



Delimitação de Áreas de Preservação Permanente em Cursos d'água para Fins de Gestão no Estado do Rio Grande do Sul: um modelo de regressão com dados hidrológicos e técnicas de geoprocessamento

Delimitation of Permanent Preservation Areas in Water Courses for Management Purposes in Rio Grande Do Sul State: a Regression Model with Hydrological Data and Geoprocessing Techniques

Fernando Comerlato Scottá¹, Bruno Alvarez Scapin², Eduardo Manara³, Raíza Schuster⁴, Aline Duarte Kaliski⁵, Dieyson Pelinson⁶ e Fernando Setembrino Cruz Meirelles⁷

¹ Secretaria de Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. fernando-scotta@sema.rs.gov.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3997-8420>

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. brunoscapin11@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8013-468X>

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. eduardonmanara@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2713-6683>

⁴ Secretaria de Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. raiza-schuster@sema.rs.gov.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4717-5863>

⁵ Secretaria de Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. aline-kaliski@sema.rs.gov.br.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9376-4463>

⁶ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. pelinsondieyson@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1294-4403>

⁷ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. fernandomeirelles@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1483-8838>

Recebido: 06.2023 | Aceito: 01.2024

Resumo: O objetivo do trabalho é propor um modelo de regressão para delimitar as Áreas de Preservação Permanente (APPs) das faixas marginais dos cursos de água para as bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul a partir de técnicas de hidrologia e geoprocessamento. A metodologia consiste em determinar uma equação de regressão relacionando a largura média dos cursos d'água com a área de drenagem e, a partir da equação gerada, estimar uma aproximação para o tamanho das APPs dos cursos d'água com softwares de geoprocessamento. Foi possível ajustar e validar um modelo de regressão que delimitou a largura das APPs das faixas marginais de todos os cursos hídricos do RS. A avaliação indica que a metodologia possui rápido processamento e é válida para estudos em escala de âmbito regional, como, por exemplo, em estudos de planejamento de bacias hidrográficas. O cruzamento das APPs geradas pela equação em uma bacia hidrográfica com o mapa de uso e ocupação do solo permitiu quantificar a proporção das APPs com usos adequados e inadequados, sendo uma ferramenta válida para fins de diagnóstico da situação dos recursos hídricos. Limitações intrínsecas da acurácia posicional da Base Cartográfica do Rio Grande do Sul em escala de 1:25.000, do modelo de regressão e erros oriundos do processamento são os fatores limitantes da metodologia quanto à acurácia das APPs delimitadas. Dessa forma, o método apresentado deve ser utilizado com ressalvas em situações localizadas ou para estudos e processos que exijam valores precisos.

Palavras-chave: Recursos Hídricos, Sistema de Informação Geográfica, Bacia Hidrográfica, Planejamento, Código Florestal.

Abstract: This work aims to propose a regression model to delimit the permanent preservation areas (PPAs) of the marginal strips of watercourses for the hydrographic basins of Rio Grande do Sul based on hydrology and geoprocessing techniques. The methodology consists in determining a regression equation relating the average width of the watercourses with the drainage area and, from the generated equation, estimating an approximation for the PPAs size of the watercourses with geoprocessing software. It was possible to adjust and validate a regression model that delimited the width of PPAs in the marginal strips of all watercourses in RS. The evaluation indicates that the methodology has fast processing and is valid for studies on a regional scale, such as, for example, in hydrographic basin planning studies. Crossing the PPAs generated by the equation in a hydrographic basin with the map of land use

and occupation allowed quantifying the proportion of PPAs with adequate and inappropriate uses, being a valid tool for diagnosing the situation of water resources. Intrinsic limitations of the positional accuracy of the Cartographic Base of Rio Grande do Sul at a scale of 1:25,000, of the regression model and errors arising from processing are the limiting factors of the methodology regarding the accuracy of the delimited PPAs. Thus, the presented method should be used with restriction in localized situations or for studies and processes that require precise values.

Keywords: Water Resources, Geographic Information System, Hydrographic Basin, Planning, Forest Code.

1 INTRODUÇÃO

A definição das Áreas de Preservação Permanente (APPs) ao longo dos rios no Brasil vem sofrendo alterações legais ao longo dos anos. No caso de cursos d'água, o artigo nº 4 da Lei Federal nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012), define APPs como as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em larguras mínimas variando com a largura dos cursos d'água:

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros.

Observa-se que essas larguras do curso d'água referem-se ao leito regular, definido como *a calha por onde correm regularmente as águas do curso d'água durante o ano*. Dessa forma, para definir o leito regular seriam necessárias diversas medições para encontrar a regularidade dos cursos d'água para, posteriormente, definir a faixa marginal das APPs.

O protocolo de medição de vazão dos cursos d'água no Brasil, adotado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e executado pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) no estado do Rio Grande do Sul, estabelece a medição e registro da largura no momento da coleta dos dados. Assim, as campanhas de medição apresentam os dados de largura e vazão correspondente. A partir da análise destes dados, percebe-se que a largura do curso tem pequenas variações dentro de uma grande amplitude de valores de vazão. Portanto, pode-se inferir que a largura da calha do leito regular do curso d'água pode ser estimada em função de sua vazão média.

Além disso, a área de drenagem é um dos principais fatores relacionados com a vazão média dos cursos d'água, que é um dado que pode ser obtido a partir de técnicas de geoprocessamento, sem a necessidade de medições em campo. Segundo Tucci (2002), a vazão média apresenta forte correlação com a área de drenagem, normalmente em uma função de potência.

Diversos trabalhos mapearam e delimitaram as APPs por meio de técnicas de geoprocessamento (MAIA et al., 2022; CAVA et al., 2022; NOWATZKI et al., 2021; ROSA; FERREIRA, 2021; PADILHA; CENTENO; FARIAS, 2017; LOUSADA et al., 2016; DOMINGUES et al., 2015; VIEGAS et al., 2014; LEAL et al., 2013; PINHEIRO et al., 2004). A maioria desses trabalhos aplicou a ferramenta *'buffer'* em ambiente de geoprocessamento, que permite delimitar uma zona de influência a partir da linha do rio de forma ágil e rápida.

Maia (2022) definiu a largura das APPs através trabalho de campo no Córrego Samambaia, localizado no Distrito Federal (DF). Cava et al. (2022) e Pinheiro et al. (2004) utilizaram a largura de 30 m para toda a área de estudo. Paes et al. (2014) definiram 30m de largura de APPs para os cursos d'água afluentes do rio Sapucaí (que possuem largura inferior a 10m) e uma faixa de 50m para o curso do rio Sapucaí (que possui largura entre 10m e 50m), baseados no Plano Diretor Participativo de Santa Rita do Sapucaí. Rosa e Ferreira

(2021) utilizaram imagens do Google Earth Pro estabeleceram 30 m de APPs para cursos d'água de até 4ª ordem, 50 ou 100 m para os rios de 5ª ordem, pois os mesmos possuem largura superior a 10 m, podendo alguns trechos de rios atingir aproximadamente 100 m de largura.

A partir dos trabalhos supracitados, fica claro que os critérios para a delimitação da calha regular e largura de APPs são desiguais na sua concepção, muitas vezes são simplificados, trabalhosos (ex. trabalhos de campo) e por vezes necessitam de trabalhos prévios. Portanto, embora as ferramentas de geoprocessamento tenham a capacidade de aplicar a delimitação das APPs de forma rápida, a maior pergunta reside na entrada dos dados, isto é, na definição do leito regular dos rios e conseqüentemente a largura das APPs.

Além disso, a maioria dos trabalhos possui escala local e aplicaram a delimitação das APPs de uma quantidade pequena de cursos d'água. Trabalhos em grandes bacias hidrográficas, como de Nowatzki et al. (2021), que mapearam as APPs na Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema, possuem grande esforço de concretização e são escassos na literatura.

Utilizando técnicas de hidrologia combinadas com geoprocessamento, Pietzsch (2013) encontrou relação entre área de drenagem, vazão e largura dos cursos d'água para delimitar APPs em cursos hídricos nas bacias de pequeno porte dos rios Caverá (1.463 km²) e Ituim (1.339 km²), ambas no Rio Grande do Sul. O trabalho demonstrou aplicabilidade deste método que relaciona duas variáveis hidrológicas essenciais e que pode ser expandido para bacias hidrográficas com grandes áreas de drenagem.

A partir das premissas abordadas no trabalho de Pietzsch (2013) e partindo para uma abordagem de extrapolação para todo o território do Estado do Rio Grande do Sul (RS), esse trabalho tem como objetivo propor um modelo de regressão para delimitar a largura da APPs das faixas marginais dos cursos d'água do RS a partir de técnicas de hidrologia e geoprocessamento. Também é objetivo do trabalho apresentar a metodologia no recorte de bacias hidrográficas de maior escala para apresentar e discutir as limitações do método e sua aplicabilidade com enfoque na gestão de recursos hídricos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia do trabalho está dividida em 3 etapas: 1) análise de regressão entre área de drenagem e largura média do curso d'água; 2) validação da largura dos cursos d'água geradas pelo modelo; 3) geração dos polígonos das APPs.

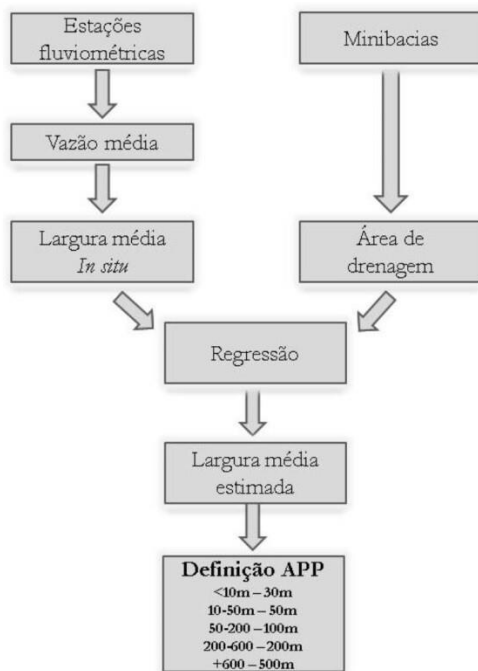
2.1 Um modelo de regressão entre área de drenagem e largura média dos cursos d'água

O fluxograma básico é representado na Figura 1. Dois tipos de dados foram utilizados:

- a) Dados de 160 estações fluviométricas ANA/CPRM, com dados de largura média e vazão medidos em campo;
- b) Arquivo vetorial de microbacias (ou mini bacias) do DRHS/SEMA (Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento / Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura), contendo a informação área de drenagem.

Basicamente, a metodologia consiste em determinar uma equação de regressão relacionando a largura média do curso d'água fornecida pelos dados de estações com a área de drenagem, informada no arquivo de microbacias. A partir da equação gerada, é possível estimar a largura média dos cursos d'água para cada local a partir da área de drenagem.

Figura 1 – Fluxograma com a concepção geral do trabalho.



Fonte: Os autores (2021).

Para aplicar o ajuste proposto, utilizou-se dados de 121 estações fluviométricas selecionadas de forma aleatória. Os dados das 39 estações restantes foram utilizados para a validação (amostras independentes). A Figura 2 mostra um mapa com as estações utilizadas para a aplicação da presente metodologia. Considerando os dados das estações disponíveis, obteve-se, para cada uma delas a amplitude interquartil (AIQ) das medições de vazão através da Eq. (1):

$$AIQ = Q_3 - Q_1 \tag{1}$$

onde Q_3 e Q_1 são, respectivamente, o terceiro e primeiro quartil das medições de vazão, valores que correspondem à frequência de não superação de 0,75 e 0,25. Os limites superior e inferior foram obtidos através das Eq. (2) e Eq. (3):

$$LS = Q_3 + 1,5 AIQ \tag{2}$$

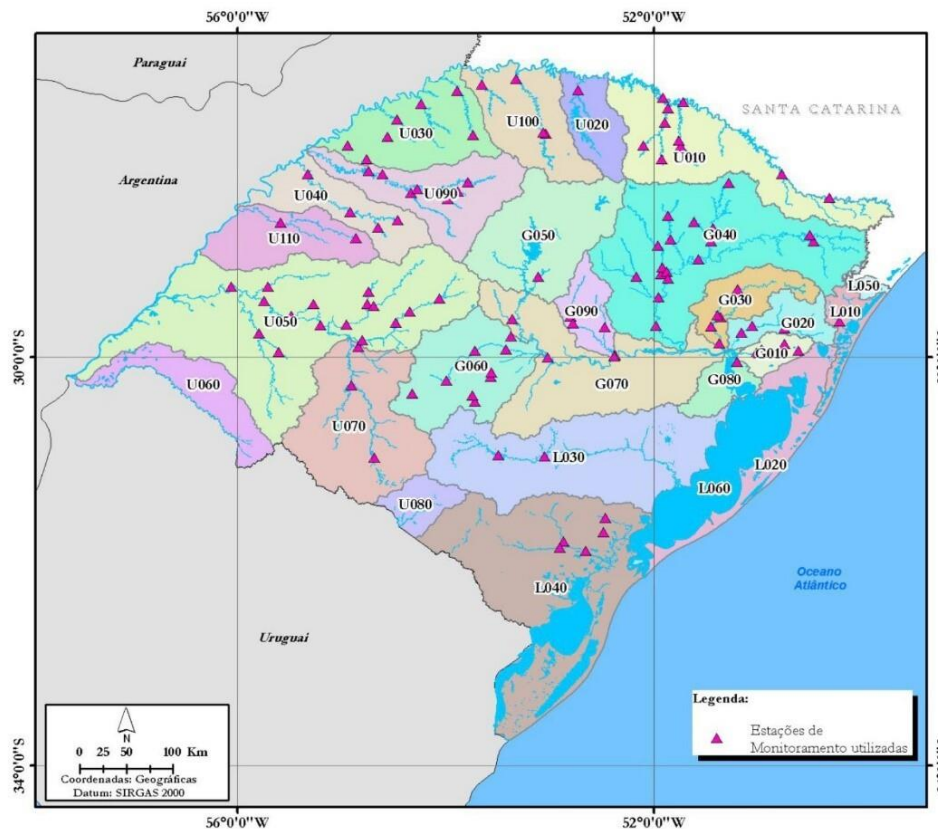
$$LI = Q_1 - 1,5AIQ \tag{3}$$

As medições que extrapolaram os limites supracitados foram descartadas. Utilizou-se os valores de largura correspondentes às medições restantes para obter a média da largura medida em cada estação. Com os dados filtrados ajustou-se uma lei de potência que caracteriza a largura média (L_m), em função da área de contribuição (A) através da Eq. (4):

$$L_m = a \cdot A^b \tag{4}$$

onde os coeficientes a e b foram determinados através do Método dos Mínimos Quadrados. Assim, os valores de largura média dos cursos d’água estimados para estas estações a partir das equações do estudo realizadas para o RS (SEMA-RS, 2010), foram relacionados aos dados de área de drenagem informados no banco de dados das estações de monitoramento.

Figura 2 - Estações utilizadas para ajuste do modelo de regressão.



Fonte: Os autores (2022).

2.2 Validação da largura dos cursos d’água geradas pelo modelo

Para a validação do modelo de regressão, 39 estações restantes foram utilizadas como amostras independentes. Foi comparada a largura média do rio ajustada pelo modelo com a largura média determinada pelos dados das estações fluviométricas. O coeficiente de determinação (R^2) e a raiz do erro quadrático médio (NRMSE) foram utilizados como métricas para avaliar o modelo.

2.3 Geração do polígono de APPs em ambiente de Sistema de Informação Geográfica

A partir da equação gerada, foram definidas as larguras dos cursos d’água para o ponto final de cada microbacias, tendo como base a drenagem da Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul (BCRS25), escala 1:25.000 (SEMA-RS, 2018). Com essas informações, foram gerados os polígonos das faixas marginais de APPs de acordo com cada largura média de curso d’água, seguindo os critérios do artigo nº 4 da Lei Federal nº 12.651/2012, em ambiente de Sistema de Informação Geográfica.

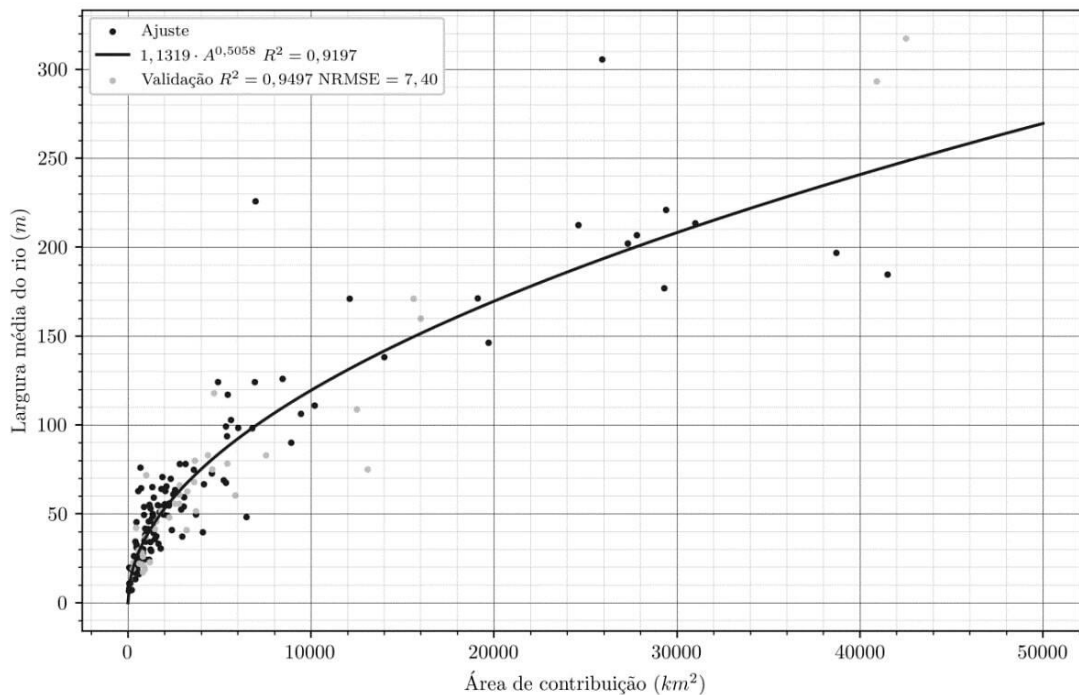
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta os dados utilizados para o ajuste, a função ajustada e os dados utilizados para a validação. O ajuste obtido, dado pela Eq. (5), apresenta um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9197 com respeito aos valores medidos:

$$L_m = 1,1319 \cdot A^{0,5058} \tag{5}$$

sendo a Largura (L_m) em metros e a Área (A) em km^2 .

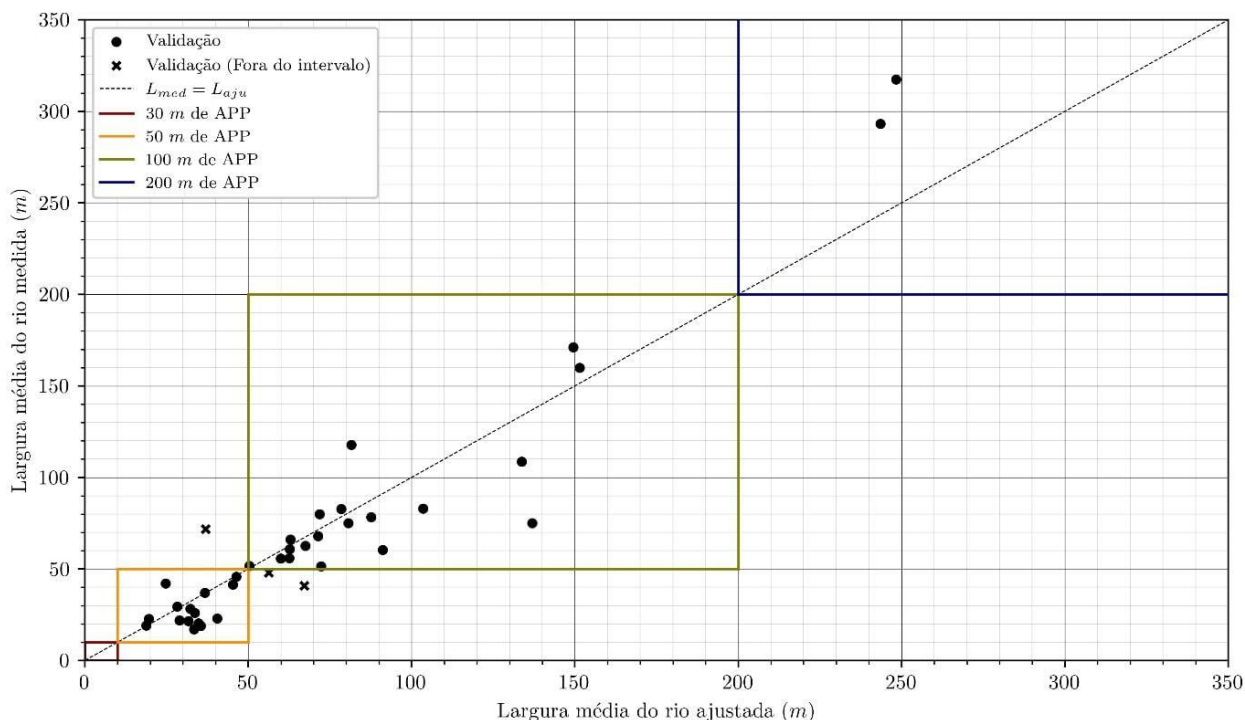
Figura 3 - Relação entre área de drenagem (área de contribuição) e largura média dos cursos d'água.



Fonte: Os autores (2023).

Para a etapa de validação, foi possível classificar corretamente as faixas de APPs de 36 das 39 estações aleatoriamente escolhidas para a validação, com apenas 3 estações ficando fora dos intervalos de APP. A Figura 4 apresenta a comparação de cada estação com as faixas de largura das APPs delimitadas pelos retângulos do gráfico. Observa-se que as estações possuem validação nas faixas de 50m, 100m e 200m de APP. Para as métricas de validação propostas, o R^2 de 0,9497 e raiz do erro quadrático médio normalizado (NRMSE) de 7,4% foi considerado satisfatório. Portanto, os dados de estações independentes evidenciam que o ajuste é considerado adequado para validar o modelo de regressão.

Figura 4 - Comparação entre valores de largura medida e calculadas a partir da equação geral.



Fonte: Os autores (2023).

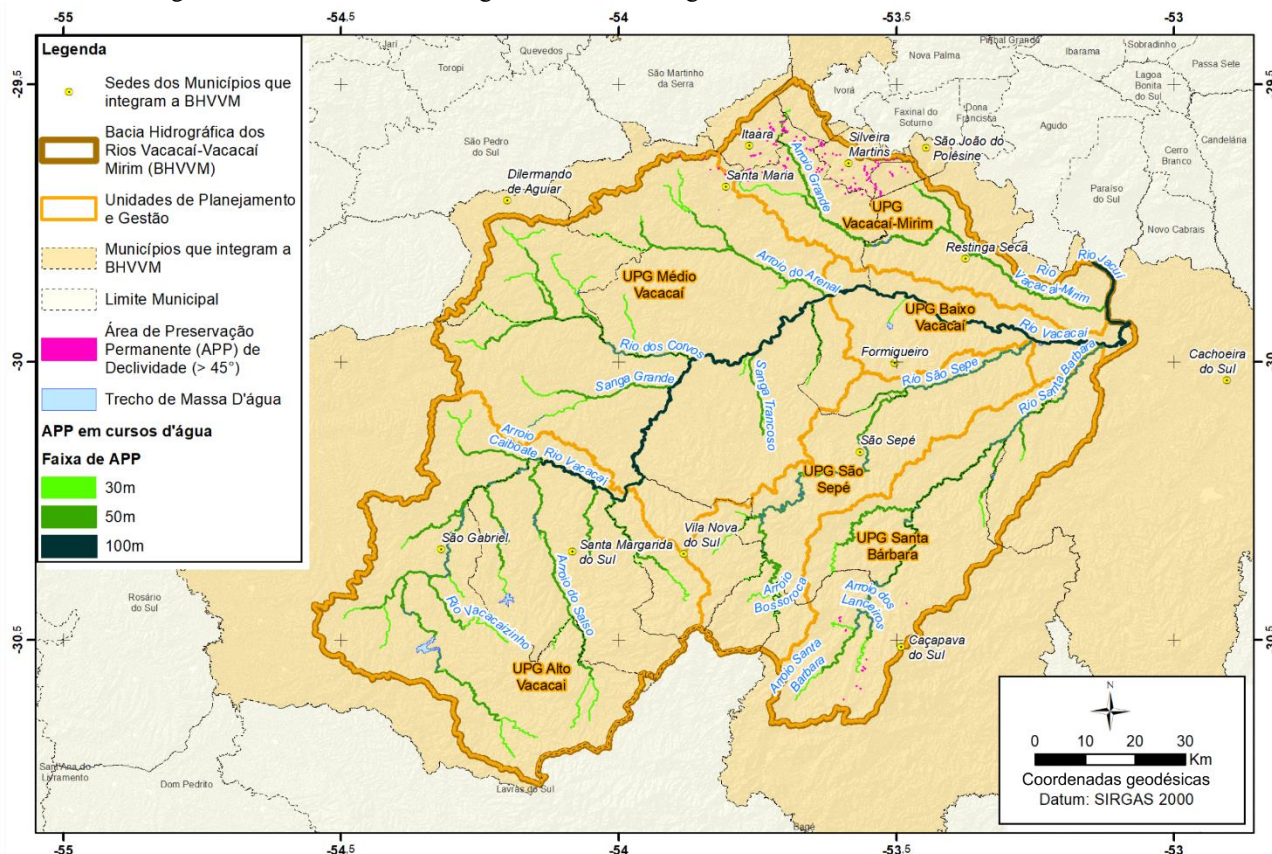
Embora o ajuste apresente estações fora do intervalo, o método é considerado válido para aplicações de caráter geral, isto é, a possibilidade de utilização de apenas uma equação para estimar as APPs de todos os cursos hídricos do RS. Especificidades locais de uma bacia hidrográfica, tais como características geológicas ou geomorfológicas, não foram consideradas por esse método.

Os resultados foram gerados para cada BH e depositados no banco de dados do DRHS/SEMA. Um exemplo da aplicação ocorreu na Bacia Hidrográfica dos rios Vacacaí - Vacacaí-Mirim, a qual possui um Plano de Bacia Hidrográfica (que corresponde a um dos instrumentos de planejamento previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos - Lei Federal nº 9.433/1997) sendo desenvolvido pela equipe técnica do DRHS. A aplicação está inclusa no relatório da Fase A – Diagnóstico do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos rios Vacacaí - Vacacaí-Mirim (SEMA, 2021).

Os resultados gerados são apresentados na Figura 5, a qual apresenta as APPs dos cursos d'água, utilizadas com o método proposto. As APPs foram cruzadas com o mapa de uso e ocupação do solo da coleção 5 do Projeto MapBiomas (MAPBIOMAS, 2018), para o ano de 2018, permitindo quantificar e diagnosticar a proporção das APPs com usos adequados e inadequados na bacia hidrográfica. Na Tabela 1 são encontrados os valores respectivos à porcentagem de cada tipo de uso do solo sobre a área de APP calculada integrado por Unidade de Planejamento e Gestão (UPG) na bacia hidrográfica.

Para fins de gestão territorial na escala de bacia hidrográfica, a metodologia proposta se mostra interessante por possibilitar a quantificação e a espacialização dos usos do solo em áreas de preservação. Na Bacia Hidrográfica dos rios Vacacaí - Vacacaí-Mirim, foi possível estimar as UPGs com maior ou menor taxa de classes de uso do solo de formação florestal e formação campestre nas faixas de APP. A UPG Vacacaí-Mirim apresentou a menor taxa dessas classes, a qual se associa com as condições de degradação na qualidade da água (SEMA, 2021). Este tipo de reconhecimento é importante em escala de bacias hidrográficas, pois promove um melhor reconhecimento da dinâmica de interação com os recursos hídricos em diferentes porções da bacia.

Figura 5 - APPs nos cursos d'água da Bacia Hidrográfica dos rios Vacacaí - Vacacaí-Mirim.



Fonte: SEMA (2021).

Tabela 1. Porcentagem de área ocupada por cada uso do solo sobre a área de APP calculada em cada UPG da Bacia.

Uso do Solo	UPG Alto Vacacaí	UPG Médio Vacacaí	UPG Baixo Vacacaí	UPG Santa Bárbara	UPG São Sepé	UPG Vacacaí-Mirim
Formação Florestal	77,20%	63,61%	67,04%	74,03%	79,93%	63,15%
Formação Campestre / Pastagem	6,06%	8,19%	5,48%	12,93%	6,32%	3,27%
Floresta Plantada	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,08%	0,07%
Agricultura – Outras Lavouras	10,55%	20,68%	7,48%	11,59%	11,02%	27,11%
Agricultura – Soja	1,79%	1,12%	1,85%	0,46%	1,05%	0,73%
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,00%	0,93%	0,00%	0,00%	0,00%	1,94%
Infraestrutura Urbana	0,39%	0,68%	0,00%	0,00%	0,00%	0,26%
Água	3,91%	4,39%	14,29%	0,94%	1,50%	3,31%
Outra Área não Vegetada	0,06%	0,39%	3,86%	0,04%	0,08%	0,15%
Afloramento Rochoso	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: SEMA (2021).

3.1 Discussões e limitações do método

A partir das análises desenvolvidas, destacam-se quatro limitações que prejudicam a delimitação correta das APPs:

3.1.1 A REDE HIDROGRÁFICA E O REGIME HÍDRICO

As APPs são obrigatórias apenas em cursos d'água naturais perenes e intermitentes, excluindo os efêmeros. Drenagens efêmeras se configuram como drenagens com escoamento superficial ocorrendo logo após eventos de chuva. Através disso, a construção da rede hidrográfica geralmente não leva em conta o regime hídrico, o que gera discrepâncias entre a presença de um curso hídrico da rede hidrográfica num local de drenagem efêmera ou reciprocamente. Rios intermitentes e efêmeros são temporários e de difícil mapeamento (CAVA et al., 2022).

Disparidades entre a rede hidrográfica disponível pelos órgãos oficiais e a realidade terrestre são problemas corriqueiros no Brasil (e. g. TANIWAKI et al., 2018) e em outras partes do mundo (e. g. MORISAWA, 1957). Cava et al., (2022) analisaram este tema detalhadamente e recomenda a verificação em campo e que as cartas hidrográficas não devem ser tratadas como verdade absoluta para nortear decisões jurídicas na escala de imóveis rurais.

3.1.2 ACURÁCIA POSICIONAL DA BASE CARTOGRÁFICA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL - VERSÃO 1.0 – 2018

As APPs foram geradas a partir dos trechos de drenagem da Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:25.000. Portanto, a localização das APPs geradas é consequência da escala e também da acurácia posicional da BCRS25 e pode variar se outra rede hidrográfica for utilizada.

Como apontado na documentação (SEMA-RS; 2018), no processo de validação de consistência cartográfica, foi possível enquadrar a BCRS25, escala 1:25.000, na Classe C1 conforme o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD). Para a classe C do PEC-PCD se admite para a escala 1:25.000 um erro médio de 20m.

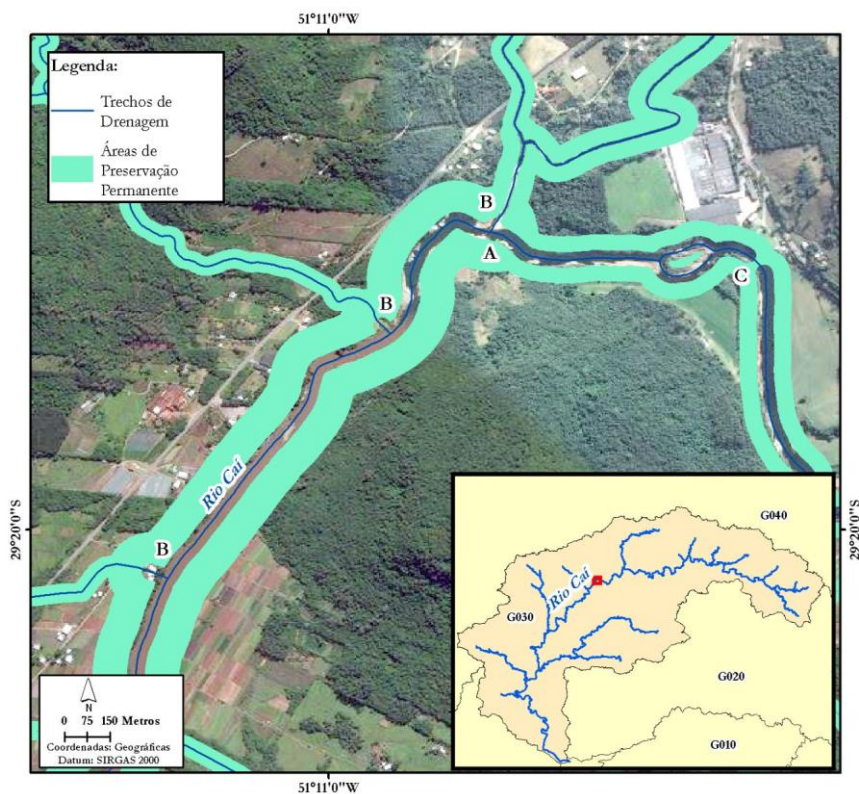
3.1.3 LIMITAÇÕES NA EQUAÇÃO DE ÁREA DE DRENAGEM E LARGURA MÉDIA DOS CURSOS D'ÁGUA

A relação estimada no modelo de regressão pode subestimar ou superestimar a largura média dos

cursos d'água e conseqüentemente a largura da APP. Pela equação ser geral para todos os cursos d'água do RS, é possível assumir que a relação do modelo de regressão não será correta para todos os cursos d'água e conseqüente produzindo subestimação ou superestimação das larguras de APP.

A precisão da regressão é importante para valores próximos aos limites das faixas de delimitação de APP, isto é, a mudança da largura de APP quando a área de drenagem atinge um valor que corresponde, através da equação, a uma largura que acarreta a mudança da largura de APP. Isso pode acontecer mesmo que na prática o rio mantenha a mesma largura que apresenta a montante (Figura 6 – Ponto A). Por exemplo, o valor de 83 km² de área de drenagem é o limiar entre rios com largura média menor ou maior que 10 metros, ou seja, valores menores e maiores de área de drenagem produzem APPs com larguras de 30 m ou 50 m, respectivamente. Situação igual acontece para rios com largura média 50, 200 e 600 metros, que possuem valores fronteiros relacionados com a área de drenagem. Portanto, o local de mudança súbita da largura da APP gerada é impreciso porque não reflete necessariamente com a realidade da largura média do curso d'água. Para um planejamento com uma visão mais conservativa da bacia, para reduzir esta limitação, poderiam ser adotados valores de áreas limites um pouco inferiores ao encontrado pela equação, se aprovado nas instâncias correspondentes.

Figura 6 - Resultado das APPs geradas no rio Caí e rios tributários da Bacia Hidrográfica do Caí (G030). Ponto A – Representa o aumento de faixa de largura da APP relacionado com a área de drenagem. Pontos B – Problemas na geração da APP na confluência dos rios. Ponto C – Problemas na geração da largura média do rio.



Fonte: Os autores (2022).

3.1.4 ERROS SISTEMÁTICOS ORIUNDOS DO PROCESSAMENTO EM AMBIENTE DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Erros sistemáticos foram registrados nos resultados oriundos do processamento. No encontro entre os cursos d'água, a confluência dos rios tributários possui a largura média do rio principal, aumentando por conseqüência a largura de APP (Figura 6– Ponto B). Esse foi o principal erro do método e foi comum para todas as bacias hidrográficas processadas.

Ao longo de alguns cursos d'água, foram geradas diferenças pontuais da largura média do rio e conseqüentemente da largura do *buffer* da faixa marginal (Figura 6 – Ponto C). Esse erro também foi comum para as bacias hidrográficas processadas, embora tenha ocorrido em menor quantidade que o primeiro erro.

Esses dois erros sistemáticos limitam a delimitação da APP para casos localizados. Evidentemente, reservatórios artificiais não são representados pelo método, exigindo a introdução de um arquivo vetorial específico para corrigir essa inconsistência.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível ajustar e validar um modelo de regressão que delimitou a largura das APPs das faixas marginais dos cursos d'água do RS a partir de técnicas de hidrologia e geoprocessamento. Esse trabalho possui a mesma abordagem da proposta de Pietzsch (2013), porém o modelo proposto utiliza um modelo regressão que possibilita estimar as APPs de todos os cursos hídricos do RS.

A metodologia possui rápido processamento e é válida para estudos em escala de âmbito regional, como, por exemplo, em estudos de planejamento de bacias hidrográficas. O cruzamento das APPs com o mapa de uso e ocupação do solo permitiu quantificar a proporção das APPs com usos adequados e inadequados na bacia hidrográfica, sendo uma ferramenta válida para fins de diagnóstico ambiental regional vinculado aos recursos hídricos.

Por ser baseada na área de drenagem, a APP calculada sempre terá incrementos de montante para jusante, evitando assim que essa área tenha reduções esporádicas por condições naturais ou antrópicas. A área da bacia é um fator de determinação pública e impessoal em ambiente de geoprocessamento, se considerada a mesma base cartográfica e a mesma metodologia de determinação. Além disso, pode ser considerada imutável e facilmente auditável.

Limitações intrínsecas da acurácia posicional da base cartográfica do Rio Grande do Sul em escala de 1:25.000, do modelo de regressão e erros oriundos do processamento são os fatores limitantes da metodologia quanto à acurácia da APP delimitada. Dessa forma, o método apresentado deve ser utilizado com ressalvas em situações localizadas ou para estudos e processos que exijam valores precisos.

Contribuição dos Autores

Conceptualização - F.S.C.M., F.C.S.; Curadoria dos dados - R.C.S, A.D.K.; Investigação - B.A.S., E.M., R.C.S, A.D.K.; Análise formal - B.A.S., E.M., F.C.S; Metodologia - B.A.S., E.M., F.C.S, F.S.C.M.; Administração do projeto - F.C.S.; Software - B.A.S.; Validação - B.A.S., F.C.S.; Visualização - F.C.S., A.D.K., B.A.S.; Redação - minuta inicial - F.C.S.; Redação - revisão e edição - Todos os autores.

Conflitos de Interesse

Os autores não declaram haver conflitos de interesse.

Referências

- BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, 28 maio 2012. Seção 1, p.1.
- CAVA, M. G. B.; HONDA, E. A.; TAVARES, C. P.; DURIGAN, G. Representação Cartográfica da Rede Hidrográfica e suas Limitações na Quantificação de Áreas De Preservação Permanente. **Geografia**, Rio Claro, v. 47, n. 1, p. 1-32, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5016/geografia.v47i1.16045>.
- DOMINGUES, A. L.; LIPP-NISSINEN, K. H.; MIRANDA, L. S.; BURIOL, G. A. Delimitação da área de preservação permanente da Lagoa dos Gateados, na planície costeira do Rio Grande Do Sul (RS), utilizando séries de imagens de satélite e dados hidrológicos históricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Rio Claro, v. 08, n. 03, p. 776-792, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150031>.
- LEAL, J. V.; TODT, V.; THUM, A. B. O Uso de SIG Para Monitoramento de Áreas Degradadas - Estudo de Caso: APP do Arroio Gil, TRIUNFO-RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 5, p. 967-983,

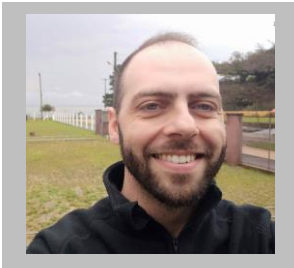
2013. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv65n5-43874>.
- LOUSADA, G.; COURA, P. H. F.; SOUSA, G. M.; FERNANDES, M. C. Delimitação de áreas de preservação permanente em superfície modelada. **RBC. Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, p. 1049-1062, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv68n5-44434>.
- MAIA, D. S.; LIPP-NISSINEN, K. H.; MIRANDA, L. S.; BURIOL, G. A. The impact of urbanization on environmental issues in a Permanent Preservation Area: a case study of the marginal strip of Samambaia Stream's PPA/DF. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 04, p. 1771-1786, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200053r4OA>.
- MAPBIOMAS. Downloads. Mapas das Coleções. 2018. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/downloads/> Acesso em: 3 out. 2023.
- MORISAWA, M. Accuracy of determination of stream lengths from topographic maps. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 38, p. 86–88, 1957. DOI: <https://doi.org/10.1029/TR038i001p00086>.
- NOWATZKI, A.; COUTO, J. P. B.; PAULA, E. V.; FERNANDES, C. V. S. Restrições socioambientais ao uso da terra e seu estado de antropização na UGRH do Paranapanema: subsídios à gestão territorial. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, 18, e15, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21168/rega.v18e15>.
- PADILHA, G.; CENTENO, J. A. S.; FARIAS, P. P. S. Mapeamento do Potencial de Impacto Ambiental no Reservatório de Vossoroca por Meio de um Sistema de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 4, p. 759-767, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv69n4-44333>.
- PAES, F. S.; DUPAS, F. A.; SILVA, F. G. B.; PEREIRA, J. C. D. Áreas de Preservação Permanente e Sua Importância Ambiental na Prevenção da Perda de Solo por Erosão em Bacias Hidrográficas. **Geografia**, Rio Claro, v. 39, n. 2, p. 351-362, 2014.
- PIETZSCH, N. **Proposição e avaliação de metodologia aplicada para delimitação de área de preservação permanente (APP) de margem de rio e APP de topo de morro, utilizando ferramentas de geoprocessamento, conforme diretrizes do novo código florestal brasileiro**. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- PINHEIRO, E. S.; KUX, H. J. H.; PAULA, E. V.; FERNANDES, C. V. S. Leis Ambientais e Imagens de Alta Resolução do Satélite Quickbird Aplicadas à Análise de uma Área da Mata Atlântica, RS. **Geografia**, Rio Claro, v. 29, n. 3, p. 431-451, 2004.
- ROSA, R. M.; FERREIRA, V. O. Incompatibilidades Entre Áreas Legalmente Protegidas e Uso Da Terra na Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba. **Geografia**, Rio Claro, v. 46, n. 1, p. 1-21, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5016/geografia.v46i1.15507>.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO SUL (SEMA-RS). Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento. **Estudos de Disponibilidades Hídricas no Rio Grande do Sul como subsídios a definição das vazões de referência para fins de outorga de direito dos recursos hídricos**. Porto Alegre, 2010.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO SUL (SEMA-RS). Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento. **Cartografia: RS lança primeira cartografia oficial do Estado**. 2018. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/cartografia>. Acesso em: 29 set. 2023.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO SUL (SEMA-RS). Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento. **Fase A – Diagnóstico do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos rios Vacacaí - Vacacaí-Mirim**. Porto Alegre, 2021. 372 p. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/g060-bh-vacacai>. Acesso em: 29 set. 2023.
- TANIWAKI, R. H.; FORTE, Y. A.; SILVA, G. O.; BRANCALION, P. H. S.; COGUETO, C. V.; FILOSO, S.; FERRAZ, S. F. B. The Native Vegetation Protection Law of Brazil and the challenge for first-order stream conservation. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, p. 49–53. 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.08.007>.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Editora da Universidade, 2002.

VIEGAS, D.; TODT, V.; THUM, A. B.; COELHO, O. G. W. Caracterização das Áreas de Preservação Permanente no Município de Picada Café-RS de Acordo com o Novo Código Florestal Brasileiro. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 5, p. 1007-1028, 2014.

Biografia do autor principal



Fernando Comerlato Scottá, nascido em Porto Alegre em 1987, possui doutorado em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Com mais de 10 anos de experiência em geociências, geoprocessamento, sensoriamento remoto óptico, hidrologia e gestão de recursos hídricos, atua como Pesquisador de Pós-Doutorado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Analista de Dados Ambientais em Sistemas de Informação Geográfica no Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento da Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul. Suas pesquisas visam explorar como dados podem contribuir para enfrentar desafios globais na área de sustentabilidade.



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.