

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA**

LEONARDO KLEIN MANERA

**TRATAMENTO DE FALHAS DE MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO EM
DADOS DE ESTAÇÕES TELEMÉTRICAS DO SETOR ELÉTRICO DO RIO
GRANDE DO SUL**

Porto Alegre

2022

LEONARDO KLEIN MANERA

**TRATAMENTO DE FALHAS DE MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO EM
DADOS DE ESTAÇÕES TELEMÉTRICAS DO SETOR ELÉTRICO DO RIO
GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Hídrica.

Orientador: Fernando Dornelles

Porto Alegre

2022

Leonardo Klein Manera

Avaliação do Preenchimento de Falhas Diárias em Estações Telemétricas do Setor Elétrico do Rio Grande do Sul/Leonardo Klein Manera. – Porto Alegre, 2022.

48 p. : il. color. 30 cm.

Orientador: Fernando Dornelles

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Departamento de Engenharia, 2022.

Precipitação. Hidrometria. Hidrologia. Monitoramento. Séries temporais de chuva.
Preenchimento de falhas hidrológicas. Hidrelétricas. I. Fernando Dornelles. II.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul. III. Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

LEONARDO KLEIN MANERA

**TRATAMENTO DE FALHAS DE MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO EM
DADOS DE ESTAÇÕES TELEMÉTRICAS DO SETOR ELÉTRICO DO RIO
GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Hídrica.

Trabalho aprovado. Porto Alegre, 20 de outubro de 2022.

Fernando Dornelles

Orientador

Alexandre Beluco

Examinador

Juliana Andrade Campos

Examinadora

Porto Alegre

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais Vicente e Rose por terem me concedido todas as condições possíveis e imagináveis para poder dedicar o meu melhor na área que escolhi. Sem vocês nada teria sido possível. Espero algum dia conseguir retribuir todo o esforço e dedicação que tiveram comigo.

Muito obrigado ao professor Fernando Dornelles que me orientou neste trabalho. O notório conhecimento em todas as conversas sempre foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. Toda a disponibilidade e empatia durante este período foram muito importantes para a conclusão da minha graduação.

Imensamente grato aos meus amigos – especialmente à Giúlia e aos guris do Moe's – por estarem ao meu lado sempre, nos dias bons e ruins; nos dias difíceis e nas glórias.

RESUMO

O monitoramento para geração de série de dados hidrológicos extensa e de qualidade é de extrema importância para inúmeras finalidades. Sendo assim, este trabalho tem enfoque nas estações de monitoramento do setor elétrico do estado do Rio Grande do Sul, que representam a maioria dos dados hidrológicos medidos no estado. O objetivo inicial foi mensurar a disponibilidade pública desta gama de dados medidos e, após seleção das estações a serem estudadas, investigar a assertividade de método para preenchimento de falhas diárias. A metodologia proposta visou estimar inicialmente, através de estações próximas à estação com falha, a ocorrência ou não de precipitação no dia sem dado. Após essa verificação, através de regressão linear múltipla, verificou-se a assertividade que o método atinge para estimar intervalo de precipitação possível para o preenchimento da falha. Verificou-se que a eficiência dos métodos propostos varia bastante de acordo com a magnitude da chuva a ser preenchida. Para estimar a ocorrência de chuvas quando se tratava de chuvas fracas ou inexistentes, o método proposto apresentou bom percentual de previsões acertadas, porém com incertezas geradas com chuvas variando de 0 a 1 mm. Para precipitações acima de 5 mm o método acertou a estimativa de ocorrência de chuva em 100% das análises. Para o método de regressão obteve-se acerto em 90% das análises para chuvas entre 0 e 5 mm. Já para as precipitações acima de 5 mm, o método aplicado apresentou inviabilidade de utilização, com apenas 10% de acertos. Recomenda-se a aplicação do método em um maior número de estações para a validação de forma mais conclusiva das observações aqui descritas. Inclusive, porque para a realização deste estudo foram encontradas limitações em relação a obtenção de série de dados extensas. Portanto, observou-se a baixa disponibilidade de dados públicos provenientes do setor elétrico no Hidroweb da ANA, o que prejudicou, também, a escolha de região que apresentasse melhor adequação à homogeneidade sob o ponto de vista hidrológico.

Palavras-chave: Precipitação. Hidrometria. Hidrologia. Monitoramento. Séries temporais de chuva. Preenchimento de falhas hidrológicas. Hidrelétricas.

ABSTRACT

Monitoring for the generation of extensive and quality hydrological data series is extremely important for numerous purposes. Therefore, this work focuses on the monitoring stations of the electric sector in the state of Rio Grande do Sul, which represent most of the hydrological data measured in the state. The initial objective was to measure the public availability of this range of measured data and, after selecting the stations to be studied, to investigate the assertiveness of the method for filling in daily gaps. The proposed methodology aimed to initially estimate, through stations close to the fault station, the occurrence or not of precipitation on the day without data. After this verification, through multiple linear regression, it was verified the assertiveness that the method achieves to estimate possible precipitation interval for filling the fault. It was found that the efficiency of the proposed methods varies greatly according to the magnitude of the rain to be filled. To estimate the occurrence of rains when it came to light or non-existent rains, the proposed method presented a good percentage of correct forecasts, but with uncertainties generated with rains ranging from 0 to 1 mm. For rainfall above 5 mm, the method was correct in estimating the occurrence of rain in 100% of the analyses. For the regression method, 90% of the analyzes were correct for rainfall between 0 and 5 mm. As for precipitations above 5 mm, the applied method showed unfeasibility of use, with only 10% of correct answers. It is recommended to apply the method in a greater number of stations for the more conclusive validation of the observations described here. Also, because for the accomplishment of this study limitations were found in relation to obtaining extensive data series. Therefore, there was a low availability of public data from the electricity sector in ANA's Hidroweb, which also hampered the choice of region that presented the best suitability for homogeneity from the hydrological point of view.

Keywords: Precipitation. Hydrometry. Hydrology. Monitoring. Rainfall Time Series. Filling of hydrological faults. Hydroelectrics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pluviômetro automático com cubas basculares.....	15
Figura 2 – Linha do tempo da RHN	16
Figura 3 – Mapa de localização das estações estudadas.....	21
Figura 4 - Região hidrográfica das estações selecionadas.....	22
Figura 5 – Mapa de relevo da área de estudo	23
Figura 6 - Mapa com as distâncias entre as estações de monitoramento selecionadas	24
Figura 7 - Fluxograma com o passo a passo do método propostosto	25
Figura 8 – Tabela de contingência para análise de resultados entre previsto e observado.....	27
Figura 9 - Ilustração dos intervalos de preenchimento propostos para as análises 1 e 2.....	30
Figura 10 – Gráfico representando os acertos e erros do método para cada classe de chuva ..	34
Figura 11 – Distribuição de acertos e erros obtidos para a Análise 1 de acordo com as classes de chuva.....	37
Figura 12 – Distribuição de acertos e erros obtidos para a Análise 2 de acordo com as classes de chuva.....	38
Figura 13 – Valores de erro padrão calculados para cada classe.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Recomendação de densidade mínima de estações para rede hidrometeorológica..	17
Tabela 2 – Altitude das estações telemétricas estudadas.....	23
Tabela 3 – Classes definidas para a realização das análises.....	26
Tabela 4 – Intervalos definidos para as análises de preenchimento de falha através da regressão linear múltipla.....	30
Tabela 5 – Resumo das informações das estações selecionadas	31
Tabela 6 – Datas disponíveis para análise em todas as estações selecionadas.....	32
Tabela 7 – Resultados da aplicação do método de ocorrência de chuva.....	32
Tabela 8 – Resultados percentuais de acertos e erros obtidos pelo método	33
Tabela 9 – Total de acertos e erros (absolutos e percentuais) obtidos através do método	33
Tabela 10 – Valores observados nas estações em que o método errou a previsão na Classe 0	35
Tabela 11 – Valores observados na Classe 1 em que o método estimou que não teria havido chuva.....	35
Tabela 12 – Quantidades de acertos e erros obtidos para a Análise 1	36
Tabela 13 – Quantidades de acertos e erros obtidos para a Análise 2.....	38
Tabela 14 – Estatísticas dos valores de erro padrão calculados	39
Tabela 15 – Tabela comparativa entre os métodos propostos	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CRH - Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul

DIOUT - Divisão de Outorga e Fiscalização dos Recursos Hídricos

OMM - Organização Mundial de Meteorologia

PCD – Plataforma de coleta de dados

PCH - Pequena Central Hidrelétrica

RHN – Rede Hidrometeorológica Nacional

SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

UHE - Usina Hidrelétrica

LISTA DE SÍMBOLOS

- a - Representa os eventos observados corretamente previstos;
- b - Representa o número de eventos não observados que foram incorretamente previstos;
- β - Representa os coeficientes de regressão
- c - Representa o número de eventos observados, mas que não foram previstos;
- d - Representa o número de eventos não observados e que não foram previstos;
- E - Representa a taxa de erros obtidos;
- ε - Representa o erro padrão;
- H - Representa a taxa de acertos obtidos;
- n - Representa o número total de análises realizadas;
- x - Representa as variáveis explicativas;
- Y - Representa a variável resposta.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	11
2 OBJETIVO.....	12
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 PRECIPITAÇÃO	13
3.2 HIDROMETRIA	14
3.3 REDE DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO.....	15
3.4 FALHAS DE DADOS MONITORADOS	18
4 MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
4.2 MÉTODOS.....	24
4.2.1 Criação de falhas sintéticas.....	26
4.2.2 Estimativa de Ocorrência de Chuva em Estação com Falha Diária	26
4.2.3 Regressão Linear Múltipla.....	28
4.3 MATERIAIS	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1 RESULTADOS DA ESTIMATIVA DE OCORRÊNCIA DE CHUVA EM ESTAÇÃO COM FALHA DIÁRIA	32
5.2 RESULTADOS DA ESTIMATIVA DE PREENCHIMENTO DE FALHA DIÁRIA ATRAVÉS DO MÉTODO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA	36
5.2.1 Análise 1	36
5.2.2 Análise 2	37
5.2.3 Erro padrão para definição dos intervalos de preenchimento.....	38
5.3 DISCUSSÃO INTEGRADA DOS MÉTODOS ANALISADOS	39
6 CONCLUSÕES.....	41

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Os dados hidrológicos são de suma importância para distintos usos e finalidades. Segundo Nectoux (2021), destacam-se o uso dos dados para os estudos hidrológicos, inventários hidrelétricos, monitoramento hidrometeorológico, estudos de disponibilidade hídrica, cálculo de infraestruturas viárias, previsão de vazões para operação do setor elétrico e estudos hidrológicos para orientar o enquadramento. No Relatório Anual de Gestão (ANA, 2019) é exposto que os dados provenientes da Rede são necessários para a sociedade, para diversos setores econômicos e também pelos entes governamentais e agentes privados, que planejam e decidem seus investimentos (no curto e no longo prazo) com base nessas informações. Segundo Santos, Vespucci & Bayer (2016), os dados hidrometeorológicos são fundamentais para fins de diagnóstico e prognóstico para atividades das quais o artigo destaca:

- Planejamento de uso de recursos hídricos;
- Gerenciamento de bacias hidrográficas;
- Previsão de cheias;
- Abastecimento público;
- Abastecimento industrial e agrícola;
- Navegação;
- Transporte;
- Saneamento básico;
- Fins de concessão e outorga;
- Estudos realizados a nível acadêmico;
- Resolução de conflitos pelo uso da água.

Atualmente estima-se que mais de 70% dos dados hidrológicos gerados no estado do Rio Grande do Sul sejam provenientes de estações do setor elétrico, conforme apresentado em Nectoux, Fadel e Giacomelli (2017). Segundo o Relatório Anual de Conformidade do Setor Elétrico (RIO GRANDE DO SUL, 2021) - publicado pela DIOUT em 2021, referente ao ano de 2020 – destaca-se que 85% dos empreendimentos hidroenergéticos no estado apresentaram inconsistência quanto à Resolução CRH nº 263/2017. Um Aproveitamento Hidroelétrico está não conforme em relação ao número de estações quando não instalou o número de estações de monitoramento estipuladas na Resolução Conjunta ANEEL/ANA nº 03/2010 ou na Resolução CRH nº 263/2018. Da mesma forma, um Aproveitamento Hidroelétrico está não conforme em

relação à transmissão de dados quando não transmite por um período de tempo inferior a 80% (parâmetro utilizado pela ANA).

Em Aquatic Informatics (2015), pesquisa envolvendo mais de 700 profissionais do setor de recursos hídricos (hidrólogos, engenheiros, gestores de empresas de abastecimento) reportou que 72% dos entrevistados apontaram a necessidade de mais dados de monitoramento para atingir as metas propostas. Outros estudos acadêmicos citados em CHO et. al. (2017), Fekete e Robarts, (2015); Gleick et. al., (2013); Fekete et. al., (2012) corroboram essa percepção, indicando ainda uma preocupante redução na rede de monitoramento a nível mundial. Portanto, o escopo deste trabalho visa a avaliação da disponibilidade de dados pluviométricos provenientes das estações do setor elétrico no estado e investigar a assertividade de método de preenchimento de falhas diárias. Considerando a atual disponibilidade pública de dados hidrológicos no Rio Grande do Sul, e visando um melhor aproveitamento das séries históricas disponíveis, o presente trabalho pretende estudar método de preenchimento de falhas diárias em séries de precipitação, investigando a assertividade do método estudado, e suas possibilidades de utilização.

Sabe-se que as redes de monitoramento hidrológicas estão sujeitas a falhas, podendo ocorrer erros humanos ou tecnológicos (MARTINS, 2019). Dada a importância na utilização dos dados hidrológicos, métodos para preencher falhas podem contribuir na compreensão da variação climática e na previsão de fenômenos que venham a se repetir por influência do clima (Fernandez, 2007). O preenchimento de falhas é necessário na tentativa de utilizar séries longas de precipitação, evitando que estas acabem sendo descartadas (Brubacher et al., 2012). Este trabalho visa, portanto, investigar métodos que possam mitigar tais falhas através do preenchimento diário, através de intervalo provável de utilização de dado de chuva.

2 OBJETIVO

Avaliar a aplicabilidade de preenchimento de falhas em séries diárias de precipitação, em quatro estações telemétricas do setor elétrico do estado do Rio Grande do Sul, com ênfase na assertividade qualitativa e quantitativa dos métodos

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a disponibilidade de dados públicos de chuva provenientes de estações telemétricas do setor elétrico do Rio Grande do Sul;

- Avaliar a ocorrência ou não de chuva diária em uma determinada estação com falha de medição, a partir de registros de outras estações próximas;
- Avaliar a capacidade de um modelo de regressão linear múltipla de preencher falha diária de uma determinada estação, a partir de registros de outras estações próximas;
- Analisar em quais contextos e cenários recomenda-se ou não a utilização das metodologias estudadas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica desenvolvida aborda os principais temas que esta dissertação remete, de forma a comprovar sua importância para este estudo. Para isso, ao longo deste capítulo serão apresentados os seguintes assuntos elencados: Precipitação, pluviometria e rede de monitoramento hidrometeorológico - com sua importância, falhas em dados e aspectos legislativos pertinentes.

3.1 PRECIPITAÇÃO

A precipitação é entendida como um dos principais fenômenos hidrológicos. Como precipitação, compreende-se toda a água proveniente da atmosfera que atinge a superfície terrestre, podendo ser classificada em suas diferentes formas que dependem do seu estado físico: neblina, chuva, granizo, saraiva e neve (MARTINS, 2019).

A precipitação é a principal forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica, fornecendo subsídios para a quantificação do abastecimento de água, irrigação, controle de inundação, erosão do solo, etc. (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). De acordo com Tucci (2002), bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório.

Segundo Smith (1992), as chuvas podem ser classificadas como convectivas, orográficas ou frontais. As chuvas frontais acontecem através do encontro de massas de ar quente e frio, em que a massa de ar mais quente ascende, tendo sua temperatura diminuída e, assim, condensando o vapor. Segundo Collischonn e Dornelles (2013), chuvas frontais têm uma intensidade relativamente baixa e duração relativamente longa, pelo fato de as massas de ar possuírem centenas de quilômetros de extensão e moverem-se de forma relativamente lenta – podendo atingir o mesmo local por vários dias consecutivos.

Chuvas convectivas são caracterizadas por ocorrerem de forma mais esparsa, com curtas

durações e altas intensidades. Na região Sul, a maior ocorrência deste tipo de chuva dá-se durante o verão. A ocorrência de chuvas convectivas durante essa estação do ano pode provocar diferenças nas medições pluviométricas em estações relativamente próximas na mesma bacia hidrográfica (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

As chuvas orográficas são proporcionadas por algum grande obstáculo do relevo, como uma cordilheira ou serra muito alta ou escarpa para planalto, que impede a passagem de ventos quentes e úmidos que sopram do mar, obrigando o ar a subir para níveis mais altos da atmosfera (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). O aumento da altitude dessas massas de ar estimula a frequente precipitação pontual na localidade com relevos acentuados. Portanto, a depender da localização e da altitude das estações pluviométricas na bacia, poderá ser verificada grande diferença nas médias das precipitações anuais medidas.

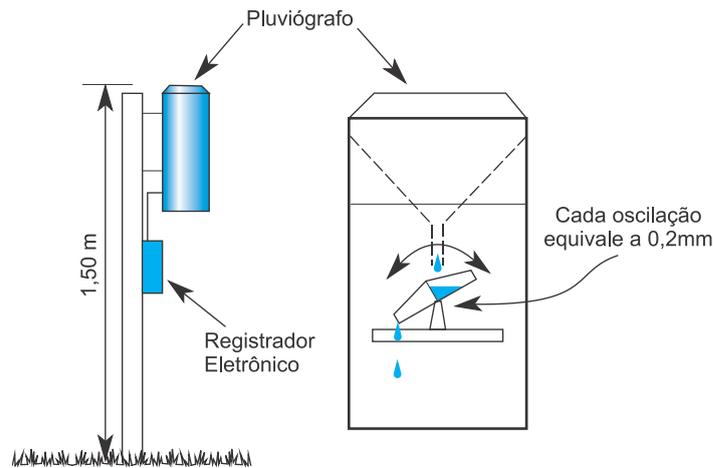
3.2 HIDROMETRIA

A hidrometria é a parte da hidrologia que se dedica à medição das variáveis hidrológicas, e tem como objetivo obter dados, tais como precipitações, níveis de água, vazões, entre outros; além de suas variações no tempo e no espaço (SANTOS et al., 2001). A pluviometria constitui-se pela medição da precipitação, geralmente realizada por meio de estações pluviométricas manuais (pluviômetros) ou automáticas (pluviógrafos). As principais grandezas que caracterizam a precipitação em uma região são a altura pluviométrica, duração e intensidade.

Os pluviômetros automáticos podem efetuar o registro das lâminas de precipitação em intervalos variados, sendo o mais frequente a cada uma hora. Porém, dependendo do uso, podem ser realizados em intervalos menores, como para ajuste de curvas IDF (Intensidade – Duração – Frequência). Esses dados podem ser armazenados, visualizados e enviados de forma automática pelo equipamento.

Segundo Collischonn e Dornelles (2013), o pluviômetro automático mais comum é o de cubas basculares (Figura 1), em que a água recolhida é dirigida para um conjunto de duas cubas articuladas por um eixo central. A água é dirigida inicialmente para uma das cubas e, quando esta cuba recebe uma quantidade de água equivalente a 20 g, o conjunto gira em torno do eixo, a cuba cheia esvazia e a cuba, agora vazia, começa a receber água novamente. A cada um destes ciclos o aparelho faz um registro, marcando o tempo em que ocorreram.

Figura 1 – Pluviômetro automático com cubas basculares



Fonte: Collischonn; Dornelles (2013)

3.3 REDE DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO

A função de uma rede de monitoramento é proporcionar uma densidade e uma distribuição de estações em uma região de modo que, por interpolação entre as séries de dados das diferentes estações, seja possível determinar, com suficiente exatidão, as características básicas das grandezas hidrológicas ou meteorológicas em qualquer local da região (SANTOS et al., 2001).

Segundo a ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico), o objetivo da Rede Hidrometeorológica Nacional é mensurar parâmetros qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos em todo o país.

Quanto maior a quantidade de informações disponíveis sobre um determinado local, maiores são as chances de aliar desenvolvimento e qualidade de vida. Esses dois fatores estão intimamente relacionados à capacidade de resiliência de uma população, ou seja, à possibilidade de uma cidade, comunidade ou sistema de suportar, adaptar-se ou se recuperar rapidamente dos impactos causados por um evento extremo, mantendo ou retomando as suas funções (BRASIL, 2016).

Segundo Nectoux (2021), o conhecimento acerca das variáveis hidrológicas e climatológicas é o insumo fundamental para decisões que buscam projetos e soluções mais eficientes, de menor risco e de menores custos para a população beneficiada. As estações de monitoramento geram dados hidrológicos que permitem analisar a situação de cada bacia hidrográfica, como a quantidade de chuva, a vazão de rios e a qualidade da água. A série histórica de dados da RHN (Rede Hidrometeorológica Nacional) já reúne informações das

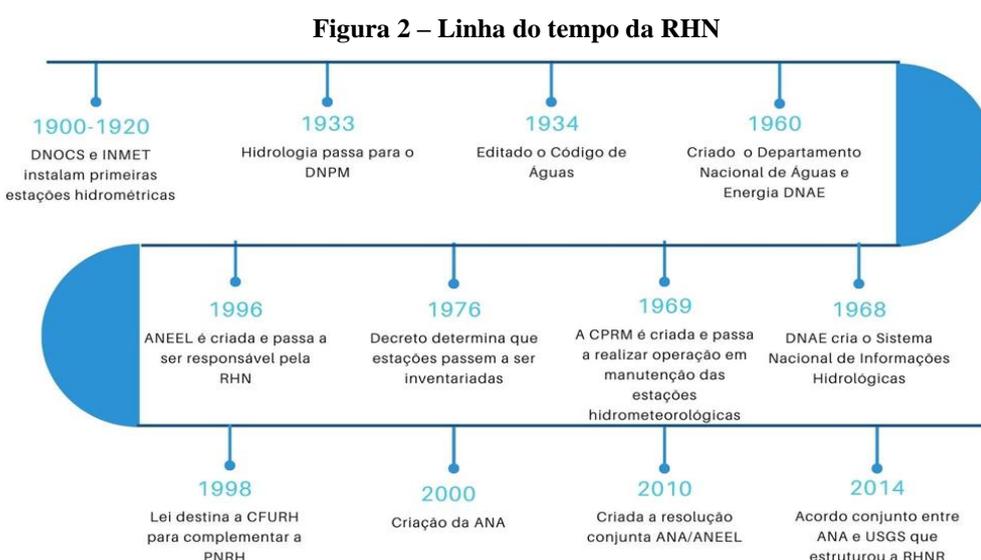
últimas três décadas. Quanto maior o período de registros medidos, mais confiáveis tendem a ser as séries de dados e as estimativas feitas com base nelas (TOLEDO, 2018).

CHO et. al. (2017) apontam que a produção de informação hidrológica é um investimento que produz um retorno de 4 para 1 considerando benefícios diretos e indiretos para os setores público e privado. Portanto, para cada real investido, estima-se que haverá um retorno de 4 reais para a sociedade.

Segundo Xu et. al. (2017), coleta de dados hidrometeorológicos realizada pelas redes tem custo elevado e, portanto, faz-se indispensável o estudo criterioso da localidade de instalação das estações e na otimização das redes, em que o número de estações e a possibilidade de redundância sejam analisados para que esse custo seja reduzido. Portanto, o monitoramento das chuvas com um número de estações pluviométricas recomendadas e adequadamente espalhadas na área é de suma importância para a rede hidrometeorológica (MELATI; MARCUZZO, 2015).

Wagner e Waske (2016) afirmam sobre a importância de dados hidrológicos distribuídos espacialmente para modelagem de alteração no uso do solo. A conclusão do seu estudo sugere que, quando as variáveis hidrológicas são incluídas, a acurácia dos modelos regressivos aumenta.

Ao explorar o tema referente às redes geridas pela ANA, Toledo (2018) afirma que para que algo seja gerido, antes é preciso que algum dado ou indicador seja medido. A linha do tempo apresentada na Figura 2 destaca alguns dos principais momentos na história da RHN.



Fonte: adaptado de Peixinho et.al. (2015)

Em bacias hidrográficas, de acordo com as recomendações da Organização Mundial de

Meteorologia (OMM) relativas à densidade mínima de redes pluviométricas e pluviográficas (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2008), a Tabela 1 apresenta a densidade mínima para cada tipo de estação de acordo com a respectiva unidade fisiográfica.

Tabela 1 – Recomendação de densidade mínima de estações para rede hidrometeorológica

Unidades Fisiográficas	Pluviômetro	Pluviógrafo
	km ² .(estação) ⁻¹	
Litoral / Região Costeira	900	9000
Montanhas	250	2500
Planícies Interioranas	575	5750
Ondulada / Montanhosa	575	5750
Pequenas Ilhas (< 500 km ²)	25	250
Áreas Urbanas	-	10 a 20
Polar / Árida	10000	100000

Fonte: WMO (2008)

Empreendimentos hidroenergéticos utilizam a força da água para gerar energia elétrica e atualmente representam 64,9% da matriz elétrica brasileira (EPE, 2020). A resolução ANEEL 875 de 10 de março de 2020 traz a seguinte definição para as PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas):

Art. 5º Os aproveitamentos hidrelétricos com as seguintes características serão enquadrados como Pequena Central Hidrelétrica (PCH):
 I - Potência instalada superior a 5.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW; e
 II - Área de reservatório de até 13 km² (treze quilômetros quadrados), excluindo a calha do leito regular do rio. (ANEEL, 2020, Art. 5º)

Em relação à legislação que regula a obtenção e acesso aos dados, tem-se que o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) é definido na Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9433/1997 (BRASIL, 1997) como sendo um sistema de “coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão.” A lei também garante a “descentralização da obtenção e produção de dados e informações, a coordenação unificada do sistema, e o acesso aos dados e informações garantidos a toda a sociedade.”

Através da Resolução nº 13, de 25 de setembro de 2000, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (2000) estabeleceu que caberá à ANA a disponibilização a toda a sociedade

informações referentes à rede hidrométrica nacional. Mesmo com a responsabilidade da ANA em gerir as informações mencionadas, de acordo com a Lei nº 9433/1997, todos os entes integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos têm que estar inseridos no Sistema de Informações, ou seja, não apenas as estações geridas pela ANA estão contidas no Hidroweb. Os dados disponíveis no portal Hidroweb são uma compilação de um grande volume de dados de precipitação, cota, vazão, qualidade da água, dados de sedimentos, e dados de perfil transversal das seções fluviométricas (ANA, 2005).

3.4 FALHAS DE DADOS MONITORADOS

É muito comum que existam valores observados de medição que sejam caracterizados como incongruentes com a realidade ou até mesmo a ocorrência de falhas nas medições de campo. Durante a manipulação dos dados, podem ocorrer equívocos na transcrição das informações, denominando-se os “erros de transcrição” (SANTOS *et al.*, 2001).

Segundo Smith (1992), admite-se que todos os pluviômetros e pluviógrafos estão sujeitos a incorrerem em erros devido às próprias modificações do campo de ventos causadas pelo aparelho. A magnitude dos erros depende da velocidade do vento, da topografia local e do tipo de precipitação. Realizar medidas de precipitação pode ser uma tarefa difícil dependendo do local a ser monitorado.

Alguns erros podem ser difíceis de serem detectados, e, dependendo de sua magnitude, se forem pequenos, podem ser mascarados por variações aleatórias (JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY, 2010). Segundo Santos *et al.* (2001), ao comparar os dados aos de estações vizinhas, pode existir a possibilidade de correção de valores corretos, mas que podem apresentar incoerência.

Os erros podem ser sistemáticos, grosseiros fortuitos ou aleatórios. Os erros sistemáticos são associados ao equipamento e não podem ser eliminados, no entanto, caso sua origem seja reconhecida e quantificada, podem ser reduzidos (JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY, 2010). Quando existe a incidência de um erro grosseiro, geralmente é ocasionado pelo próprio operador, ocorrendo em sua maioria nos pluviômetros, cuja operação depende de observadores. Os erros denominados como fortuitos ou aleatórios são erros de observação que estão dentro da margem de incerteza dos aparelhos ou da capacidade humana de observar (MARTINS, 2019). Segundo Santos *et al.* (2001), estes erros podem ser originados pela evaporação da água no pluviômetro ou no pluviógrafo de balança, pela influência do vento na quantidade de chuva captada ou por variações aleatórias do relógio.

Com as possibilidades apresentadas em relação aos erros e incertezas, existe a necessidade de análise das informações coletadas. Tal análise, no campo da hidrologia, caracteriza-se como análise de consistência dos dados observados. Para esta análise, podem ser classificadas estações de apoio próximas às estações principais, que servem para a validação dos dados observados (BRASIL, 1984).

Segundo Martins (2019), a comparação de dados entre estações próximas é a técnica utilizada para o levantamento de suspeitas de erros, permitindo eventualmente a descoberta de erros grosseiros. É importante ressaltar que a homogeneidade esperada por esta técnica pode ser afetada por aspectos como o clima e a época do ano, já que as precipitações podem possuir diferentes características.

Para avaliar a existência ou não de homogeneidade e correlação entre duas estações (método da dupla massa) próximas, Martins (2019) afirma que a utilização de coeficiente de correlação linear faz-se possível. Para isto, portanto, pode ser utilizada a regressão linear múltipla como método para estimativa da correlação e homogeneidade entre as estações. A análise de regressão é, sem dúvida, uma das técnicas mais utilizadas para analisar dados (CHATTERJE; HADI; PRICE, 2000). No âmbito da estatística, a maioria dos métodos de análise utiliza a teoria de regressão em sua fundamentação.

Mello, Kohls e Oliveira (2017) não aconselham a realização do preenchimento de falhas quando da análise da distribuição de eventos extremos, dados diários ou de um evento específico. O preenchimento pode gerar um dado não condizente com o registrado no evento analisado. Segundo Bertoni e Tucci (2007), dentre várias metodologias empregadas no preenchimento de falhas, nenhuma é satisfatória para intervalos diários. Em uma escala de tempo diária, os padrões espaço-temporais do processo de chuva são complexos, geralmente não lineares e altamente variáveis, o que dificulta a aplicação de métodos clássicos.

Segundo Brubacher, Oliveira e Guasselli (2020), ao avaliar o preenchimento de dados faltantes em estações, deve-se considerar a capacidade associada a cada método em lidar em cada cenário ou discrepância observada. Não se trata apenas de decidir qual o melhor método, mas, sim, com base na análise dos dados, verificar a eficiência do método para a complexidade espacial.

Na avaliação desenvolvida por Brubacher, Oliveira e Guasselli (2020), observa-se que, através da utilização do método de regressão linear múltipla para o preenchimento de falhas diárias, quanto mais densa for a rede pluviométrica disponível, a utilização do método pode permitir utilização de séries que, anteriormente, teriam pouca ou nenhuma utilidade.

A regressão linear múltipla pode ser importante para estimar dados - inexistentes ou

com erros constatados – com base nos dados observados em estações vizinhas. O princípio fundamental deste método consiste em determinar estimativas dos parâmetros que minimizem o quadrado das diferenças entre os valores observados e os valores estimados pelo modelo proposto (DRAPER; SMITH, 1981). Fernandez (2007) desenvolveu estudo referente a análise de diferentes métodos para o preenchimento de falhas em séries temporais (temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média, umidade relativa e precipitação), em que a regressão múltipla apresentou um dos melhores resultados.

Dadas as análises realizadas nas literaturas citadas, espera-se, portanto, que o presente estudo ainda encontre obstáculos para encontrar boa assertividade no preenchimento de falhas diárias através do método de regressão linear múltipla. Entretanto, através da metodologia proposta de definição de intervalos para este preenchimento, acredita-se que os resultados obtidos possam apresentar melhorias em relação às literaturas estudadas. A boa aplicabilidade do método pode ser muito importante para melhor aproveitamento de longas séries de dados, evitando que estas sejam descartadas ou tenham seu aproveitamento limitado por conta da presença de demasiadas falhas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

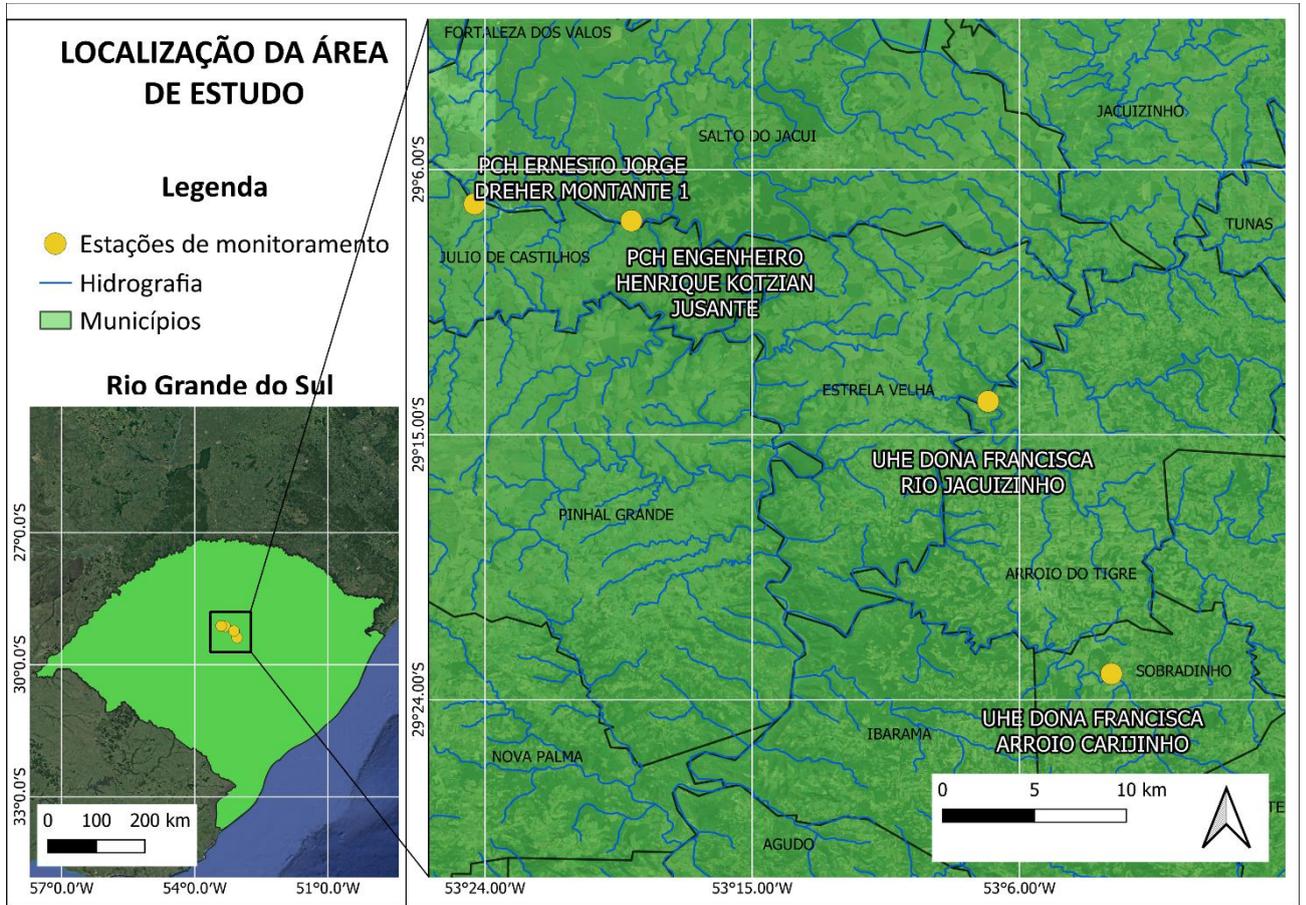
Os critérios utilizados para a seleção da área a ser estudada e suas principais informações são apresentados no Capítulo 4.1. Neste estudo pretende-se avaliar a assertividade de método para estimar se houve ou não ocorrência de precipitação em estação com possível falha diária e do método de regressão linear múltipla para o preenchimento das falhas (Capítulo 4.2), através de conjunto de estações próximas. Para isso, foram obtidas as séries de quatro estações próximas em períodos concomitantes (Capítulo 4.3).

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os principais critérios avaliados para a definição da área de estudo para este trabalho são: disponibilidade de dados, distância máxima entre estações de monitoramento e homogeneidade entre estações do ponto de vista hidrológico.

A área estudada neste trabalho localiza-se na região central do estado do Rio Grande do Sul. Nela estão contidas quatro estações telemétricas de monitoramento com dados de chuva. Os municípios onde as estações estão instaladas, conforme apresentado na Figura 3, são: Júlio de Castilhos, Salto do Jacuí, Sobradinho e Arroio do Tigre.

Figura 3 – Mapa de localização das estações estudadas

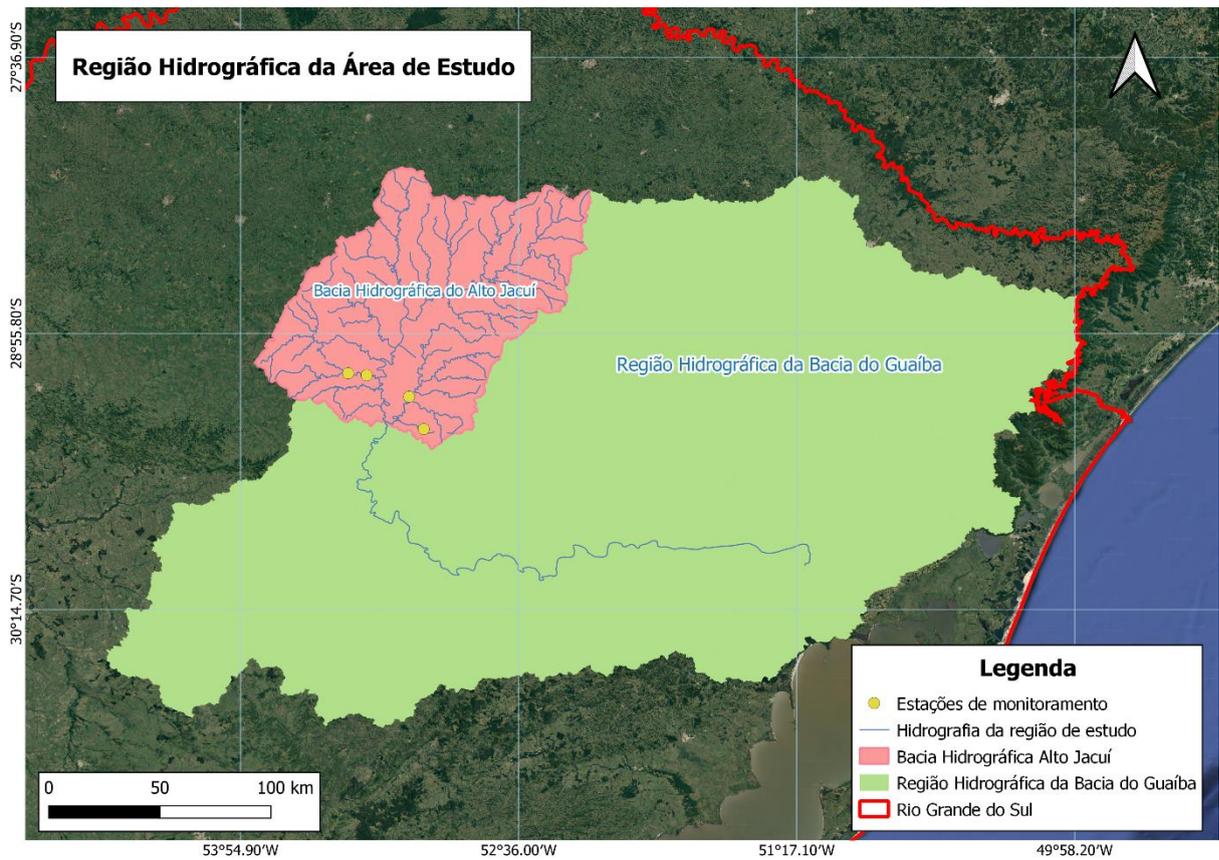


Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Na área apresentada estão contidos 3 empreendimentos hidrelétricos que são detentores dos postos automáticos estudados. Os empreendimentos são: PCH Engenheiro Henrique Kotzian, PCH Ernesto Jorge Dreher e UHE Dona Francisca (2 estações). O resumo das estações, juntamente com o período de dados existentes são apresentados no capítulo de Materiais (4.3).

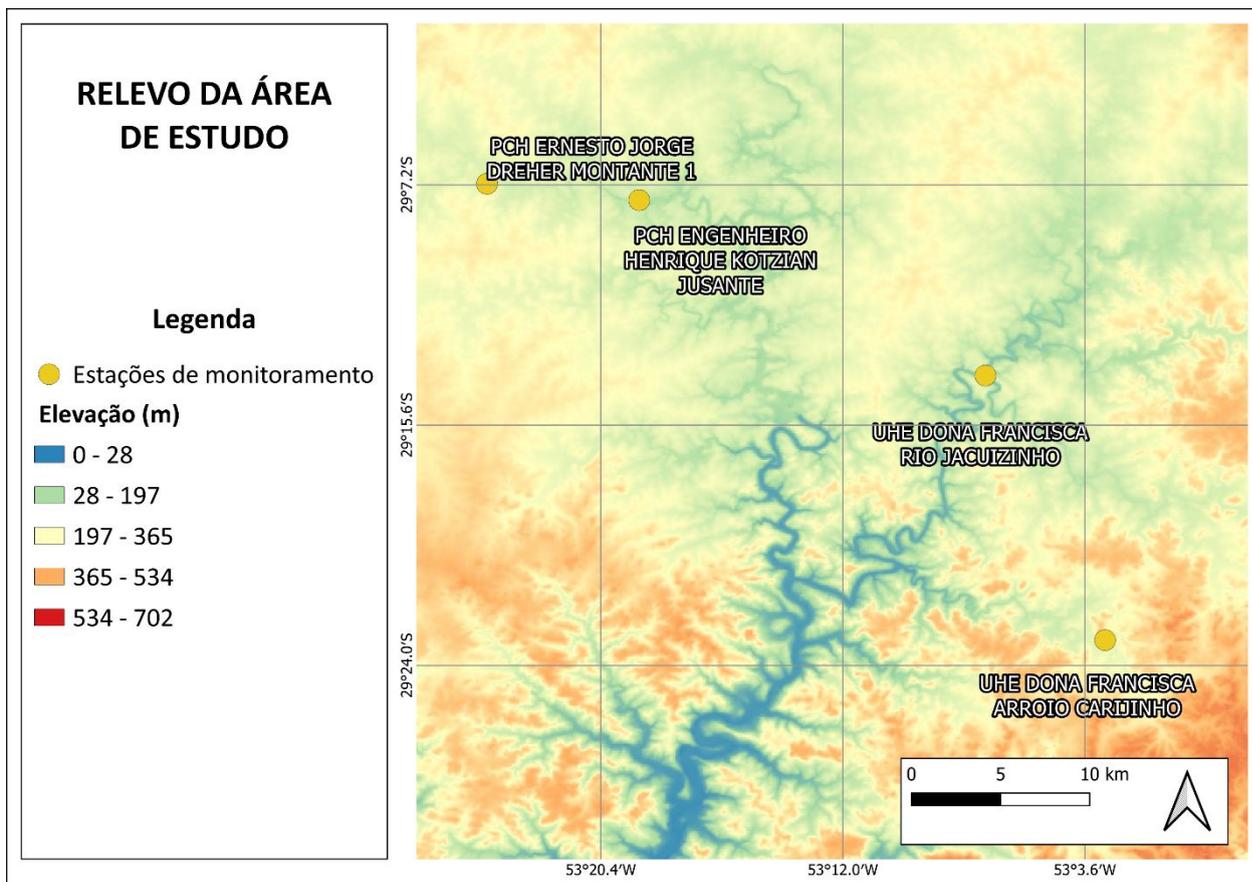
As estações selecionadas estão contidas na região hidrográfica do Guaíba, na sub-bacia do Alto-Jacuí. Essas delimitações, juntamente com a principal hidrografia da região, são apresentadas na Figura 4.

Figura 4 - Região hidrográfica das estações selecionadas



O relevo da área de estudo apresenta homogeneidade em sua maioria, entretanto apresenta variação de cota entre as estações estudadas. A Figura 5 demonstra que estações estão localizadas em faixa de elevação intermediária, que varia de 197 a 365 metros. A exceção é a estação UHE Dona Francisca Rio Jacuizinho, que localização em área com elevação de 149 metros. As altitudes de todas as estações são apresentadas na Tabela 2.

Figura 5 – Mapa de relevo da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

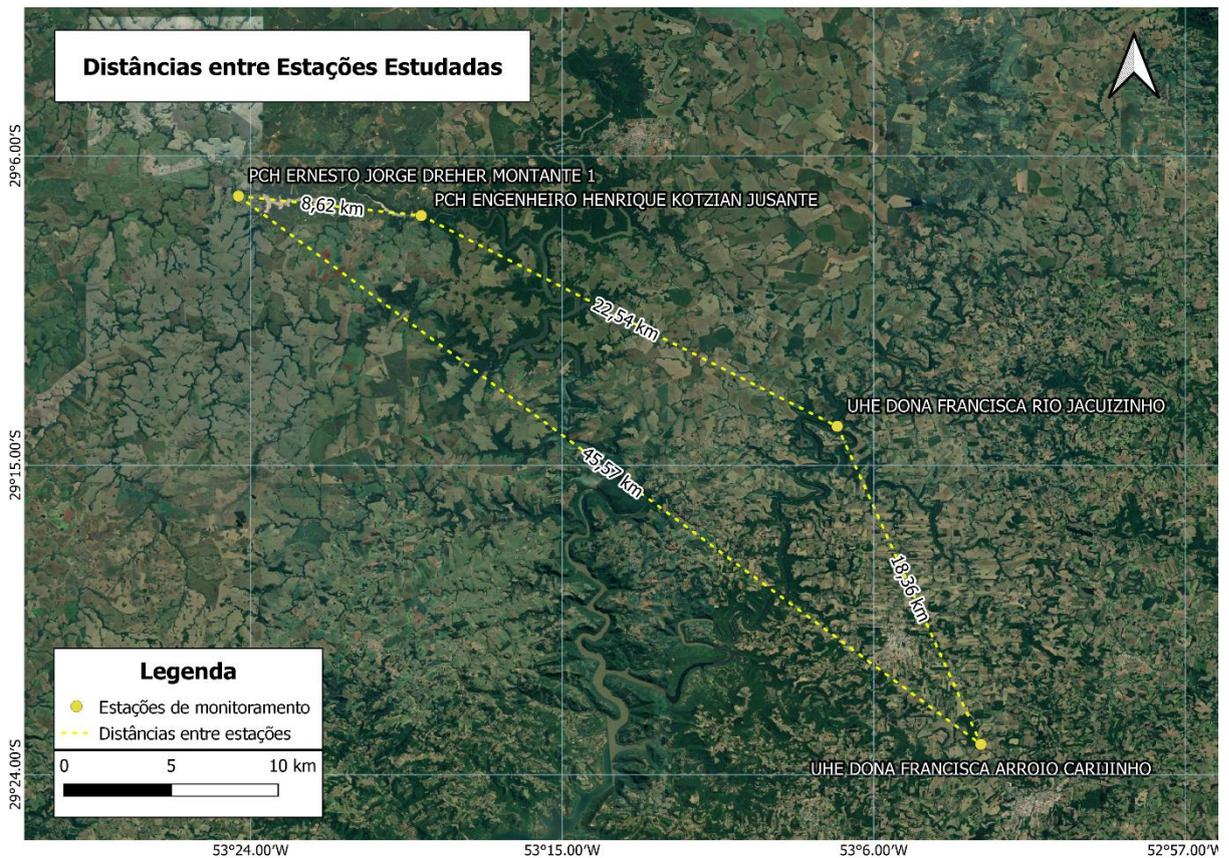
Tabela 2 – Altitude das estações telemétricas estudadas

Nome	Altitude
PCH Engenheiro Henrique Kotzian Jusante	189
PCH Ernesto Jorge Dreher Montante 1	291
UHE Dona Francisca Arroio Carijinho	321
UHE Dona Francisca Rio Jacuizinho	149

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

A maior distância entre as estações estudadas foi entre a PCH Ernesto Jorge Dreher Montante 1 e a UHE Dona Francisca Arroio Carijinho. A distância medida entre as estações foi de aproximadamente 45 km. E estimativa de distância entre as estações é apresentada na Figura 6.

Figura 6 - Mapa com as distâncias entre as estações de monitoramento selecionadas



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

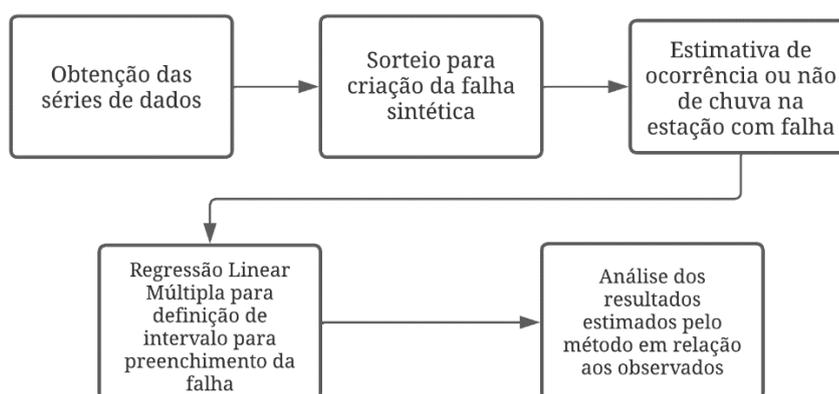
4.2 MÉTODOS

Para realizar o mapeamento e seleção das estações a serem utilizadas no estudo, foram acessadas todas as estações cadastradas no site do gestor PCD da ANA. Através dessa busca, foi possível identificar todas as estações passíveis de serem analisadas no presente estudo. Os requisitos observados para a seleção das estações foram: existência de estações próximas para a realização da análise conjunta de dados, localização destas estações (estarem presentes em região homogênea do ponto de vista hidrológico) e a existência de série de dados disponíveis. A utilização destes critérios é corroborada em Santos *et al.* (2001) e Brasil (1984).

Após o mapeamento das possíveis estações a serem estudadas, as séries das estações foram obtidas através do portal Hidroweb da ANA (BRASIL, 2022). Inicialmente avaliou-se o período de dados disponível e a quantidade de falhas existente nas séries obtidas. Após a seleção das quatro estações a serem estudadas, selecionou-se os períodos da série em que existiam dados concomitantes em todas. Assim, obteve-se os períodos comuns em que seria possível realizar as análises.

Foi realizada investigação por amostragem nas séries, em que o método programado realizava sorteio do período e da estação que seriam analisados. Após a definição da data e da estação para análise, foi selecionada a série de dados existente para aquele período, aplicando os métodos propostos e extraindo os resultados. A Figura 7 demonstra fluxograma com o passo a passo da aplicação da metodologia proposta neste trabalho.

Figura 7 - Fluxograma com o passo a passo do método propostosto



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Visando realizar uma análise completa em relação à abrangência de todas as magnitudes de chuvas observadas nas estações, foram definidos intervalos de precipitação e classificados de acordo com a magnitude observada. Esta classificação permite realizar o mesmo número de simulações para todas as magnitudes de chuva observadas, proporcionando resultados estatísticos que avaliem a assertividade da metodologia para todo espectro de variação das intensidades de chuva observadas. As classificações e os intervalos propostos foram definidos com base em Gouvea et al., (2018), e de acordo com o número de medições resultantes em cada faixa analisada, de modo a se obter um mínimo de 30 registros em cada intervalo definido. Na Tabela 3 são apresentadas as quantidades de observações, os intervalos de chuva definidos para as análises e a classificação da chuva para cada classe.

Tabela 3 – Classes definidas para a realização das análises

Classe definida	Intervalo (mm/dia)		Classificação da chuva	Quantidade de observações
	de:	até:		
0	0,00		Sem chuva	695
1	0,00	4,99	Fraca	372
2	5,00	19,99	Moderada	86
3	20,00	+ ∞	Forte ou Intensa	67

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

4.2.1 Criação de falhas sintéticas

A criação de falhas sintéticas para o estudo faz-se importante para que se possa aplicar o método de preenchimento de falhas e, posteriormente, avaliar a assertividade obtida através da comparação com o resultado observado antes da criação da falha. Cada análise desenvolvida possui a aplicação de uma falha sintética. As falhas criadas correspondem ao período de 1 dia, em que a série comporte um período de 15 dias anteriores e 15 dias posteriores ao dia da aplicação da falha. Este intervalo de dias será importante para a aplicação do método da regressão linear múltipla, apresentada no subitem 4.2.3.

Para a escolha dos dias em que as falhas foram aplicadas, foi realizado sorteio aleatório através da fórmula “ALEATÓRIOENTRE” do software Microsoft Excel. Esta função retorna um número aleatório inteiro com probabilidade uniforme de ocorrência dentro de um conjunto de dados. Para a realização do sorteio, as datas foram associadas a números inteiros, e o sorteio dos números aleatórios foi feito considerando a amplitude de variação das dadas das séries de chuva selecionada. Estes números inteiros serviram de entrada para a função do software, que realizava o sorteio do dia em que a análise do preenchimento da falha iria ocorrer. De maneira análoga foi realizado o sorteio para a estação em que iria ocorrer a falha na data sorteada.

4.2.2 Estimativa de Ocorrência de Chuva em Estação com Falha Diária

Um dos objetivos do estudo é determinar a existência ou não de precipitação em estação onde houve falha diária de medições. Para isso, pretende-se avaliar a ocorrência, ou não, de precipitação na estação com falha, com base nas estimativas realizadas através de dados observados nas estações vizinhas. O método consiste em avaliar em quantas das estações próximas selecionadas, para o mesmo dia, existe ou não a ocorrência de chuva. Se é observado

que existe maior número de estações vizinhas medindo chuva naquele dia, estima-se que na estação em que houve a falha sintética também havia chovido. Caso haja maioria de estações vizinhas sem ocorrência de chuva, presume-se que para o preenchimento da falha criada a precipitação foi de 0 mm. Pelo fato de o estudo abranger um total de 3 estações de apoio, em todos os casos pode ser definida a estimativa de ocorrência ou não de chuvas, sem a existência de empates na análise.

Essa etapa permitirá obter resultados comparativos entre os resultados observados e as estimativas realizadas pelo método. Portanto, será determinada a ocorrência de chuva (sim ou não), que será comparado ao dado observado para validar se naquele dia choveu (sim ou não). Estas combinações citadas geram uma matriz de confusão (2x2), em que existem 4 combinações possíveis para cada análise realizada. Para a obtenção dos resultados alcançados pelo método, adaptou-se de Wilks (2006) uma tabela de contingência que propõe relação entre previsto e observado, que é apresentada na Figura 8.

Figura 8 – Tabela de contingência para análise de resultados entre previsto e observado

		Observado	
		Choveu?	
		Sim	Não
Previsto	Choveu?	Sim	Não
	Choveu?	a	b
		c	d

Fonte: adaptado de Wilks (2006).

As diferentes combinações entre os possíveis resultados são resumidas por quatro grandezas: “a”, que representa os eventos observados corretamente previstos; “b”, que representa o número de eventos não observados que foram incorretamente previstos; “c”, que representa o número de eventos observados, mas que erroneamente não foram previstos; e “d”, que representa o número de eventos não observados e que corretamente não foram previstos.

Conforme observado em Meller (2012), a taxa de acertos obtidos pelo método proposto é calculada de acordo com a Equação 1 e a taxa de erros obtidos pela Equação 2.

$$H = (a+d)/n \quad (1)$$

$$E = (b+c)/n \quad (2)$$

Em que:

n representa o número total de análises realizadas;

H representa a taxa de acertos obtidos;

E representa a taxa de erros obtidos;

Em relação à análise dos resultados esperados através da Equação 1, define-se seu intervalo de variação entre 0 e 1, com valores próximos a 1 indicando melhores resultados. Para a Equação 2, o intervalo entre os resultados também será de 0 a 1, porém com valores próximos de 1 indicando piores resultados. Estes valores de erros e acertos também podem ser expressos percentualmente, ao serem multiplicados por 100.

4.2.3 Regressão Linear Múltipla

O método de regressão linear múltipla é uma técnica em que são envolvidas duas ou mais variáveis independentes para resultar na variável dependente. Em geral, quanto maior o número de variáveis independentes, melhor tende a ser o ajuste da reta gerada, o que aumenta a probabilidade de correlação entre os dados calculados e os observados (SARMA, 2009; WACKERNAGEL, 1998).

A técnica de regressão pode ser utilizada para o preenchimento de falhas em uma estação, através dos dados observados em estações vizinhas. A definição matemática do método é descrita segundo a Equação 3.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (3)$$

Em que,

Y representa a variável resposta (dado de precipitação da estação que se deseja preencher a falha);

x_1, \dots, x_k representam as variáveis explicativas (dados das estações de apoio, que servirão para calcular o preenchimento da falha);

β_0, \dots, β_k representam os coeficientes de regressão (coeficientes de ajuste);

ε é o erro padrão ou resíduo, que possui distribuição normal.

Para a aplicação do método apresentado, foi selecionado sempre 15 dias anteriores e 15 dias posteriores em relação à falha sintética gerada. Com a seleção da série das quatro estações a serem avaliadas, foram suprimidos os dias com ocorrência de 3 ou mais valores de zero. Isto foi realizado para que os valores de correlação entre as estações não fossem direcionados a resultados muito baixos.

Após a execução do método nas séries selecionadas, pretendeu-se estimar valor de chuva provável para o dia da falha. Entretanto, o produto final estimado será um **intervalo provável** para o preenchimento da falha, sendo o valor obtido pela regressão ± 1 erro padrão para 68% de nível de confiança (Análise 1) ou o valor obtido pela regressão ± 2 erro padrão para 95% de nível de confiança (Análise 2). A aplicação do método para intervalo com 2 erro padrão visa analisar o impacto nos acertos obtidos através de um intervalo de confiança maior. Ambos os cenários, com ± 1 erro padrão e ± 2 erro padrão, terão suas assertividades avaliadas neste trabalho. A Tabela 4 apresenta os valores mínimos e máximos dos intervalos analisados para o preenchimento da falha diária e a Figura 9 ilustra os intervalos propostos para as análises 1 e 2, com o “y” representando o valor calculado através da regressão.

A Análise 1 consiste na aplicação do método da regressão com o intervalo para preenchimento da falha definido como o valor obtido pela regressão ± 1 erro padrão. A avaliação dos resultados consiste na estimativa de quantos valores observados estavam contidos no intervalo sugerido para preenchimento da falha diária, de acordo com a magnitude da chuva.

A Análise 2, é análoga à Análise 1, utiliza exatamente as mesmas falhas sintéticas existentes na Análise 1. Entretanto, para a presente análise, será determinado um intervalo maior para o preenchimento da falha diária, com o intervalo definido como o valor obtido pela regressão ± 2 erro padrão.

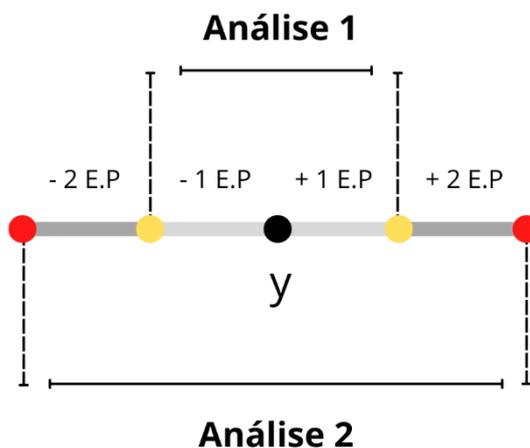
Tabela 4 – Intervalos definidos para as análises de preenchimento de falha através da regressão linear múltipla

	Intervalo	
	Mínimo	Máximo
Análise 1	[valor obtido na regressão] - 1*[erro padrão]	[valor obtido na regressão] + 1*[erro padrão]
Análise 2	[valor obtido na regressão] - 2*[erro padrão]	[valor obtido na regressão] + 2*[erro padrão]

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Recomenda-se a utilização do valor contido no intervalo previsto para preenchimento da falha que seja mais conservador de acordo com a finalidade do dado. Ou seja, se o dado de chuva a ser preenchido destina-se a estudo de vazões mínimas, indica-se o uso do valor mais baixo contido no intervalo resultante. Caso a finalidade do uso do dado de chuva seja o desenvolvimento de estudo de inundação, recomenda-se o uso do valor máximo contido no intervalo obtido.

Figura 9 - Ilustração dos intervalos de preenchimento propostos para as análises 1 e 2



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

4.3 MATERIAIS

Para a aplicação da metodologia descrita, inicialmente foi realizada a obtenção das séries de dados das estações telemétricas do Rio Grande do Sul. Após a execução dos critérios descritos no subitem 4.1, foram selecionadas as estações que apresentavam maior adequação

em relação às premissas propostas. A Tabela 5 apresenta o resumo referente às estações selecionadas para este estudo.

Tabela 5 – Resumo das informações das estações selecionadas

Código	Nome	Responsável (sigla)	Latitude	Longitude	Altitude	Período de dados		% de dados
						Início	Fim	
85350000	PCH Engenheiro Henrique Kotzian Jusante PCH	BME Energia	-29.128	-53.317	189	jan/ 14	ago/ 22	72%
85310000	Ernesto Jorge Dreher	BME Energia	-29.119	-53.405	291	fev/ 15	ago/ 22	84%
85382000	Montante 1 UHE Dona Francisca Arroio Carijinho	Cons. Dfrancisca	-29.385	-53.048	321	mai/ 15	ago/ 22	62%
85380500	UHE Dona Francisca Rio Jacuizinho	Cons. Dfrancisca	-29.231	-53.117	149	nov/ 14	ago/ 22	68%

Fonte: adaptado do inventário de estações pluviométricas da plataforma Hidroweb (BRASIL, 2022)

As estações selecionadas não apresentaram série extensa de dados em anos e também apresentaram variância de altitude entre os pontos de monitoramento, conforme apresentado na tabela de resumo das estações. Isto pode acarretar interferência nos níveis de precipitação local, com a ocorrência de chuvas orográficas. A escolha dessas estações obedeceu principalmente aos critérios de distância entre si (não maior do que 120 km), apresentando maior distância de 45 km. O grupo de estações selecionado para o estudo foi o que apresentou os melhores resultados dentre todas as possibilidades de estações disponíveis no Hidroweb. O principal fator limitante foi a disponibilidade de dados em praticamente todas as outras estações observadas.

Após o cruzamento de períodos comuns entre as séries obtidas, obteve-se o período resultante possível a ser analisado. Os períodos finais disponíveis para análise, com dados concomitantes e sem falhas, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Datas disponíveis para análise em todas as estações selecionadas

Início	Fim
01/09/2021	31/12/2021
01/03/2020	30/04/2020
01/11/2019	31/12/2019
01/09/2016	31/12/2016

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

A série final disponível para análise representa um total de 12 meses completos. Os períodos selecionados, considerando a necessidade de 15 dias anteriores e 15 dias posteriores à falha criada, possibilita uma combinação total de 736 análises (4 estações e 184 datas possíveis).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 RESULTADOS DA ESTIMATIVA DE OCORRÊNCIA DE CHUVA EM ESTAÇÃO COM FALHA DIÁRIA

Na Tabela 7 são apresentados os resultados obtidos para o método aplicado para a estimativa de ocorrência ou não de chuva em estação com falha, de acordo com a magnitude da chuva (classes 0, 1, 2 e 3).

Tabela 7 – Resultados da aplicação do método de ocorrência de chuva

	Classe 0 de 0,00 a 0,00 mm	Classe 1 de 0,00 a 4,99 mm	Classe 2 de 5,00 a 19,99 mm	Classe 3 > 20,00 mm
A	0	13	30	30
B	11	0	0	0
C	0	17	0	0
D	19	0	0	0

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Os resultados expressos como “A” e “D” refletem acertos do método em relação ao observado. Os valores de “A” representam acertos de estimativa do método em relação aos dias que choveu e os valores de “D” representam acertos em relação aos dias que não choveram. Já

os resultados definidos como “B” e “C” representam previsões do método errôneas em relação às observações. Os valores de “B” representam indicativo de ocorrência de chuva pelo método, mas que não foi observada. Os resultados de “C” representam dias em que houve medição de chuva, mas que o método estimou que não havia chovido.

A Tabela 8 apresenta os resultados percentuais de acertos e de erros obtidos através do método, de acordo com a magnitude da precipitação.

Tabela 8 – Resultados percentuais de acertos e erros obtidos pelo método

	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Acertos	63%	43%	100%	100%
Erros	37%	57%	0%	0%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

O resultado do método, ao analisar conjuntamente todas as classes de chuva observadas, representou total de 77% de estimativas corretas em relação ao observado. Estes resultados absolutos e percentuais são apresentados na Tabela 9.

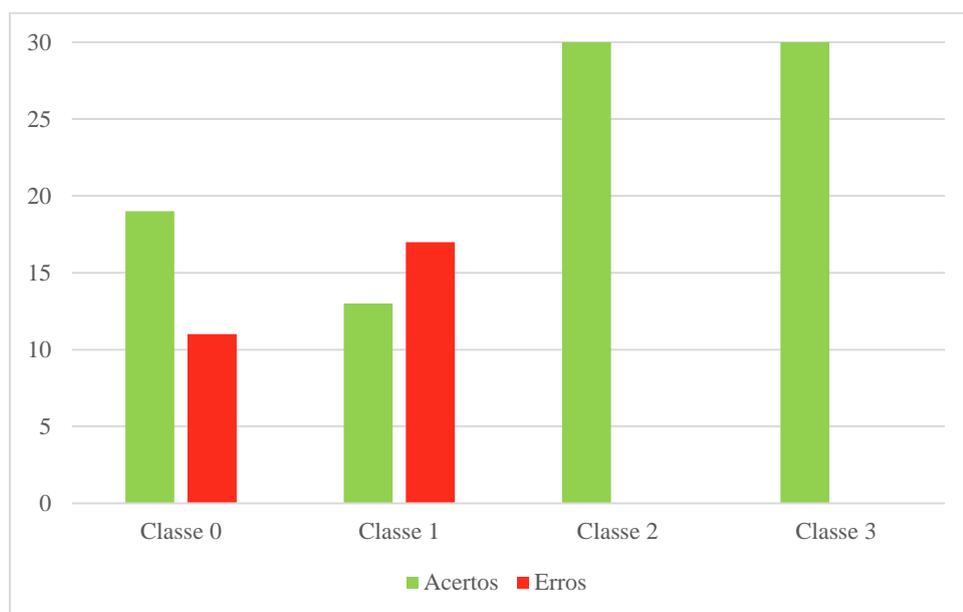
Tabela 9 – Total de acertos e erros (absolutos e percentuais) obtidos através do método

	Absoluto	%
Total de Acertos	92	77%
Total de Erros	28	23%
Total de Análises	120	100%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Para uma melhor observação da assertividade do método, foram analisados em quais cenários existe maior ocorrência de acertos e de erros. A Figura 10 demonstra um gráfico de barras com a distribuição dos acertos e erros, de acordo com a classificação da magnitude da chuva, para o método testado.

Figura 10 – Gráfico representando os acertos e erros do método para cada classe de chuva



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Para a Classe 2 (chuvas diárias superiores a 5 mm e inferiores a 20 mm) e para a Classe 3 (chuvas diárias superiores a 20 mm), nota-se que o método sempre acerta que há a ocorrência de chuva. Portanto, existe assertividade de 100% do método ao afirmar que choveu na estação sem dado diário ao observar ocorrência de chuva de pelo menos 5 mm nas estações vizinhas.

A Classe 0 (sem ocorrência de chuva observada) apresenta 63% de acertos entre previsto e observado. Ou seja, para a classe em que não houve ocorrência de chuva, o método afirmou acertadamente que não houve chuva em 19 análises e em 11 casos afirmou erroneamente que havia chovido, através das observações nas estações vizinhas. Entretanto, ao investigar os 11 casos em que o método errou, constatou-se que em 9 desses erros haviam registros de chuvas nas estações de apoio inferiores a 1 mm. Portanto, caso aplicada uma margem de erro para chuvas com magnitudes menores que 1 mm nas estações vizinhas, o método poderia atingir assertividade de 93% para esta classe de precipitação. A Tabela 10 apresenta as médias dos valores de chuva observados nas estações vizinhas, para os casos em que o método previu (através destes valores apresentados) que choveria na estação principal, mas que não choveu.

Tabela 10 – Valores observados nas estações em que o método errou a previsão na Classe 0

Chuva observada na estação principal	Média da chuva observada nas estações de apoio
0,00	0,13
0,00	0,13
0,00	0,13
0,00	0,13
0,00	0,15
0,00	0,16
0,00	0,16
0,00	0,25
0,00	0,79
0,00	1,09
0,00	2,69

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

A Classe 1 (chuvas diárias maiores que 0 mm e inferiores a 5 mm) foi a que apresentou a pior assertividade dentro todas as classes, com apenas 43% de previsões acertadas. Ou seja, para a classe com a existência de chuvas fracas, o método afirmou acertadamente que houve chuva em 13 análises, mas afirmou erroneamente que não teria chovido em 17. Porém, ao analisar os 17 casos em que a previsão do método foi de não ocorrência de chuva, constatou-se que em todos os casos a chuva observada foi muito baixa - inferior a 1 mm. Portanto, caso aplicada uma margem de erro para as chuvas inferiores a 1 mm, o método teria atingido um total de 100% de acertos. A Tabela 11 apresenta os valores observados de precipitação para os casos em que o método previu a não existência de chuva.

Através dos resultados apresentados, constata-se que, para as precipitações superiores a 5mm, sempre foi possível prever corretamente a ocorrência de chuva. Isto pode ocorrer pelo fato de as chuvas com magnitudes maiores serem originadas por chuvas frontais, que possuem maior área de abrangência e com maior duração. Por consequência, isso faz com que exista maior correlação entre estações próximas.

Em relação às chuvas com magnitude inferior à 5 mm, o método demonstrou incertezas para a definição de ocorrência ou não de chuvas. Os erros apresentados apresentaram-se na faixa entre 0 a 1 mm, o que pode ser ocasionado por chuvas mais localizadas, convectivas.

Tabela 11 – Valores observados na Classe 1 em que o método estimou que não teria havido chuva

Chuva prevista	Chuva Observada
0,00	0,20
0,00	0,20
0,00	0,20
0,00	0,20
0,00	0,20
0,00	0,20
0,00	0,20
0,00	0,20
0,00	0,20
0,00	0,20
0,00	0,20
0,00	0,27
0,00	0,27
0,00	0,27
0,00	0,27
0,00	0,40
0,00	0,80

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

5.2 RESULTADOS DA ESTIMATIVA DE PREENCHIMENTO DE FALHA DIÁRIA ATRAVÉS DO MÉTODO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

5.2.1 Análise 1

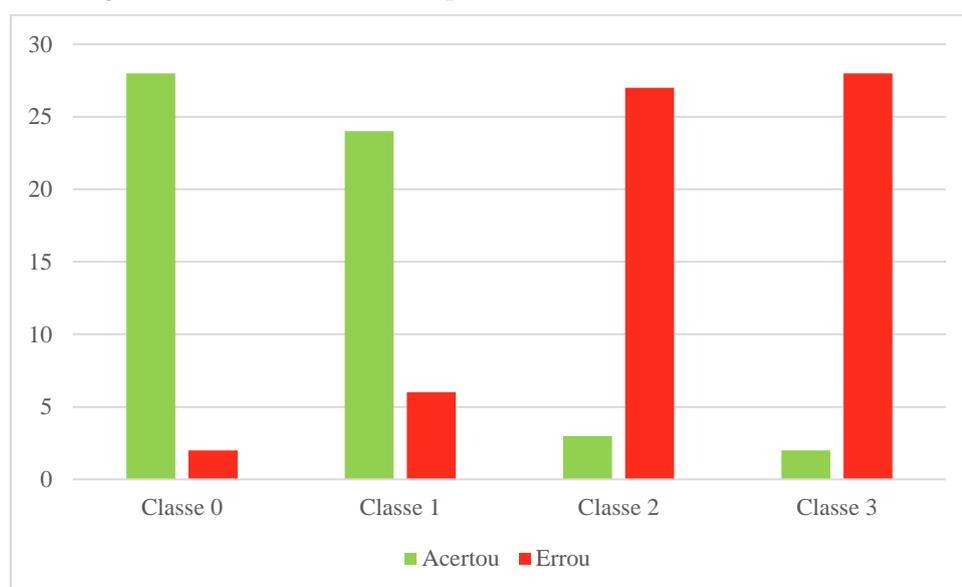
A Tabela 12 apresenta os resultados em que o método acerta ou erra a previsão. A Figura 11 apresenta gráfico de barras com a distribuição entre acertos e erros do método de acordo com a classe.

Tabela 12 – Quantidades de acertos e erros obtidos para a Análise 1

	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Acertos	29	25	4	2
Erros	1	5	26	28

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Figura 11 – Distribuição de acertos e erros obtidos para a Análise 1 de acordo com as classes de chuva



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Para a Classe 0 e para a Classe 1, em que se observa a não ocorrência de chuvas ou chuvas fracas, nota-se elevada quantidade de acertos (90% das análises). Ou seja, constata-se que para chuvas entre 0 e 5 mm o método apresenta boa probabilidade de acertar o intervalo de chuva para preenchimento.

Já para a Classe 2 e para a Classe 3, em que se observa chuvas superiores a 5 mm, nota-se a elevada quantidade de erros (90% das análises). Portanto, constata-se que, para precipitações maiores que 5 mm, o método apresenta péssima probabilidade de aferir o intervalo de chuva para preenchimento.

5.2.2 Análise 2

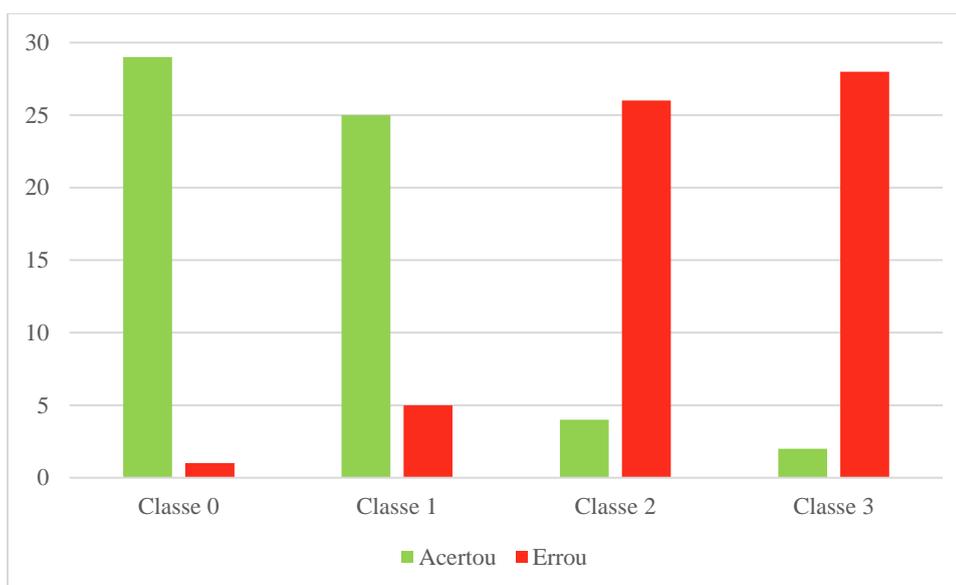
A avaliação dos resultados consiste na estimativa de quantos valores observados estavam contidos no intervalo sugerido para preenchimento da falha diária, de acordo com a magnitude da chuva. A Tabela 13 apresenta os resultados em que o método acerta ou erra a previsão. A Figura 12 apresenta gráfico de barras com a distribuição entre acertos e erros do método de acordo com a classe.

Tabela 13 – Quantidades de acertos e erros obtidos para a Análise 2

	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Acertou	29	26	6	3
Errou	1	4	24	27

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Figura 12 – Distribuição de acertos e erros obtidos para a Análise 2 de acordo com as classes de chuva



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Para a Classe 0 e para a Classe 1, em que se observa a não ocorrência de chuvas ou chuvas fracas, nota-se elevada quantidade de acertos (aproximadamente 92% das análises). Já para a Classe 2 e para a Classe 3, em que se observa chuvas superiores a 5 mm, nota-se a elevada quantidade de erros (85% das análises).

Através dos resultados apresentados, nota-se grande semelhança entre os resultados obtidos para a Análise 1 e para a Análise 2. Com um intervalo maior para preenchimento da falha diária, a presente análise demonstrou ligeira melhora nos resultados obtidos, mantendo praticamente os mesmos resultados obtidos durante a Análise 1.

5.2.3 Erro padrão para definição dos intervalos de preenchimento

O erro padrão calculado para cada uma das análises é fundamental para a definição do intervalo determinado para o preenchimento da falha. Portanto, os valores mínimos, médios e máximos de erro padrão, para cada uma das classificações de chuva, são apresentados na

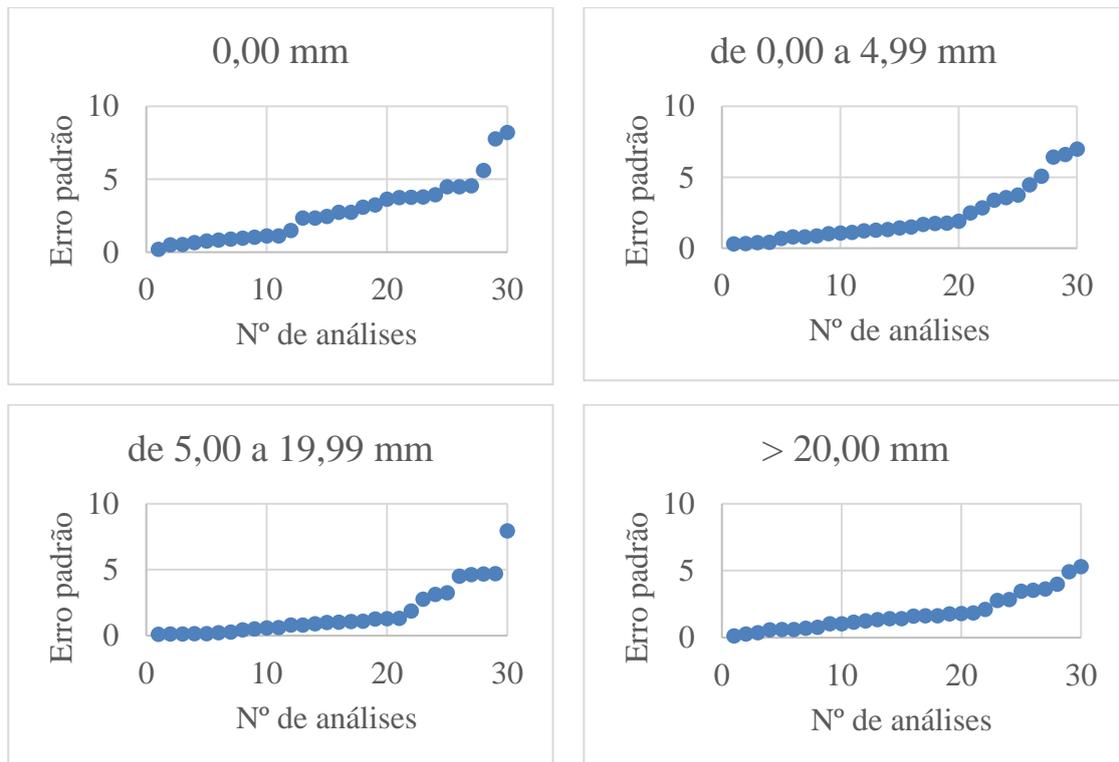
Tabela 14.

Quanto maior o erro padrão calculado, maior será o deslocamento para ajuste da curva de regressão entre as estações analisadas. Outra consequência do aumento do erro calculado é o aumento do intervalo definido para o preenchimento da falha. Segundo os resultados apresentados na tabela, percebe-se tendência de diminuição do erro padrão conforme a magnitude da chuva estudada aumenta. A Figura 13 apresenta a dispersão em ordem crescente dos valores de erro padrão calculados para cada classe de chuva.

Tabela 14 – Estatísticas dos valores de erro padrão calculados

	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Mínimo	0,19	0,31	0,10	0,12
Médio	2,76	2,23	1,70	1,84
Máximo	8,20	6,97	7,94	5,29

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Figura 13 – Valores de erro padrão calculados para cada classe

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

5.3 DISCUSSÃO INTEGRADA DOS MÉTODOS ANALISADOS

Ao analisar os resultados obtidos, constata-se diferenças no aproveitamento dos métodos aplicados de acordo com a magnitude da precipitação a ser preenchida.

Com as incertezas descritas para a definição qualitativa da ocorrência da chuva em chuvas de 0 a 5 mm, o método de regressão linear múltipla mostrou eficiência na estimativa dos intervalos possíveis para preenchimento de falhas dessa magnitude. Este fato mostra-se muito importante, pois caso sejam verificadas chuvas de até 5 mm nas estações de apoio, este método mostrou assertividade para a definição do intervalo de quanto choveu na estação com falha. Os acertos da regressão para essas chuvas podem estar associadas à tolerância imposta pelo erro padrão. Como essa classe de chuva possui um intervalo pequeno, e possuem um erro padrão médio da ordem de 2 mm, o resultado da regressão com a inclusão de um intervalo de tolerância associado a ± 1 ou ± 2 o erro padrão levam a resultados mais satisfatórios.

Para as Classes 2 e 3, enquanto sempre houve acerto da estimativa de ocorrência de chuva, não foram obtidos bons resultados no método de regressão, com assertividade de apenas 10%. Após o método confirmar a existência de chuva no local a ter a falha preenchida, o método de regressão linear múltipla não se mostrou capaz de definir um intervalo útil para preenchimento da falha. Isso pode ocorrer pelo fato de os valores das classes serem maiores, e a tolerância imposta no intervalo com erro padrão ser relativamente pequena. Outro fator preponderante pode ser em relação ao número de observações das séries serem majoritariamente das Classes 0 e 1, o que dificultaria o ajuste para classes com magnitudes maiores, podendo caracterizar-se como uma limitação da metodologia proposta.

Sobre a utilização da Análise 1 ou Análise 2 para o método de regressão, constata-se que não existe grande aumento na assertividade do método com o aumento do intervalo proposto na Análise 2. A Análise 1 demonstrou ter nível de acertos um pouco inferior à Análise 2, entretanto sem apresentar um intervalo muito extenso. A extensão de intervalo proposta na segunda análise pode aumentar um pouco a probabilidade de estimativa correta de intervalo, entretanto, em casos onde o erro padrão for maior, este intervalo definido para o preenchimento da falha pode apresentar-se demasiadamente grande. Isto poderia refletir em incertezas ao utilizar estes intervalos maiores, sem definir um intervalo possível de precipitação otimizado.

A Tabela 15 apresenta comparativo entre os métodos analisados em relação a magnitude das chuvas observadas. A tabela serve como apoio para a visualização em relação aos cenários em que o método apresentado neste trabalho pode ou não ser utilizado.

Tabela 15 – Tabela comparativa entre os métodos propostos

	Magnitude da Precipitação	
	0 a 5 mm	maior que 5 mm
Método de ocorrência ou não de chuva	Bom percentual de acertos, porém com incerteza para chuvas entre 0 a 1 mm	Acerto de 100%
Método da definição de intervalos de quanto choveu	Acerto de 90%	Inviável - acerto de apenas 10%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

6 CONCLUSÕES

O presente estudo se propôs a estudar e avaliar métodos de preenchimento de falhas em séries de precipitação, a partir de dados de precipitação de estações pluviométricas vizinhas na região de estudo.

O método qualitativo para a estimativa de ocorrência de chuva em estação com falhas apresentou ser útil em relação aos objetivos almejados. A incerteza gerada no método quando as precipitações observadas variam entre 0 e 1 mm pode ser alvo de ajuste futuro da metodologia. Este estudo constatou que 92% dos erros deste método encontram-se em precipitações dessa magnitude. Caso este método seja aprimorado com critérios ou premissas que ajustem esta incerteza e estes erros consequentemente tornem-se acertos, este estudo apresenta que o método passaria de 77% de acertos (atual) para 98%.

A definição de intervalos assertivos para preenchimento de falhas diárias proposta apresentou bastante distinção em relação à magnitude da precipitação. Enquanto para chuvas de 0 a 5 mm o método mostrou boa assertividade, para chuvas maiores que 5 mm mostrou-se inviável em relação às premissas e critérios definidos neste trabalho. Entretanto, destaca-se que este ponto pode ser alvo de ajuste em estudo futuro para melhor aproveitamento das séries de dados. Enquanto neste trabalho foi utilizado intervalo de preenchimento de ± 1 ou ± 2 o erro padrão, é de suma importância que se possa examinar critério que seja otimizado para a utilização ou não dos intervalos criados para preenchimento da falha, avaliando o impacto prático da diferença absoluta entre observado e estimado.

Em relação às limitações encontradas para o desenvolvimento deste trabalho, destaca-

se a dificuldade para a obtenção de séries históricas de dados provenientes do setor elétrico do estado do Rio Grande do Sul. Com a análise relativa aos dados do setor elétrico disponíveis no Hidroweb, foram encontradas praticamente só as estações utilizadas neste estudo com série de dados maiores ou iguais a 5 anos. Por conseguinte, a definição da área de estudo também acabou por ser prejudicada, com as estações apresentando relativa variação de altitude entre si. Presume-se que, com uma gama maior de dados hidrológicos e com uma região mais homogênea em relação à variação de altitude, os resultados obtidos para o método poderiam ter sido melhores, com maior correlação entre as estações analisadas. Os períodos possíveis para a realização das análises, limitados pela disponibilidade de dados, concentram-se maioritariamente em períodos de verão. Na região Sul do Brasil isto pode significar diferenças em medições de chuva em estações relativamente próximas - o que pode vir a ser uma limitação para a assertividade da metodologia aplicada. Portanto, recomenda-se a aplicação dos métodos apresentados nesse estudo em número maior de estações, que apresentem menores limitações, para que se possa validar de forma mais conclusiva as observações aqui destacadas.

A disponibilidade dos dados públicos de monitoramento foi o ponto de maior desafio para o desenvolvimento deste trabalho. Vários grupos de possibilidades de análises foram selecionadas no estado do RS, entretanto, geralmente existiam muito poucos ou nenhum dado disponível para as localidades selecionadas. Ressalta-se a importância da disponibilidade dos dados hidrológicos, não só para este trabalho, mas para a sociedade como um todo. É de responsabilidade da ANA, juntamente aos empreendedores, a obtenção e disponibilização das séries de dados medidos.

Reitera-se, também, a importância de ser fomentada a ampliação do monitoramento e disponibilização de séries de dados de qualidade. Isso faz-se ainda mais importante pelo fato de a maioria dos sistemas hidrológicos é do tipo contínuo. Por conseguinte, medidas para tratamento de dados falhos ou faltantes também se fazem muito importantes. É válido reforçar que nenhuma técnica de preenchimento será capaz de traduzir fielmente os eventos naturais, mas que as pesquisas de métodos eficientes devem seguir sendo exploradas em prol da melhoria no aproveitamento das séries hidrológicas.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Relatório Anual de Gestão**. Brasília, 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Sistema de Informações Hidrológicas**. 2005. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>. Acesso em: 22 jan. 2022.
- AQUATIC INFORMATICS. **Global Hydrological Monitoring Industry Trends**. Vancouver: Aquatic Informatics, 2015. Disponível em: <<http://www.aquaticinformatics.com>>. Acesso em: 25 mai. 2022.
- BRASIL. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE. Divisão de Controle de Recursos Hídricos. **Sistemática para análise de consistência e homogeneização de dados pluviométricos**, Brasília, 1984.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União: Brasília, 1997.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED). **Capacitação em Gestão de Riscos**. 2ª ed. Porto Alegre, 2016.
- BRASIL. **Resolução normativa nº 875, de 10 de março de 2020**. Estabelece os requisitos e procedimentos necessários à aprovação dos Estudos de Inventário Hidrelétrico de bacias hidrográficas, à obtenção de outorga de autorização para exploração de aproveitamentos hidrelétricos, à comunicação de implantação de Central Geradora Hidrelétrica com Capacidade Instalada Reduzida e à aprovação de Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica de Usina Hidrelétrica sujeita à concessão. Ministério de Minas e Energia/Agência Nacional de Energia Elétrica/Diretoria/ANEEL. Diário Oficial da União: Brasília, 2020.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Hidroweb**. Sistema de informações hidrológicas. 2022. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 11 mai. 2022.
- BRUBACHER, J.P. ; OLIVEIRA, G.G.; GUASSELLI, L.A. Identificação e análise de eventos extremos de precipitação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. In: **I Congresso Brasileiro Sobre Desastres Naturais**, Rio Claro, 2012.
- BRUBACHER, J.O; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A. Preenchimento de Falhas em Séries Temporais de Precipitação Diária no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia** [online]. 2020, v. 35, n. 2, p. 335-344. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0102-7786352035>>. Acesso em: 12 abr. 2022.
- CHATTERJEE, S.; HADI, A.; PRICE, B. **Regression analysis by example**. New York: Wiley, 2000.
- CHO, A. et al. **The Value of Water Information: Overcoming the Global Data Drought**.

Xylem Inc. White Paper, August. 2017. Disponível em: <<http://xylem.com/waterdata>>. Acesso em: 16 mar. 2022.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013. 336 p.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 13, de 25 de setembro de 2000**. Diário Oficial da União: Brasília, 2000.

DRAPER, N. R., SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley & Sons. 1981.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional. Relatório Síntese**. Rio de Janeiro, maio 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2022.

FEKETE, B.; ROBARTS, R. Time for in Situ Renaissance. **Science**, v. 349, n. 6249, p. 685–868, 2015. Disponível em: <<https://www.science.org/doi/10.1126/science.aac7358>>. Acesso em: 11 mai. 2022.

FEKETE, B. et al. Rational for Monitoring Discharge on the Ground. **Journal of Hydrometeorology**, v. 13, p. 1977–86, 2012. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/13/6/jhm-d-11-0126_1.xml>. Acesso em: 16 mar. 2022.

FERNANDEZ, M. N. **Preenchimento de Falhas em Séries Temporais**. Rio Grande: FURG, 2007.

GLEICK, P. et al. Improving Understanding of the Global Hydrologic Cycle. In: ASRAR, G., HURRELL, J. (eds) **Climate Science for Serving Society**. Springer, Dordrecht, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6692-1_6>. Acesso em: 09 jun. 2022.

GOUVEA, R. et al. Análise de frequência de precipitação e caracterização de anos secos e chuvosos para a bacia do rio Itajaí. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/55276>>. Acesso em: 4 mar. 2022.

JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY. **Evaluation of measurement data -Guide to the expression of uncertainty in measurement**. s.l: JCGM, 2010.

MARTINS, L. R. **Efeito em totais mensais de precipitação do não preenchimento de falhas nos dados diários**. 2019. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2019. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/202063>>. Acesso em:

MELATI, M.; MARCUZZO, F. Espacialização da recomendação de novas estações pluviométricas na sub-bacia 87 segundo os critérios de densidade da Organização Mundial de

Meteorologia. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 2015. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15130>>. Acesso em: 12 abr. 2022.

MELLER, A. **Previsão de cheias por conjunto em curto prazo**. 2012. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/70057>>. Acesso em: 25 mai. 2022.

MELLO, Y. R.; KOHLS, W.; OLIVEIRA, T. M. N. Uso de diferentes métodos para o preenchimento de falhas em estações pluviométricas. **Boletim de Geografia**, v. 35, n. 1, p. 112-121, 2017.

NECTOUX, M. P. **Análise custo benefício das informações provenientes da rede hidrometeorológica nacional: aplicação na cadeia causal da garantia física de PCHs**. 2021. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/233941>>. Acesso em: 09 jul. 2022.

NECTOUX, M.; FADEL, A.; GIACOMELLI, L. A resolução conjunta ANA/ANEEL Nº 03/2010 como ferramenta de aprimoramento do monitoramento hidrometeorológico do rio grande do sul. **Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis, 2017.

PEIXINHO, C. F. et al. **Relatório de Viagem ao Exterior Missão 2 – USGS/ANA/CPRM - Programa do USGS de “Treinamento de Instrutores” CPRM – Serviço Geológico do Brasil**, 2015.

RIO GRANDE DO SUL, Departamento de Gestão de Recursos Hídricos e Saneamento - DRHS. **Relatório Anual de Conformidade do Setor Elétrico - 2020**. Porto Alegre, 2021. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202107/13181457-relatorio-03-2021-gab-drhs-diout-sema-relatorio-anual-de-conformidade-do-setor-eletrico.pdf>>. Acesso em: 04 jan. 2022.

SANTOS, I. et al. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: CEHPAR, 2001.

SANTOS, J. G. R.; VESPUCCI, A. G.; BAYER, M. Estações fluviométricas do estado de Goiás: qualificação dos dados hidrológicos disponíveis na base HIDROWEB/ANA. **Ateliê Geográfico**, v. 10, n. 3, p. 89-108. 2016.

SARMA, D. D. **Geostatistics with applications in earth sciences**. 2a. ed. India: Springer, 2009.

SMITH, J. A. Precipitation. In: MAIDMENT D. R. (Org.). **Handbook of Hydrology**. Michigan: McGrall-Hill, 1992. p. 1424.

TOLEDO, B. **Reportagem “Monitorar para gerir”**. P22on, 2018. Disponível em: <www.p22on.com.br/2018/03/10/monitorar-para-gerir/>. Acesso em: 01 ago. 2022.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 256 p.

WACKERNAGEL, H. **Multivariate geostatistics: An introduction with applications**. France: Springer, 1998.

WAGNER, P. D.; WASKE, B. Importance of spatially distributed hydrologic variables for land use change modeling. **Environmental modelling & software**, v. 83, p. 245-254. 2016.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. Academic Press, 2a ed., 627p. 2006.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Methods of observation. In: _____. **Guide to Hydrological Practices: hydrology from measurement to hydrological information**. 6. ed. Geneva, Switzerland , 2008. v. 1, n. 168, cap. 2, p. 24-27. Disponível em: <http://www.whycos.org/chy/guide/168_Vol_I_en.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2022.

XU, P. et al. A two-phase copula entropy-based multiobjective optimization approach to hydrometeorological gauge network design. **Journal of Hydrology**, v. 555, p. 228-241, 2017.