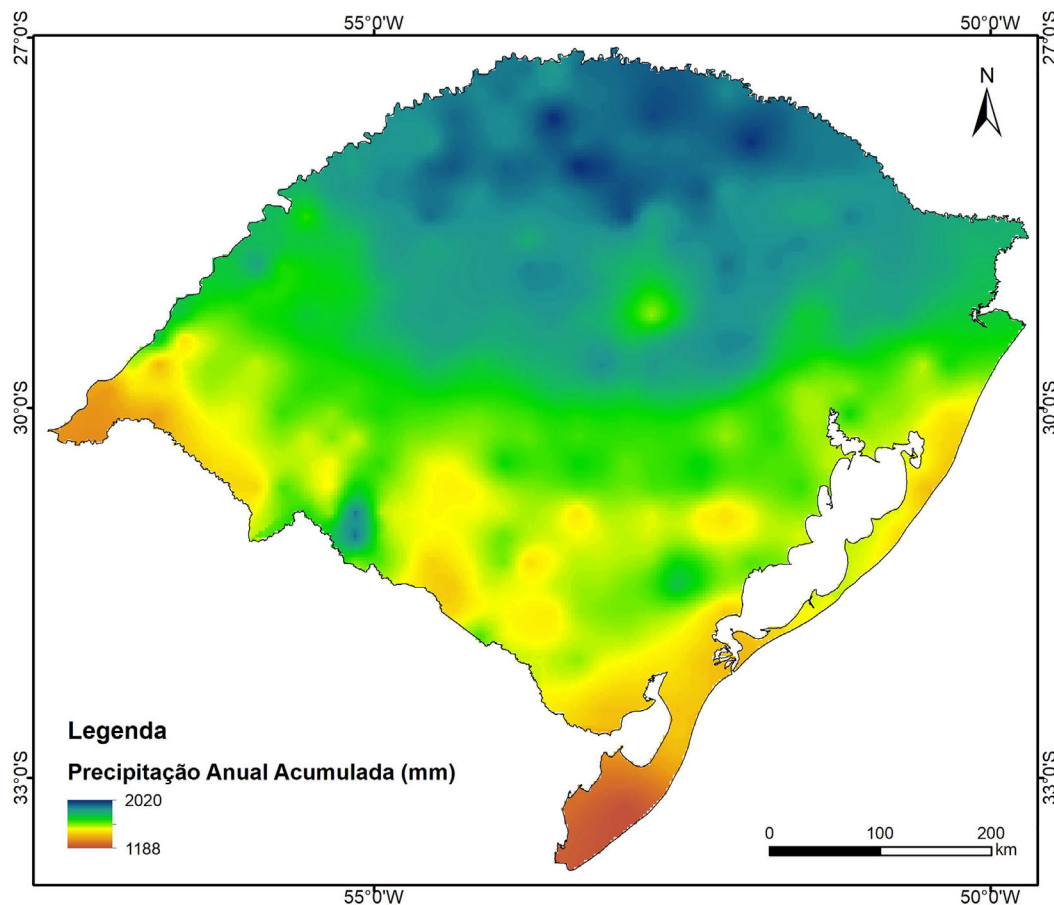
Em relação à distribuição mensal das precipitações (Fig. 11), destacam-se como os meses mais chuvosos setembro e outubro, e como meses menos chuvosos maio e agosto. A distribuição espacial também se mostra relevante, pois as maiores médias ocorrem na metade norte, enquanto na metade sul ocorrem as menores médias, com exceção do mês de novembro.

### 3.2. Delimitações e codificação das bacias hidrográficas

As bacias Guaíba, Uruguai e Litoral são consideradas de oitava ordem (Fig. 12). A bacia do Litoral foi defi-



**Figura 9** - Espacialização dos Tempos de Retorno (2, 5, 10, 20, 50, 100 e 1000 anos), estado do Rio Grande do Sul.



**Figura 10** - Espacialização da precipitação anual acumulada, entre 1987 e 2016, estado do Rio Grande do Sul.

nida, mesmo que o MDE em áreas de baixa amplitude altimétrica apresente limitação para interpolação em áreas muito planas e para definição de sub-bacias (Brubacher *et al.*, 2012). A Tabela 4 mostra a quantidade de sub-bacias, de cada ordem, dentro das 3 grandes bacias hidrográficas.

Com a delimitação das bacias de sétima ordem, foram delimitadas 14 bacias: 4 pertencentes à bacia hidrográfica do Guaíba, 5 à bacia hidrográfica do Litoral e 5 à bacia hidrográfica do rio Uruguai (Fig. 13).

Com a delimitação das bacias de sexta ordem, optou-se por nomear as bacias de acordo com a hidrografia oficial do Rio Grande do Sul. Alguns dos principais rios do estado são de sexta ordem e, portanto, podem ser importantes para trabalhos futuros. Ao todo, foram delimitadas 53 sub-bacias (Fig. 14). Devido às dificuldades relaciona-

das ao MNT para delimitação das sub-bacias litorâneas, optou-se por manter parte da planície costeira como uma única sub-bacia.

Em relação às sub-bacias de quinta ordem, foram delimitadas 240 sub-bacias. Dessas, 77 fazem parte da bacia hidrográfica do Lago Guaíba; 48 da bacia hidrográfica do Litoral e 115 da bacia hidrográfica do rio Uruguai (Fig. 15).

As sub-bacias de quarta ordem apresentam um grau maior de detalhamento. Ao todo, foram delimitadas 1053 sub-bacias (Fig. 16). Esse nível de detalhamento permite o acesso, no banco de dados, a bacias inferiores a 50 km<sup>2</sup>. Até mesmo bacias relativas a pequenos afluentes estão contemplados, cada um deles com uma célula da malha regular relacionada com uma série histórica de 30 anos.

**Tabela 4** - Quantidade de sub-bacias delimitadas pelo método de Strahler.

BH 8ª Ordem	7ª Ordem	6ª Ordem	5ª Ordem	4ª Ordem
Guaíba	4	19	240	351
Litoral	5	8	48	191
Uruguai	5	26	115	511
Total	14	53	403	1053

### 3.3. Banco de dados

A estrutura do banco de dados permite extrair a precipitação diária, mensal e anual para o estado do Rio Grande do Sul. A Fig. 17 mostra um exemplo anual (2009), mensal (Nov/2009) e diário (29/11/2009). Nessa data ocorreu precipitação acima da média no estado, concentrada, no entanto, na região noroeste (Fig. 17C) (Sau-

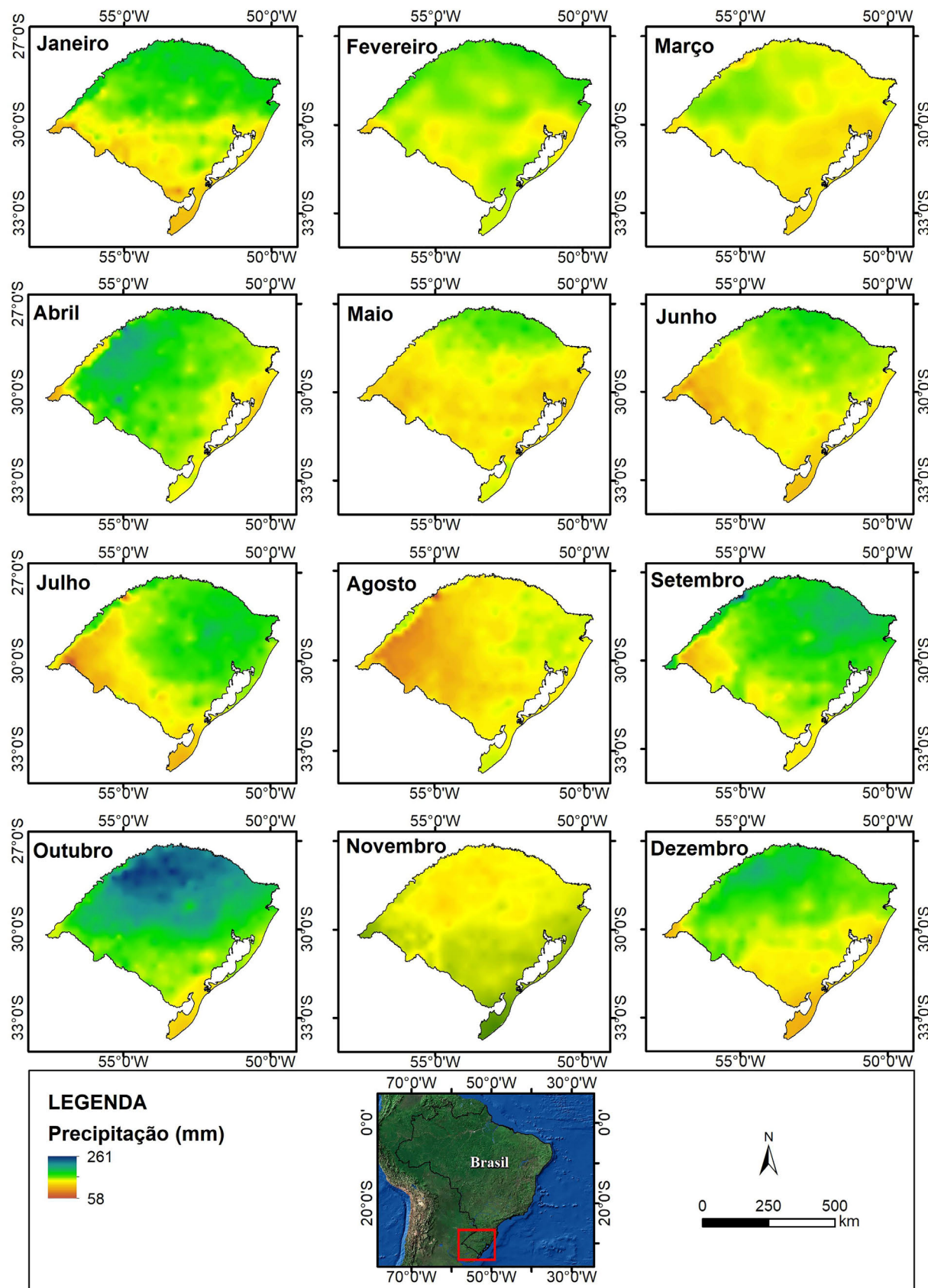


Figura 11 - Média mensal das precipitações, entre 1987 e 2016, estado do Rio Grande do Sul.

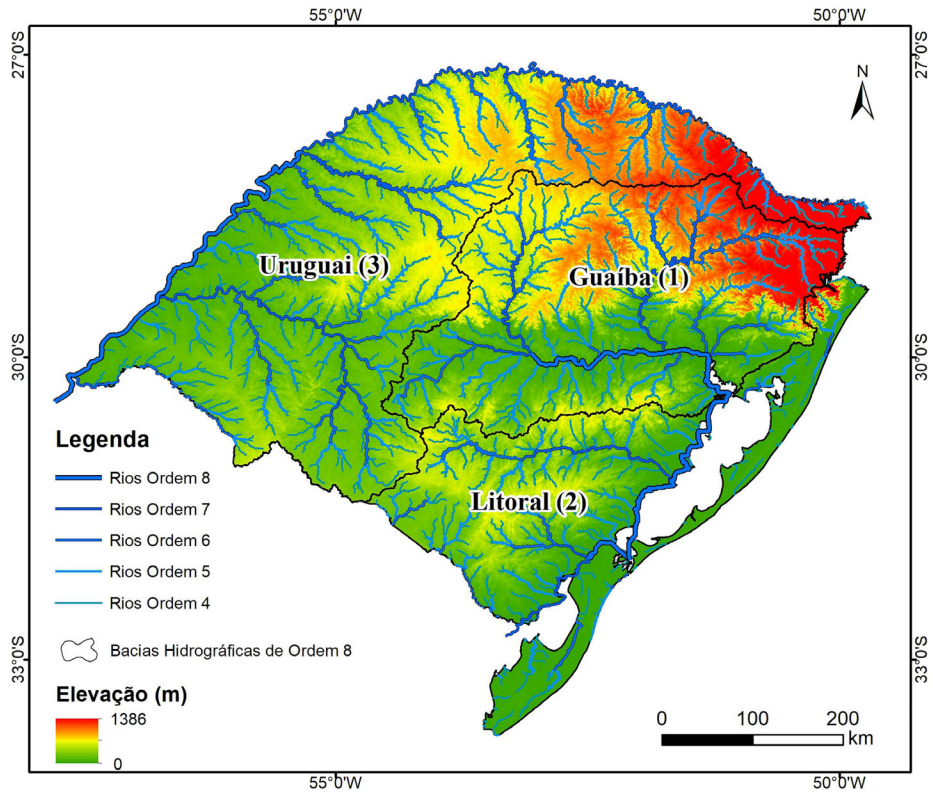


Figura 12 - Regiões hidrográficas, bacias de oitava ordem, e Modelo Digital de Elevação, estado do Rio Grande do Sul.

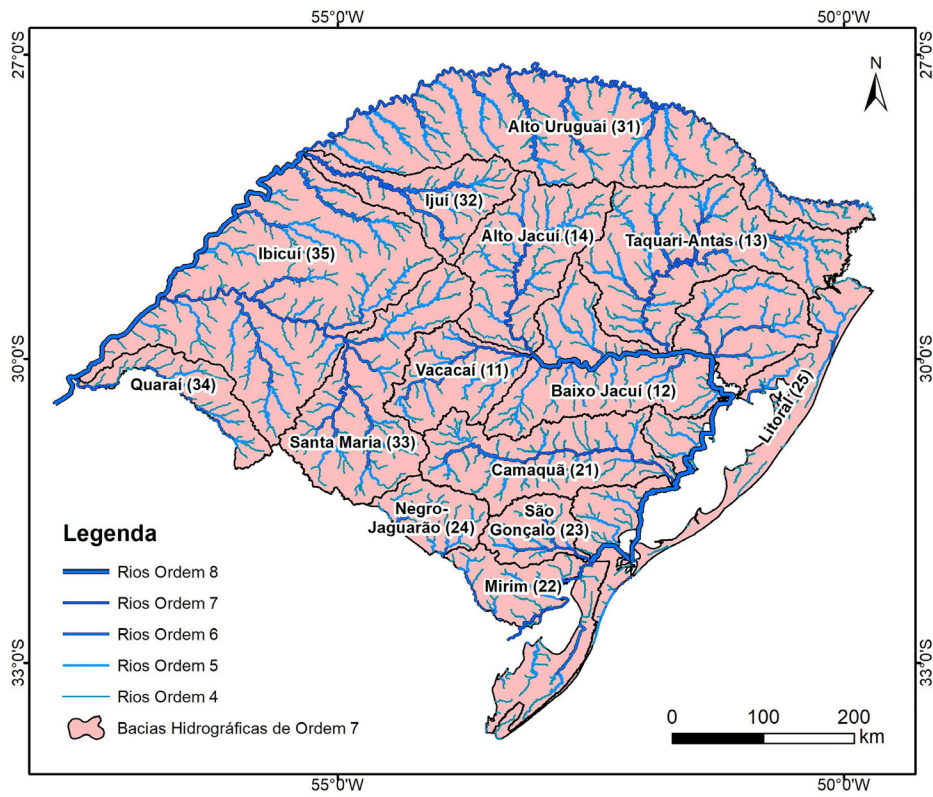
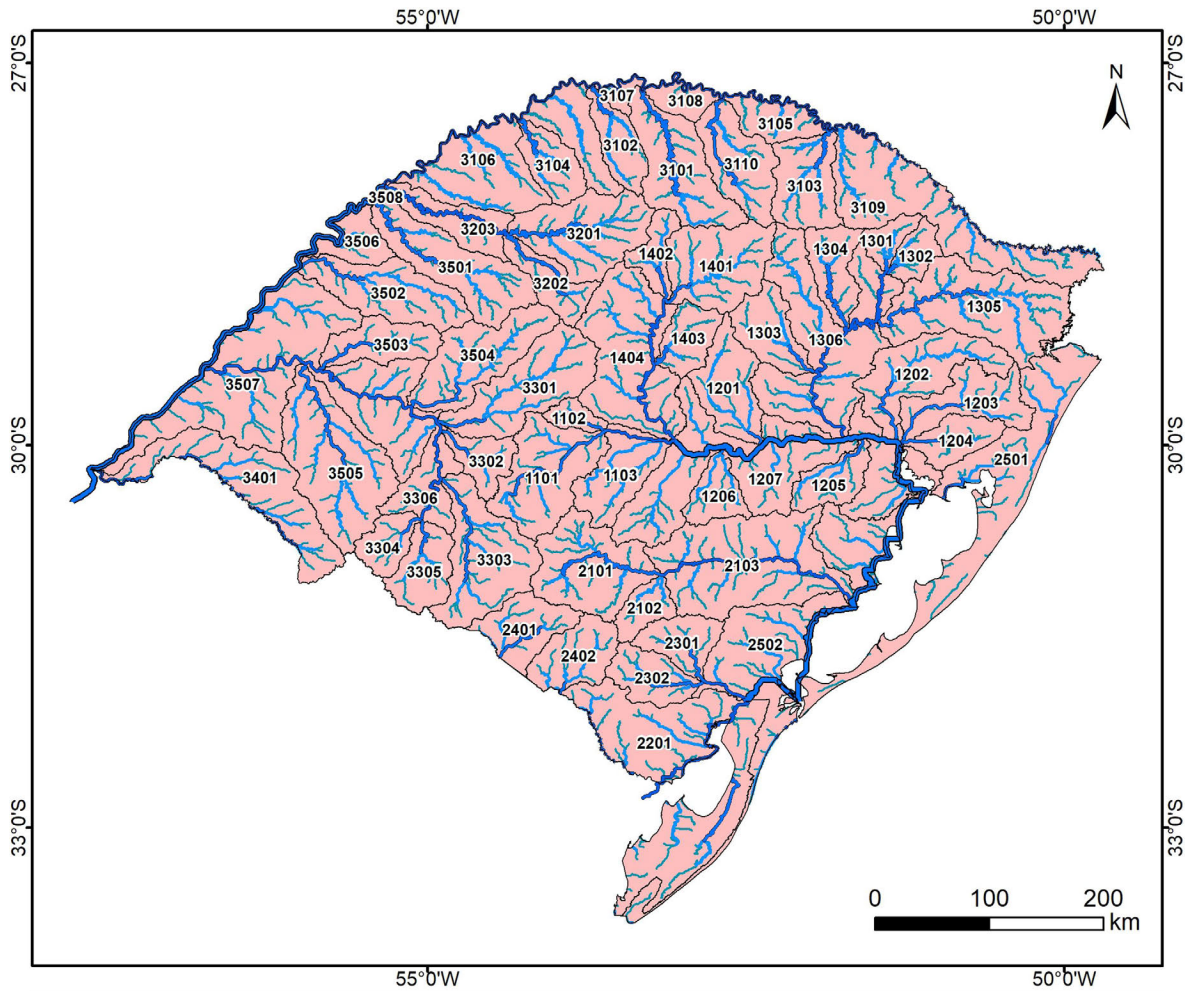


Figura 13 - Bacias Hidrográficas de 7ª ordem, Rio Grande do Sul.



<b>Legenda</b>			
	Rios Ordem 8		
	Rios Ordem 7		
	Rios Ordem 6		
	Rios Ordem 5		
	Rios Ordem 4		
	BH Ordem 6		
<b>RH Guaíba (1)</b>			
	1101, Alto Vacacaí		
	1102, Arroio do Arenal		
	1103, Vacacaí		
	1201, Pardo		
	1202, Caí		
	1203, Sinos		
	1204, Gravataí		
	1205, Arroio dos Ratos		
	1206, Arroio Iruí		
	<b>RH Litoral (2)</b>		
	2101, Alto Camaquã		
	2102, Alto Camaquã II		
	2103, Baixo Camaquã		
	2201, Mirim		
	2301, Piratini		
	<b>RH Uruguai (3)</b>		
	3101, Várzea		
	3102, Guarita		
	3103, Apuê		
	3104, Buricá		
	3105, Dourado		
	3106, Médio Uruguai 3		
	3107, Médio Uruguai 2		
	3108, Médio Uruguai 1		
	3109, Alto Uruguai		
	3110, Passo Fundo		
	3201, Alto Ijuí		
	3202, Ijuizinho		
	3203, Ijuí		
	3301, Alto Ibicaí		
	3302, Cacequi		
	3303, Alto Santa Maria I		
	3304, Alto Santa Maria III		
	3305, Alto Santa Maria II		
	3306, Baixo Santa Maria		
	3401, Quaraí		
	3501, Piratini		
	3502, Icamapuã		
	3503, Itu		
	3504, Jaguarí		
	3505, Ibirapuítã		
	3506, Piratini		
	3507, Baixo Uruguai		
	3508, Médio Uruguai 4		

Figura 14 - Bacias Hidrográficas de 6ª ordem, estado do Rio Grande do Sul.

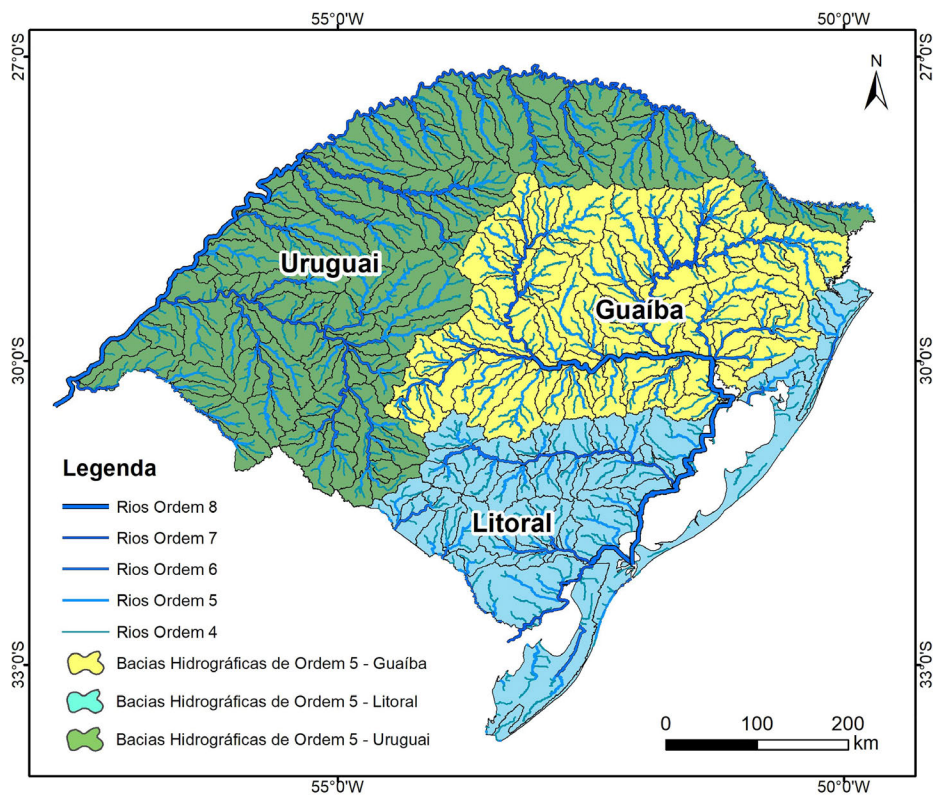


Figura 15 - Bacias Hidrográficas de 5ª ordem, estado do Rio Grande do Sul

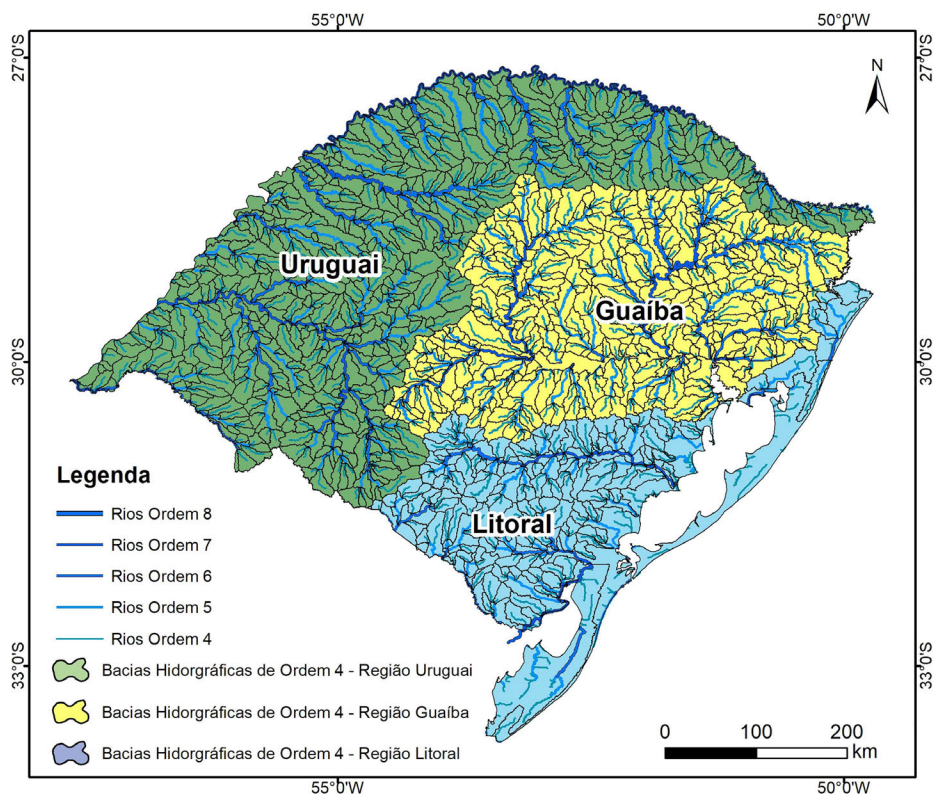


Figura 16 - Bacias Hidrográficas de 4ª ordem, estado do Rio Grande do Sul.



sen, 2011). Em algumas células a precipitação chegou a 142,9 mm em um dia, refletindo na precipitação mensal (Fig. 17B), com mais de 600 mm em alguns pontos e na precipitação acumulada anual (Fig. 17C), com 2289 mm. Esse exemplo de consulta foi realizado considerando todo o estado, mas poderia ter sido aplicada a um município ou a uma das sub-bacias apenas.

Ao utilizar o script para o MATLAB, o usuário pode acessar os dados médios de uma série de índices por município, por bacia ou por coordenada geográfica. O gráfico da Fig. 18 demonstra a precipitação acumulada para a bacia do rio dos Sinos, de ordem 6 (Código: 1203), localizada na porção leste do estado do Rio Grande do Sul, para o período de 1987-2016, extraídos por meio do MATLAB.

A segunda forma de acesso ao banco de dados é a extração dos dados por município. O gráfico da Fig. 19 demonstra o número de dias de chuva (variável possível de ser extraída por meio do banco de dados) no período entre 1987 e 2016, para o município de Porto Alegre.

A terceira forma de acesso ao banco de dados é por Coordenada Geográfica. Para exemplificar, inserimos a Coordenada correspondente ao município de Santa Maria (Lat: 29°41'29", Long: 53°48'3"), localizado na região central do estado. O gráfico da Fig. 20 mostra a média de precipitação e a média de dias de precipitação mensal, entre 1987 e 2016.

#### 4. Discussão

Em relação ao processo de interpolação, foram testadas 60 combinações de parâmetros, envolvendo a potência, o raio de abrangência e restrições em relação aos quadrantes. Fica evidente pelos resultados apresentados que o processo de interpolação espacial foi mais sensível ao raio de abrangência e à exigência de pelo menos uma estação em cada um dos quadrantes.

Ampliar o raio de busca, aceitando interpolar a chuva diária em locais com estações vizinhas cada vez mais

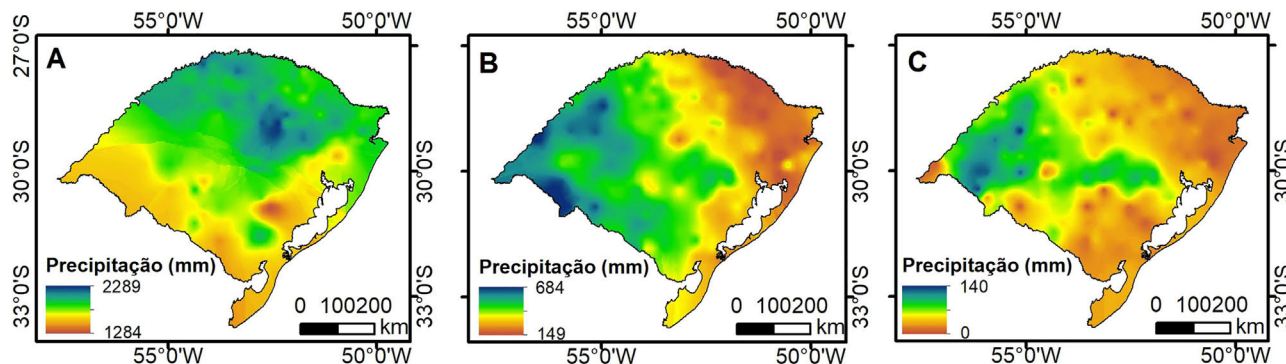


Figura 17 - Espacialização da precipitação: (A) do ano de 2009; (B) do mês de novembro de 2009; (C) do dia 29 de novembro de 2009, estado do Rio Grande do Sul.

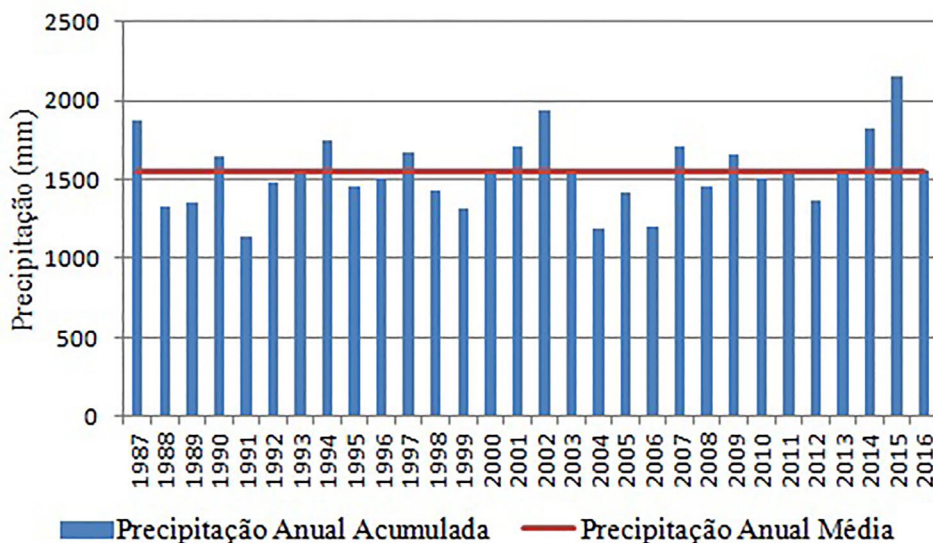


Figura 18 - Precipitação Anual Média, bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

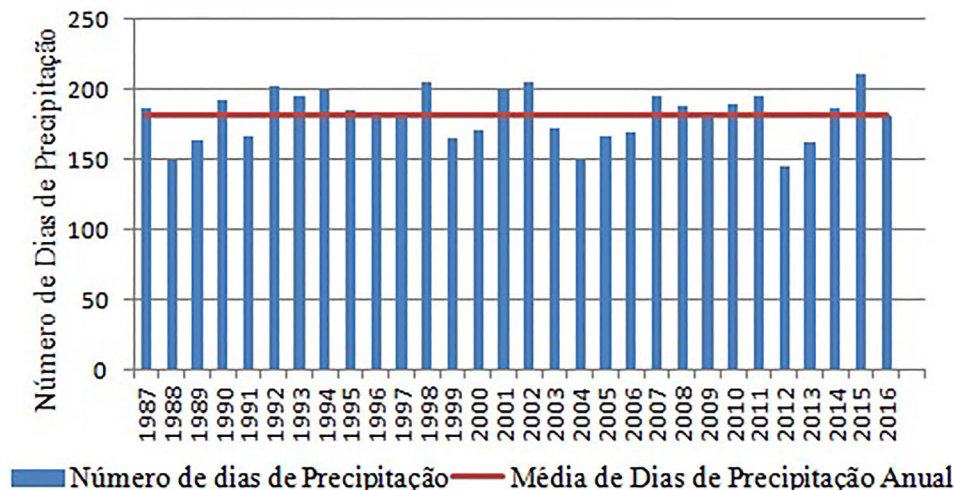


Figura 19 - Número de dias de precipitação, entre 1987 e 2016, município de Porto Alegre.

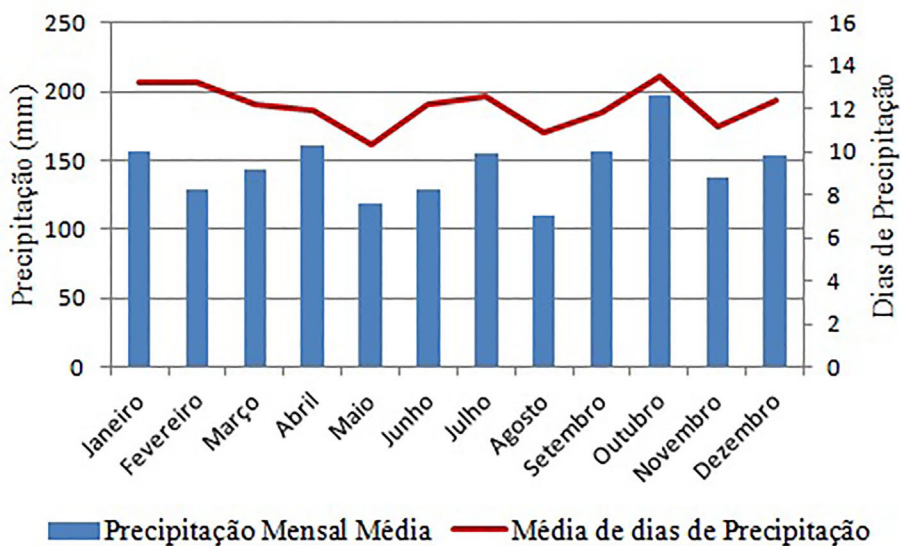


Figura 20 - Média mensal de precipitação e média mensal do número de dias de precipitação por coordenada geográfica, entre 1987 e 2016, município de Santa Maria.

distantes, viabiliza o processo de interpolação em áreas remotas, com pouca disponibilidade espacial de estações pluviométricas. Porém, isso incrementa consideravelmente os erros no processo. Mas esse resultado está de acordo com o esperado, uma vez que a variabilidade espacial da precipitação em um dia qualquer costuma ser alta, e buscar dados de estações muito distante introduz erros e incertezas no processo (Bega *et al.*, 2005; Caldana *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2019).

Entretanto, restringir demais o raio de busca limita o processo de interpolação apenas a locais com muitas estações vizinhas e próximas, e inviabiliza a construção do banco de dados proposto. Assim, a escolha de um raio intermediário ( $0,6^\circ$ ) para a interpolação espacial e elaboração do banco de dados espacial se deve ao compromisso

de reduzir os erros da interpolação, mas ao mesmo tempo garantir que a grade resultante tenha os valores interpolados de precipitação de forma contínua, espacial e temporal.

Com a combinação escolhida, o EMA foi de 2,39 mm/dia nas 35 estações de validação cruzada. O EMQ foi de 6,82 mm/dia e o erro, não ultrapassado em 90% das estações, foi de aproximadamente 4 mm/dia. Ao analisar a interpolação diária em duas datas distintas, com base nesse método, Lucas *et al.* (2013) calcularam um EMQ de 5,7 e 7,6, respectivamente; Silva *et al.* (2011), interpolaram dados de precipitação com EMP (Erro Médio Percentual) variando de 7,9 a 14,6%; e Cecílio e Pruski (2003), obtiveram um EMP que variou de 10,5 a 12,93%.

Segundo [Ly \*et al.\* \(2013\)](#) o sucesso da interpolação espacial varia de acordo com o tipo de modelo escolhido, seu modo de gestão geográfica e a resolução utilizada. A qualidade de um resultado é determinada pela qualidade do espaço contínuo de precipitação, que resulta do método de interpolação utilizado. [Chen \*et al.\* \(2017\)](#) alertam que o uso de diferentes esquemas de interpolação numa mesma bacia pode gerar diferenças significativas e desvios da distribuição espacial real da chuva.

O método de interpolação por Inverso da Potência da Distância (IPD) é uma alternativa viável para interpolar precipitação diária em bacias hidrográficas. Segundo [Farias \*et al.\* \(2017\)](#) o método IPD apresenta desempenho superior aos demais métodos, com menores valores de erro médio, menores diferenças individuais entre os valores observados e estimados, além de um menor erro médio em relação a superestimação e subestimação dos valores estimados.

Ao aplicar o método IPD é possível definir o valor do expoente. Esse estudo testou 6 expoentes diferentes, buscando avaliar qual apresentava o menor erro em relação aos dados de campo. O expoente que apresentou os menores EMA e EMQ foi com a potência “1”. Esse valor da potência pode variar, na busca de melhor ajuste à superfície desejada. Além disso, esse método é mais simples que outros métodos ([Dirks \*et al.\*, 1998](#); [Xavier \*et al.\*, 2016](#)).

A utilização desse método permitiu um melhor ajuste dos valores armazenados no banco de dados com as séries pluviométricas utilizadas. Desse modo, a atribuição de dados à malha regular supre as necessidades de pesquisadores ao utilizar esses dados em sub-bacias ou pequenas cidades.

A espacialização da precipitação anual acumulada, no período entre 1987 e 2016, se mostrou compatível com o proposto por [Rossato \(2011\)](#). A autora utilizou o método Krigagem para regionalizar a precipitação. A variação espacial da precipitação acumulada anual varia entre 1200 e 1500 mm anuais, no centro-sul do estado, e entre 1700 e 1900 mm na região norte. Segundo a autora, essa diferença ocorre devido à influência conjugada dos sistemas atmosféricos, formas de relevo, altitude e às correntes marítimas.

[Kahn e Kim \(2008\)](#) classificaram a variação das precipitações no Rio Grande do Sul em regiões, pelo método de agrupamento. A região norte apresenta as maiores normais mensais de precipitação, o que se deve, entre outros aspectos, ao efeito orográfico. As regiões sul e litorânea, sem obstáculos físicos, explicam a passagem das frentes, e apresentam as menores médias.

Em relação aos índices de precipitação, estudos analisaram a precipitação média acumulada no Sul do Brasil, e encontraram valores semelhantes. [Nimer \(1979\)](#) analisou o período entre 1914 e 1938, e encontrou valores entre 1250 e 2000 mm ao ano, assim como [Mendonça e Danni-](#)

[Oliveira \(2007\)](#), que analisaram o período entre 1961 e 2000. [Severo \(2007\)](#), utilizando o método de agrupamento, encontrou valores entre 1450 e 2100 mm no período entre 1979 e 2002.

Entretanto, [Ly \*et al.\* \(2013\)](#) alertam que a avaliação precisa da variabilidade espaço temporal da precipitação na escala de bacia hidrográfica representa um problema complexo devido ao pequeno número de medidores de precipitação, e à variação extrema de precipitação no espaço e no tempo. Além disso, a avaliação precisa da precipitação espacial e temporal é crucial para simular processos hidrológicos ([Cheng \*et al.\*, 2017](#)).

A concordância entre as séries de precipitação organizadas no banco de dados e os valores encontrados para diferentes variáveis em outros estudos, no Brasil e no Rio Grande do Sul, demonstra que os métodos de interpolação e a espacialização das variáveis apresentaram um melhor ajuste em relação aos valores reais, e reforçam a confiabilidade dos dados disponíveis no banco de dados.

Em [Rossato \(2011\)](#), além de 2004, os anos de 1988 e 1991 apresentaram precipitações anuais abaixo da média, o que condiz com o IAC negativo dos respectivos anos (-3,5 e -3,8). Já os anos de 1997, 1998 e 2002 foram considerados os mais chuvosos no período analisado. Ao se comparar com o IAC obtido para esses anos, temos 1997 e 1998 como anos úmidos (2,9 e 3,3).

[Fontana e Berlato \(1997\)](#); [Chechi e Sanches \(1993\)](#) encontraram boa correlação entre os anos enquadrados como úmidos e muito úmidos com os anos sob influência do fenômeno El Niño. [Brito \*et al.\* \(2006\)](#), analisaram os anos entre 1967 e 1998, em que os anos considerados normais ou de La Niña, apresentaram totais pluviométricos relativamente inferiores à média para o período.

Os anos caracterizados pelo El Niño são os mais chuvosos ([Britto \*et al.\*, 2008](#)). Em comparação ao IAC, [Fig. 6](#), os anos 1997 e 1998 foram anos de forte ocorrência do fenômeno, enquanto 2002, embora com maior IAC em relação aos anos citados, foi de moderada ocorrência.

Os anos com IAC próximos à zero ou negativos, [Fig. 6](#), não apresentaram relação direta com o fenômeno ENOS. Os anos de 1988 e 1991 foram anos de El Niño de moderado a forte, com IAC negativos. O ano de 2004, também com IAC negativo foi considerado um ano neutro, sem alterações representativas da temperatura do Oceano Pacífico. Entre os anos com IAC próximos a zero, foi verificado que 2013 e 2016 eram anos neutros. Por outro lado, 2010 foi um ano de La Niña moderada.

O método IAC foi aplicado por [Chechi e Sanches \(1993\)](#) para a região norte do Rio Grande do Sul. Tanto nos anos mais secos quanto nos anos mais úmidos, os resultados encontrados são coerentes ao exposto neste estudo. No entanto, a região norte apresentou os maiores acumulados de precipitação, de forma que alguns dos anos mais úmidos apresentaram um IAC maior que a média considerando todo o RS.

Em relação à distribuição mensal de precipitação, de acordo com Viana (2009), a primavera apresenta os maiores volumes de precipitação, predominantemente na região norte do Rio Grande do Sul. Segundo o autor, há grande relevância da contribuição da precipitação da estação para o acumulado observado na média anual.

Segundo Britto *et al.* (2006), que analisaram a precipitação entre 1967 e 1998, no sudoeste do estado o outono é mais chuvoso, devido à atuação de bloqueios atmosféricos. No noroeste os meses de primavera são os mais chuvosos, devido à formação dos CCM's (Complexos Convectivos de Mesoescala), e no nordeste o verão é mais chuvoso, em função das chuvas convectivas associadas a sistemas atmosféricos como a Zona de Convergência Atlântico Sul. Em comparação a Fig. 11, a principal divergência se dá em relação à região sudoeste, na qual os meses mais chuvosos ocorrem entre primavera e verão, e não no outono. Outros estudos encontraram valores semelhantes para diferentes regiões do Rio Grande do Sul (Brubacher *et al.*, 2012; Forgiarini *et al.*, 2013; Marcuzzo e Melati, 2015; Melati e Marcuzzo, 2015; Sanches *et al.*, 2016).

A otocodificação realizada neste estudo foi diferente da disponibilizada pela ANA, e está relacionada à necessidade de incorporar as sub-bacias visando a aplicabilidade do banco de dados. A utilização do método foi eficaz para codificar as bacias e sub-bacias, algo essencial para a construção do banco de dados. Silva (2008) e Rolim (2020) utilizaram esse método em bacias hidrográficas no Rio Grande do Sul, no entanto, sem o nível de detalhamento como o apresentado neste estudo.

O banco de dados permite acesso às séries temporais de precipitação e normais climatológicas para o estado do Rio Grande do Sul. Atualmente, o processo mais comum aos pesquisadores é realizar o download, via hidroweb ou BDMEP, dos dados por estação meteorológica e depois realizar o preenchimento de falhas, interpolação e extração dos índices.

Além disso, o arquivo de saída está no mesmo formato que a maioria dos softwares operam, ou seja, cada linha representa um dia e a chuva média em determinada área. Esse tipo de dado é essencial em estudos de climatologia, agricultura, modelagem hidrológica e gestão de desastres.

## 5. Considerações Finais

O objetivo deste estudo foi produzir um banco de dados que permita que usuários tenham acesso a séries temporais de precipitação, sem a necessidade de pós-processamento. A partir desse banco de dados é possível extrair uma série de produtos de acordo com a área de estudo em questão, seja um município ou uma bacia hidrográfica, para o estado do Rio Grande do Sul.

Mesmo se considerarmos municípios pequenos, com área inferior a 50 km<sup>2</sup>, ou mesmo sub-bacias de 4ª ordem, as quais foram delimitadas neste estudo, o banco de dados tem ao menos uma célula vinculada a essa área, o que permite que o usuário tenha acesso a uma série de 30 anos de dados de chuva, interpolada e revisada.

A disponibilização desse serviço pela internet, com um arquivo de saída compatível com a maioria dos softwares de SIG, representa um ganho importante para trabalhos que necessitem a utilização de longas séries temporais, como climatologia, agricultura, modelagem hidrológica e gestão de desastres.

Entre as melhorias previstas para a sua organização, destacam-se a possibilidade de ampliação da série temporal disponível e o cálculo de outros índices pluviométricos. Nesse momento, o banco está programado para que a seleção de informações e download seja para o período mínimo de um ano. Posteriormente será ajustado para períodos menores. Atualmente, o banco de dados deverá ser acessado exclusivamente pelo software MATLAB. No futuro, é previsto que também seja divulgado em linguagem de computação aberta.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Código de Financiamento 001; da FAPERGS, processo 17/2551-0000894-4; e da Bolsa de Produtividade CNPq.

## Referências

- AFONSO, A.; SILVA, T.M. **Geomorfologia Geral**. Rio de Janeiro: CEDERJ, 294 p., 2014.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Base Hidrográfica Otocodificada**, 17p., 2015. Disponível em <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search?jsessionid=9A239101F8D47E0241D5FEB58FB23BB5#/home>, acesso em 03 set. 2020.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Portal Hidroweb: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**, 2019. Disponível em <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>, acesso em 18 out. 2019.
- ALVES, A.V.P.; SANTOS, G.B.S.; MENEZES FILHO, F.C.M.; SANCHES, L. Análise dos métodos de estimativa para os parâmetros das distribuições de Gumbel E GEV em eventos de precipitações máximas na cidade de Cuiabá-MT. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 6, n. 1, p. 32-34, 2013.
- ARAÚJO, L.E.; MORAES NETO, J.M.; SOUZA, F.A.S. Classificação de Precipitação anual e da quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando Índice de Anomalia de Chuvas (IAC). **Revista Ambi-Água**, v. 4, n. 3, p. 93-110, 2009.
- ARGUEZ, A.; I. DURRE, S.; APPLEQUIST, R.S.; VOSE, M.F.; SQUIRES, X. YIN, R.R.; HEIM, OWEN, T.W. NOAA's

- 1981-2010 U.S. Climate Normals: An Overview. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 93, n. 11, p. 1687-1697, 2012.
- ASSAD, E.D.; EVANGELISTA, B.A. Análise freqüencial da precipitação Pluviométrica. In: ASSAD, E.D. *et al.*, **Chuva nos Cerrados: Análise e Espacialização**. Brasília: EMBRAPA-SPI, p. 25-41, 1994.
- BARCELLOS, P.C.L.; SILVA, F.P.; VISSIRINI, F.S.B.; MAGALHÃES, C.A.; TERRA, J.M.; DUTRA, M.R.F.; AMARAL, I.C.F.A. Diagnóstico meteorológico dos desastres naturais ocorridos nos Últimos 20 anos na cidade de Duque de Caxias. **Rev. Bras. Meteorol.**, v. 31, n. 3, p. 319-329, 2016.
- BARATTO, J.; WOLMANN, C. Perfil topo-oro-pluviométrico do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Interface**, v. 10, p. 40-55, 2015.
- BEIJO, L.A.; MUNIZ, J.A.; NETO, P.C. Tempo de retorno das precipitações máximas de Lavras (MG) pela distribuição dos valores extremos do tipo i. **Ciência Agrotécnica**, v. 29, n. 3, p. 657-667, 2005.
- BEIJO, L.A.; MUNIZ, J.A.; VOLPE, C.A.; PEREIRA, G.T. Estudo da precipitação máxima em Jaboticabal (SP) pela distribuição de Gumbel utilizando dois métodos de estimação dos parâmetros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 1, p. 141-147, 2003.
- BEGA, R.M.; VIEIRA, S.R.; MARIA, I.C.; DECHEN, S.C.F.; CASTRO, O.M. Variabilidade espacial das precipitações pluviárias diárias em uma estação experimental, em Pindorama, SP. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 149-156, 2005.
- BORSATO, V.A.; MENDONÇA, F.A. A espacialização dos sistemas atmosféricos e a análise rítmica para o centro-sul do Brasil. **GEOUSP Espaço e Tempo**, v. 19, n. 3, p. 585-604, 2015.
- BRITTO, F.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Regionalização sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no estado do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Clim.**, v. 2, p. 35-51, 2006.
- BRITTO, F.P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. **Rev. Bras. Clim.**, v. 3, p. 37-48, 2008.
- BRUBACHER, J.P.; OLIVEIRA, G.G.; GUASSELLI, L.A.; LUERCE, T.D. Avaliação de bases SRTM para extração de variáveis morfológicas e de drenagem. **Revista Geociências**, v. 31, n. 3, p. 381-393, 2012.
- BRUBACHER, J.P.; OLIVEIRA, G.G.; GUASSELLI, L.A. Preenchimento de falhas em séries temporais de precipitação diária no Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Meteorol.**, v. 35, n. 2, p. 335-344, 2020.
- CALDANA, N.F.S.; MARTELÓCIO, A.C.; RUDKE, A.P.; NITSCHKE, P.R.; CARAMORI, P.H. Frequência, intensidade e variabilidade pluviométrica na Mesoregião Sudoeste Paranaense. **Rev. Bras. Clim.**, v. 25, 7384, p. 161-181, 2019.
- CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F. Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 501-504, 2003.
- CHECHI, L.; SANCHES, F.O. O uso do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) na avaliação do fenômeno do El Niño Oscilação Sul (ENOS) no Alto Uruguai Gaúcho entre 1957-2012. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 6, p. 1586-1597, 2013.
- CHEN, T.; REN, L.; YUAN, F.; YANG, X.; JIANG, S.; TANG, T.; LIU, Y.; ZHAO, C.; ZHANG, L. Comparison of spatial interpolation schemes for rainfall data and application in hydrological modeling. **Water**, v. 9, n. 5, 342, 2017.
- CHENG, M.; WANG, Y.; ENGEL, B.; ZHANG, W.; PENG, H.; CHEN, X.; XIA, H. Performance Assessment of Spatial Interpolation of Precipitation for Hydrological Process Simulation in the Three Gorges Basin. **Water**, v. 9, n. 11, 838, 2017.
- CHOU, J.S.; YANG, K.H.; CHENG, M.Y.; TU, W.T. Identification and assessment of heavy rainfall- induced disaster potentials in Taipei City. **Nat. Hazards**, v. 66, n. 2, p. 167-190, 2013.
- COSTA, L.C. **Dimensionamento de Reservatórios para Sistemas de Abastecimento de Água Pluvial Para a Região dos Campos Gerais Tendo em Vista Cenários de Mudanças Climáticas**. Dissertação de Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2016.
- DIRKS, K.N.; HAY, J.E.; STOW, C.D.; HARRIS, D. High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island Part II: Interpolation of rainfall data. **J. Hidr.**, v. 208, n. 3-4, p. 187-193, 1998.
- DORE, M. Climate change and changes in global precipitation patterns: What do we know? **Environment International**, v. 31, n. 8, p. 1167-1181, 2005.
- FARIAS, O.G.; FRANCISCO, C.N.; SENNA, M.C.A. Avaliação de métodos de interpolação espacial aplicados a pluviosidade em região montanhosa no litoral sul do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 7242, p. 172-185, 2017.
- FONTANA, D.; BERLATO, M.A. Influência do El Niño oscilação sul sobre a precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 127-132, 1997.
- FORGIARINI, F.R.; VENDRUSCOLO, D.S.; RIZZI, E.S. Análise de chuvas orográficas no centro do estado do rio grande do sul. **Rev. Bras. Clim.**, v.13, p. 107-119, 2013.
- FREITAS, M.A.S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. **Revista Tecnologia**, v. suplem., p. 84-95, 2004.
- GERALDI, M.S. **Influência do Tamanho de Séries Temporais de Precipitação em Simulações de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial em Edificações**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- GOODRICH, D.C.; KEEFER, T.O.; UNKRICH, C.L.; NICHOLS, M.H.; OSBORN, H.B.; STONE, J.J.; SMITH, J.R. Long-term precipitation database, Walnut Gulch Experimental Watershed, Arizona, United States. **Water Resources Research**, v. 44, n. 5, p. 1-5, 2008.
- GHUMMAN, A.R.; RAUF, A.; HAIDER, H.; SHAFIQUZAMAN, M. Functional data analysis of models for predicting temperature and precipitation under climate change scenarios. **J. Water Clim. Change**, v. 11, n.4, p. 1748-1765, 2020.

- GUMBEL, E.J. Statistical theory of floods and droughts. **Institute of Water Engineers journal**, v. 12, p. 157-184, 1958.
- HARTMANN, M.; MOALA, F.A.; MENDONÇA, M.A. Estudo das precipitações máximas anuais em Presidente Prudente. **Rev. Bras. Meteorol.**, v. 26, n. 4, p. 561-568, 2020.
- INSITITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Municipal 2019**. 2019. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-doterritorio/15774-malhas.html?=&t=downloads>, acesso em 20 de março de 2020.
- JENSON, S.K.; DOMINGUE, J.O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988.
- KHAN, V.; KIM, I. A análise de agrupamento pluviométrico nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: **X Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Brasília, p. 726-729, 1998.
- LAM, N.S. Spatial interpolation methods: A review. **The American Cartographer**, v. 2, n. 10, p. 129- 149, 1983.
- LIU, J.; YANG, L.; JINGCHAO, J.; YUAN, W.; DUAN, Z. Mapping diurnal cycles of precipitation over China through clustering. **Journal of Hydrology**, v. 592, p. 125804-125811, 2021.
- LUCAS, T.P.B. Identificação de interpoladores adequados a dados de chuva a partir de parâmetros estatísticos. **Rev. Bras. Clim.**, v. 13, p. 7-21, 2013.
- LY, S.; CHARLES, C.; DEGRÉ, A. Different methods for spatial interpolation of rainfall data for operational hydrology and hydrological modeling at watershed scale. A review. **Bio-technol. Agron. Soc. Environ.**, v. 17, n. 2, p. 392-406, 2013.
- MARCUZZO, F.F.N.; MELATI, M.D. Precipitação pluviométrica mensal nas sub-bacias que integram à Bacia do Atlântico - Trecho Sudeste. In: **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Brasília, 2015. Disponível em [http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-3\\_precipitacao-pluviometrica-mensal-nas-sub-baciasque-integram-a-bacia-do-atlantico-trecho-sudeste](http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-3_precipitacao-pluviometrica-mensal-nas-sub-baciasque-integram-a-bacia-do-atlantico-trecho-sudeste), Acesso em 24 ago. 2020.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: Noções Básicas e Climas do Brasil**. 1. ed., São Paulo: Oficina de Textos, 206 p., 2007.
- MELATI, M.D.; MARCUZZO, F.F.N. Influência da altitude na precipitação média anual das sub-bacias pertencentes à bacia do rio Uruguai. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 181-186, 2010.
- MENEZES, H.E.A.; BRITO, J.I.B.; LIMA, R.A.F.A. Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 181-186, 2010.
- MILLINGTON, N.; DAS, S.; SIMONOVIC, S.P. The comparison of GEV, Log-Pearson Type 3 and Gumbel Distributions in the Upper Thames River watershed under global climate models. **Water Resources Research Report**, v. 77, p. 1-54, 2011.
- MINUZZI, R.B.; LOPEZ, F.Z. Variabilidade de índices de chuva nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Biosci. J.**, v. 30, n. 3, p. 697-706, 2014.
- NAGHETTINI, M.; ANDRADE PINTO, E.J. **Hidrologia Estatística**. Serviço Geológico do Brasil: Belo Horizonte, 552 p., 2007.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 422 p., 1979.
- PFASSTETTER, O. **Classificação de Bacias Hidrográficas: Metodologia de Codificação**. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras e Saneamento, 1989. (Manuscrito não publicado).
- REBOITA, M.S.; KRUCHE, N. Normais climatológicas provisórias de 1991 a 2010 para Rio Grande, RS. **Rev. Bras. Meteorol.**, v. 33, n. 1, p. 165-179, 2018.
- ROLIM, F.E.; MULLER, Y.T.; MARCUZZO, F.F.N. Ottocodificação e análise altimétrica e da precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Canoas na fronteira entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **TECNO-LÓGICA**, v. 24, n. 1, p. 64-73, 2020.
- ROOY, M.P.V. A rainfall anomaly index independent of time and space. **Weather Bureaus South Africa**, v. 14, p. 43-48, 1965.
- ROSSATO, M.S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: Variabilidade, Tendências e Tipologia**. Tese de Doutorado em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- SANCHES, F.O.; MAY, G.C.; SILVA, R.V.; FERREIRA, R.V. Chuvas no norte gaúcho: um estudo sobre a tendência das chuvas e mudanças climáticas. **Rev. Bras. Clim.**, v. 18, p. 349-360, 2016.
- SARTORI, M.G.B. A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre**, v.1, n. 20, p. 27-49, 2003.
- SAUSEN, T.M. Uso de geotecnologias para análise e avaliação dos prejuízos causados pelas inundações no Rio Grande do Sul - Setembro de 2009 a Janeiro de 2010. In: **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba, p. 6050-6057, 2011.
- SEVERO, D.L. **Padrões de Circulação Anômala Associados a Episódios Úmidos e Secos no Sul do Brasil**. Tese de Doutorado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.
- SILVA, D.D.S.; GOMES FILHO, R.R.; PRUSKI, F.F.; PEIREIRA, S.B.; NOVAES, L.F. Chuvas intensas no estado da Bahia. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, v. 6, n. 2, p. 362-367, 2002.
- SILVA, N.S.; RIBEIRO, C.A.A.S.R.; BARROSO, W.R.; RIBEIRO, P.E.A.; SOARES, V.P.; SILCA, E. Sistema de ottocodificação modificado para endereçamento de redes hidrográficas. **Rev. Árvore**, v. 32, n. 5, p. 891-897, 2008.
- SILVA, K.R.; CECÍLIO, R.A.; XAVIER, A.C.; PEZZOPANE, J.R.M.; GARCIA, G.O. Interpolação Espacial da Precipitação no Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 417-427, 2011.
- SILVA, C.B.; SILVA, M.A.S.; AMBRIZZI, T.; TOMAZZELLI, J.T.G.; PATUCCI, N.N.; MATAVELI, G.A.V.; LIMA, B.S.; CORREA, W.C. Precipitação na América do Sul - dados obtidos em estações meteorológicas automáticas e sistemas orbitais. **Rev. Bras. Clim.**, v. 25, 7379, p. 54-79, 2019.
- SILVA, A.E.F.; GOMES; D.T.; SILVEIRA, C.S.; SAKAMOTO, M.S. Desempenho das simulações do Projeto Cordex

- quanto à representação dos padrões de variação da precipitação no Século XX sobre o município de Fortaleza, Ceará. **Rev. Bras. Meteorol.**, v. 35, n. 3, p. 387-396, 2020.
- STRAHLER, A.N. Dynamic basis of geomorphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 9, p. 923-938, 1952.
- TABARI, H. Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. **Sci. Rep.**, v. 10, p. 13768-13778, 2020.
- TARBOTON, D.G.; BRAS, R.L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. On the extraction of channel networks from digital elevation data. **Hydrological Processes**, v. 5, n. 1, p. 81-100, 1991.
- TEIXEIRA, C.F.A.; DAMÉ, R.C.F.; DISCONZI, P.B.; PINTO, M.A.B.; WINKLER, A.S.; SANTOS, J.P. Estatística de Mallows na seleção de modelos de predição da precipitação média mensal e anual no Rio Grande do Sul. **Revista Agro@ambiente**, v. 7, n. 2, p. 145-153, 2013.
- TOKAR, S.; MARKUS, M. precipitation-runoff modeling using artificial neural networks and conceptual models. **J. Hydrol. Eng.**, v. 5, n. 2, p. 156-161, 2000.
- TRENBERTH, K.E. Changes in precipitation with climate change. **Clim. Res.**, v. 47, n. 1-2, p. 123-138, 2011.
- VEBER, P.M.; TEIXEIRA-GANDRA, C.F.A.; DAMÉ, R.C.F.; SIMONETE, M.A.; KARSBURG, R.M.; CHAGAS NETA, M.C.C.; CUNHA, P.R.B. Validação do banco de dados Brazil Gridded Meteorological Data em algumas estações pluviométricas do estado do Rio grande do Sul. **Braz. J. of Develop.**, v. 6, n. 4, p. 16792-16801, 2020.
- VIANA, D.R.; AQUINO, F.E.; BURGOBRAGA, R.; FERREIRA, N.J. Mesoscale convective complexes in Rio Grande do Sul between October and December of 2003 and associated precipitation. **Rev. Bras. Meteorol.**, v. 24, n. 3, p. 276-291, 2009.
- VIANNA, L.F.N.; PERIN, E.B.; RICCE, A.M.M.; PANDOLFO, C. Bancos de Dados Meteorológicos: Análise dos Metadados das Estações Meteorológicas no Estado de Santa Catarina, Brasil. **Rev. Bras. Meteorol.**, v. 32, n. 1, p. 53-64, 2017.
- VIEIRA, S.A.; OSORIO, D.M.M.; QUEVEDO, D.M.; ADAM, K.N.; PEREIRA, M.A.F. Metodologia de imputação de dados hidrometeorológicos para análise de séries históricas para avaliação de impactos das mudanças climáticas - bacia do rio dos Sinos, RS, Brasil. **Rev. Bras. Clim.**, v. 23, p. 189-204, 2018.
- VIOLA, M.R.; MELLO, C.R.; ACERBI JR., F.W.; SILVA, A.M. Modelagem hidrológica na bacia hidrográfica do Rio Aiu-ruoca, MG. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, v. 13, n. 5, p. 581-590, 2009.
- VOGL, T.P., MANGIS, J.K., RIGLER, A.K.; ZINK, W.T.; ALKON, D.L. Accelerating the convergence of the back-propagation method. **Biol. Cybern.**, v. 59, p. 257-263, 1988.
- XAVIER, A.C.; KINGB, C.W.; SCANLONC, B.R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016.
- WANDERLEY, H.S.; AMORIM, R.F.C.; CARVALHO, F.O. Variabilidade espacial e preenchimento de falhas de dados pluviométricos para o estado de Alagoas. **Rev. Bras. Met.**, v. 27, n. 3, p. 347-354, 2012.
- WANG, T.; MIAO, J.P.; SUN, J.Q.; FU, Y.H. Intensified East Asian summer monsoon and associated precipitation modeshift under the 1.5 °C global warming target. **Advances in Climate Change Research**, v. 9, n. 2, p. 102-111, 2018.
- WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Manual on Codes - International Codes, Volume I.1: Part A- Alphanumeric Codes**. Genebra: WMO, 466 p., 2015.
- WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to the Global Observing System**, 3ª ed., Genebra: WMO, 228 p., 2017.
- WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Methods of observation. In: **Guide to Hydrological Practices: Hydrology From Measurement to Hydrological Information**, Geneva: WMO, 296 p., 2008.