



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

**Centro de Tecnologia e Ciências - CTC**

**Programa de Pós-Graduação em Gestão e  
Regulação de Recursos Hídricos**

**Vinícius de Azevedo Silva**

**Sistema de informações geográficas no planejamento e gestão de  
recursos hídricos do Município de Barra Mansa – RJ**

Rio de Janeiro

2023

Vinícius de Azevedo Silva

**Sistema de informações geográficas no planejamento e gestão de recursos hídricos do Município de Barra Mansa – RJ**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Polette

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Cleonice Puggian

Rio de Janeiro

2023

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

S586 Silva, Vinícius de Azevedo.  
Sistema de informações geográficas no planejamento e gestão de recursos hídricos do município de Barra Mansa – RJ.  
84 f. : il.

Orientador: Marcus Polette.  
Coorientadora: Cleonice Puggian.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências.

1. Sistema de informações geográficas – Barra Mansa (RJ) - Teses. 2. Recursos hídricos – Rio de Janeiro - Teses. 3. Inundações - Barra Mansa (RJ) - Teses. 4. Modelagem hidrológica - Teses. I. Polette, Marcus. II. Puggian, Cleonice. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências. IV. Título.

CDU 556.18(815.3)

Bibliotecária responsável: Priscila Freitas Araujo / CRB-7: 6390

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta Dissertação, desde que citada a fonte.



---

Assinatura

---

Data

Vinícius de Azevedo Silva

**Sistema de informações geográficas no planejamento e gestão de recursos  
hídricos do Município de Barra Mansa – RJ**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Aprovada em 23 de março de 2023.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Marcus Polette

PROFÁGUA – UERJ

---

Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Cleonice Puggian

PROFÁGUA – UERJ

---

Prof. Dr. Francisco de Assis Dourado da Silva

PROFÁGUA – UERJ

---

Prof. Dr. Francisco Lledo dos Santos

PROFÁGUA – UERJ

Rio de Janeiro

2023

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às três mulheres da minha vida: minha mãe Fátima, minha avó Terezinha e minha esposa Barbara.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador, Prof. Marcus Polette e a minha coorientadora, Cleonice Puggian, pela orientação assertiva que realizaram ao longo desse período.

Ao Prof. Friedrich Herms, pela entrega, doação e cuidado com o curso e seus alunos.

Aos professores Francisco Dourado, Júlio César da Silva e Francisco Lledo, pela importante transmissão de conhecimento nas áreas de hidrologia e geoprocessamento.

Aos alunos da turma 2021 que foram grandes parceiros, tornando-se verdadeiros amigos nesse período de caminhada.

À prefeitura de Barra Mansa e ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Barra Mansa, por participarem ativamente desse projeto e não medirem esforços para sua implementação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas (ANA) através do Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) pelo apoio técnico científico oferecido, e a ANA e a CAPES pelo apoio ao ProfÁgua aportado até o momento.

Só existem dois dias no ano em que nada pode ser feito: um se chama ontem e o outro, amanhã. Portanto, hoje é o dia certo para amar, acreditar, fazer e, principalmente, viver.

*Dalai Lama*

## RESUMO

AZEVEDO, Vinícius de Azevedo Silva. *Sistema de Informações Geográficas – SIG no planejamento e gestão de recursos hídricos do município de Barra Mansa – RJ*. 2023. 84 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROF-ÁGUA), Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

A gestão dos recursos hídricos no Brasil prevê a criação e manutenção do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (SIRH), que é um dos principais instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). No município de Barra Mansa, estado do Rio de Janeiro, não havia procedimentos oficiais para a sistematização dos dados sobre recursos hídricos, que acabavam extraviados ou indevidamente alocados entre os diversos arquivos e setores da administração pública municipal. O objetivo desta pesquisa foi sistematizar, analisar e disponibilizar informações hidrológicas do município de Barra Mansa, por meio do desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que será utilizado na gestão pública participativa dos recursos hídricos das bacias hidrográficas inseridas no município. Conduziu-se, para isso, uma pesquisa documental no acervo do município para a aquisição de dados qualitativos e quantitativos, que possibilitaram o desenvolvimento do SIG, que foi produzido com a ferramenta ArcGIS. Os principais resultados foram: 1) criação de um sistema de informação geográfica, para subsidiar o planejamento e gestão de recursos hídricos na tomada de decisões, facilitando o acesso para gestores públicos e população local. Esse sistema foi denominado GEO Barra Mansa; 2) dimensionamento e modelagem hidrológica de um reservatório para amortecimento de chuvas extremas na bacia hidrográfica do rio Barra Mansa, através de informações e análises espaciais contidas no GEO Barra Mansa; c) modelagem chuva x vazão na bacia hidrográfica do rio Bananal, com avaliação de metodologias de redes neurais artificiais, também utilizando o GEO Barra Mansa. Desse modo, conclui-se que a criação do SIG viabiliza a integração de diferentes setores da administração municipal para a troca de informações e a geração de novas abordagens quanto à gestão dos recursos hídricos. Permite sistematizar informações e resultados, apoiando a tomada de decisão dos gestores locais sobre políticas públicas voltadas a recursos hídricos.

Palavras-chave: Barra Mansa. Recursos hídricos. SIG. Inundações. Redes Neurais Artificiais.

## ABSTRACT

AZEVEDO, Vinícius de Azevedo Silva. *Geographic Information System – GIS in the planning and management of water resources in the city of Barra Mansa – RJ*. 2023. 84 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROF-ÁGUA), Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

The management of water resources in Brazil provides for the creation and maintenance of the Information System on Water Resources (SIRH), which is one of the main instruments of the National Water Resources Policy (PNRH). In the municipality of Barra Mansa, state of Rio de Janeiro, there were no official procedures for the systematization of data on water resources, which ended up being lost or improperly allocated among the various files and sectors of the municipal public administration. The objective of this research was to systematize, analyze and make available hydrological information from the municipality of Barra Mansa, through the development of a Geographic Information System (GIS), which will be used in the participatory public management of the water resources of the hydrographic basins inserted in the municipality. For this, a documentary research was conducted in the city's collection for the acquisition of qualitative and quantitative data, which enabled the development of the GIS, which was produced with the ArcGIS tool. The main results were: 1) creation of a geographic information system, to subsidize the planning and management of water resources in decision-making, in order to obtain information that is easily accessible to public managers and the local population. This system was named GEO Barra Mansa; 2) dimensioning and hydrological modeling of a reservoir for buffering extreme rainfall in the Barra Mansa river basin, through information and spatial analysis contained in GEO Barra Mansa; 3) rain x flow modeling in the Bananal river basin, with evaluation of artificial neural network methodologies, also using GEO Barra Mansa. It is concluded that the creation of the GIS enables the integration of different sectors of the municipal administration for the exchange of information and the generation of new approaches regarding the management of water resources. It allows systematizing information and results, supporting decision-making by local managers on public policies aimed at water resources.

Keywords: Barra Mansa. Water resources. GIS. Floods. Artificial Neural Networks.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|             |                                                                                                       |    |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 –  | Página inicial do SIG (HUB).....                                                                      | 30 |
| Figura 2 –  | Aplicativo de Gestão Territorial Municipal.....                                                       | 30 |
| Figura 3 –  | Redes de Água e Esgoto.....                                                                           | 31 |
| Figura 4 –  | Manchas de Inundação.....                                                                             | 33 |
| Figura 5 –  | Painel de monitoramento de manutenção arbórea e Barra<br>Mansa mais verde.....                        | 33 |
| Figura 6 –  | Painel de monitoramento de manutenção arbórea e Barra<br>Mansa mais verde.....                        | 33 |
| Figura 7 –  | Painel da Guarda Ambiental.....                                                                       | 34 |
| Figura 8 –  | Aplicativo de Gestão Territorial (Áreas Protegidas) .....                                             | 35 |
| Figura 9 –  | Focos de Incêndio e detecção de mudança no uso e cobertura<br>do solo.....                            | 35 |
| Figura 10 – | Focos de Incêndio e detecção de mudança no uso e cobertura<br>do solo.....                            | 35 |
| Figura 11 – | Aplicativo de Balanço Hídrico.....                                                                    | 36 |
| Tabela 1 –  | Classificação dos desastres em relação a intensidade.....                                             | 42 |
| Figura 12 – | Enchentes e inundações no município de Barra Mansa/RJ.....                                            | 44 |
| Gráfico 1 – | Uso e Cobertura do Solo na Bacia Hidrográfica do rio Barra<br>Mansa.....                              | 49 |
| Figura 13 – | Hidrograma: o comportamento do escoamento superficial em<br>bacias de diferentes características..... | 51 |
| Tabela 2 –  | Valores de CN recomendados.....                                                                       | 52 |
| Figura 14 – | Metodologias para o cálculo de vazões máximas.....                                                    | 53 |
| Gráfico 2 – | Hidrograma da Bacia do Rio Barra Mansa.....                                                           | 54 |
| Figura 15 – | Mancha de inundação do bairro Nova Esperança, Barra<br>Mansa/RJ.....                                  | 55 |
| Figura 16 – | Hidrograma / Hietograma para o tempo de recorrência de 2<br>anos.....                                 | 56 |
| Figura 17 – | Hidrograma / Hietograma para o tempo de recorrência de 5<br>anos.....                                 | 56 |

|             |                                                                                                                            |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 18 – | Hidrograma / Hietograma para o tempo de recorrência de 10 anos.....                                                        | 57 |
| Figura 19 – | Hidrograma / Hietograma para o tempo de recorrência de 25 anos.....                                                        | 57 |
| Figura 20 – | Ortofoto/Modelo digital de elevação da área de estudo.....                                                                 | 58 |
| Figura 21 – | Ortofoto considerando o limite de uma ponte ferroviária desativada em uma rodovia estadual.....                            | 59 |
| Figura 22 – | Curva de Cota x Volume / Tabela Cota, Área e Volume.....                                                                   | 60 |
| Figura 23 – | Rua Florianópolis, Bairro Nova Esperança. Primeiro trecho urbano a sofrer inundação.....                                   | 61 |
| Figura 24 – | Modelo tridimensional simulando o reservatório em seu volume máximo para a cota 413 metros.....                            | 62 |
| Figura 25 – | Bacia/sub-bacia hidrográfica do Rio Bananal e postos de medição de dados de precipitação e vazão fluvial selecionados..... | 67 |
| Figura 26 – | Localização das estações fluviométricas utilizadas na aquisição de dados temporais.....                                    | 68 |
| Gráfico 3 – | Faixa de dados fluviométricos disponíveis após a filtragem <i>gradient boosting</i> .....                                  | 69 |
| Figura 27 – | Localização das estações fluviométricas utilizadas na aquisição de dados temporais.....                                    | 69 |
| Gráfico 4 – | Faixa de dados pluviométricos disponíveis após a filtragem <i>gradient boosting</i> .....                                  | 70 |
| Figura 28 – | Valores correlacionados entre os parâmetros de análise utilizados.....                                                     | 70 |
| Figura 29 – | Valores de destino x valores de previsão, para os modelos de Deep Learning.....                                            | 73 |
| Figura 30 – | Bateladas processadas em treinamento e validação.....                                                                      | 74 |
| Figura 31 – | Distribuição de vazão real e prevista no ano de 2015 (InceptionTime).....                                                  | 75 |
| Figura 32 – | Distribuição de vazão real e prevista no ano de 2015 (Resnet).....                                                         | 75 |

|             |                                                                                                                               |    |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 33 – | Distribuição de vazão real e prevista no ano de 2015 (FCN).....                                                               | 76 |
| Figura 34 – | Distribuição de vazão real e prevista no ano de 2015 (ResCNN).....                                                            | 76 |
| Figura 35 – | Distribuição de vazão real e prevista no ano de 2015 (Machine Learnig).....                                                   | 77 |
| Figura 36 – | Previsão de vazão por Machine Learning (Arvore de Decisão) e Deep Learning (Inception Time) em comparação com vazão real..... | 78 |

## LISTA DE MAPAS

|          |                                                                                           |    |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Mapa 1 – | Situação do município de Barra Mansa em relação às bacias e regiões hidrográficas.....    | 22 |
| Mapa 2 – | Uso e cobertura do solo para o ano de 2021 no município de Barra Mansa.....               | 23 |
| Mapa 3 – | Malha hidrográfica e bacias hidrográficas inseridas no município de Barra Mansa .....     | 29 |
| Mapa 4 – | Proposta inicial de zoneamento ambiental nas áreas ribeirinhas.....                       | 32 |
| Mapa 5 – | Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul / Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Barra Mansa..... | 43 |
| Mapa 6 – | Manchas de inundação dos principais rios do município de Barra Mansa/RJ.....              | 45 |
| Mapa 7 – | Bacia Hidrográfica do rio Barra Mansa.....                                                | 47 |
| Mapa 8 – | Sub-bacia de drenagem da área do reservatório de amortecimento.....                       | 48 |
| Mapa 9 – | Uso e Cobertura do Solo na Bacia Hidrográfica do rio Barra Mansa.....                     | 49 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|       |                                                                          |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|
| ANA   | Agência Nacional de Águas                                                |
| APP   | Áreas de preservação permanente                                          |
| APP'S | <i>Applications</i>                                                      |
| CAM   | Mapas de ativação de classe                                              |
| CN    | <i>Curve Number</i>                                                      |
| CNN   | Redes neurais convolucionais                                             |
| COPPE | Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia |
| DAEE  | Departamento de Águas e Energia Elétrica                                 |
| DWG   | Arquivo Autocad – Abreviatura para Desenho                               |
| ECP   | Estado de calamidade pública                                             |
| ESRI  | <i>Environmental Systems Research Institute</i>                          |
| FCN   | <i>Fully Convolutional Neural Networks</i>                               |
| FMP   | Faixas marginais de proteção                                             |
| GNSS  | <i>Global Navigation Satellite System</i>                                |
| GPS   | <i>Global Positioning System</i>                                         |
| INEA  | Instituto Estadual do Ambiente                                           |
| Kc    | Coeficiente de capacidade                                                |
| Kf    | Fator de forma                                                           |
| LHC   | Laboratório de Hidráulica Computacional                                  |
| MDE   | Modelo digital de elevação                                               |

|        |                                               |
|--------|-----------------------------------------------|
| MDT    | Modelo digital do terreno                     |
| PIB    | Produto interno bruto                         |
| RESCNN | <i>Residual Convolutional Neural Networks</i> |
| RESNET | <i>Residual Networks</i>                      |
| RJ     | Rio de Janeiro                                |
| RNA    | Redes Neurais Artificiais                     |
| SAAE   | Serviço Autônomo de Água e Esgoto             |
| SAR    | Radar de abertura sintética                   |
| SCS    | Soil Conservation Service                     |
| SIG    | Sistema de Informações Geográficas            |
| SMPU   | Secretaria Municipal de Planejamento Urbano   |
| Tc     | Tempo de concentração                         |
| UFRJ   | Universidade Federal do Rio de Janeiro        |
| VANT'S | Veículos aéreos não tripulados                |

## SUMÁRIO

|          |                                                                                                                                                                 |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|          | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                                                                         | <b>16</b> |
| <b>1</b> | <b>SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NO PLANEJAMENTO<br/>E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DO MUNICÍPIO DE BARRA<br/>MANSA .....</b>                               | <b>20</b> |
| 1.1      | Gestão de recursos hídricos x gerenciamento de informações.....                                                                                                 | 20        |
| 1.1.1    | <u>Caracterização da área de estudo.....</u>                                                                                                                    | 21        |
| 1.2      | Contribuições teóricas acerca da importância do SIG como<br>ferramenta para a gestão de recursos hídricos.....                                                  | 24        |
| 1.3      | Desenvolvimento do Geo Barra Mansa e seus resultados.....                                                                                                       | 27        |
| <b>2</b> | <b>MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO<br/>BARRA MANSA PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM<br/>RESERVATÓRIO DE AMORTECIMENTO DE VAZÕES EXTREMAS....</b> | <b>38</b> |
| 2.1      | Modelagem hidrológica e a dinâmica dos sistemas hídricos.....                                                                                                   | 38        |
| 2.2      | A problemática dos desastres naturais e das inundações<br>Recorrentes.....                                                                                      | 41        |
| 2.3      | Hidrograma unitário como ferramenta hidrometeorológica.....                                                                                                     | 45        |
| 2.4      | Implantação de dispositivos de armazenamento em reservatório<br>em vazões extremas.....                                                                         | 48        |
| <b>3</b> | <b>TESTE DE METODOLOGIAS DE MACHINE LEARNING E DEEP<br/>LEARNING APLICADOS À MODELAGEM DE CHUVA - VAZÃO NA<br/>BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BANANAL .....</b>      | <b>64</b> |
| 3.1      | A importância de tecnologias geoespaciais para informações<br>precisas.....                                                                                     | 64        |
| 3.2      | Redes neurais e inteligência artificial.....                                                                                                                    | 66        |

|     |                                                                                    |    |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3 | Bacia hidrográfica do Rio Bananal.....                                             | 66 |
| 3.4 | Estações pluviométricas e fluviométricas: uma análise.....                         | 64 |
| 3.5 | Experimentação de arquiteturas de aprendizado profundo e<br>aprendizado de máquina | 74 |
|     | CONSIDERAÇÕES FINAIS.....                                                          | 80 |
|     | REFERÊNCIAS.....                                                                   | 82 |

## INTRODUÇÃO

A coleta e disponibilização digital dos dados sobre recursos hídricos é prevista na Política Nacional de Recursos Hídricos, que instituiu o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (SIRH). Este sistema reúne informações sobre a quantidade de água disponível, a qualidade da água, o uso da água, as fontes de poluição, a gestão dos recursos hídricos, dentre outros aspectos. Também favorece a identificação dos problemas relacionados aos recursos hídricos, a tomada de decisões, monitoramento e evolução. Permite ainda avaliar a eficácia das políticas e programas públicos.

No município de Barra Mansa, estado do Rio de Janeiro, os dados sobre recursos hídricos não eram sistematizados e, ao longo do tempo, acabavam extraviados ou indevidamente alocados entre os diversos arquivos e setores da administração pública municipal, impedindo, assim, a sua utilização pelo poder público ou setores privados. Este problema impactava diretamente o trabalho do autor desta dissertação, que atua como secretário de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Barra Mansa (09/2019), vice-presidente do Comitê de Bacias Hidrográficas do Médio Paraíba do Sul - CBHMPS (10/2019), representante de Governo Municipal no Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERHI (01/2021) e representante de Governo Municipal no Comitê de Integração do Rio Paraíba do Sul – CEIVAP (10/2021).

Notou-se que a avaliação da sustentabilidade hídrica exigia sistemas adequados que pudessem descrever e comunicar as condições atuais, fomentar o pensamento crítico sobre as ações corretivas necessárias e, facilitar a participação das várias partes interessadas nos processos de tomada de decisão (IORIS; HUNTER; WALKER, 2008). Dados de programas de monitoramento são frequentemente usados para estimar variações na qualidade e quantidade da água em corpos hídricos de uma região, examinar diferenças regionais e investigar relações entre as condições da paisagem (uso e cobertura do solo) e da qualidade / quantidade da água. Essas informações podem ser utilizadas para desenvolver critérios da disponibilidade hídrica e guiar decisões referentes ao manejo (KLOIBER; BREZONIK; BAUER, 2002).

Um conjunto de dados sobre as cidades, bacias hidrográficas ou outras células-base de planejamento pode ser organizado em um Sistema de Informações Geográficas – SIG, que apoia a compreensão das questões intervenientes e o planejamento futuro. O avanço das tecnologias e o uso cada vez maior de informações digitais fazem com que a atualização das bases de dados seja um dos principais problemas enfrentados pelos sistemas de informação (POLIDORI *et al.*, 2010). Neste contexto, as vantagens específicas de um SIG podem ser sumariadas sob três itens: visualização, organização de dados e modelagem espacial.

No que concerne à visualização, ela é feita, normalmente, sobre mapas convencionais, no entanto, a maior vantagem que o SIG oferece sobre o processo cartográfico convencional é a flexibilidade, em particular, a habilidade de produzir rápidas respostas para mudanças nos padrões cartográficos. Possibilita, ainda, expor tendências e relações que nem sempre são percebidas numa análise inicial. Imagens de sensoriamento remoto podem ser usadas para monitorar o crescimento urbano em determinadas áreas da cidade, por exemplo, e registros cartográficos sobre acontecimento de acidentes de trânsito indicam a localização de pontos de conflito de tráfego ou interseção de vias que precisam de uma intervenção efetiva. Portanto, a tecnologia SIG se mostra adequada para integrar operações convencionais de bases de dados, como captura, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados com possibilidade de seleção, busca de informações e análise estatística, aliadas à perspectiva de visualização e análise espacial/espaco-temporal na forma de mapas temáticos estáticos ou dinâmicos (DEUS *et al.*; 2011). Em termos práticos, significa a oportunidade de representar espacialmente e estabelecer relações entre dados de diversas naturezas tais como: séries históricas hidrológicas e meteorológicas, mapas de uso do solo, cobertura vegetal, ictiofauna, condições infraestruturas hidráulicas e de transporte, ocupação urbana, dados socioeconômicos e populacionais, características da flora e fauna existente na bacia, além de dados normativos e institucionais, locais, regionais, nacionais ou internacionais.

Considerando os desafios apresentados, o objetivo geral desta pesquisa foi sistematizar, analisar e disponibilizar informações hidrológicas do município de Barra Mansa, por meio do desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas, para utilização na gestão pública participativa dos recursos hídricos das bacias hidrográficas inseridas no município.

Elencou-se três objetivos específicos, que foram: a) levantar e avaliar os dados e informações sobre recursos hídricos disponíveis ao município; b) integrar dados para avaliar a vulnerabilidade e riscos das bacias hidrográficas no território municipal de Barra Mansa / RJ; e c) desenvolver uma estrutura de modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do rio barra mansa para o dimensionamento de um reservatório de amortecimento de vazões extremas. propor medidas e respostas de planejamento e gestão para a tomada de decisões (governança) nos setores público, privado e na sociedade civil.

Quanto à metodologia, conduziu-se uma vasta pesquisa documental no acervo do município de Barra Mansa para a aquisição de dados qualitativos e quantitativos, que possibilitaram o desenvolvimento do SIG, denominado GEO Barra Mansa.

Os resultados da pesquisa são apresentados em três capítulos, quando o primeiro aborda a implementação de um sistema de informações geográficas para o planejamento gestão de recursos hídricos no município de Barra Mansa/RJ, para subsidiar os processos no planejamento e gestão de recursos hídricos na tomada de decisões, a fim de se obter informações e resultados de fácil entendimento para gestores locais, acerca de políticas públicas voltadas a recursos hídricos. O SIG foi construído sobre a plataforma *ArcGIS*, em um ambiente web e um *software* para análises espaciais e geoprocessamento. Além disso, o SIG de Barra Mansa também está conectado com outras bases de dados, como por exemplo, a base de dados climáticos, a fim de se obter informações acerca da quantidade de chuvas que caem sobre o município e suas bacias hidrográficas.

Estas informações são úteis para as ações de monitoramento de recursos hídricos e para a formulação de estratégias de conservação e uso sustentável do solo e recursos hídricos. A implementação de um SIG para subsidiar os processos de planejamento e gestão de recursos hídricos trouxe diversos benefícios ao município, como a melhoria da qualidade das informações, a possibilidade de acompanhamento e o aumento da eficiência dos processos envolvidos, e ainda com a sua criação, foi possível a integração de diferentes setores da administração municipal para a troca de informações e a geração de novas abordagens quanto à gestão dos recursos hídricos.

O segundo capítulo versa sobre a aplicação do SIG no dimensionamento de um reservatório para amortecimento de cheias na bacia hidrográfica do rio Barra

Mansa. Através de modelagem hidrológica realizada com informações extraídas do GEO Barra Mansa, foi possível avaliar o melhor local para instalação e realizar o dimensionamento de um reservatório para amortecimento de vazões excepcionais, ocasionadas por chuvas extremas na área de drenagem do rio Barra Mansa. A instalação desse reservatório atenuará os eventos de inundação recorrentes nas áreas ribeirinhas de cinco bairros na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Barra Mansa.

Já o terceiro apresenta a criação de um modelo de chuva x vazão, através de redes neurais artificiais, para previsão de vazão e consequentemente, inundações causadas por chuvas extremas na bacia hidrográfica do rio Bananal. O presente trabalho utilizou ferramentas como as bibliotecas *HIDROWEB* e *HydroBR* para levantamento de dados de chuva e vazão de um trecho da bacia do Rio Bananal. Além disso, as informações quantitativas reunidas foram submetidas a uma modelagem através de famílias e arquiteturas distintas de redes neurais artificiais de aprendizado profundo (*Deep Learning*) e de aprendizado de máquina (*Machine Learning*) para realizar análises comparativas entre os padrões de precipitação e da vazão (modelo chuva-vazão) do curso hídrico em questão, a fim de estabelecer a arquitetura mais bem sucedida na previsão do comportamento hidrológico das vazões no ano de 2015, segundo o referencial de uma série temporal entre os anos de 2002 e 2014.

Em síntese, a contribuição acadêmica reside em evidenciar o potencial dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para a gestão de recursos hídricos. Ademais, o trabalho demonstra que as prefeituras podem elaborar SIGs similares e, ainda, realizar modelagens para solucionar problemas relacionados às bacias hidrográficas, contribuindo para o avanço da gestão de recursos hídricos e tecnologias de geoprocessamento.

## **1 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NO PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DO MUNICÍPIO DE BARRA MANSA**

### **1.1 Gestão de recursos hídricos x gerenciamento de informações**

Uma política para a gestão dos recursos hídricos deve conter formas de estabelecimento do conjunto de princípios definidores de diretrizes, objetivos e metas a serem alcançados; e essa política estará consubstanciada em aspectos técnicos, normas jurídicas, planos e programas que revelem o conjunto de intenções, decisões, recomendações e determinações do governo e da sociedade quanto à gestão dos recursos hídricos (SETTI *et al.*, 2000). A Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, determina no item V do Art. 1º que “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (BRASIL, 1997).

Duas características, no entanto, diferenciam profundamente esse recorte territorial das muitas outras divisões ou subdivisões político-administrativas existentes. Sua base não é a divisão municipal, território politicamente construído, e sim, unidades fisiográficas, que mesmo com os posteriores agrupamentos ou segmentações de caráter político-administrativos que receberam, mantêm por princípio sua demarcação pelas características relacionadas ao escoamento superficial pluvial em direção ao exultório (ANDREOZZI, 2016).

A governança descentralizada estabelecida pelos comitês surge como um avanço, promovendo uma gestão mais democrática e proporcionando uma busca por um equilíbrio entre os diversos interesses sociais. Todavia, esse caráter plural e democrático da gestão por bacias hidrográficas não está dissociado dos conflitos, das relações de poder, da violência simbólica e da lógica de mercado imposta pelo sistema de produção; outros impasses nessa modalidade de gestão podem ocorrer se a capacidade de organização da sociedade civil estiver de alguma forma

fragilizada (JACOBI, 2004) ou se a eficiência do processo de descentralização for prejudicada por interesses políticos locais caracterizados por clientelismo, corrupção, entre outros. (ABERS; JORGE, 2005).

Nesse contexto, um dos desafios da gestão das águas no município de Barra Mansa é o gerenciamento de informações das sub-bacias hidrográficas que se encontram parcialmente dentro do município, sendo as bacias dos rios Bananal, Turvo e Barra Mansa. Realizou-se, para isso, a criação e implementação de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), ou seja, uma tecnologia digital que utiliza camadas de dados geográficos, como imagens aéreas, imagens de satélite, modelos digitais de elevação e camadas de mapas para criar uma representação visual da superfície da Terra. Ele permite que os usuários manipulem e analisem essas informações, criem mapas personalizados e tomem decisões informadas com base em dados espaciais.

Esse capítulo pretende apresentar uma metodologia simples para implantação de um SIG em ambiente WEB, além de descrever diversas aplicações do SIG para gestão de recursos hídricos no âmbito municipal.

#### 1.1.1 Caracterização da área de estudo

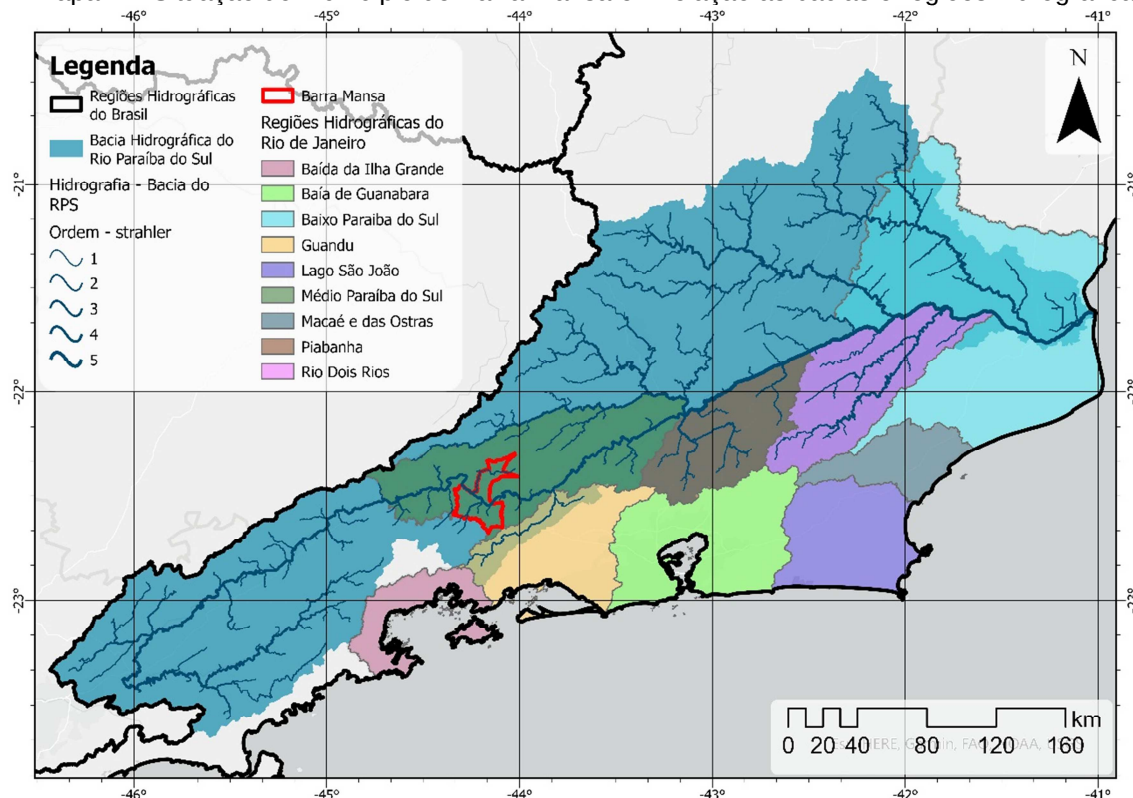
Barra Mansa está localizada na região hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, estado do Rio de Janeiro. Com uma população de aproximadamente 184833 habitantes e extensão territorial de 547 km<sup>2</sup> (IBGE em 2021), é um dos maiores municípios da região.

O clima é mesotérmico, com verões quentes e chuvosos e invernos secos. a temperatura média mínima anual é de 16°C e a média é de 28°C. O período de chuvas está entre os meses de novembro e março, com pluviosidade acumulada próxima a 1500 mm/ano.

O município possui um relevo ondulado, popularmente conhecido como mar de morros, variando sua altitude de 373 metros na calha do rio Paraíba do Sul até 1208 metros na serra do rio Bonito, divisa com o município de Valença.

O mapa 1 ilustra a situação espacial do município em relação a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul e as regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro.

Mapa 1 – Situação do município de Barra Mansa em relação às bacias e regiões hidrográficas.



Fonte: O autor, 2022.

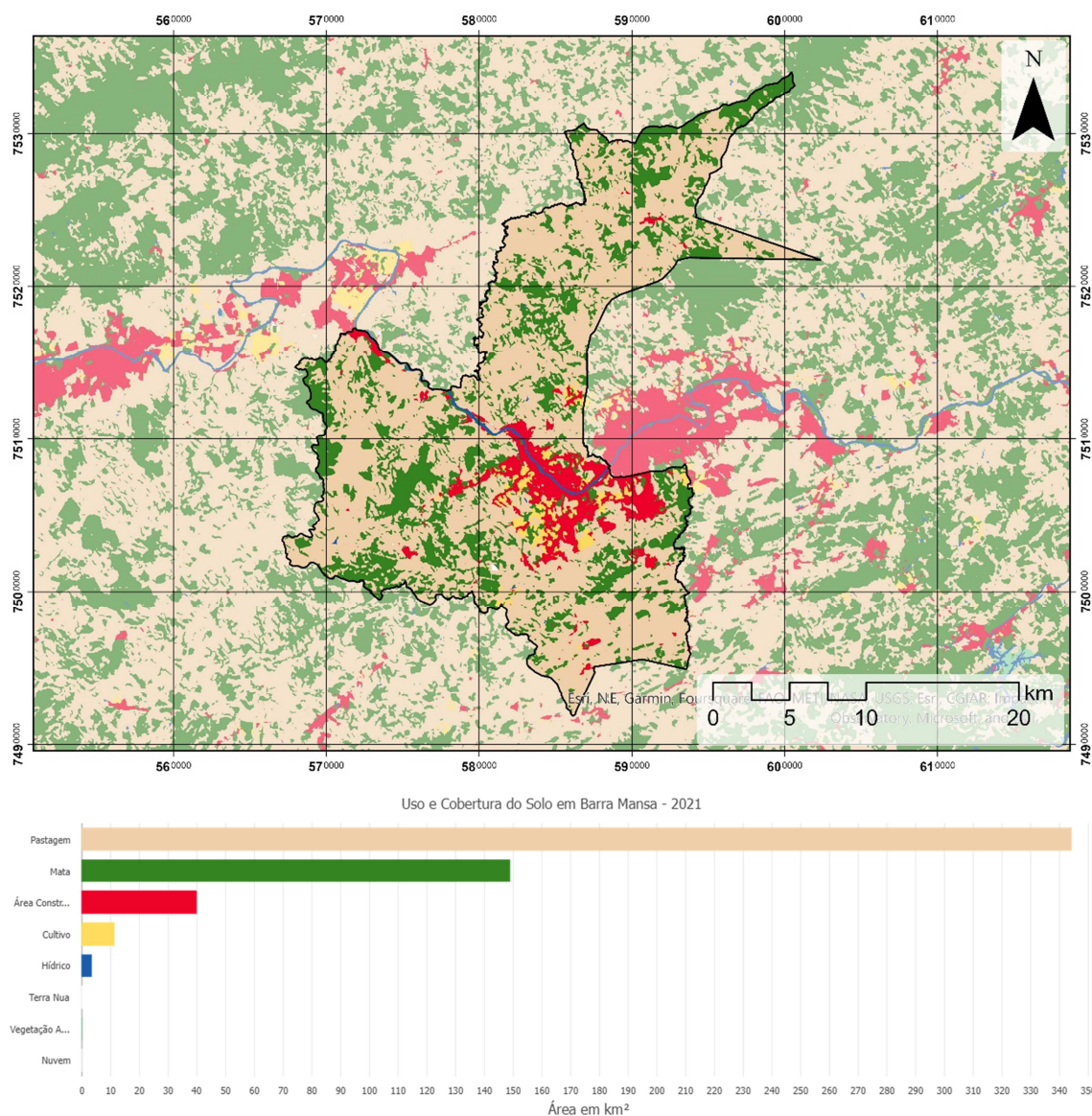
O local foi desbravado no final do século XVIII, tendo seu desenvolvimento como cidade às margens do Rio Paraíba do Sul e posteriormente, dos seus principais afluentes, Rio Barra Mansa e Rio Bananal.

Nessa perspectiva, Barra Mansa sofre com problemas ligados a recursos hídricos, decorrentes do desmatamento da mata atlântica desde o século XIX para a cafeicultura e, posteriormente, para o setor agropecuário na criação de gado de leite e corte.

É possível observar no mapa 2, o uso e cobertura do solo no município para o ano de 2021, tendo aproximadamente 63%<sup>1</sup> de seu território coberto por pastagens e apenas 27% por áreas florestadas.

<sup>1</sup> Fonte do índice: Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Barra Mansa.

Mapa 2 – Uso e cobertura do solo para o ano de 2021 no município de Barra Mansa



Fonte: O autor, 2022.

O desenvolvimento econômico e urbano desordenado contribuíram para o aumento da poluição dos mananciais, além das enchentes e inundações no rio Paraíba do Sul e seus afluentes.

Visto isso, conhecer e sistematizar as informações sobre os rios e suas bacias hidrográficas inseridas no município se torna fundamental para um bom planejamento urbano, rural e a promoção de uma gestão pública participativa voltada para recursos hídricos.

## **1.2 Contribuições teóricas acerca da importância do SIG como ferramenta para a gestão de recursos hídricos**

De acordo com Souza e Alvin (2014), no meio urbano e regional, de modo geral, conflitos institucionais prejudicam a implementação de políticas destinadas a solucionar a problemática dos recursos hídricos, tanto em quantidade quanto em qualidade de oferta. Assim como, para os autores Cavalcanti e Marques (2016), diante da importância da água como recurso estratégico e de sua imprescindibilidade econômica e biológica, faz-se surgir a imperiosa necessidade de se aprofundarem os mecanismos de gestão dos recursos hídricos no mundo, de modo a garantir seu uso eficiente e sustentável.

Para Mota (2003 *apud* ARAÚJO *et al.* 2021) a transformação de um ambiente rural em urbano sempre resultará em alterações ambientais, seja nos componentes físicos, socioeconômicos e bióticos. Portanto, devem ser analisados de forma integrada em uma cidade, de maneira que o ser humano satisfaça suas necessidades sem provocar danos aos outros componentes. Compete, pois, ao ser humano, a sua adequação ao processo de urbanização, à capacidade suporte do meio e a um planejamento urbano, que considere a questão ambiental para minimizar os impactos negativos deste processo.

Em qualquer circunstância, a informação ao público sobre conflitos potenciais que tratem do uso de recursos hídricos, torna-se fundamental para a motivação política no que se refere à discussão e à participação nos processos gerenciais de tomada de decisão de uma dada região. Logo, uma política para a gestão dos recursos hídricos deve conter formas de estabelecimento do conjunto de princípios definidores de diretrizes, objetivos e metas a serem alcançados; e essa política estará consubstanciada em aspectos técnicos, normas jurídicas, planos e programas que revelem o conjunto de intenções, decisões, recomendações e determinações do governo e da sociedade quanto à gestão dos recursos hídricos (SETTI *et al.*, 2000)

A Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, determina no item V do Art. 1º que “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e

atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (BRASIL, 1997).

Entretanto, duas características diferenciam de forma significativa essa delimitação territorial de muitas outras divisões político-administrativas existentes. Ao contrário dessas outras divisões, sua base não é a divisão municipal - um território politicamente construído - mas sim unidades fisiográficas. Mesmo após receber agrupamentos ou segmentações político-administrativas posteriores, essas unidades mantêm, como princípio, sua delimitação baseada nas características relacionadas ao escoamento superficial pluvial em direção ao exultório (ANDREOZZI, 2016).

A governança por comitês, estabelecida como uma forma descentralizada de gestão, representa um avanço significativo na promoção da democracia e no equilíbrio dos diversos interesses sociais envolvidos. Contudo, é importante reconhecer que esse caráter plural e democrático da gestão por bacias hidrográficas não está isento de conflitos, relações de poder, violência simbólica e da lógica de mercado imposta pelo sistema de produção. Além disso, outros desafios podem surgir nesse modelo de gestão, como a fragilidade (JACOBI, 2004) da capacidade de organização da sociedade civil ou a interferência de interesses políticos locais caracterizados por práticas de clientelismo e corrupção, prejudicando a eficiência do processo de descentralização. (ABERS; JORGE, 2005).

Nesse contexto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são ferramentas essenciais para a gestão de recursos hídricos. Por meio do uso de tecnologias de geoprocessamento é possível integrar dados georreferenciados em diversas escalas, como bacias hidrográficas, rios, reservatórios e aquíferos. Dessa forma, é possível obter informações precisas e atualizadas sobre a quantidade, qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos em uma determinada região, além de permitir a identificação de áreas de conflito de uso e a tomada de decisões estratégicas para a gestão sustentável desses recursos. O uso de SIG também facilita o monitoramento e a avaliação da efetividade das políticas e programas de gestão de recursos hídricos, contribuindo para a preservação e o uso racional desse recurso vital para a vida e para o desenvolvimento socioeconômico.

No Brasil, alguns estados e municípios têm utilizado SIGs para apoiar a gestão pública. Um dos exemplos é a Prefeitura de Niterói/RJ, que criou um Sistema de Gestão da Geoinformação para gerenciar as informações geográficas, fornecendo:

Análise e interação dos dados produzidos, tornando-os acessíveis às diferentes secretarias e à sociedade civil. Desse modo, além de exercer um papel estratégico na tomada de decisão e otimização da gestão pública, o trabalho realizado consolida a transformação digital da cidade e reitera o comprometimento da mesma com a transparência dos dados. (OSIGeo, s.d).

Esse sistema foi criado para coletar, armazenar, analisar e compartilhar informações geoespaciais relacionadas a diversas áreas, como planejamento urbano, meio ambiente, transporte, infraestrutura, entre outras. Através dessa ferramenta, é possível visualizar mapas interativos, gerar relatórios e realizar análises espaciais. O sistema é composto por um conjunto de tecnologias, incluindo softwares de SIG (Sistemas de Informação Geográfica), servidores de banco de dados e aplicativos para visualização de dados. Entre os benefícios do uso desse sistema estão a melhoria na gestão urbana e ambiental, a otimização dos processos de planejamento e tomada de decisão, além da transparência e facilidade de acesso às informações por parte da população. E “uma das principais aplicações, o Civitas Geoportal permite consultar diferentes dados espaciais públicos do banco de dados, executar algumas ferramentas simplificadas de análise geoespacial e exportar mapas do conteúdo exibido”. (OSIGeo, s.d)

O Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA) também utiliza o portal GeoINEA, que tem como objetivo fornecer informações geográficas relacionadas ao meio ambiente, além de disponibilizar dados sobre a localização de unidades de conservação, áreas de proteção ambiental, nascentes, rios, bacias hidrográficas, licenciamento ambiental, fiscalização e monitoramento de empreendimentos e atividades potencialmente poluidoras. Outra funcionalidade importante do GeoINEA é o GeoBanco de Dados, que disponibiliza informações e documentos relacionados aos processos de licenciamento ambiental do estado do Rio de Janeiro. Por meio dessa ferramenta, é possível pesquisar e baixar documentos como licenças, pareceres técnicos e estudos ambientais.

Na mesma direção, o SIGA-CEIVAP é composto por um conjunto de tecnologias que permitem a coleta, armazenamento, análise e compartilhamento de dados geográficos relacionados à bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, sendo possível monitorar e avaliar a qualidade da água, a dinâmica das chuvas e do clima, além de gerenciar e planejar o uso do solo e a preservação dos recursos naturais da região. Entre as principais funcionalidades dessa plataforma estão a elaboração de

mapas temáticos, a geração de relatórios e análises espaciais, bem como a integração com outras bases de dados geográficos. E por meio do uso dessa tecnologia, o Comitê pode tomar decisões mais efetivas e embasadas na análise de informações precisas e atualizadas, contribuindo para a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável da região.

Estas ferramentas inspiraram a criação de um SIG para o município de Barra Mansa, tais como os portais que empregam a plataforma ArcGIS em seus Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

### 1.3 Desenvolvimento do Geo Barra Mansa e seus resultados

O SIG do município de Barra Mansa, assim denominado como Geo Barra Mansa, foi desenvolvido durante os anos de 2021 e 2022, utilizando a plataforma ArcGIS, da ESRI – uma empresa americana especializada na produção de soluções para a área de informações geográficas, sendo líder mundial em sistemas de informação geográfica. Esta plataforma foi escolhida por incluir um grande número de ferramentas para mapeamento, análise espacial e gerenciamento de dados, bem como ferramentas para criar e compartilhar mapas e aplicativos da web. Inicialmente, optou-se pelo *ArcGIS Online* acoplado ao *ArcGIS Pro*, entretanto, com o desenvolvimento do sistema, hospedagem de imagens aéreas de alta resolução e maior gerenciamento dos dados, lançou-se mão do *ArcGIS Enterprise* acoplado ao *ArcGIS Pro*.

Anterior à implantação do SIG, o banco de dados municipal era acessado por meio de um programa denominado Geomedia, da fabricante americana Hexagon. Apenas 5 funcionários, de um total de 5185 da prefeitura municipal de Barra Mansa, acessavam o Geomedia e seus respectivos dados, o que confronta diretamente com a proposta do atual SIG, que se trata de uma ferramenta disponível e acessível para planejar e gerir os recursos hídricos e, conseqüentemente, o uso do solo não somente de Barra Mansa, mas de muitos outros municípios que ainda enfrentam situações similares relativas a sistematização de dados por meio de sistemas de informação geográfica.

A composição do Geo Barra Mansa foi iniciada a partir do banco de dados da Secretaria Municipal de Planejamento Urbano – SMPU – que disponibilizou acesso a dados vetoriais, como malha de lotes, arruamento, redes de abastecimento e coleta de esgoto, além de muitos outros. Alguns desses dados estavam disponíveis em formato *shapefile*, da própria *ESRI*, fabricante do *ArcGIS*, outros em DWG (Autodesk). Após uma avaliação criteriosa, optou-se por importar apenas três camadas no novo SIG, sendo elas: a) Malha de lotes: faz-se necessária a customização dos atribuídos dessa feição. Posteriormente, realizado o link com o banco de dados da secretaria municipal de finanças – a princípio para todo cadastro mobiliário; b) Rede de abastecimento de água: Dados em formato DWG georreferenciado com geometrias incluídas no banco de dados e seus atributos customizados de acordo com as necessidades de informação do serviço autônomo de água e esgoto do município (SAAE – BM); c) Rede de esgotamento sanitário: Dados em formato DWG georreferenciado com geometrias incluídas no banco de dados e seus atributos customizados de acordo com as necessidades de informação do serviço autônomo de água e esgoto do município.

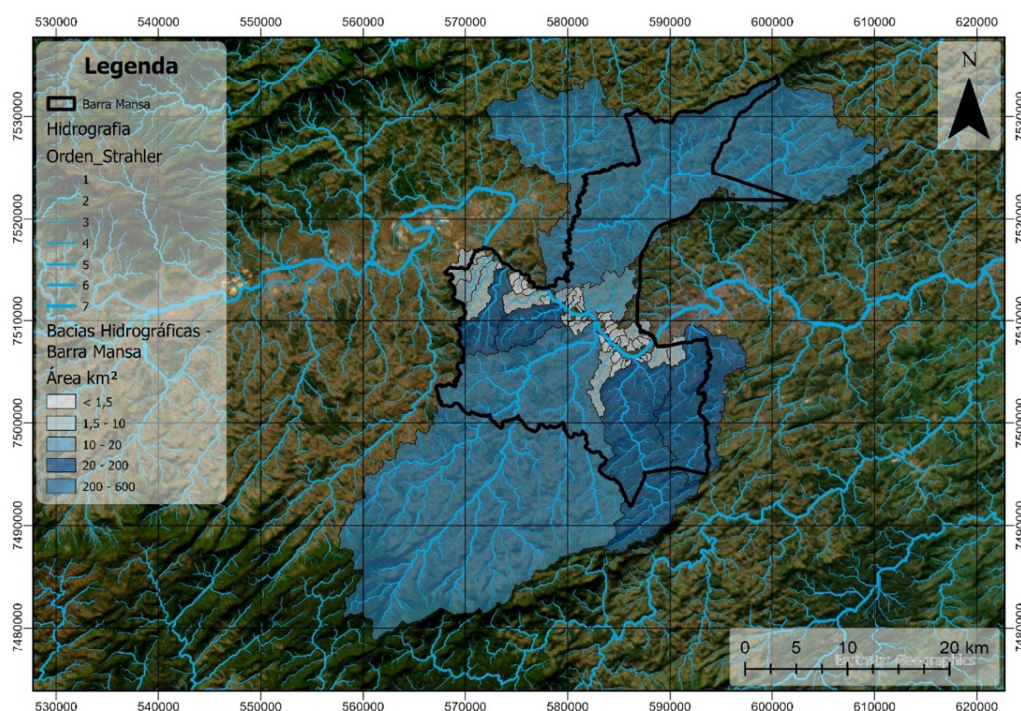
As redes de drenagem pluvial e mista não possuem cadastro em forma digital ou física, conhecidas por poucos funcionários da prefeitura e diante disso, pretende-se realizar o levantamento topográfico para inclusão dessas redes no sistema em etapa posterior.

No seguimento, após averiguação, ajuste e importação do banco de dados existente, seguiu-se para a fase de geração de dados de macrodrenagem e uso e ocupação dos solos. A maioria dos dados relacionados à modelagem hidrológica, pode ser gerada a partir de um modelo digital de elevação (MDE) com boa resolução altimétrica e hidrologicamente consistente. Esses modelos normalmente são gerados através de satélites orbitais equipados com radares denominados SAR (radar de abertura sintética). Outra fonte de dados utilizada foi de imagens orbitais multiespectrais com boa resolução espacial e temporal.

Uma opção à aquisição de dados orbitais são os levantamentos aerofotogramétricos, realizados por meio de veículos aéreos não tripulados (VANT's), podendo ser equipados com Lidar, que é uma tecnologia óptica de detecção remota, que mede propriedades da luz refletida de modo a obter a distância e/ou outra informação a respeito de um determinado objeto distante.

Através desses dados, Imagem/MDE, foram geradas diversas informações voltadas para o planejamento e gerenciamento de RH e um exemplo de camadas elaboradas para o SIG através desses dados, pode ser observada no mapa 3, que destaca o limite político administrativo municipal, a rede de drenagem e as bacias hidrográficas inseridas em seu território.

Mapa 3 – Malha hidrográfica e bacias hidrográficas inseridas no município de Barra Mansa



Fonte: O autor, 2022.

Em se tratando de bacias hidrográficas, o SIG permite a análise informações geoespaciais relacionadas aos recursos hídricos em determinada bacia. São dados que se referem ao regime de chuvas, ao solo, à vegetação, à topografia, dentre outros aspectos que auxiliam na gestão desses recursos, o que remontam, também, a importância do SIG para a PNRH, como ferramenta essencial para tomada de decisão, visto que, possibilita uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos. A Figura 1 ilustra a página inicial (HUB) do SIG municipal. Nessa página são encontrados os links para as aplicações e funcionalidades do sistema, que está disponível aos vários segmentos da gestão municipal.

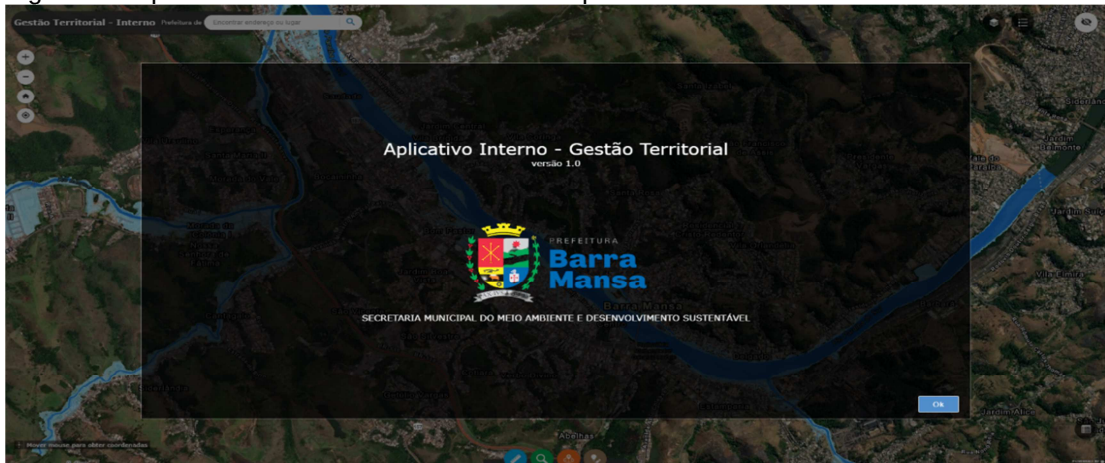
Figura 1 – Página inicial do SIG (HUB)



Fonte: O autor, 2022.

Uma das principais funcionalidades do Geo Barra Mansa é possibilitar a modelagem hidrológica das bacias hidrográficas inseridas no município. Essa modelagem só é possível quando é alimentada por dados precisos e consistentes. A figura 2 apresenta o aplicativo, inicialmente restrito aos servidores, de gestão territorial, contendo diversas camadas, dentre elas: redes de água e esgoto, edificações, lotes, loteamentos, equipamentos públicos, bairros, zoneamento, unidades de conservação, reservas legais, áreas de preservação permanente, hidrografia, curvas de nível, uso e cobertura do solo, manchas de inundação, ortofotos de alta resolução, além de diversas outras camadas.

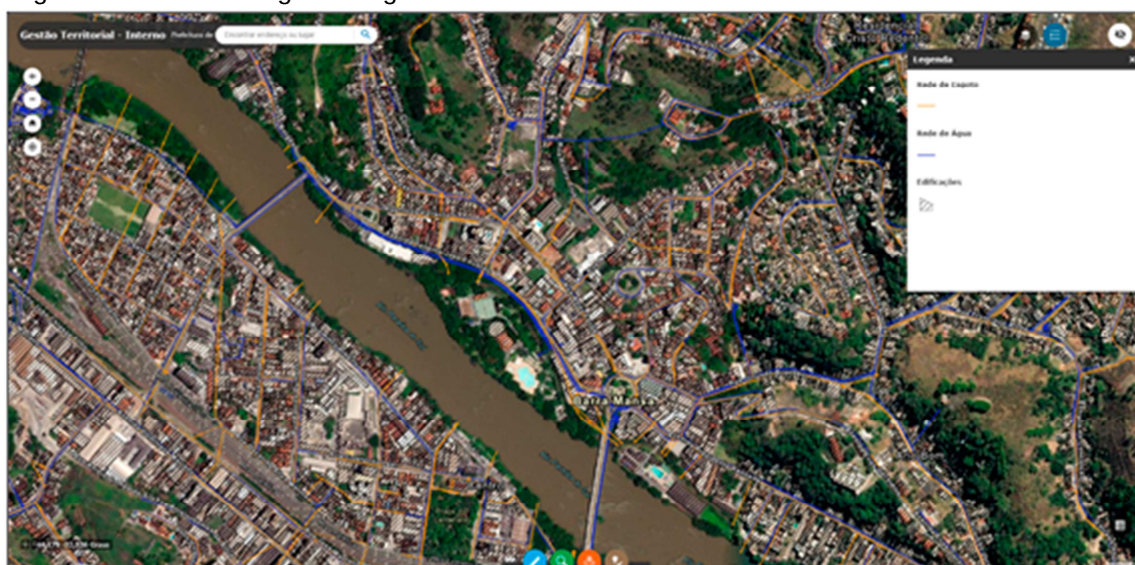
Figura 2 – Aplicativo de Gestão Territorial Municipal



Fonte: O autor, 2022.

Outra funcionalidade do SIG é a elaboração de mapas dos recursos hídricos existentes, com informações detalhadas sobre a micro e macrodrenagem, que podem ser utilizadas pelo município para elaborar planos diretores e o zoneamento municipal pensado de acordo com as bacias hidrográficas e suas suscetibilidades. E ainda, auxilia no monitoramento da qualidade da água e na detecção de fontes potenciais de poluição, como por exemplo, o vazamento de chorume no córrego carioca, ocorrido em janeiro de 2021, no aterro sanitário instalado no município, que é operado por uma empresa privada. O SIG também foi utilizado para planejar a expansão da rede de abastecimento de água no município, bem como otimizar a distribuição dos recursos hídricos disponíveis, permitindo assim, que o município expandisse a rede de abastecimento e reservação de água para áreas que sofrem com a sazonalidade de abastecimento. A figura abaixo, gerada a partir do SIG, destaca as redes de distribuição de água e coleta de esgoto na área central do município.

Figura 3 – Redes de Água e Esgoto

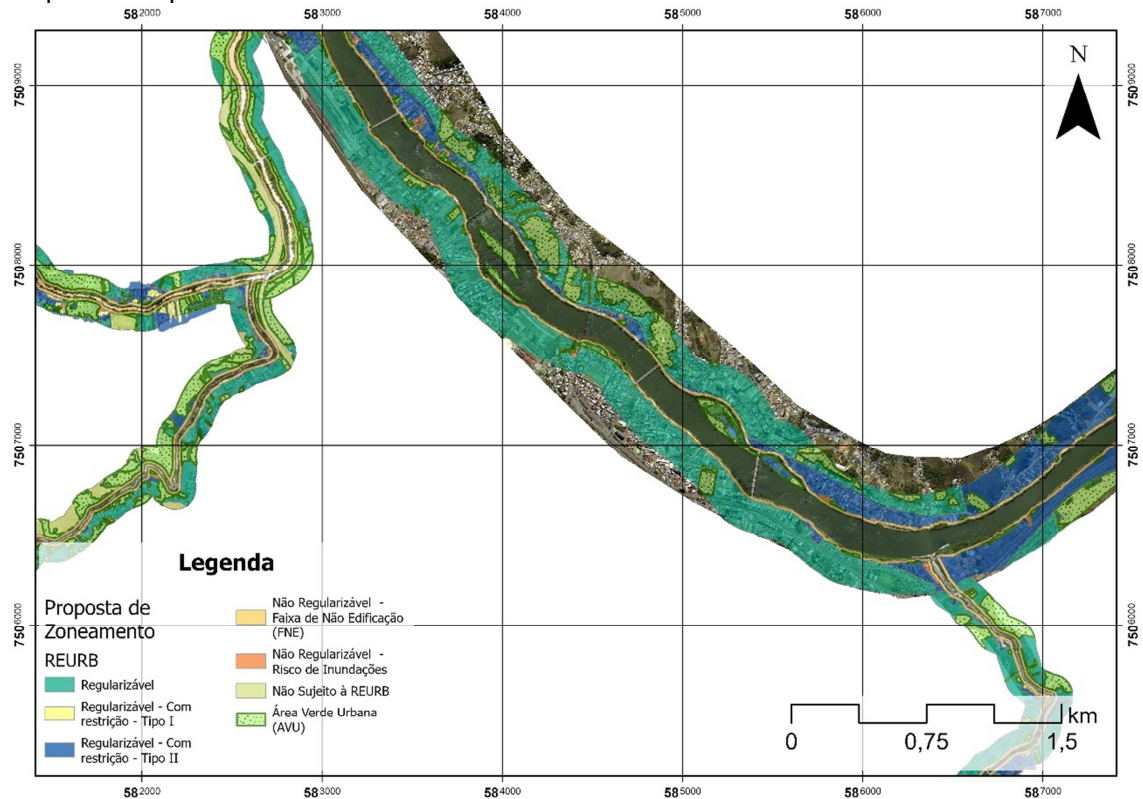


Fonte: O autor, 2022.

O SIG permite o planejamento e gerenciamento das ocupações em faixas marginais de proteção. Na atualidade, o sistema hospeda imagens de alta resolução espacial dos rios Paraíba do Sul, Bananal, Bocaina e Barra Mansa, bem como, as manchas de inundação para vários períodos de retorno de chuva. Outrossim, um novo zoneamento ambiental está sendo proposto juntamente com o projeto de

regularização fundiária das áreas marginais a esses rios, conforme consta no mapa a seguir.

Mapa 4 – Proposta inicial de zoneamento ambiental nas áreas ribeirinhas



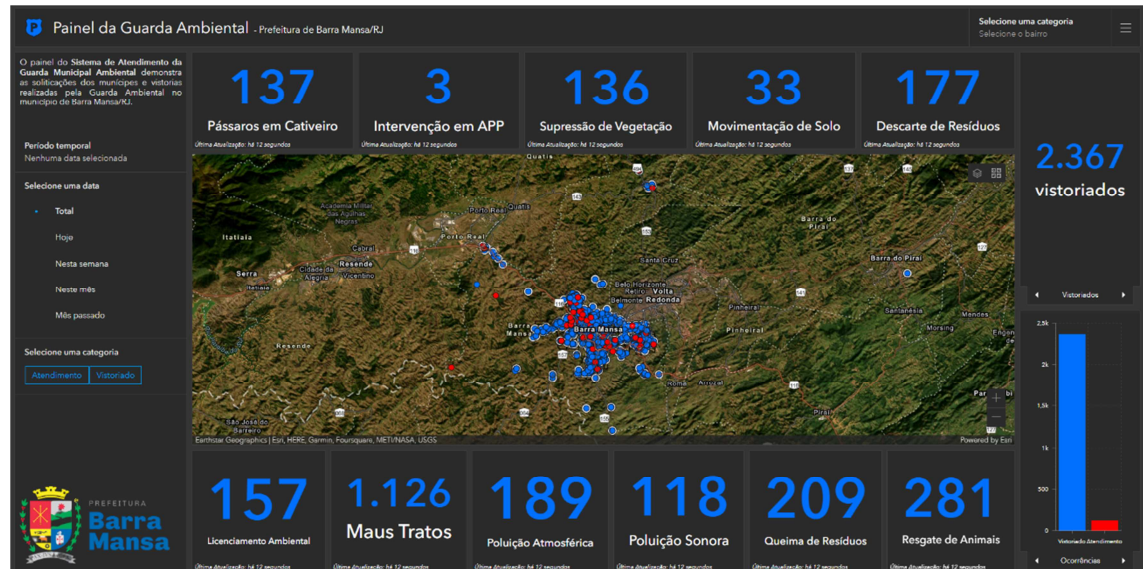
Fonte: O autor, 2022.

Além do projeto de regularização fundiária e zoneamento ambiental nas áreas ribeirinhas, a modelagem hidrológica realizada através do SIG, permite criar um sistema de resposta emergencial a eventos hidrológicos extremos, sendo avaliadas as chuvas das últimas 12 horas e a previsão através de três modelos de alta acurácia para até 10 dias. Esse sistema de alerta, integra a modelagem hidrológica dos cursos d'água, considerando o tempo de concentração das bacias hidrográficas e seus hidrogramas de cheia, o que traz uma resposta precisa para alerta e resposta da defesa civil municipal. A figura 4 apresenta as manchas de inundação para os principais rios do município.



comportamento dos infratores ambientais, podendo relacionar a sazonalidade e a espacialização das infrações no território municipal.

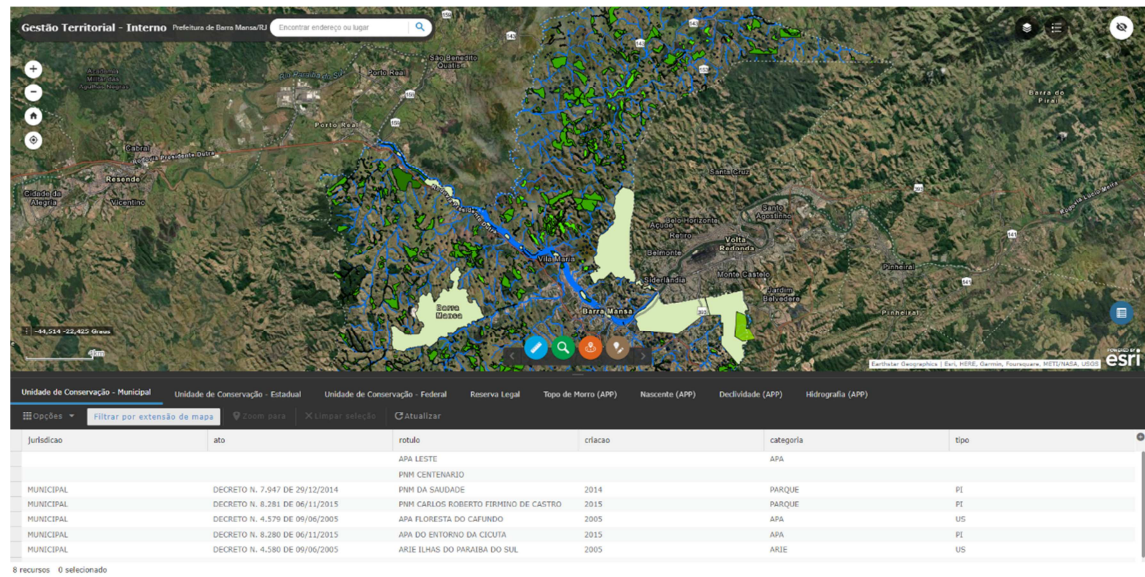
Figura 7 – Painel da Guarda Ambiental



Fonte: O autor, 2022.

O SIG possui várias camadas relacionadas a um banco de dados com atributos (informações) para o gerenciamento ambiental municipal. Na figura 8, podemos encontrar as áreas protegidas em no território, divididas em unidades de conservação municipais, estaduais e federais e também as áreas de preservação permanentes (APP's) de nascentes, encostas, topo de morro e faixas marginais de proteção.

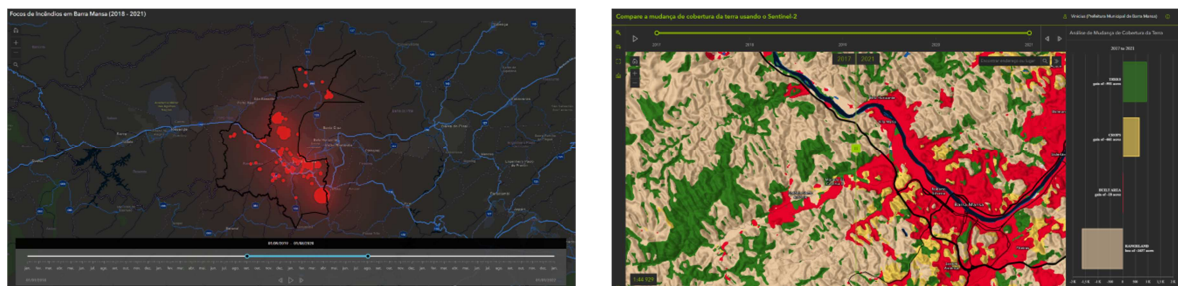
Figura 8 – Aplicativo de Gestão Territorial (Áreas Protegidas)



Fonte: O autor, 2022.

O sistema permite avaliar diversos dados multitemporais, como por exemplo os focos de incêndio para os anos de 2018 a 2021 (figura 9), auxiliando a brigada voluntária criada através da Secretaria de Meio Ambiente e o Conselho Municipal de Meio Ambiente, a mapear os pontos críticos e a realizar uma campanha preventiva nesses locais. Também é possível avaliar de forma multitemporal a dinâmica de uso e ocupação do solo (figura 10), importante para detectar pontualmente desmatamentos, ocupação de núcleos rurais não regulares, além de outras questões relacionadas ao uso e cobertura do solo que influenciam na gestão ambiental e dos recursos hídricos em Barra Mansa.

Figura 9 / 10 – Focos de Incêndio e detecção de mudança no uso e cobertura do solo.

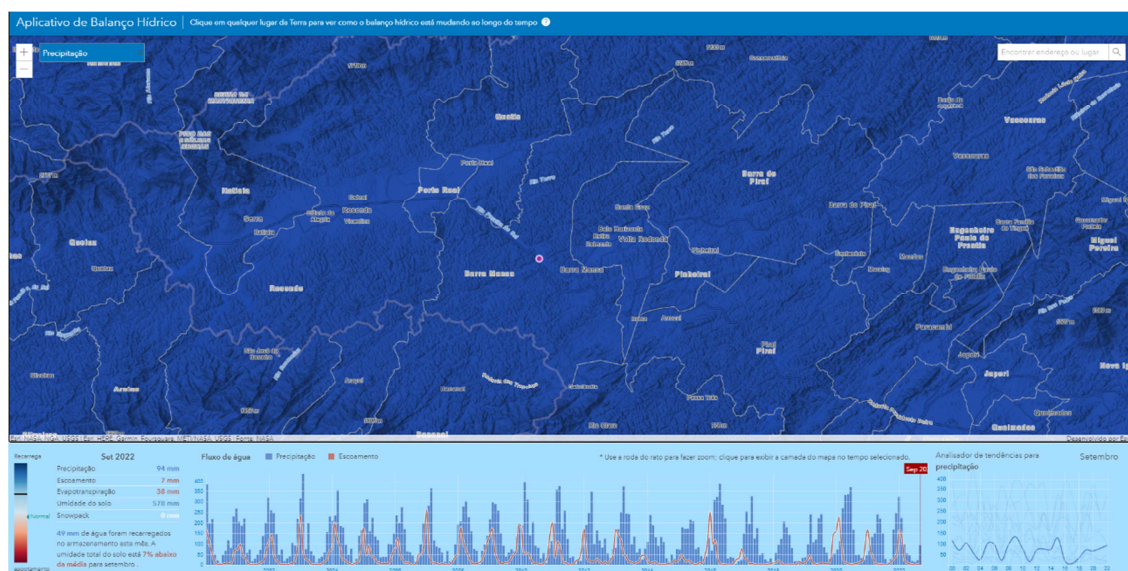


Fonte: O autor, 2022 / Esri, 2017.

O SIG ainda possibilita a utilização de aplicações desenvolvidas pela fabricante, com inúmeras funcionalidades para a aplicação em gestão de recursos

hídricos. Podemos destacar o aplicativo de balanço hídrico (figura 11), que estima o quanto da chuva se torna escoamento superficial, quanto evapora e quanto se infiltra no solo.

Figura 11 – Aplicativo de Balanço Hídrico



Fonte: Esri, 2017.

Portanto, os principais resultados obtidos para a gestão de informações sobre recursos hídricos no município de Barra Mansa foram: sistematizar os dados já existentes; criar uma interface para coleta e registro de novos dados, inseridos diretamente pelos funcionários das diversas secretarias da prefeitura e também pela população (nota-se, nesse sentido, a expansão do sistema, inicialmente planejado para gestão de recursos hídricos, a outros setores da administração pública); processamento dos dados coletados, utilizando vários recursos disponíveis no ArcGIS, tais como geração de malha de drenagem e cálculo de áreas de contribuição; transformação dos dados em informações acessíveis para os servidores e população do município (ex.: áreas protegidas, regularização fundiária urbana e programa de brigada voluntária); apoio a tomada de decisão para o enfrentamento de situações de risco já existentes, como as recorrentes inundações nas bacias dos rios Barra Mansa e Bananal (como veremos nos próximos capítulos), assim como projeções de ações e políticas públicas futuras por meio da análise detalhada dos dados da região. Diante disso, o Geo Barra Mansa é uma poderosa ferramenta para o poder público municipal no gerenciamento dos recursos hídricos

em suas bacias hidrográficas, sendo capaz de entregar informações geográficas de precisão e dados históricos, o que permite à gestão pública municipal, ter uma visão mais ampla da situação acerca dos recursos hídricos em sua área de atuação. Além disso, o SIG também pode ser usado como uma ferramenta de gestão para o planejamento de políticas voltadas aos recursos hídricos.

Os resultados também mostram que o Geo Barra Mansa pode ser usado como um meio de comunicação entre os setores internos da prefeitura e a população, permitindo que as partes envolvidas possam trocar informações voltadas à gestão de recursos hídricos no âmbito municipal.

A implementação de um SIG para gestão de recursos hídricos pode ajudar a melhorar a eficiência, precisão e eficácia dos esforços de gestão de recursos hídricos. Destaca-se, pois, que a implementação de um SIG deve ser apoiada pelo estabelecimento de regramentos legais eficazes e pelo compartilhamento de dados entre os setores e autarquias do município, convergindo, assim, para a gestão descentralizada, transparente e, portanto, participativa dos recursos hídricos, e ainda, contribuir para que a população se conscientize e interaja com o poder público.

## **2 MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BARRA MANSA PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM RESERVATÓRIO DE AMORTECIMENTO DE VAZÕES EXTREMAS**

### **2.1 Modelagem hidrológica e a dinâmica dos sistemas hídricos**

Uma modelagem hidrológica é realizada para se entender o comportamento e a dinâmica dos sistemas hídricos, incluindo a quantidade e a qualidade da água e os processos que afetam sua distribuição; e a partir daí, pode-se realizá-la para: a) Na gestão de recursos hídricos, prever a disponibilidade de água em diferentes épocas do ano e para avaliar a eficiência da gestão dos recursos hídricos; b) Na previsão de inundações, para prever a extensão e a intensidade dessas ocorrências, permitindo a tomada de medidas preventivas para minimizar seus impactos; c) Na proteção ambiental, para avaliar o impacto de atividades humanas, como a agricultura, a mineração e a construção de barragens, na qualidade da água e no meio ambiente; d) No planejamento de infraestrutura, para planejar o desenvolvimento de projetos hidráulicos, como barragens, canais de irrigação e sistemas de abastecimento de água, para atender às necessidades da população. E nesse sentido, ressalta-se que se trata de uma ferramenta para se entender e gerenciar, de forma eficiente, os sistemas hídricos, ajudando a proteger o meio ambiente e a garantir a disponibilidade de água de qualidade.

Nesse segmento, ao se tratar de bacia hidrográfica, a modelagem hidrológica traz o entendimento de como a água flui ao longo da superfície da Terra e como é armazenada e distribuída dentro da bacia, traçando reflexões sobre a importância da água para as atividades humanas, incluindo a agricultura, a produção de energia, a geração de eletricidade, a indústria e o abastecimento de água potável.

E ainda além, a modelagem permite avaliar diferentes fatores, como as alterações climáticas, a urbanização, a agricultura e a mineração, afetam a disponibilidade de água e a qualidade da água dentro da bacia hidrográfica, o que garante que os recursos hídricos sejam gerenciados de forma eficiente, minimizando impactos ambientais negativos.

Por conseguinte, é possível delinear algumas vantagens e desvantagens em relação à realização da modelagem hidrológica. As vantagens versam sobre: a) previsão: prever como a bacia hidrográfica responderá a mudanças futuras, como as alterações climáticas e a urbanização, o que ajuda a tomar decisões informadas sobre o uso da água e a proteção do meio ambiente; b) análise de cenários: avaliar diferentes cenários para entender como diferentes fatores afetam a disponibilidade de água e a qualidade da água dentro da bacia hidrográfica; c) gerenciamento de recursos hídricos: garantir que os recursos hídricos sejam gerenciados de forma eficiente e para minimizar os impactos ambientais negativos.

Em relação às desvantagens de se realizar a modelagem hidrológica, pode-se elencar: a) complexidade: pode ser complexa e requer conhecimento especializado em hidrologia e modelagem; b) dados limitados: a qualidade e a quantidade de dados disponíveis para a modelagem hidrológica podem ser limitadas, o que pode afetar a precisão das previsões; c) custo: a realização pode ser de valor elevado, dependendo da escala e da complexidade do estudo.

E nesse viés, a modelagem em uma bacia hidrográfica é desenvolvida em várias etapas, incluindo: a necessidade de se coletar dados relevantes, como informações climáticas, topográficas, hidrológicas e geológicas, para alimentar a modelagem; após a coleta de dados, deve-se definir o modelo que será utilizado – o que inclui escolher o tipo de modelo, como modelos distribuídos ou baseados em computador, e determinar os parâmetros do modelo; a calibração do modelo com base em dados observados de vazão, chuva e outros parâmetros – essa calibração é realizada para garantir que o modelo produza resultados precisos e confiáveis; a validação do modelo após a calibração, validado com dados observados não utilizados durante a calibração, o que permite avaliar a precisão do modelo e identificar quaisquer erros ou limitações; a simulação após a validação, quando o modelo é usado para simular diferentes cenários para entender como a bacia hidrográfica responde a mudanças futuras, como alterações climáticas e uso da terra; e análise dos resultados, momento em que os resultados da simulação são analisados para avaliar a disponibilidade de água e a qualidade da água dentro da bacia hidrográfica, bem como para tomar decisões informadas sobre o uso da água e a proteção do meio ambiente.

Importa dizer que a modelagem hidrológica evoluiu significativamente desde sua introdução no século XX e uma das principais evoluções inclui a evolução da

tecnologia computacional, permitindo, então, uma maior capacidade de processamento de dados e modelagem, tornando possível modelar sistemas hidrológicos cada vez mais complexos, além da a disponibilidade de novas fontes de dados, o desenvolvimento de novos modelos e a integração de outros sistemas. Isso permitiu aos modelos hidrológicos representar de forma mais precisa a dinâmica dos sistemas hidrológicos e fornecer informações mais valiosas para a gestão da água.

De certo, para dimensionar um reservatório de amortecimento de vazões extremas, a modelagem hidrográfica permite avaliar a capacidade de armazenamento necessária, estimar a quantidade de água que pode ser armazenada e liberada, e prever as condições hidrológicas futuras. Além disso, pode ser usada para avaliar o impacto do reservatório de amortecimento na bacia hidrográfica e para identificar soluções de gestão da água eficazes.

A partir desse cenário, o presente capítulo descreve a elaboração de uma modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do Rio Barra Mansa, que compreende os municípios de Barra Mansa e Rio Claro, no Rio de Janeiro, a fim de possibilitar o dimensionamento de um reservatório destinado ao amortecimento de vazões extremas, reduzindo a recorrência de inundações, especialmente nos bairros de Nova Esperança, Santa Clara, Boa Sorte e São Luiz.

A modelagem hidrológica foi desenvolvida com o apoio do *software HidroFlu* e as análises espaciais, com o *software ArcGIS Pro*. Dados foram coletados no sistema de informações geográficas da prefeitura municipal de Barra Mansa, disponíveis no Portal de Informações Geográficas do município<sup>2</sup>. Visto que, para Uisce (2010 *apud* Correia; Ribeiro; Baptista, 2015), a viabilidade das técnicas avançadas de modelagem hidrológica, através da manipulação de dados por meio de um SIG, não só economiza esforço, como também melhora a precisão dos modelos hidrológicos, se comparada a métodos tradicionais.

Dessa forma, descreve-se o resultado do estudo que foi oferecer à cidade de Barra Mansa, informações mais precisas quanto ao reservatório em questão, além da produção de hidrogramas das vazões extremas para determinação do volume mínimo de amortecimento dessas vazões, ajuste das manchas de inundação e proposição de um zoneamento ambiental nas áreas marginais, que, no futuro,

---

<sup>2</sup> <https://www.barramansa.rj.gov.br/aspectos-geograficos/#:~:text=Suas%20coordenadas%20geogr%C3%A1ficas%20s%C3%A3o%3A%2022,de%20Nossa%20S enhora%20do%20Amparo.>

poderão orientar projetos de regularização fundiária não só no município, mas como contribuição para estudos posteriores, de forma que essa orientação abranja e ocorra nos demais da Federação.

## **2.2 A problemática dos desastres naturais e das inundações recorrentes**

Carvalho et al. (2007) avaliam o crescimento do adensamento populacional em áreas de risco de enchentes, inundações e deslizamentos. Segundo este estudo, esses são os pontos negativos do processo de urbanização e expansão dos municípios brasileiros, principalmente em regiões metropolitanas. Os fatores econômicos, sociais, culturais e políticos também contribuem para o avanço e consolidação desse cenário indesejável, e nesse segmento, os mesmos autores ainda sintetizam o problema considerando uma crise econômica e social com solução a longo prazo, uma política habitacional de baixa renda considerada, historicamente, ineficiente; enfatizando, também, a ineficácia dos sistemas que controlam o uso e a ocupação do solo, além da inexistência de uma legislação adequada referente a áreas suscetíveis aos riscos mencionados, e da inexistência de apoio técnico quando se trata de populações e cultura popular de “morar no plano”. (CARVALHO et al., 2007)

Kobiyama et al. (2006) apontam que nas últimas décadas, o número de registros de desastres naturais vem aumentando pelo mundo. Para eles, esse fato ocorre, principalmente, devido ao crescimento demográfico e à ocupação desordenada.

Entre os principais fatores que cooperam para desencadear esses eventos nas áreas urbanas, destacam-se a impermeabilização do solo, o adensamento nas construções e conservação de calor; já nas áreas rurais, aparecem a compactação dos solos, assoreamento dos rios, desmatamento e queimadas. Os mesmos autores ainda classificam esses eventos de acordo com sua intensidade, conforme tabela 1:

Ainda nessa linha, Tominaga et al. (2009) estabelecem que os principais fenômenos relacionais a desastres naturais no Brasil se derivam da dinâmica

hidrológica, tais como: inundações, enchentes e escorregamento de massa, que normalmente estão ligados a precipitações extremas.

Tabela 1 – Classificação dos desastres em relação a intensidade.

| Nível | Intensidade                                                                                                                                                                    | Situação                                                                                                                                                        |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I     | Desastres de pequeno porte, também chamados de acidentes, onde os impactos causados são pouco importantes e os prejuízos pouco vultosos. (Prejuízo menor que 5% PIB municipal) | Facilmente superável com os recursos do município.                                                                                                              |
| II    | De média intensidade, onde os impactos são de alguma importância e os prejuízos são significativos, embora não sejam vultosos. (Prejuízos entre 5% e 10% PIB municipal)        | Superável pelo município, desde que envolva uma mobilização e administração especial.                                                                           |
| III   | De grande intensidade, com danos importantes e prejuízos vultosos. (Prejuízos entre 10% e 30% PIB municipal)                                                                   | A situação de normalidade pode ser restabelecida com recursos locais, desde que complementados com recursos estaduais e federais. (Situação de Emergência – SE) |
| IV    | De muito grande intensidade, com impactos muito significativos e prejuízos muito vultosos. (Prejuízos maiores que 30% PIB municipal)                                           | Não é superável pelo município, sem que receba ajuda externa. Eventualmente necessita de ajuda internacional. (Estado de Calamidade Pública – ECP)              |

Fonte: Tominaga, et al. (2009, p. 15).

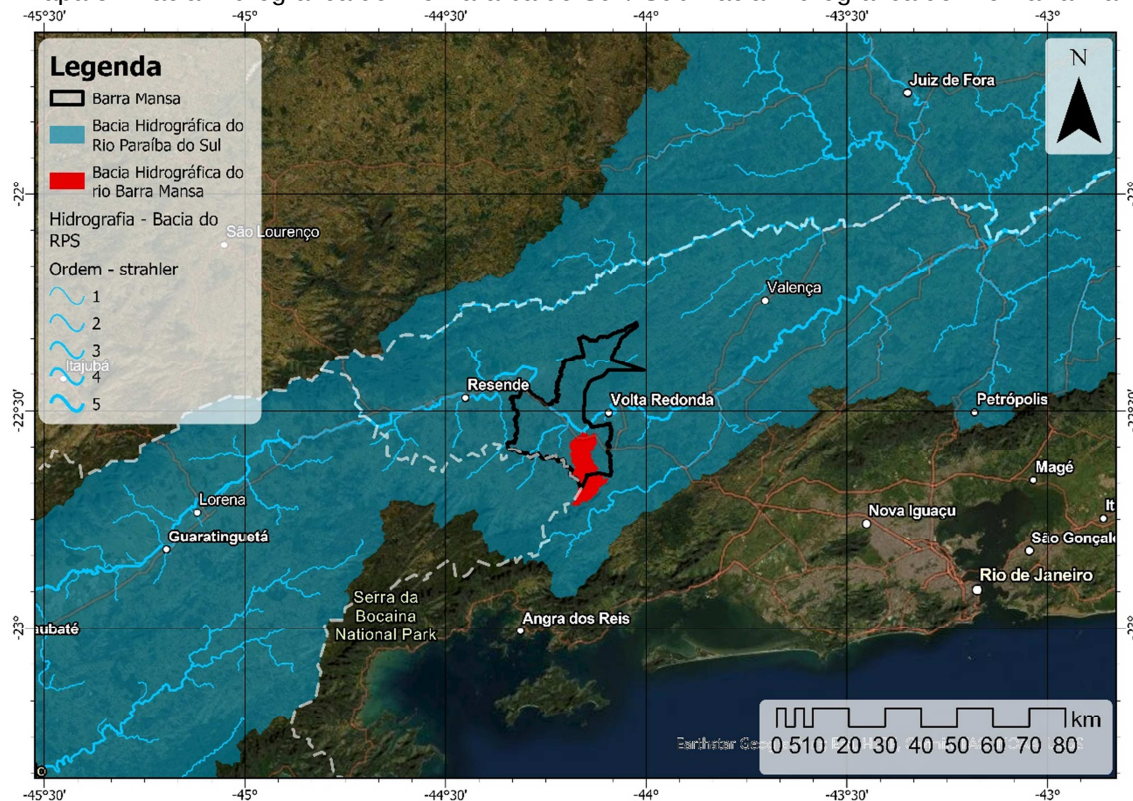
Dessa forma, o município de Barra Mansa sofre de forma recorrente com enchentes e inundações, provocadas, principalmente, pela ocupação desordenada e irregular nas planícies de inundação e faixas marginais de proteção dos cursos d'água.

Destaca-se, pois, o caso da construção do reservatório da Usina do Funil, em Itatiaia, à montante de Barra Mansa, que contribuiu para a regulação de vazão no rio Paraíba do Sul, principal rio da região, que já transbordou inúmeras vezes no município com registros datados desde a década de 1960. Entretanto, este modelo também possui desvantagens do ponto de vista de regulação de vazão. Cabe registrar que no ano 2000, ocorreu o maior evento de inundação da calha do rio Paraíba do Sul, deixando cerca de 4000 pessoas desabrigadas – evento esse, que foi intensificado devido à abertura das comportas da Usina Hidrelétrica de Funil.

Importa dizer que a operação da usina teve início em 1969, quando, então, contribuiu para a regulação da vazão à jusante no Rio Paraíba do Sul (mapa 5), beneficiando a cidade em questão, já que os principais tributários – rio Barra Mansa e rio Bananal –, não contavam com reservatório para regulação de vazões e

possuíam planícies de inundação, o que acarretou, portanto, inundações recorrentes que tomavam uma extensa ocupação residencial, comercial e até industrial.

Mapa 5 - Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul / Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Barra Mansa.



Fonte: O autor, 2022.

E, ainda se observa que os afluentes do rio Paraíba do Sul, situados no município, sofrem com uma frequência de eventos ainda maiores, como os processos de inundação de calha, dentre eles: o rio Bananal e o rio Barra Mansa; a esse último, já se registrou transbordamento da calha algumas vezes por ano, como se observa na figura 12, que apresenta as enchentes e as inundações no município de Barra Mansa/RJ.

Figura 12 - Enchentes e inundações no município de Barra Mansa/RJ.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

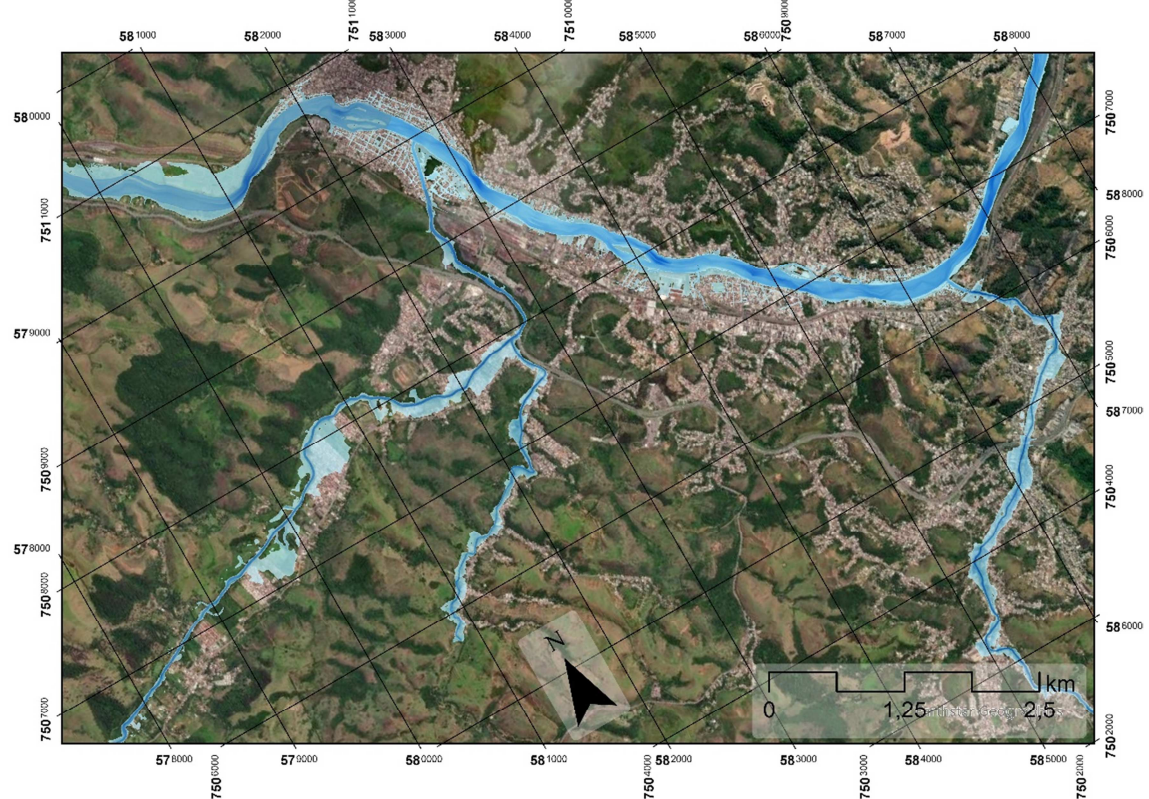


(f)

Legenda: (a), (b), (c) e (d) – Rio Paraíba do Sul; (e) e (f) – Rio Barra Mansa, Rua Florianópolis.  
Fonte: Portal SAAE, 2021.

A problemática da inundação recorrente nessa região atinge boa parte da população do município, estimando-se que cerca de 20.000 pessoas sejam impactadas por esse fenômeno. Nesse contexto, foram avaliadas as manchas de inundação, conforme mapa 6, dos principais rios do município, recorrência dos eventos, uso e ocupação do solo e densidade habitacional nas áreas ribeirinhas.

Mapa 6 - Manchas de inundação dos principais rios do município de Barra Mansa/RJ.



Fonte: O autor, 2022.

### 2.3 Hidrograma unitário como ferramenta hidrometeorológica

O Hidrograma Unitário consiste em uma ferramenta hidrometeorológica para determinação de vazões extremas associadas a eventos de cheia em bacias hidrográficas, com base na transformação de uma precipitação efetiva em vazão superficial. Esse processo ocorre por meio da simplificação do comportamento da bacia hidrográfica em si, por se basear na constância temporal relativa ao sistema hidrográfico.

Ressaltam-se, pois, os três pilares básicos que regem o método do Hidrograma Unitário, fundamentais ao entendimento de seu funcionamento: linearidade, invariância no tempo e superposição. Logo, com a finalidade de se obter o Hidrograma Unitário Sintético da bacia de interesse, aplica-se a submetodologia triangular SCS (Soil Conservation Service), a qual utiliza a configuração simplificada de um triângulo para descrever a precipitação e escoamento.

Para aplicação desta metodologia, foi utilizado o *software* Hidro-Flu, desenvolvido pelo grupo de pesquisadores do Laboratório de Hidráulica Computacional (LHC) do Programa de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Trata-se de um aplicativo hidrológico capaz de integrar e automatizar os estágios de cálculos atribuídos a eventos de cheias em bacias hidrográficas, chuvas de projeto, dimensionamento de canalizações e reservatórios, entre outros recursos não menos importantes.

Além disso, outro programa computacional crucial para a realização do presente estudo foi o *ArcGIS*, permitindo ao usuário: elaborar, coordenar, analisar e compartilhar informações geoespaciais; possibilitando, ainda, a criação de mapas e projeções embasadas em nuvem.

Com a utilização do *ArcGIS*, pôde-se adquirir dados espaciais e de sensoriamento remoto do planeta, armazenando-os em um sistema seguro on-line com flexibilidade de configurações, bem como, o acesso a aplicativos com funções específicas essenciais para explorações mais completas relacionadas ao geoprocessamento.

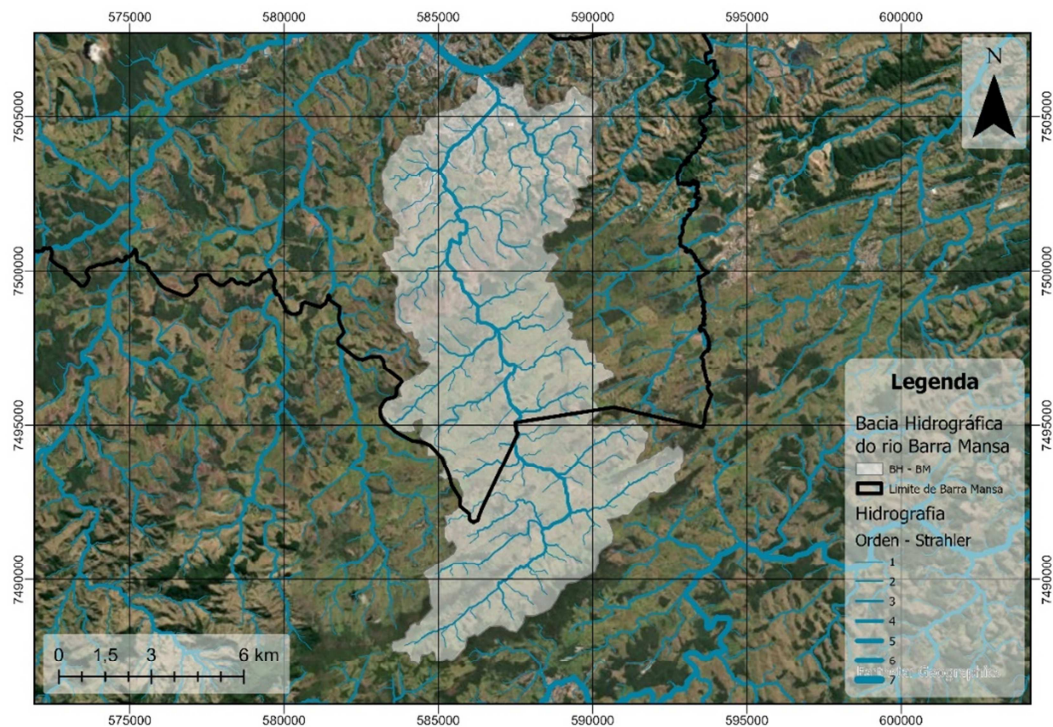
De forma estratégica, realizou-se a modelagem na bacia do Rio Barra Mansa, devido à elevada frequência de ocorrência das inundações de sua calha; a densidade habitacional que existe nos bairros que o rio cruza e finalmente, em decorrência da viabilidade econômica para implantação do reservatório, considerando que as áreas das bacias são proporcionais aos volumes de reservação necessários para amortecimento de vazões extremas.

Para se reduzir a recorrência de inundações nas áreas marginais à calha do rio Barra Mansa e contribuir aos estudos hidrológicos/hidráulicos, o *ArcGIS Pro 2.9* – um sistema de informação, foi utilizado, no sentido de se coletar dados necessários à tomada de decisão através do SIG, com o propósito de se avaliar a capacidade de armazenamento de determinada área e, por fim, amortecer vazões de eventos extremos.

Para a delimitação da bacia hidrográfica, foi utilizado o *software ArcGIS Pro 2.9*, obtido através da própria biblioteca on-line do *ArcGIS Pro*; um modelo digital do terreno (MDT) com resolução espacial de 20 metros; havendo durante o processo, a modelagem hidrológica da situação atual da bacia, definição da localização espacial do reservatório de retenção, vistas a campo, levantamento topobatimétrico e aerofotogramétrico da área, modelagem da capacidade de reservação da área, e

avaliação dos resultados. Aplicaram-se, ainda, os seguintes comandos para delimitação da área de contribuição do rio Barra Mansa: a) *FILL*, para remover pequenas imperfeições no MDT; b) *Flow Direction*, que resulta em um raster de direção de drenagem; c) *Flow Accumulation*, cria um raster de fluxo acumulado; d) *Con*, definindo a densidade da drenagem do raster; e) *Stream Link*, para unir as redes lineares de drenagem; f) *Stream Order*, para atribuir uma ordem numérica aos seguimentos da rede de drenagem; g) *Stream to Feature*, para converter o raster de drenagem em vetor; h) *Watershed*, para determinar a área de contribuição acima de um conjunto de células. O resultado dessa sequência de comandos é a delimitação da bacia hidrográfica – mapa 7 – a da área de estudo.

Mapa 7 - Bacia Hidrográfica do rio Barra Mansa

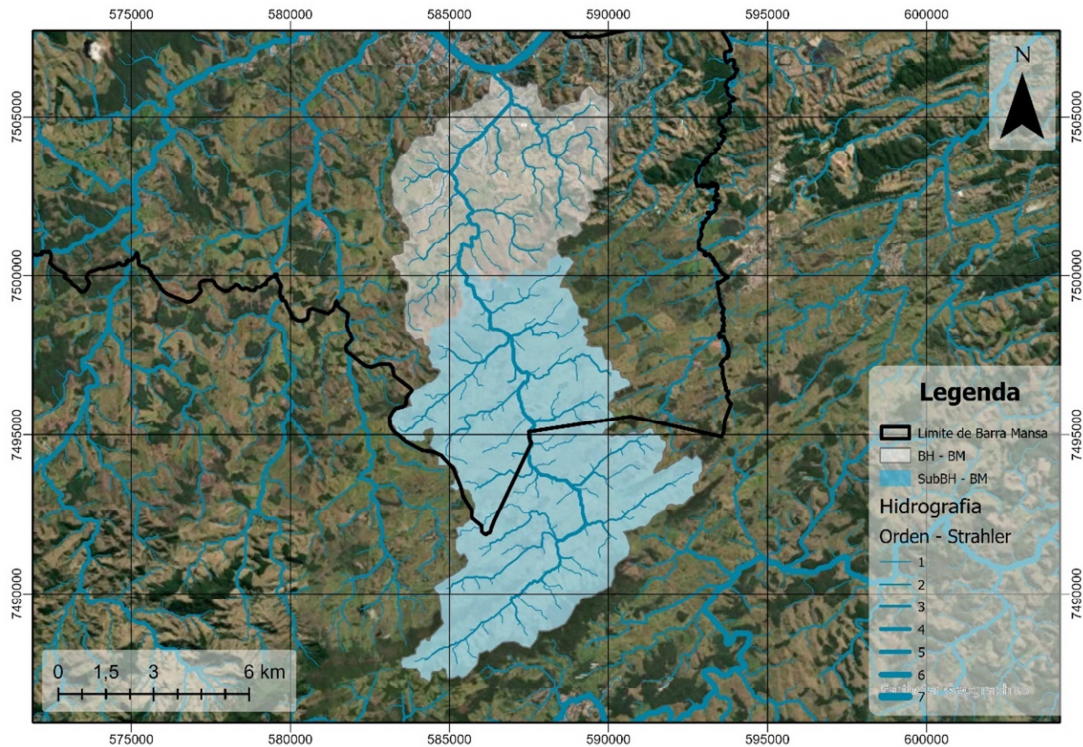


Fonte: O autor, 2022.

Para a definição da localização espacial do reservatório, considerou-se: o limite de área urbana adensada; a área de contribuição, a montante e a topográfica para inundação da área; e ancoramento da barragem. Nesse patamar, reservatórios com uma boa eficiência na amortização da vazão deveriam estar localizados de forma a absorver a maior área de drenagem possível em relação à área total da

bacia hidrográfica, observando-se, pois, no mapa 8, a localização espacial do reservatório na bacia hidrográfica e sua sub-bacia de drenagem.

Mapa 8 – Sub-bacia de drenagem da área do reservatório de amortecimento



Fonte: O autor, 2022.

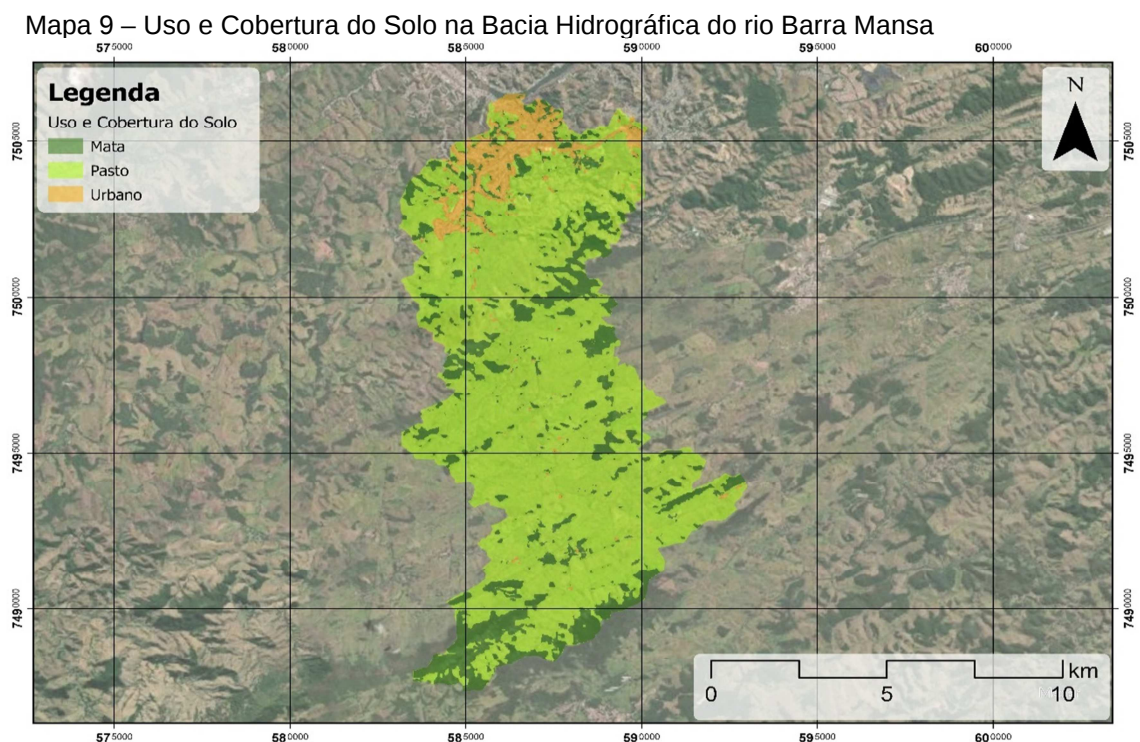
## 2.4 Implantação de dispositivos de armazenamento em reservatório de vazões extremas

Com nascente localizada em Rio Claro, mais precisamente na localidade de Sertão dos Hortelãs, e com sua foz no município de Barra Mansa à margem direita do Rio Paraíba do Sul, a bacia do Rio Barra Mansa sofre pressão urbana do próprio município, principalmente em seu trecho final.

A área da bacia é de aproximadamente 102 km<sup>2</sup> e perímetro de 70 km. O comprimento do talvegue principal é de 27,9 km, desnível de 785,88 m e declividade de 2,82%. O coeficiente de compacidade (Kc) e fator de forma (Kf) da bacia são 1,967187 e 0,09986, respectivamente. Sua declividade média é de

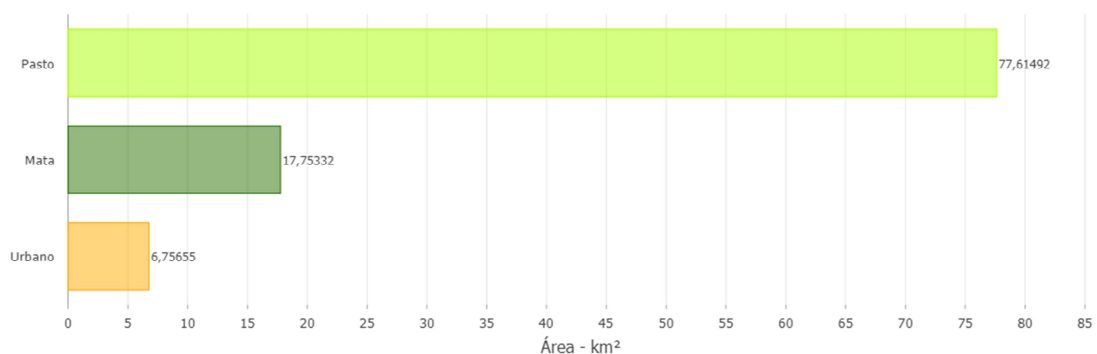
aproximadamente 14° ou 25%, havendo ocorrência de maior inclinação na parte alta da bacia.

Observou-se, portanto, uma baixa cobertura de vegetação nativa nesta bacia. Este fator, combinado à ocupação irregular nas faixas marginais de proteção, tornam a parte baixa da bacia em um local suscetível a eventos de inundação recorrentes. O mapa 9, juntamente com o gráfico 1, exibem uma classificação simplificada do uso e cobertura do solo, com 77,61 km<sup>2</sup> de áreas de pastagem (verde claro), 17,75 km<sup>2</sup> com áreas florestadas (verde escuro) e 6,76 km<sup>2</sup> de áreas urbanizadas (laranja).



Fonte: O autor, 2022.

**Gráfico 1 – Uso e Cobertura do Solo na Bacia Hidrográfica do rio Barra Mansa**  
Uso e Cobertura do Solo - BH Rio BM



Fonte: O autor, 2022.

Seguindo nesse estudo, o tempo de concentração ( $T_c$ ) da bacia teve por definição, a duração total para que toda ela contribuísse para o escoamento superficial no exutório/seção de controle. Há que se ressaltar, que existem diversos métodos consagrados para calcular o tempo de concentração de uma bacia, sendo cada um indicado para uma ou mais características específicas da bacia, sendo adotado para o presente estudo, a equação proposta por Kirpich, que também é indicada por normas técnicas do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) do estado do Rio de Janeiro e Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) do estado de São Paulo, a saber:

$$T_c = 57 \times \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

onde: -  $T_c$  = tempo de concentração, em minutos (min);

-  $L$  = comprimento do talvegue principal, em km;

-  $H$  = desnível do talvegue, em metros.

$$T_c = 57 \times \left( \frac{27,9^3}{785,88} \right)^{0,385} = 204,57 \text{ minutos}$$

Em paralelo, destaca-se o método *Curve Number* (CN) desenvolvido pelo SCS - SOIL CONSERVATION SERVICE<sup>3</sup>, que é um método simples, muito difundido e eficiente para determinar o volume aproximado de escoamento superficial de um evento de chuva em uma região (PINHATI, 2021). Essa variável é definida como um valor entre 0 e 100, de acordo com as características do uso/cobertura e do tipo de solo da bacia.

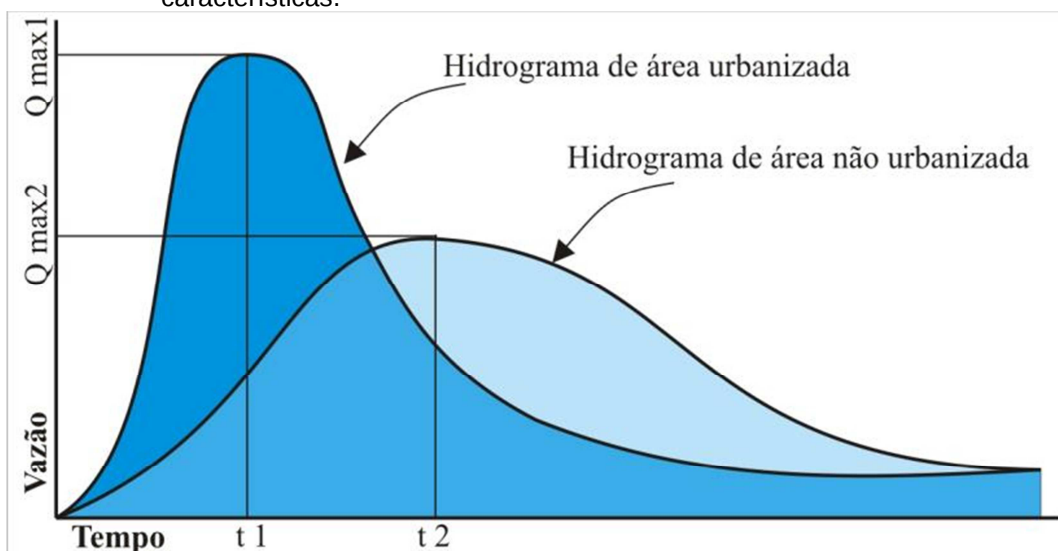
A figura 13 ilustra, através de um hidrograma, uma chuva que produziu o mesmo volume de escoamento superficial em uma bacia hipotética. Na curva em azul escuro, observa-se um hidrograma de área urbanizada, com seu CN elevado.

---

<sup>3</sup> MASON, D. D.; LUTZ, J. F.; PETERSEN, R. G. Hydraulic Conductivity as Related to Certain Soil Properties in a Number of Great Soil Groups—Sampling Errors Involved. 1957. *Soil Science Society of America Journal*. Disponível em: <<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2136/sssaj1957.03615995002100050025x>>. Acesso em: 27 nov. 2021.

Já na curva azul claro, nota-se o hidrograma mais achatado, considerando uma área não urbanizada e CN baixo.

Figura 13 – Hidrograma: o comportamento do escoamento superficial em bacias de diferentes características.



Fonte: Tucci (2002).

Uma bacia hidrográfica com baixo *curve number* é menos suscetível a eventos de inundação se comparada a uma bacia de CN mais elevado.

A definição do CN ocorreu a partir do cálculo da média ponderada das áreas da bacia, considerando a proporção entre as áreas e suas respectivas superfícies, e os valores recomendados pela tabela 2. O cálculo foi executado com a equação a seguir:

$$CN = \frac{(A_1 \times CN_1) + (A_2 \times CN_2) + (A_3 \times CN_3)}{\text{Área Total da Bacia}}$$

Tabela 2 - Valores de CN recomendados

| Utilização da Terra             | Condições da Superfície            | Tipo de Solos da Área |     |     |     |
|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|
|                                 |                                    | A                     | B   | C   | D   |
| Terrenos cultivados             | Com sulcos retilíneos              | 77                    | 86  | 91  | 94  |
|                                 | Em fileiras retas                  | 70                    | 80  | 87  | 90  |
| Plantações regulares            | Em curvas de nível                 | 67                    | 77  | 83  | 87  |
|                                 | Terraceado em nível                | 64                    | 73  | 79  | 82  |
|                                 | Em fileiras retas                  | 64                    | 76  | 84  | 88  |
| Plantação de cereais            | Em curvas de nível                 | 62                    | 74  | 82  | 85  |
|                                 | Terraceado em nível                | 60                    | 71  | 79  | 82  |
|                                 | Em fileiras retas                  | 62                    | 75  | 83  | 87  |
| Plantações de legumes ou campos | Em curvas de nível                 | 60                    | 72  | 81  | 84  |
|                                 | Terraceado em nível                | 57                    | 70  | 78  | 89  |
| Cultivados                      | Pobres                             | 68                    | 79  | 86  | 89  |
|                                 | Normais                            | 49                    | 69  | 79  | 94  |
|                                 | Boas                               | 39                    | 61  | 74  | 80  |
|                                 | Pobres, em curvas de nível         | 47                    | 67  | 81  | 88  |
| Pastagens                       | Normais, em curvas de nível        | 25                    | 59  | 75  | 83  |
|                                 | Boas, em curvas de nível           | 6                     | 35  | 70  | 79  |
|                                 | Esparsas de baixa transpiração     | 45                    | 66  | 77  | 83  |
| Campos permanentes              | Normais                            | 36                    | 60  | 73  | 79  |
|                                 | Densa de alta transpiração         | 25                    | 55  | 70  | 77  |
|                                 | Normais                            | 59                    | 74  | 82  | 86  |
| Chácaras/Estradas de terra      | Más                                | 72                    | 82  | 87  | 89  |
|                                 | De superfície dura                 | 74                    | 84  | 90  | 92  |
|                                 | Muito esparsas, baixa transpiração | 56                    | 75  | 86  | 91  |
| Florestas                       | Esparsas                           | 46                    | 68  | 78  | 84  |
|                                 | Densas, alta transpiração          | 26                    | 52  | 62  | 69  |
|                                 | Normais                            | 36                    | 60  | 70  | 76  |
|                                 | Superfícies impermeáveis           | 100                   | 100 | 100 | 100 |

Fonte: Soil Conservation Service, 1957.

Pode-se observar na **tabela 2**, além das colunas de utilização da terra e condições de superfície, a coluna de tipo de solo, dividida em solos tipo A, B, C e D. O solo do tipo A é o de mais baixo potencial de deflúvio, encontrado em terrenos muito permeáveis, com pouco silte e argila. O solo do tipo B tem uma capacidade de infiltração acima da média após o completo umedecimento, um exemplo para solos tipo B são os solos arenosos. O solo do tipo C tem uma capacidade de infiltração abaixo da média após a pré-saturação, esses solos contêm percentagem considerável de argila e silte. Por último, o solo do tipo D é o de mais alto potencial do deflúvio, encontrado em terrenos quase impermeáveis junto à superfície, um exemplo para solos tipo D são os solos Argilosos.

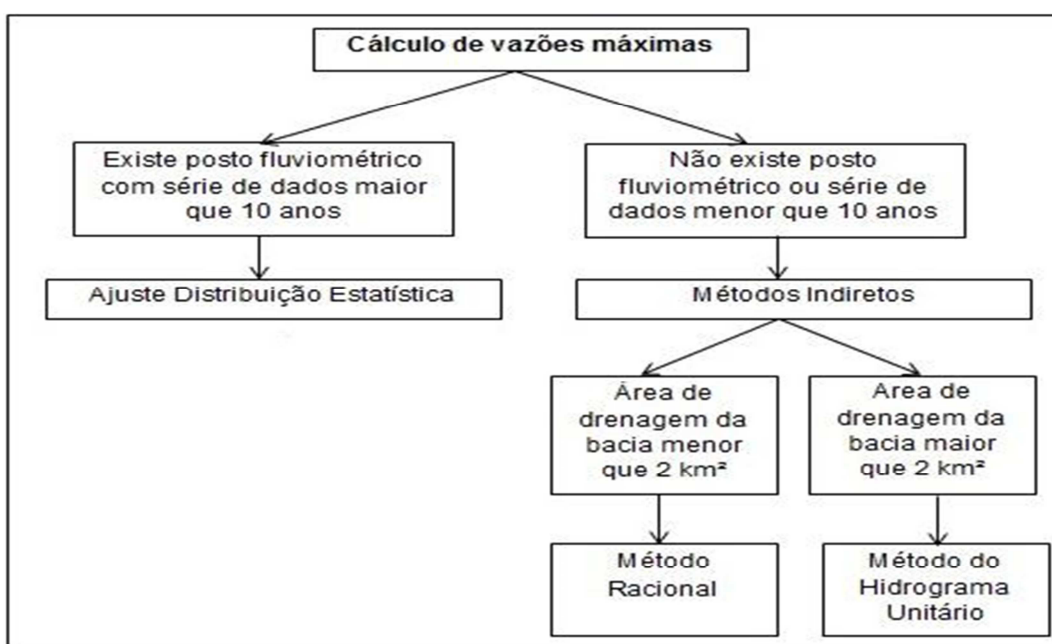
A seleção dos tipos de solo para cada categoria de área definida foi possível por meio de classificação de imagem de satélite *multispectral Landsat* e dados da litologia local. Após avaliação dos parâmetros, chegamos a seguinte equação:

$$CN = \frac{(6,76 \times 100) + (17,75 \times 36) + (77,61 \times 67)}{102,12} = 63,80$$

Notoriamente, a vazão ou volume escoado por unidade de tempo, é a principal grandeza que caracteriza um escoamento superficial. A estimativa da vazão do escoamento produzido pelas chuvas em determinada área é fundamental para o dimensionamento dos canais coletores, interceptores ou drenos, para previsão de enchentes, entre outros usos.

Em bacias com área de drenagem maior que 2 km<sup>2</sup>, o INEA-RJ recomenda a utilização da metodologia do hidrograma unitário para determinação de vazões máximas, de acordo com a figura 14.

Figura 14 – Metodologias para o cálculo de vazões máximas



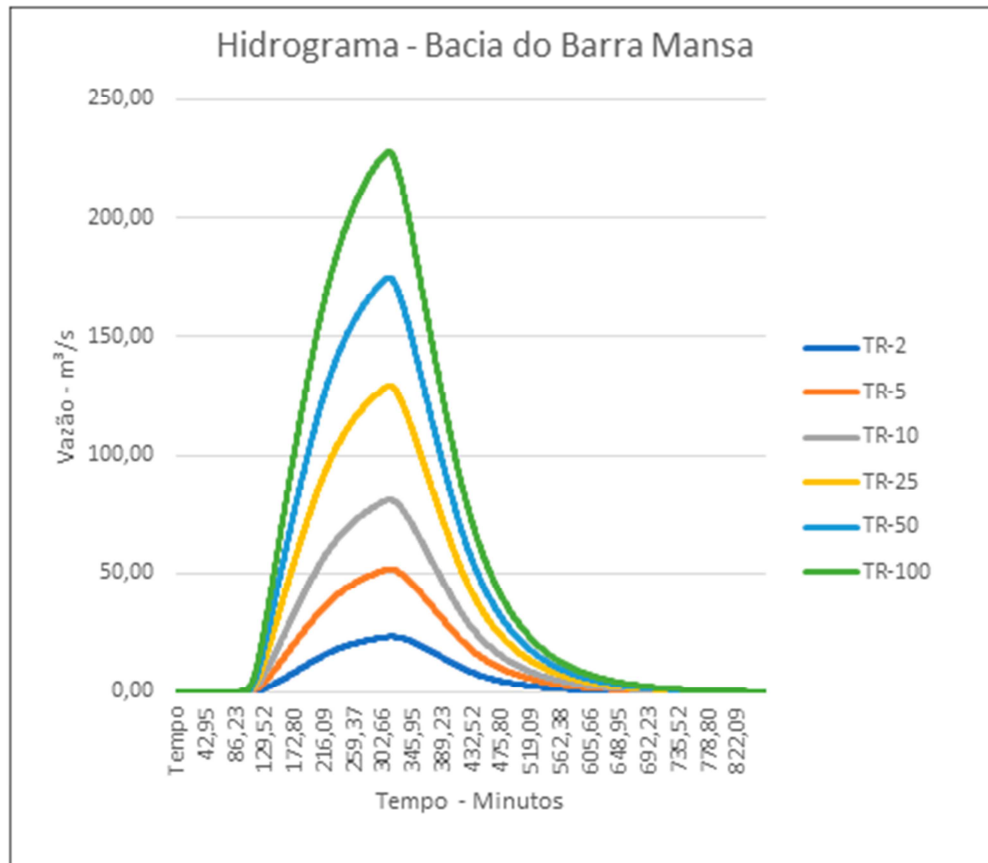
Fonte: NOP 33, INEA., 2022

O Hidrograma Unitário é uma metodologia hidrometeorológica para determinação de vazões máximas de cheia a partir da transformação de uma precipitação efetiva em vazão superficial. Este processo é permitido com base na simplificação do comportamento da bacia hidrográfica, isto é, baseia-se na

constância temporal relativa ao sistema hidrográfico. Ressaltam-se os três princípios básicos que regem o método do Hidrograma Unitário, necessários ao entendimento de funcionamento: linearidade, invariância no tempo e superposição.

Com o objetivo de se obter o Hidrograma Unitário Sintético da bacia em questão, será aplicada a submetodologia triangular SCS (Soil Conservation Service), a qual utiliza o formato simplificado de um triângulo para descrever a precipitação e escoamento. Para determinação do Hidrograma, foi utilizado o *software* HIDRO-FLU, do laboratório de hidrologia da Universidade da COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Para os registros de precipitação a serem aplicados no *software*, foi utilizado o posto pluviométrico de Volta Redonda – RJ, sendo esse o dado disponível mais próximo da área de estudo. Adotou-se como tempo de concentração da bacia a duração da chuva. A modelagem retornou os hidrogramas para os tempos de recorrência de chuvas de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, que traduzem a probabilidade de ocorrência em 50%, 20%, 10%, 4%, 2% e 1%, respectivamente, desses eventos no ano estudado, conforme se observa no gráfico 2.

Gráfico 2 - Hidrograma da Bacia do Rio Barra Mansa

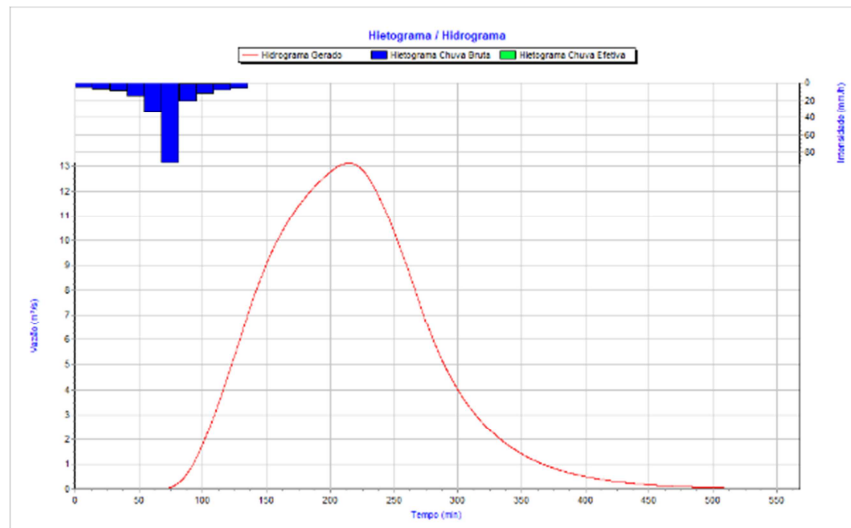


Fonte: O autor, 2022.



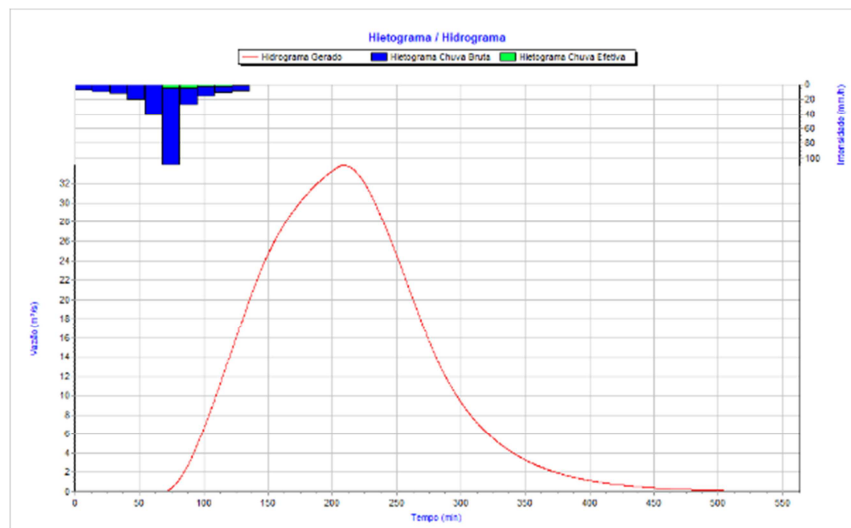
com os tempos de recorrência de 2, 5, 10 e 25 anos, conforme figuras 16, 17, 18 e 19, respectivamente.

Figura 16 – Hidrograma / Hietograma para o tempo de recorrência de 2 anos.



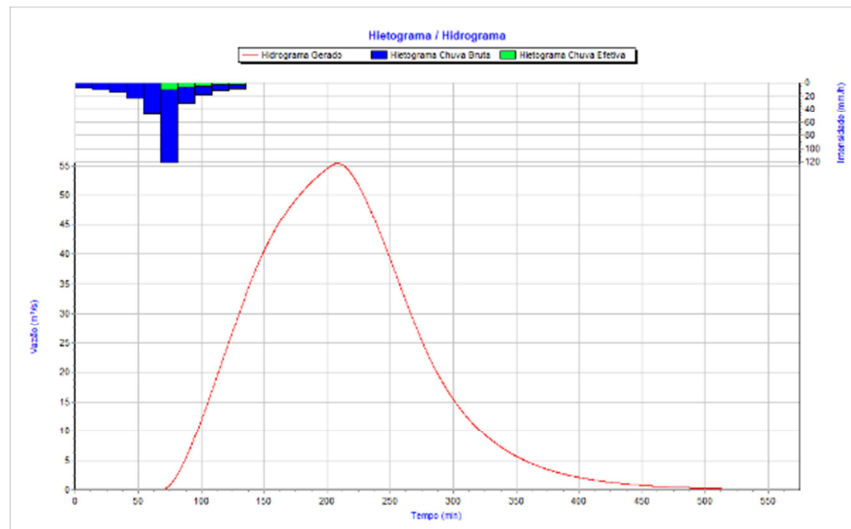
Fonte: O autor, 2022.

Figura 17 – Hidrograma / Hietograma para o tempo de recorrência de 5 anos.



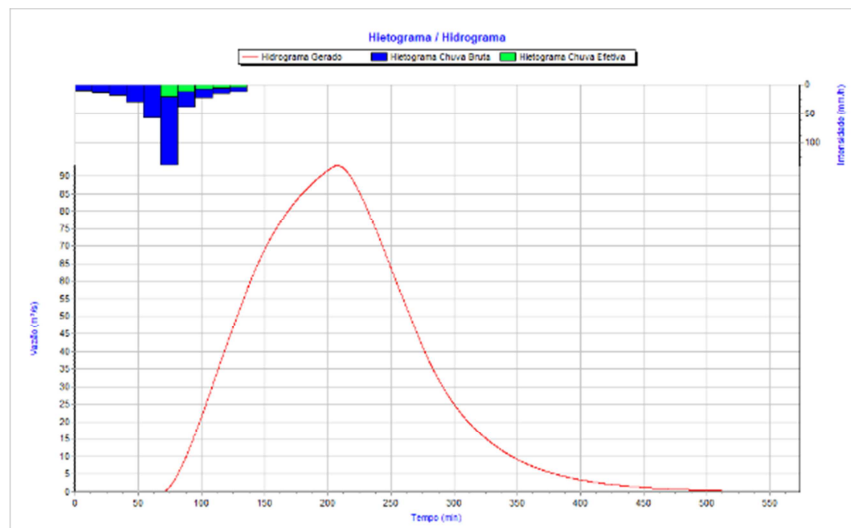
Fonte: O autor, 2022.

Figura 18 – Hidrograma / Hietograma para o tempo de recorrência de 10 anos.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 19 – Hidrograma / Hietograma para o tempo de recorrência de 25 anos.



Fonte: O autor, 2022.

Em vista disso, é possível constatar que o escoamento superficial (hidrograma), tem seu início apenas no momento em que parte da precipitação (hietograma), deixando de infiltrar no solo e passa a escoar em sua superfície. No caso do rio Barra Mansa, a canalização seria um processo altamente dispendioso, em decorrência da densa ocupação das áreas marginais em seis bairros ao longo de sua calha. Portanto, a alternativa de reservação se mostra como técnica e economicamente viável.

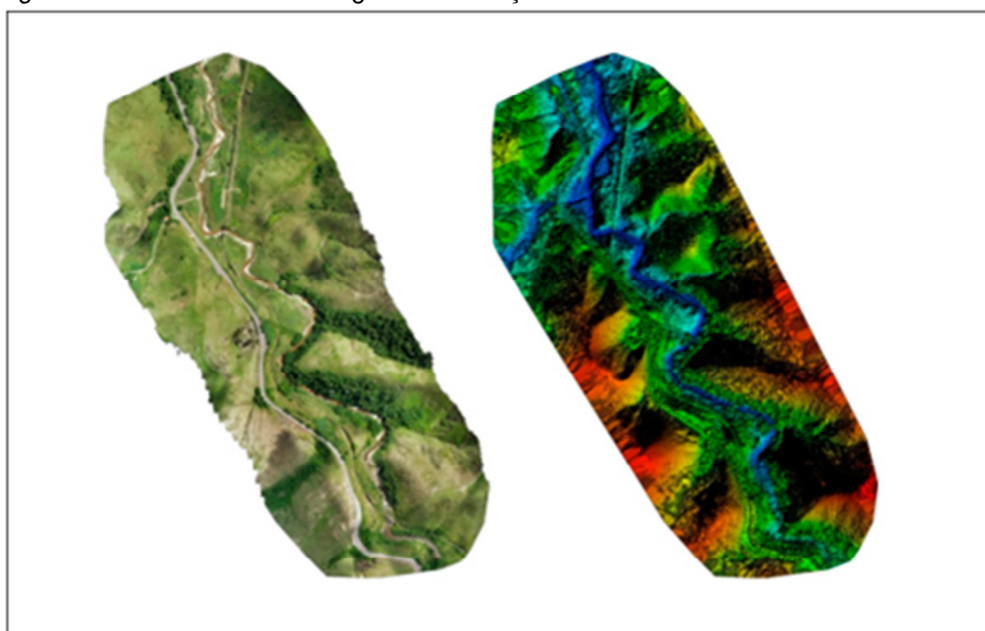
Nessa acepção, a implantação de dispositivos de armazenamento possibilita a reabilitação de sistemas existentes, podendo ser considerado, assim, uma medida

corretiva. Podem ser separados em dois grupos: reservatórios on-line, quando posicionados no eixo principal do sistema de drenagem e reservatórios off-line, quando posicionados fora do eixo.

No caso estudado, a topografia do terreno possibilita a implantação de um reservatório do tipo on-line, tendo área de drenagem de 66,87 km<sup>2</sup>, correspondente a 65,5% da área total da bacia hidrográfica. Devido à proximidade com a área urbanizada, não foi possível viabilizar o projeto em um trecho mais a jusante.

Para definição da capacidade de armazenamento do reservatório, foi realizado um levantamento aerofotogramétrico na área de interesse, através de drone com equipamento GNSS (GPS) embarcado de alta precisão e pontos de controle no solo. O processamento das imagens foi realizado no *software* Drone2Map da *ESRI* e resultou em uma ortofoto/modelo digital de elevação com resolução espacial de 5,67 cm x pixel (figura 20).

Figura 20 - Ortofoto/Modelo digital de elevação da área de estudo.



Fonte: O autor, 2022.

Após o processamento das imagens obtidas pelo levantamento aerofotogramétrico, os produtos possibilitaram a elaboração dos estudos de capacidade de armazenamento da área. Para isso, foi necessário definir parâmetros para limitar a simulação em uma área específica. O limite foi criado, considerando uma ponte ferroviária desativada e uma rodovia estadual (Figura 21).

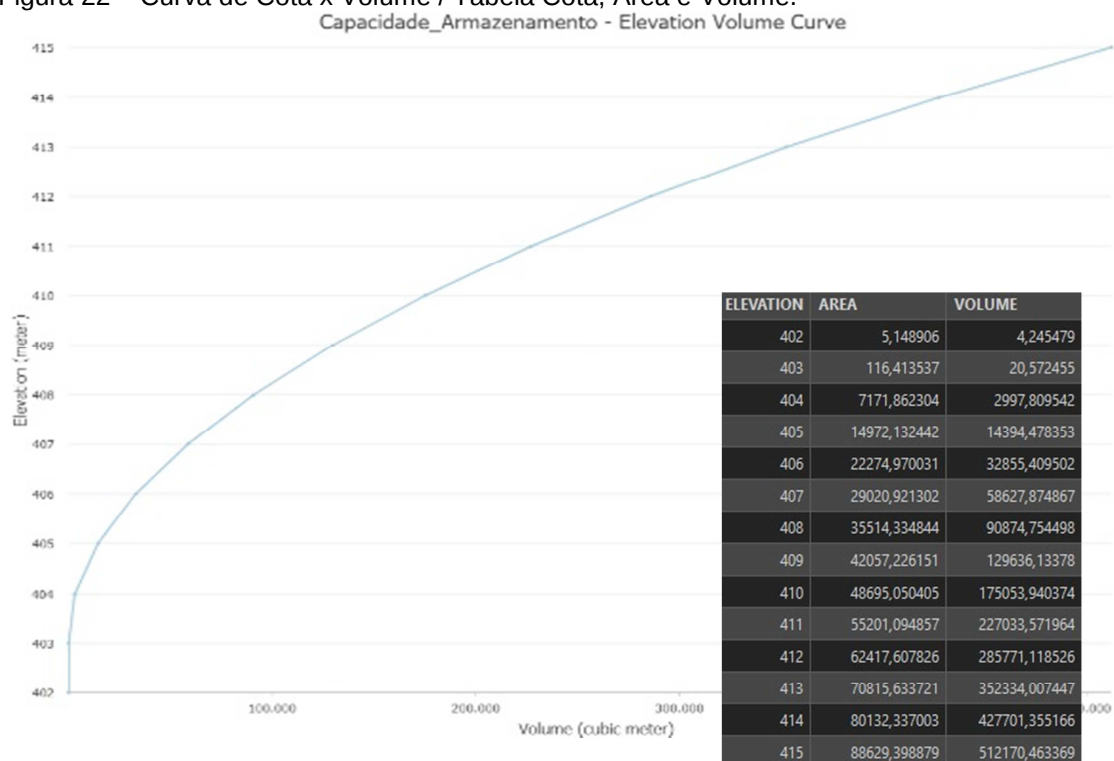
Figura 21 – Ortofoto considerando o limite de uma ponte ferroviária desativada em uma rodovia estadual.



Fonte: O autor, 2022.

Ademais, a curva Cota x Volume é obtida através da simulação, com incrementos de metro em metro, conforme a figura 22.

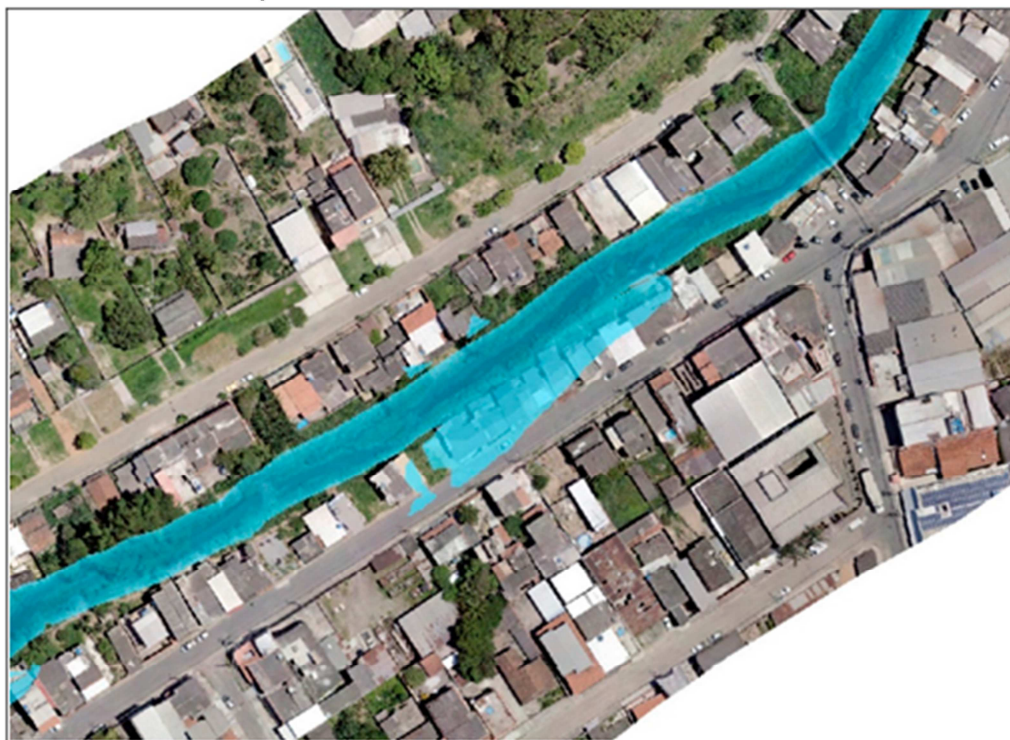
Figura 22 – Curva de Cota x Volume / Tabela Cota, Área e Volume.



Fonte: O autor, 2022.

Para a vazão máxima efluente, foi determinado um valor de  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Foram considerados para esse cálculo a contribuição a jusante do reservatório e a capacidade de escoamento na primeira seção em área urbana inundada (figura 23) da bacia, localizada na rua Florianópolis, bairro Nova Esperança.

Figura 23 – Rua Florianópolis, Bairro Nova Esperança. Primeiro trecho urbano a sofrer inundação.



Fonte: O autor, 2022.

Logo, chega-se a um volume necessário para amortecimento de  $92810,9 \text{ m}^3$  para uma chuva com tempo de recorrência de 2 anos,  $282152,5 \text{ m}^3$  para um TR de 5 anos,  $481826,2 \text{ m}^3$  para um TR de 10 anos e finalmente  $824298,4 \text{ m}^3$  para um TR de 25 anos.

Abaixo, um modelo tridimensional da área proposta para criação do reservatório. Nessa simulação, temos a cota de 413, correspondente a um volume de amortecimento aproximado de  $350000 \text{ m}^3$ , ou seja, com capacidade de amortecer chuvas com tempo de recorrência acima de 2 anos e abaixo de 5 anos (figura 24).

Figura 24 – Modelo tridimensional simulando o reservatório em seu volume máximo para a Cota 413 metros.



Fonte: O autor, 2022.

Boas práticas que articulam a realidade local à questão global das mudanças climáticas, corroboram a resultados satisfatórios, os quais permitem concluir que a utilização de modelagens hidrológicas e geotecnologias são uma alternativa para o eficaz gerenciamento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas.

A partir das análises dos hidrogramas e da curva cota x volume, observou-se que o reservatório tem capacidade de amortecer chuvas com período de retorno entre 5 e 10 anos. Isso é muito significativo para os bairros de Barra Mansa, que sofrem os danos ocasionados pelas inundações de maneira recorrente durante o ano.

Os estudos posteriores para definição de métodos construtivos da barragem poderão ser decisivos na escolha da cota de reservação em relação ao custo de execução x capacidade de amortecimento de cheias.

Após a definição do método construtivo do reservatório e sua cota maximorum, poderá ser realizada nova simulação de mancha de inundação para o trecho urbano da bacia, considerando o reservatório de amortecimento. Essa simulação será de grande relevância para embasar o projeto de regularização fundiária das áreas ribeirinhas do município que está em andamento.

### **3     TESTE DE METODOLOGIAS DE MACHINE LEARNING E DEEP LEARNING APLICADOS À MODELAGEM DE CHUVA - VAZÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BANANAL**

#### **3.1    A importância de tecnologias geoespaciais para informações precisas**

Os eventos naturais catastróficos, também designados como desastres naturais, têm se tornado cada vez mais comuns e severos quanto à magnitude dos danos causados. Tais ocorrências impactam a saúde dos indivíduos, sua qualidade de vida, além da esfera ambiental, que por sua vez, recebe não somente consequências instantâneas, como também de médio e longo prazos (FREITAS et al., 2014).

Dentre os desastres naturais em áreas urbanas próximas a cursos d'água, destacam-se as enchentes e inundações, provocadas por uma série de fatores socioambientais, antrópicos e climatológicos. Uma das principais causas do extravasamento das calhas fluviais é a ocupação desordenada das denominadas Áreas de Preservação Permanente (APP), as quais neste caso, correspondem às chamadas Faixas Marginais de Proteção (FMP) dos corpos hídricos, isto é, extensões territoriais que margeiam os ambientes aquáticos naturais estabelecidas e controladas por diversas leis e destinadas à proteção e manutenção da qualidade ambiental e ecológica dos recursos hídricos e dos ecossistemas atrelados a eles. A presença de elementos urbanos nestes espaços, como moradias e empreendimentos, caracteriza o desencadeamento de eventos extremos prejudiciais ao coletivo, tais como o aumento da probabilidade de ocorrência de enchentes e inundações (LIMA; AMORIM, 2015).

Episódios como estes causam inúmeras perdas humanas e econômicas, que se mostraram 23% mais frequentes em 2020 em relação às últimas décadas, gerando prejuízos na ordem de bilhões. Nesta conjuntura, o uso de tecnologias e ferramentas capazes de tratar informações geoespaciais otimizadas e oferecer panoramas altamente precisos e representativos é fundamental no combate à destruição ocasionada pelos fenômenos naturais agravados pela ação humana. As chamadas geotecnologias como o Sistema de Posicionamento Global (GPS), o

sensoriamento remoto e o Sistema de Informação Geográfica (SIG) constituem parte dos instrumentos de geoprocessamento cada vez mais difundidos no gerenciamento dos territórios em diversos domínios: econômico, social, de segurança e ambiental (ROSA, 2011).

Contudo, muitas das vezes, a utilização pontual das geotecnologias se mostra pouco efetiva na prevenção e mitigação de impactos ambientais futuros e no auxílio ao planejamento estratégico de riscos e à gestão dos recursos naturais. Logo, é essencial a atribuição de ferramentas geoespaciais combinadas a investigações temporais e integradas a técnicas computacionais mais inovadoras como as Redes Neurais Artificiais (RNA), que consistem na avaliação inteligente e versátil de dados capazes de oferecer respostas ainda mais apuradas e aperfeiçoadas (SOUSA et al., 2017; GU et al., 2019).

A classificação do uso e cobertura do solo em unidades de planejamento territorial como em bacias hidrográficas é primordial na administração dos elementos integrantes da paisagem, bem como definição de estratégias para evitar desastres, atenuar danos inerentes a catástrofes e determinar ações emergenciais necessárias (SILVA, 2022).

É necessário ressaltar que os métodos de determinação de vazão máxima de cheia em seções de controle pré-estabelecidas em bacias hidrográficas demandam o tratamento de uma grande quantidade de variáveis, como as características físicas da bacia, a intensidade de precipitação, coeficientes de escoamento superficial, tempo de concentração, declividade de canais, entre outras (MENDONÇA et al., 2021).

Neste contexto, a utilização de metodologias empíricas como os sistemas de chuva-vazão ou através de redes neurais possibilitam simplificar a elaboração de modelos matemáticos capazes de simular a vazão de cursos hídricos.

Dentro do cenário exposto, o objetivo principal dessa comunicação científica é a de avaliar quatro tipos de modelos e determinar qual ofereceu maior precisão na previsão do comportamento hidrológico do Rio Bananal junto à seção de controle determinada para análise.

### 3.2 Redes neurais e inteligência artificial

A evolução tecnológica não somente no campo das geotecnologias, mas em inúmeras outras categorias, tem caminhado para a fusão de técnicas já existentes com os recursos computacionais atrelados ao conceito de Inteligência Artificial (AI), que engloba artifícios como a programação lógica indutiva e a árvore de aprendizado. Dentro desta concepção, um termo continuamente disseminado no âmbito da Inteligência Artificial é o denominado *Machine Learning* (ML), isto é, tornar possível o aprendizado de máquinas com base no tratamento de dados, identificação de padrões lógicos e na organização e processamento de dados fundamentados em algoritmos (PACHECO; PEREIRA, 2018).

Deste modo, os programas computacionais conseguem aprender a executar ações orientadas no sequenciamento lógico dos algoritmos pressupostos. Ainda mais a fundo, deve-se mencionar a técnica mais aprimorada e complexa de *Machine Learning*, conhecida como *Deep Learning* ou aprendizagem profunda, isto é, uma ferramenta do tipo rede neural aplicada em diversos campos do conhecimento, como no processamento de dados não-estruturados e no processamento de imagens destinado ao reconhecimento de objetos/imagens e classificação de áreas (COPELAND, 2016 *apud* PACHECO; PEREIRA, 2018).

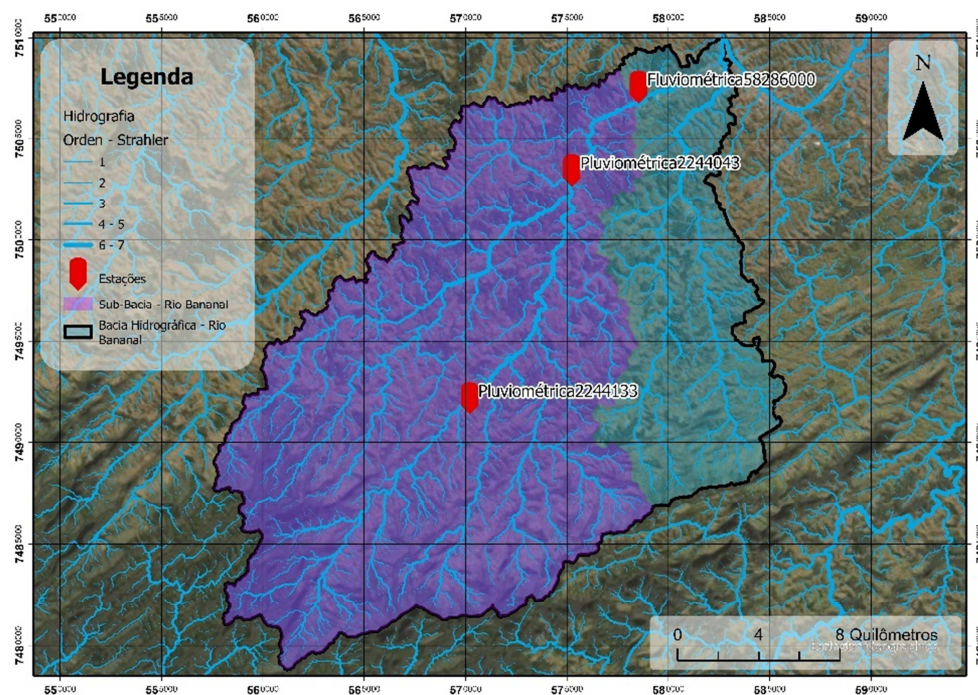
O estudo aqui tratado buscou empregar redes neurais típicas para análise de dados em séries temporais hidrometeorológicas de maneira automatizada, aplicando-se arquiteturas relativas aos conceitos de *Machine Learning* (regressão linear, árvore de decisão e *support-vector machine*) e *Deep Learning* (*InceptionTime*, ResCNN, FCN e *Resnet*), com o intuito de avaliar as previsões de dados ao longo do tempo e determinar suas eficiências.

### 3.3 Bacia hidrográfica do Rio Bananal

Os objetos de estudo do presente trabalho é a bacia hidrográfica do Rio Bananal. Respectivamente, as áreas de drenagem da bacia e de sua componente (sub-bacia) são de 521,29 e 389,08 km<sup>2</sup>. A figura 25 exhibe as poligonais das bacias

estudadas e a localização das respectivas estações pluviométricas e fluviométrica escolhidas para o levantamento de dados.

Figura 25 – Bacia/sub-bacia hidrográfica do Rio Bananal e postos de medição de dados de precipitação e vazão fluvial selecionados.



Fonte: O autor, 2022.

Localizada no município de Bananal/SP, a parte mais alta da bacia do Rio Bananal é caracterizada pela pequena suscetibilidade a extravasamentos na calha do rio. Por outro lado, o lado oposto (parte baixa), situada no município de Barra Mansa/RJ, sofre com recorrência os danos oriundos das inundações, intensificados em virtude do grau de vulnerabilidade das comunidades nas planícies ribeirinhas.

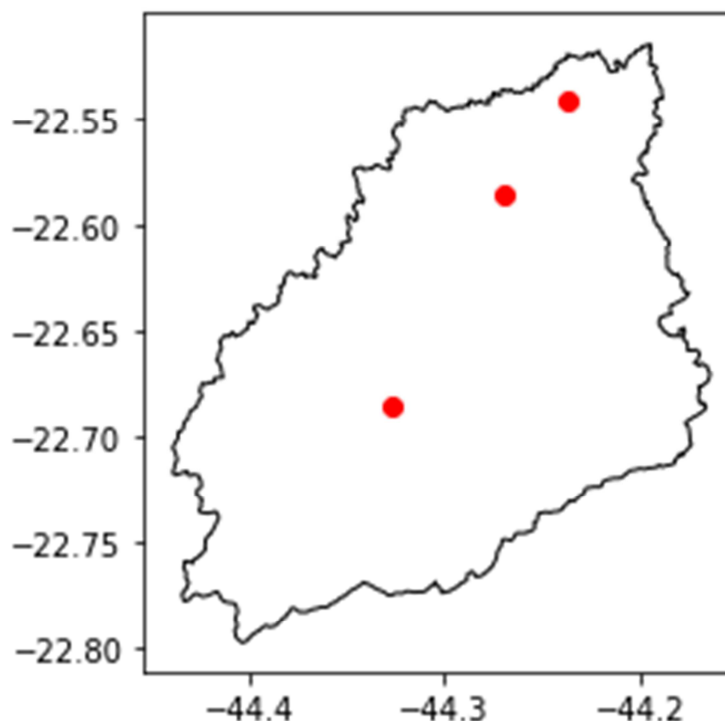
### 3.4 Estações pluviométricas e fluviométricas: uma análise

A aquisição dos dados relativos à série temporal de vazões e precipitação foi realizada junto à biblioteca da plataforma *HIDROWEB* e *HydroBR*, da Agência Nacional de Águas (ANA). Foram selecionadas duas estações pluviométricas na sub-bacia à montante da seção de controle, as quais foram coletados registros de

precipitação ao longo da série histórica. Estes foram utilizados para constituir as variáveis explanatórias. Além disso, selecionou-se uma estação fluviométrica a jusante, na bacia hidrográfica principal, na qual foram levantados os dados de vazão registrados no decorrer dos anos de operação (2002-2016). A série temporal de vazão consiste na variável preditiva/prevista.

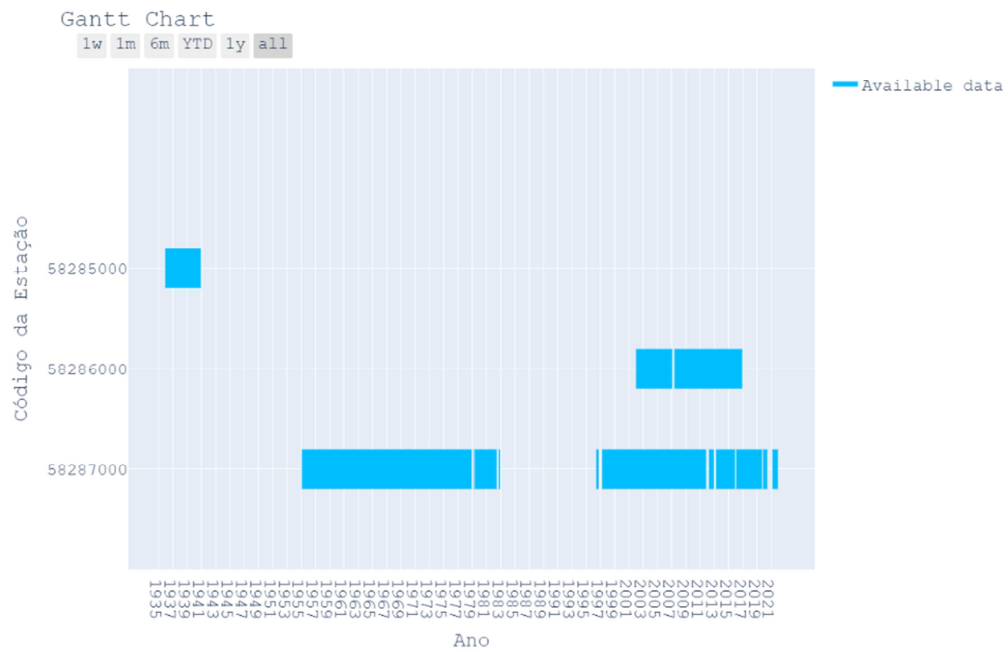
A observação das séries temporais pluviométricas mostrou que há uma imensa quantidade de dias secos (sem chuva) ao longo dos anos de operação. Para contornar as lacunas de dados de precipitação, foi aplicada a técnica de *gradient booting*, a qual promove a filtragem dos valores para articular o processamento dos dados somente nos dias chuvosos. As figuras 26 e 27 apresentam as localizações dos postos pluviométricos e fluviométricos analisados preliminarmente para empregar o método de *gradient booting*. Ao mesmo tempo, os gráficos 3 e 4, gerados pelo método, as suas marcações destacam os dados disponíveis referentes aos dias chuvosos nos respectivos anos.

Figura 26 - Localização das estações fluviométricas utilizadas na aquisição de dados temporais.



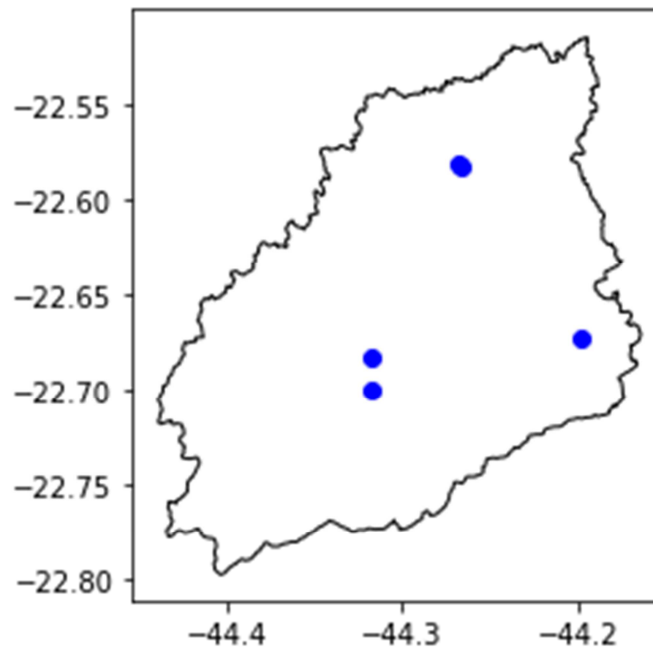
Fonte: O autor, 2022.

Gráfico 3 - Faixa de dados fluviométricos disponíveis após a filtragem *gradient boosting*.



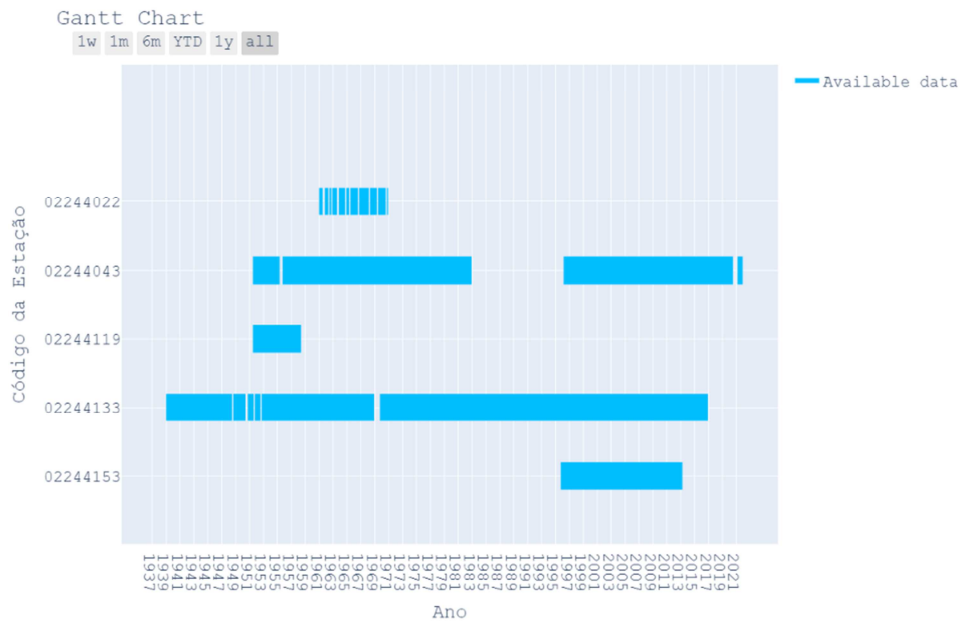
Fonte: O autor, 2022.

Figura 27 - Localização das estações pluviométricas utilizadas na aquisição de dados temporais.



Fonte: O autor, 2022.

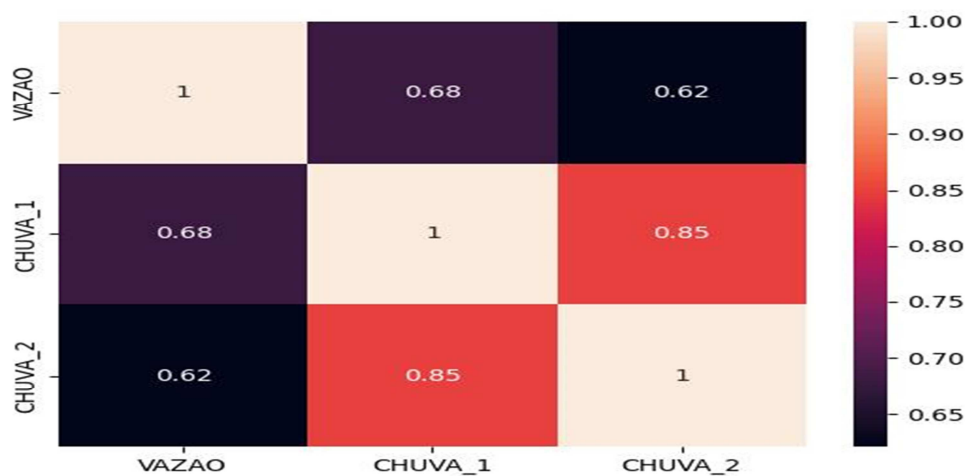
Gráfico 4 - Faixa de dados pluviométricos disponíveis após a filtragem *gradient boosting*.



Fonte: O autor, 2022.

Anteriormente ao tratamento dos dados levantados, foram determinados os coeficientes de correlação dos mesmos, ou seja, valores que expressam o quão proporcionais ou padronizados entre si as variáveis avaliadas se apresentaram. A figura 28 retrata os valores de correlação matemática para chuva e vazão.

Figura 28 - Valores correlacionados entre os parâmetros de análise utilizados.



Fonte: O autor, 2022.

Para permitir a construção do modelo encarregado de processar os dados de entrada, foi aplicada a linguagem de programação *Python* na plataforma *ArcGIS*.

Dessa forma, com a posse dos dados necessários, foi elaborado o programa responsável por executar a análise comparativa entre os comportamentos da chuva e vazão ao longo da série temporal, com base na inserção das variáveis explanatórias (chuva) e prevista (vazão).

Este diagnóstico foi planejado para os anos de 2002 a 2014, no qual o programa foi capaz de reunir os valores de precipitação e vazão, perceber como se comportavam, aprender estes padrões e estabelecer uma correlação matemática a ser extrapolada comparativamente para o ano de 2015. Assim, foram construídos gráficos comparativos entre a vazão real e a prevista, com a finalidade de verificar se a previsão dos padrões de eventos hidrológicos foi bem-sucedida.

Dentre as arquiteturas de aprendizado de máquina existentes, cita-se as três utilizadas nesta pesquisa: regressão linear, árvore de decisão e *support-vector machine*. Os melhores resultados em termos de previsibilidade de dados foram fornecidos pelo modelo árvore de decisão (*random tree* ou *decision tree*), que é definido como uma técnica semelhante a um fluxograma, que designa um algoritmo a ser seguido a partir de uma abordagem na qual o programa é processado iniciando-se pela raiz, que prossegue para uma sequência de separação de dados e operações booleanas (nós) de decisão lógica, hierarquicamente estruturadas, até alcançar um resultado final representado pelas folhas (JIJO; ABDULAZEEZ, 2021).

Além do mais, as arquiteturas selecionadas para integrar os testes de aprendizado profundo são geralmente utilizadas para detecção de objetos e tratamento de imagens, porém elas mostraram resultados significativos sendo submetidas a processamento de séries temporais, por serem classificadas como redes neurais convolucionais (CNN). Esta categoria é amplamente aplicada no campo da classificação de séries temporais, muito provavelmente em razão da sua robustez e baixo tempo de gasto computacional de treinamento em relação a outras arquiteturas mais complexas (ISMAIL *et al.*, 2019).

A arquitetura Resnet (*Residual Networks*) é uma das variantes das redes neurais convolucionais, capaz de elevar substancialmente a acurácia do modelo, por meio da adição de vínculos lineares às camadas convolucionais (HE *et al.*, 2016).

Ademais, o modelo conhecido como FCN (*Fully Convolutional Neural Networks*) consiste em uma rede que mantém a extensão de uma série temporal no decorrer da sequência de convoluções, isto é, não possuem camadas de agrupamento locais para segregar os períodos de dados. Uma de suas vantagens é

a redução acentuada do número de parâmetros de uma rede neural de maneira simultânea à utilização dos chamados Mapas de Ativação de Classe (CAM), uma vez que substitui a camada final tradicional por uma de agrupamento médio global (GAP) (ZHOU *et al.*, 2016).

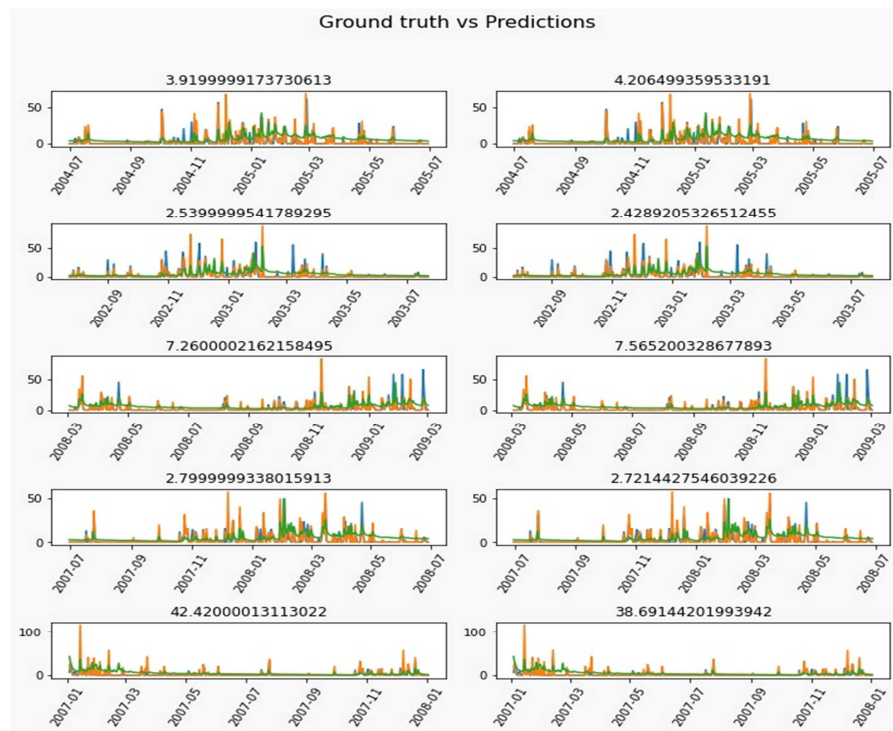
Outra arquitetura testada é a designada como ResCNN (*Residual Convolutional Neural Networks*), uma técnica de aprendizado profundo que descarta conjuntos de camadas convolucionais através de atalhos de conexão. Deste modo, tem potencial para superar o problema do gradiente de fuga/explosão, isto é, uma complicação recorrente no treinamento de redes neurais na qual os gradientes de atualização de dados aumentam de maneira exponencial, causando instabilidade no aprendizado do programa (Long; Yan; Liang, 2019).

Finalmente, o modelo que melhor descreveu o comportamento da série histórica deste trabalho é o chamado *InceptionTime*, caracterizado como um conjunto de cinco modelos de *Deep Learning* apropriados para análises de séries temporais, os quais apresentam a mesma construção, porém são iniciados com pesos diferentes. Além disso, a arquitetura submete o volume dados inúmeros filtros com comprimentos variados. Em suma, isso permite que o modelo colete um apanhado de recursos relevantes das séries históricas (Szegedy *et al.*, 2015).

Quando as arquiteturas são aplicadas a uma série temporal, é necessário validá-las com as chamadas métricas de validação do modelo. Uma vez que o modelo é treinado, é essencial visualizar os resultados e medir seu desempenho, utilizando as métricas explicadas a seguir.

Os resultados do treinamento podem ser impressos usando *show\_results()*, ou seja, o método para avaliar a qualidade do modelo treinado e calcular as métricas do modelo. Para modelos de séries temporais, o *show\_results* (método) normalmente imprimirá dois gráficos adjacentes com os valores de verdade do terreno plotados no gráfico do lado esquerdo e as previsões no lado direito. As previsões seriam os valores previstos pelo modelo após serem aplicados ao conjunto de dados de validação. A comparação dos valores previstos com a variável de destino real ou a verdade de base fornecerá alguma indicação do desempenho do modelo treinado. Assim, o comando *model.show\_results(rows=5)* retornaria a comparação de cinco valores de destino versus valores de previsão, conforme mostra a figura 29.

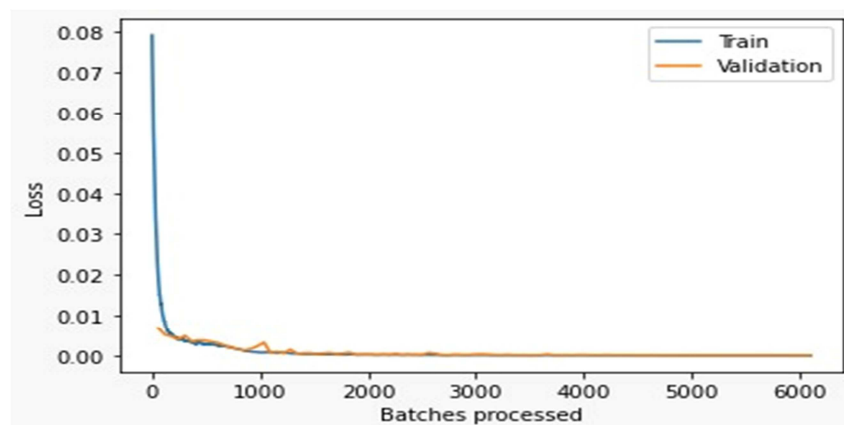
Figura 29 - Valores de destino x valores de previsão, para os modelos de *Deep Learning*.



Fonte: O autor, 2022.

Outro método utilizado para avaliar o desempenho das arquiteturas aplicadas é o gráfico contido na figura 30, que compara a perda de treinamento vs (versus) a validação.

Figura 30 - Bateladas processadas em treinamento e validação.



Fonte: O autor, 2022.

### 3.5 Experimentação de arquiteturas de aprendizado profundo e aprendizado de máquina

A partir da operação do programa elaborado, foram experimentadas quatro arquiteturas de aprendizado profundo (*InceptionTime*, Resnet, FCN e ResCNN) e três de aprendizado de máquina (regressão linear, árvore de decisão e *support-vector machine*) diferentes e próprias para séries históricas de dados, com o objetivo de determinar a correlação dos mesmos e de elaborar as curvas comparativas. Os principais resultados obtidos estão descritos nas figuras 31, 32, 33 e 34 para *Deep Learning*, e na 35, para *Machine Learning*.

É importante adiantar que as arquiteturas de aprendizado de máquina utilizadas manifestaram resultados mais representativos em se tratando de picos de vazão, ou seja, a previsibilidade de altos valores de vazão é mais eficiente. No entanto, para vazões baixas e mais homogêneas no tempo, o aprendizado profundo exibiu resultados mais satisfatórios entre as vazões reais e previstas.

Figura 31 - Distribuição de vazão real e prevista no ano de 2015 (*InceptionTime*).

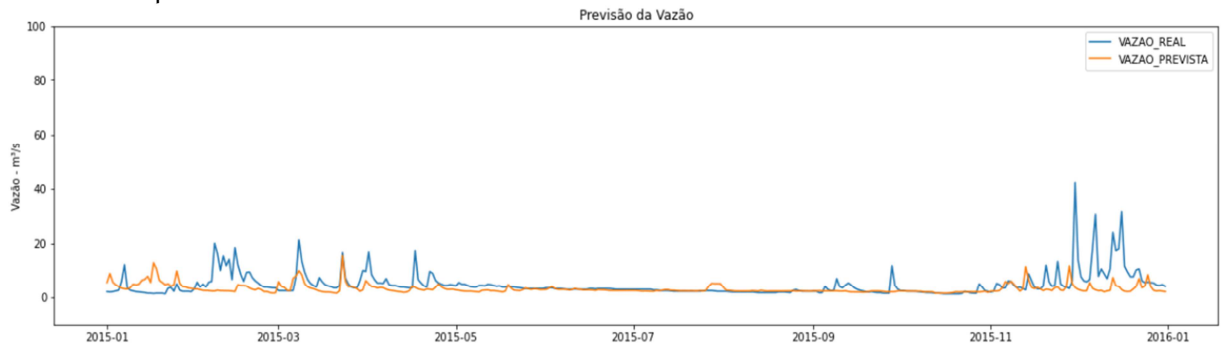
- RMSE: 4.6183;
- MAE: 2.3629;
- R-Square: -0.05.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 32 - Distribuição de vazão real e prevista no ano de 2015 (Resnet).

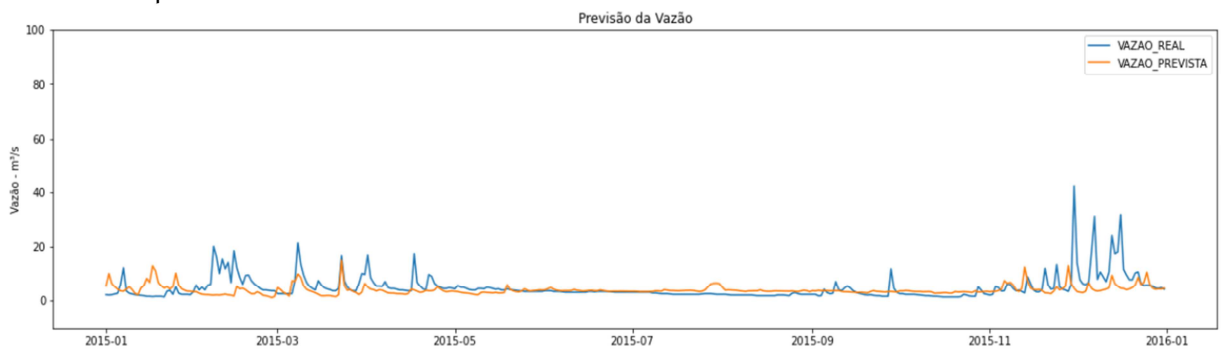
- RMSE: 4.7722;
- MAE: 2.4897;
- R-Square: -0.12.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 33 - Distribuição de vazão real e prevista no ano de 2015 (FCN).

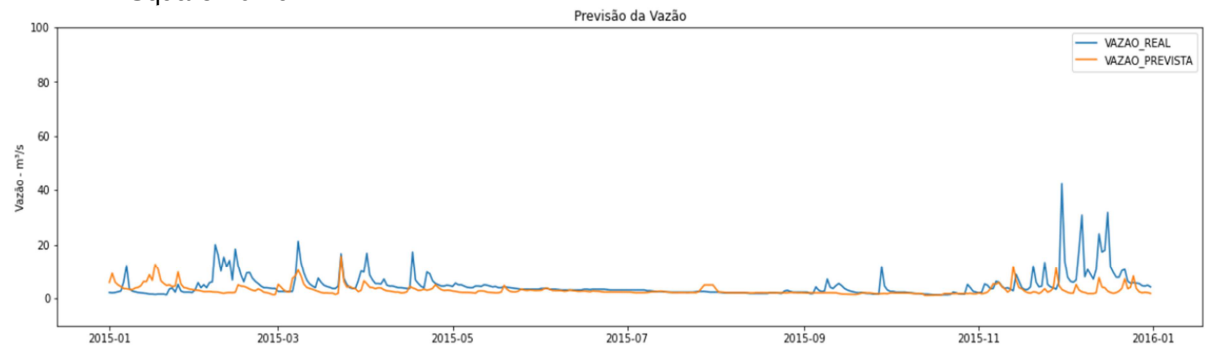
- RMSE: 4.6518;
- MAE: 2.5989;
- R-Square: -0.07.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 34 - Distribuição de vazão real e prevista no ano de 2015 (ResCNN).

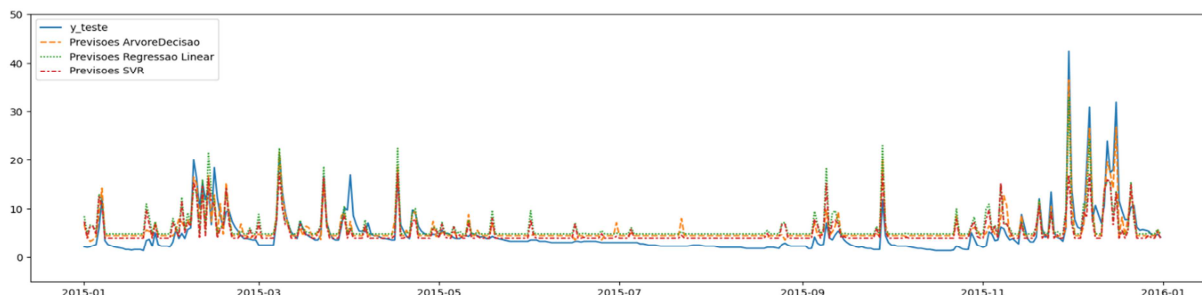
- RMSE: 4.8556;
- MAE: 2.5498;
- R-Square: -0.16.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 35 - Distribuição de vazão real e prevista no ano de 2015 (*Machine Learnig*).

- R-Square: 0.4725 (Regressão Linear);
- R-Square: 0.7261 (Árvore de Decisão);
- R-Square: 0.5056 (SVR).



Fonte: O autor, 2022.

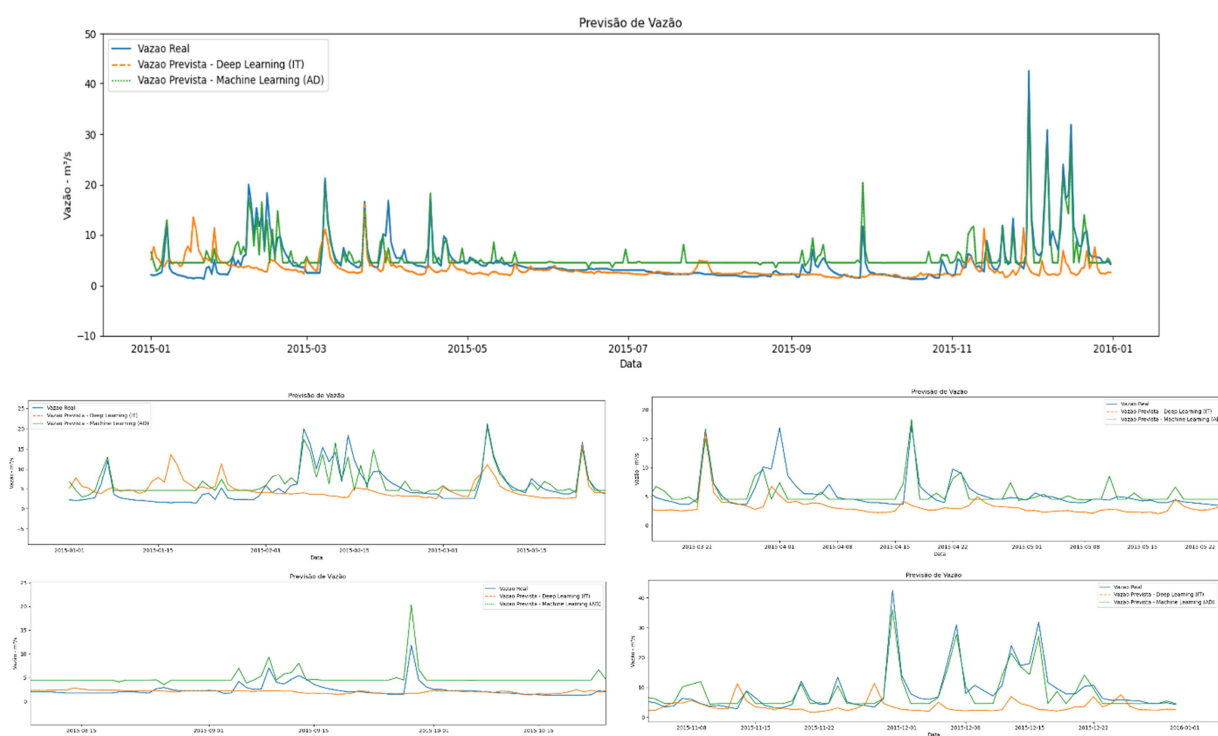
Os parâmetros de avaliação do desempenho das correlações nas arquiteturas testadas, listados abaixo dos respectivos gráficos comparativos, foram: RMSE, MAE e R-Square (R-Quadrado). Os coeficientes RMSE e MAE indicam o grau de erros provenientes da comparação entre as variáveis real e prevista, isto é, quanto menores estes valores, mais eficaz é a explicação do modelo em relação à realidade. O parâmetro RMSE se diferencia do MAE por ser mais útil nos casos em que erros de grande escala são indesejáveis. Como pode-se observar, os menores valores de ambos os coeficientes de erro obtidos na análise dos dados de chuva e vazão foram gerados pela arquitetura *InceptionTime*.

Quanto ao coeficiente conhecido como R-quadrado ( $R\text{-Square}/R^2$ ), consiste em uma variável de avaliação da distribuição de dados em gráficos, com valores entre 0 e 1. Em outras palavras, quanto mais o  $R^2$  se aproximar da unidade, melhor o modelo/arquitetura testados se encaixam com os dados levantados. Em situações nas quais a distribuição de pontos for muito distinta de uma linha horizontal, o  $R^2$  se apresentará com valor negativo, sem desrespeitar os princípios matemáticos.

No cenário estudado, a série temporal de vazão possui um comportamento randômico, como pode ser visto nos gráficos elaborados, isto é, os valores distribuídos nos gráficos apresentam padrões altamente irregulares e aleatórios, diferenciando-se intensamente de retas. Portanto, todos os valores de  $R^2$  são negativos. Devido a esta condições, quanto mais próximos os coeficientes estiverem de 0, mais êxito a arquitetura obteve na previsão dos dados reais. Assim, a arquitetura *InceptionTime* também demonstrou a melhor performance de previsão, por manifestar um  $R^2$  de -0,05.

No tocante aos testes de aprendizado de máquina, a arquitetura árvore de decisão forneceu resultados suficientemente consideráveis no que se refere à simulação do comportamento anual das vazões do Rio Bananal. A figura 36 exibe um gráfico comparativo entre a vazão real e as modelagens de aprendizado profundo e aprendizado de máquina. Como já mencionado, é possível observar que a técnica de *machine learning* prevê com mais precisão os picos de vazão existentes ao longo do ano. Em compensação, o modelo de aprendizagem profunda responde a previsão dos eventos contínuos de baixas vazões de maneira mais efetiva.

Figura 36 - Previsão de vazão por Machine Learning (Árvore de Decisão) e Deep Learning (Inception Time) em comparação com vazão real



Fonte: O autor, 2022.

Apesar do estágio inicial destes estudos quanto à bacia hidrográfica analisada, ainda pretende-se demonstrar ao longo do tempo, que as técnicas de *Deep Learning* e *Machine Learning* associadas à previsão do comportamento de séries históricas e consequentemente de variáveis hidrometeorológicas responsáveis por provocar desastres naturais, possui capacidade para apresentar resultados mais coerentes e satisfatórios nos modelos de chuva-vazão, os quais poderão ser utilizados para construir um sistema de alertas a eventos extremos, além de mais otimizado no tempo. Deste modo, seriam gerados benefícios para a

gestão dos recursos hídricos e manutenção da integridade do meio ambiente, da saúde e segurança pública.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa possibilitou a criação de um Sistema de Informações Geográficas voltado para planejamento e gestão de recursos hídricos. Os dados anteriormente tabulares e de difícil entendimento, após a implementação do SIG, passaram a ser visualizados com informação clara e atrativa; destacando-se, a gestão colaborativa do sistema: quanto mais participantes inseridos no processo de gestão em recursos hídricos, mais os cidadãos e gestores se tornarão engajados e interessados em solucionar a problemática hídrica ambiental.

As aplicações descritas nos capítulos 2 e 3, permitem concluir que a utilização de modelagens hidrológicas e geotecnologias são uma alternativa para o eficaz gerenciamento dos recursos hídricos e suas bacias hidrográficas.

Podemos elencar diversos benefícios com a adoção do SIG para a gestão de recursos hídricos, dentre eles: maior facilidade de compreender e interpretar os dados geográficos; possibilidade de acompanhar e monitorar mudanças no tempo; simplificação das análises e decisões; otimização do uso dos recursos hídricos; maior eficiência na tomada de decisões; melhoria da comunicação entre os atores envolvidos; interação entre os dados geográficos e outras informações relacionadas. Portanto, a utilização de SIG para a gestão de recursos hídricos é uma técnica eficaz para identificar, monitorar e controlar a quantidade e qualidade da água, além de identificar áreas suscetíveis a possíveis desastres naturais como inundações.

Além disso, o SIG incentiva o engajamento dos atores municipais envolvidos na gestão dos recursos hídricos, promovendo a melhoria da qualidade de vida em Barra Mansa.

Em pesquisas futuras, o SIG pode contribuir para elaboração de um sistema de resposta emergencial, além de ser um repositório de dados relativos ao monitoramento qualitativo e quantitativo dos recursos hídricos.

À vista disso, alguns dos ganhos que o SIG trouxe à gestão municipal são apresentados a seguir: a) em relação ao gerenciamento de dados, o SIG permite o armazenamento, visualização e análise de dados relacionados aos recursos hídricos em um único sistema, facilitando o gerenciamento e a análise de grandes quantidades de dados; b) quanto à tomada de decisão, o SIG fornece informações

mais precisas e atualizadas sobre os recursos hídricos, ajudando os tomadores de decisão a fazerem escolhas informadas sobre como gerenciar esses recursos; c) no que se refere à eficiência, o SIG agiliza processos relacionados à gestão de recursos hídricos, como monitoramento e relatórios, automatizando tarefas e fornecendo acesso rápido a informações relevantes; d) com respeito à melhor comunicação, o SIG cria mapas e outras visualizações de dados de recursos hídricos, facilitando a comunicação de informações complexas para uma ampla gama de partes interessadas; e, e) no que concerne ao planejamento e previsão, pode ser usado para modelar e simular diferentes cenários relacionados ao gerenciamento de recursos hídricos, permitindo um planejamento e previsão mais eficazes.

## REFERÊNCIAS

- ABERS, R.; JORGE, K. D. Descentralização da gestão da água: por que os comitês de bacia estão sendo criados? *Revista Ambiente e sociedade*, VIII, pp. 1-26, 2005. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/asoc/a/tyBzHpwRXpyXF6bzjcJ3hWh/?format=pdfelang=pt>>. Acesso em: 24 fev. 2022.
- ANDREOZZI, S. L. As bacias hidrográficas como unidades políticas territoriais no Brasil. *XVIII Encontro Nacional de Geógrafos*, p. 11, 2016. doi: ISBN 978-85-99907-07-8. Disponível em: < [http://www.eng2016.agb.org.br/resources/anais/7/1468682811\\_ARQUIVO\\_Asbacias\\_hidrograficascomounidadespoliticasterritoriaisnoBrasil.pdf](http://www.eng2016.agb.org.br/resources/anais/7/1468682811_ARQUIVO_Asbacias_hidrograficascomounidadespoliticasterritoriaisnoBrasil.pdf)>. Acesso em: 14 nov. 2021.
- ARAÚJO, R. S. et al. Espaço urbano e impacto ambiental: reflexões a partir da análise do processo de expansão das cidades de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha – CE. *Caderno Prudentino de Geografia*, Presidente Prudente, n. 43, v. 1, p. 104-126, jan.-abr, 2021. ISSN: 2176-5774. Disponível em: < [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/6948-Texto%20do%20Artigo-31118-30934-10-20210306%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/6948-Texto%20do%20Artigo-31118-30934-10-20210306%20(1).pdf)>. Acesso em: 19 out. 2021.
- BRASIL. Lei nº 9433 de 08 de janeiro de 1997. *Dispõe sobre 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*. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1997.
- CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (Org.). *Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios*. Brasília: Ministério das Cidades; IPT. 2007.
- CAVALCANTI, B. S.; MARQUES, G. R. G.. Recursos hídricos e gestão de conflitos: A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul a partir da crise hídrica de 2014-2015. *Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa*, Brasil, v. 1, ed. 1, p. 4-16, 21 jan. 2016. DOI: <https://doi.org/10.12660/rgplp.v15n1.2016.78411>. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rgplp/issue/view/4316> . Acesso em: 4 jun. 2022.
- COUTO, A. L. F. *Do Império à República: A vida política no município de Barra Mansa*. 2016. 298 f. Tese (Doutorado em História, Política e Bens Culturais) – Centro de pesquisa e documentação de História contemporânea do Brasil – CPDOC – FGV, Rio de Janeiro. Disponível em: < [Do Império à República - a vida política no município de Barra Mansa.pdf](#)>. Acesso em: 27 maio 2022.

DEUS, L. A. B. et al. A utilização de sistema de informação geográfica como suporte ao gerenciamento de bacias hidrográficas transfronteiriças - SIG geoamazonas. In: XIII EGAL - Encuentro de Geógrafos da América Latina, 2011, San José-Heredia - Costa Rica. Estableciendo Puentes en la geografía de Latinoamérica. San José-Heredia : Universidade Nacional Costa Rica - UNA, 2011. *Revista Geográfica de América Central*, Heredia, Costa Rica, v. 2, p. 1-17, julho - dezembro 2011. Disponível em: < <http://www.ppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/artigos-de-congresso/2011/1258-a-utilizacao-de-sistema-de-informacao-geografica-como-suporte-ao-gerenciamento-de-bacias-hidrograficas-transfronteiricas-sig-geoamazonas>>. Acesso em: 02 jun. 2022.

FREITAS, C. M. et al. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. *Ciência e Saúde Coletiva*, v. 19, n. 9, 2014. Disponível em:<<https://doi.org/10.1590/1413-81232014199.00732014>>. Acesso em: 14 maio 2022.

GU, Q. et al. Characterizing the spatial variations of the relationship between land use and surface water quality using self-organizing map approach. *Ecological Indicators*, v. 102. p. 633-643. mar. 2019. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X19301980?via%3Dihub>>. Acesso em: 20 maio 2022.

HEC - Hydrologic Engineering Center. *HEC-GeoHMS: geospatial hydrologic modeling extension*. US Army Corps of Engineers. User's Manual. Version 4.2. 2009. Disponível em: [www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms). Acesso em: 22 abr. 2022.

HE, K. et al. Deep residual learning for image recognition. In: IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp 770–778, 2016. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/reader/2c03df8b48bf3fa39054345bafabfeff15bfd11d>>. Acesso em: 14 maio 2022.

INEA. *Mapa Interativo*. Disponível em: <https://inea.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=00cc256c620a4393b3d04d2c34acd9ed>. Acesso em: 12 mar. 2023.

IORIS, A. A. R.; HUNTER, C.; WALKER, S. The development and application of water management sustainability indicators in Brazil and Scotland. *Journal of Environmental Management*, 88(4), 1190-1201. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.06.007>>. Acesso em: 17 jun.2022.

ISMAIL, F. H et al. Deep learning for time series classification: a review. *Data Min Knowl Disc* 33, 917–963 (2019). Disponível em: <<https://doi.org.ez24.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10618-019-00619-1>>. Acesso em: 23 maio 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Censo demográfico*, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/barra-mansa/panorama>>. Acesso em: 04 jun. 2022.

JACOBI, P. He challenges of multi-stakeholder management in the watersheds of São Paulo. *Environment and urbanization*, 16(2), pp. 199-211, 2004.

JIGO, B. T.; ABDULAZEEZ, A. M. Classification based on decision tree algorithm for machine learning. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 2(01), 20-28, 2021. Disponível em: < <https://jastt.org/index.php/jasttpath/article/view/65>>. Acesso em: 14 maio 2022.

KLOIBER, S. M.; BREZONIK, P. L.; BAUER, M. E. *Application of Landsat imagery to regional-scale assessments of lake clarity*. Water Research, v. 36, p. 4330-4340, 2002 apud SOBRAL et al. Geotecnologias na gestão de reservatórios: uma revisão e uma proposta de integração. 2017. Revisão da Literatura. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/esa/a/7dScs76qzmNqtYhyn7V6rsj/?format=pdfelang=pt>>. Acesso em: 14 jun. 2022.

KOBIYAMA, M. et al. *Prevenção de Desastres Naturais: conceitos Básicos*. Florianópolis: Ed. Organic Trading. 1ª edição. 2006. Disponível em: [https://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2014/07/Livro\\_Prevencao\\_de\\_Desastres\\_Naturais.pdf](https://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2014/07/Livro_Prevencao_de_Desastres_Naturais.pdf)>. Acesso em: 07 maio. 2022.

LEGLER, C.; LEUCK, M. F.; MENDES, C. A. B. *Modelo para criação de incentivo fiscal ao amortecimento de vazão em lote: simulação para o município de Porto Alegre*, RS. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 295-307, jul./set. 2014. Disponível em: < <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/230353>> . Acesso em: 29 mar. 2022.

LIMA, A. P.; AMORIM, M. C. C. T. Análise de episódios de alagamentos e inundações urbanas na cidade de são carlos a partir de notícias de jornal. Revista Brasileira de Climatologia, [S.l.], v. 15, abr. 2015. ISSN 2237-8642. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v15i0.33406>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/33406> . Acesso em: 30 jul. 2022.

LIMA, W. A. *Modelagem hidrológica da bacia do ribeirão água fria no município de Palmas – Tocantins*. 2019. 50 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - CEULP/ULBRA, Palmas. Disponível em: [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/document606ef52f89555%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/document606ef52f89555%20(1).pdf). Acesso em: 28 abr. 2022.

LONG W. et al. A new ensemble residual convolutional neural network for remaining useful life estimation[J]. Mathematical Biosciences and Engineering, 2019, 16(2): 862-880. doi: 10.3934/mbe.2019040. Disponível em: < [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/10.3934\\_mbe.2019040.pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/10.3934_mbe.2019040.pdf)>. Acesso em: 21 maio 2022.

MAINDMENT, D. *Arc Hydro GIS for water resources*. Redlands, California-USA: ESRI Press, 2002. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=eid=07vH7Sf0v6MC&oi=fnd&pg=PP7&edq=MAIDMENT,+D.+Arc+Hydro+GIS+for+water+resources.&ots=akOyxzgamBesig=H4OWiAU1St9aVrDZN9NMrP35noE#v=onepage&q=MAIDMENT%2C%20D.%20Arc%20Hydro%20GIS%20for%20water%20resources.&ef=false>. Acesso em: 13 abr. 2022.

MANTOVANI, J.; FERREIRA, C.C.; BRAZ, A. M. Modelagem do escoamento superficial espacialmente distribuído na bacia hidrográfica do Córrego do Botafogo – SP, como subsídio ao planejamento ambiental. 2016. *XI SINAGEO*. Disponível em: <<http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/8/8-424-1656.html>>. Acesso em: 04 maio. 2022.

MASON, D. D.; LUTZ, J. F.; PETERSEN, R. G. Hydraulic Conductivity as Related to Certain Soil Properties in a Number of Great Soil Groups—Sampling Errors Involved. 1957. *Soil Science Society of America Journal*. Disponível em: <<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2136/sssaj1957.03615995002100050025x>>. Acesso em: 27 nov. 2021.

MENDONÇA, L. M. et al. Modelagem chuva-vazão via redes neurais artificiais para simulação de vazões de uma bacia hidrográfica da Amazônia. *Revista de Gestão de Água da América Latina* 18, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/rega.v18e2>. Acesso em: 22 maio 2022.

MOTA, S. Introdução à Engenharia Ambiental, 3 ed. Rio de Janeiro, ABES, 2003 apud ARAÚJO, R. S. et al. Espaço urbano e impacto ambiental: reflexões a partir da análise do processo de expansão das cidades de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha – CE. *Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente*, n. 43, v. 1, p. 104-126, jan.-abr, 2021. ISSN: 2176-5774. Disponível em: <[file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/6948-Texto%20do%20Artigo-31118-30934-10-20210306%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/6948-Texto%20do%20Artigo-31118-30934-10-20210306%20(1).pdf)>. Acesso em: 19 out. 2021.

NITERÓI. *Sistema de Gestão da Geoinformação*. Disponível em: <https://www.sigeo.niteroi.rj.gov.br/pages/sobre>. Acesso em: 12 mar. 2023.

PACHECO, C.; PEREIRA, N. *Deep Learning* Conceitos e Utilização nas Diversas Áreas do Conhecimento. 2. 34-49, 2018. Disponível em: <<file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/2018.AdaLovelace-DeepLearningConceitoseUtilizacao.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2022.

PINHATI, F.S.C. *Curver number da base hidrográfica otocodificada*. 2021. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d1c36d85-a9d5-4f6a-85f7-71c2dc801a67>>. Acesso em: 13 abr. 2022.

POLIDORI, M. C. L., et al. Professores e Investigadores Portugueses e Brasileiros – PLURIS. *Sistema de informação para gestão dos recursos hídricos no estado do Paraná*, Brasil. Faro, Portugal, ed. 4, 2010.

POLIDORI, M. C. L., et al.. Sistema de informação para gestão dos recursos hídricos no estado do Paraná, Brasil. PLURIS. Faro, Portugal, ed. 4, 2010. Disponível em: < <http://pluris2010.civil.uminho.pt/Actas/PDF/Paper231.pdf>>. Acesso em: 23 maio 2022.

PORTAL SAAE. Disponível em: < <https://www.barramansa.rj.gov.br/saae/>>. Acesso em: 14 dez. 2021.

REDA, A. L. de L. et al. F. Urbanização, mudanças no clima e reservatórios para amortecimento de cheias: comparando soluções de micro e macro escala. XVI *Safety, Health and Environment World Congress*, Salvador, 2016. Disponível em: < <http://copec.eu/congresses/shewc2016/proc/works/2.pdf>> . Acesso em: 08 abr. 2022.

ROSA, R. Análise Espacial em Geografia. Revista da ANPEGE, v. 7, n. 1. p. 275-289, out. 2011. DOI: <https://doi.org/10.5418/RA2011.0701.0023>. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/6571/0> . Acesso em: 30 jul. 2022.

SETTI, A. A. et al. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. Brasília. 2ª ed. – Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000.

SIGA-CEIVAP. *Conheça o SIGA-CEIVAP*. Disponível em: <http://www.sigaceivap.org.br/siga-ceivap/saibaMais>. Acesso em: 12 mar. 2023.

SILVA, C. V. Uso de redes neurais artificiais para análise multitemporal da dinâmica do uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas. 2022. Disponível em: < <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/216903>>. Acesso em: 18 maio 2022.

SOUSA, L. M. et al. Avaliação do Uso e Cobertura da Terra em Paragominas e UlianópolisPA, Utilizando Dados do Projeto TERRACCLASS. Revista Brasileira de Cartografia. v. 3, n. 69. p. 421-431, mar. 2017. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44339> . Acesso em: 30 jul. 2022.

SOUZA, R. C. C. *Método para dimensionamento eficiente de reservatórios de contenção de cheias para a cidade de Curitiba-PR*. 2018. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba. Disponível em: < [https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3105/1/CT\\_PPGE\\_C\\_M\\_Souza%2C%20Ricardo%20Cesar%20Conrado%20de\\_2018.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3105/1/CT_PPGE_C_M_Souza%2C%20Ricardo%20Cesar%20Conrado%20de_2018.pdf)>. Acesso em: 13 maio. 2022.

SOUZA, S.; ALVIN, A. Conflitos e interfaces entre a política ambiental e a política urbana. (UFPA, e FADESP, Eds.) *os casos de guaratimquetá e jacaraí no Vale Paraíba*, pp. 1-16, 2014.

SZEGEDY, C. et al. Going deeper with convolutions. In: Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp 1–9, 2015. Disponível em: < <https://arxiv.org/pdf/1409.4842.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2022.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do (Org.). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TUCCI, C.E.M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, 9ª ed. Porto Alegre, UFRGS, ABRH, 2020.

USACE. *HECRAS River Analysis System - Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, USA. p. 411, 2010 apud CORREIA, E. F. G; RIBEIRO, G. P.; BAPTISTA, A. C. Modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do Rio Bengalas, Nova Friburgo, RJ, utilizando o potencial de geotecnologias na definição de áreas de risco à inundação. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 67, n. 6, p. 1183-1202, 2015. ISSN: 1808-0936. Disponível em: < <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/44636-Texto%20do%20artigo-185066-1-10-20180914.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2021.

ZELLNER, M.L. et al. A new framework for urban sustainability assessments: Linking complexity, information and policy. In: *Computer, environment and Urban Systems*. v. 32, p. 474-488, 2008. Disponível em: < <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1195&context=usepapapers>>. Acesso em: 14 jul. 2022.

ZHOU, B. et al. Learning deep features for discriminative localization. In: IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp 2921–2929, 2016. Disponível em: < <https://arxiv.org/pdf/1512.04150.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2022.